SYM-OP-IS 2019

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

XLVI International Symposium on Operational Research

Conference Proceedings
(Zbornik radova)

Kladovo, September 15-18, 2019
Serbia

XLVI International Symposium on Operational Research

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima

www.symopis2019.fon.bg.ac.rs

SYM-OP-IS 2019

Kladovo, September 15– 18, 2019

PROCEEDINGS
ZBORNIK RADOVA

Editors/Editori:

Prof. dr Milan Martić
Prof. dr Dragana Makajić-Nikolić
Prof. dr Gordana Savić

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

PUBLISHER
University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Belgrade, Serbia
Jove Ilića 154, 11000 Belgrade, Serbia

YEAR
2019

ISBN: 978-86-7680-363-7

EXECUTIVE ORGANIZER/ORGANIZATOR

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

CO-ORGANIZERS/ ORGANIZATORI

Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd

Ekonomski institut, Beograd

Ekonomski fakultet, Beograd

Institut "Mihajlo Pupin", Beograd

Matematički institut SANU, Beograd

Matematički fakultet, Beograd

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Saobraćajni fakultet, Beograd

Vojska Srbije

Ministarstvo odbrane Republike Srbije

Univerzitet u Banjoj Luci

Društvo operacionih istraživača

SUPPORTED BY/ SYM-OP-IS PODRŽAVAJU

Република Србија
Министарство просвете,
науке и технолошког развоја

АКАДЕМИЈА
ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
СРБИЈЕ

PROGRAMME COMMITTEE / PROGRAMSKI ODBOR

Martić Milan, chair/predsednik, FON, Beograd
Stanojević Milan, deputy chair/zamenik predsednika, FON, Beograd

Aleksić Vule, VGGŠ, Beograd
Čangalović Mirjana, FON, Beograd
Ćirović Goran, VGGŠ, Beograd
Cvijanović Janko, EI, Beograd
Davidović Tatjana, MI SANU, Beograd
Dimitrijević Branka, SF, Beograd
Đorović Boban, Univerzitet odbrane, Beograd
Dugošija Đorđe, Univerzitet u Novom Pazaru
Gigović Ljubomir, Ministarstvo odbrane, Beograd
Janković Irena, EF, Beograd
Kočović Jelena, EF, Beograd
Kovačević-Vujčić Vera, FON, Beograd
Kratica Jozef, MI SANU, Beograd
Kutlača Đuro, Institut Mihajlo Pupin, Beograd
Kuzmanović Marija, FON, Beograd
Letić Duško, FTN, Zrenjanin
Makajić-Nikolić Dragana, FON, Beograd
Miljanović Igor, RGF, Beograd
Milovanović Gradimir, MI SANU, Beograd
Mitrović Snežana, VGGŠ, Beograd
Mladenović Nenad, MI SANU, Beograd
Mladenović Zorica, EF, Beograd
Netjasov Feđa, SF, Beograd
Nikolić Dragan, VGGŠ, Beograd
Ognjanović Zoran, MI SANU, Beograd
Petrović Dalibor, Ministarstvo odbrane, Beograd
Petrović Slavica, EF, Kragujevac
Praštalo Željko, RGF, Beograd
Preradović Ljubiša, AGGF, Univerzitet u Banjoj Luci
Radojević Dragan, Institut Mihajlo Pupin, Beograd
Savić Gordana, FON, Beograd
Šelmić Milica, SF, Beograd
Sorak Miloš, TF, Banja Luka
Stanić Stanko, EF, Banja Luka
Stanojević Milorad, SF, Beograd
Starčević Dušan, FON, Beograd
Stojković Dejan, Ministarstvo odbrane Beograd
Suknović Milija, FON, Beograd
Urošević Dragan, MISANU, Beograd
Vidović Milorad, SF, Beograd
Vujošević Mirko, FON, Beograd
Vukadinović Katarina, SF, Beograd
Aloise Daniel. Natal University, Brasil
Artiba Abdelhakim, University of Valencia, France
Carrizosa Emilio, University of Sevilla, Spain
Duarte Abraham, Universidad Rey Juan Carlos, Spain
Eremeev Anton, Omsk State University, Russia
Escudero Laureano, Universidad Miguel Hernández, Spain
Hanafi Saïd, University of Valenciennes, France
Hudec Miroslav, University of Economics, Bratislava, Slovakia
Kochetov Yuri, Novosibirsk, Russia
Labbé Martine, Free university of Brussels, Belgium
Melián Batista Belén, University La Laguna, Spain
Migdalas Athanasios, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
Moreno-Perez José A., University of La Laguna, Spain
Papageorgiou Markos, Technical University of Crete, Greece
Raidl Guinter, Vienna University of Technology, Austria
Salhi Said, University of Kent, United Kingdom
Sevaux Marc, University of Southern Brittany, France
Sifaleras Angelo, University of Macedonia, Greece
Sörensen Kenneth, University of Antwerp, Belgium

HONORARY PROGRAMME COMMITTEE / POČASNI PROGRAMSKI ODBOR

Andrejić Marko, VA, Beograd
Backović Marko, EF, Beograd
Batanović Vladan, IMP, Beograd
Borović Siniša, FMMSP, Beograd
Čabarkapa Obrad, MO, Beograd
Cvetković Dragoš, SANU, Beograd
Đorđević Branislav, GF, Beograd
Guberinić Slobodan, IMP, Beograd
Ilić Aleksandar, Ministarstvo odbrane
Kovač Mitar, MO, Beograd
Krčevinac Slobodan, FON, Beograd
Matejić Vlastimir, AINS, Beograd
Mesaroš Katalin, Ekonomski Fakultet, Subotica
Mihaljević Miodrag MI, Beograd
Milovanović Gradimir, SANU, Niš
Mučibabić Spasoje, MO, Beograd
Nikolić Ilija, FGM, Beograd
Opricović Serafim, GF, Beograd
Pap Endre, Univerzitet Singidunum, Beograd
Petrović Radivoj, IMP, AINS, Beograd
Rakić Milan, IMP, Beograd
Vujić Slobodan, RI, Beograd
Vukadinović Svetozar, SF, Beograd
Vuleta Jovo, EF, Beograd
Zečević Tomislav, EF, Beograd

ORGANIZING COMMITTEE / ORGANIZACIONI ODBOR

Dragana Makajić-Nikolić, predsednik OO
Milica Maričić - tehnički sekretar
Gordana Savić
Biljana Panić
Veljko Jeremić
Marina Dobrota
Dušan Džamić
Bisera Andrić-Gušavac
Minja Marinović
Andrijana Bačević

ACKNOWLEDGEMENT FOR MERITS IN DEVELOPMENT OF OPERATIONAL RESEARCH / NOSIOCI POVELJE ZA ZASLUGE U RAZVOJU OPERACIONIH ISTRAŽIVANJA

Kraut Božidar (1983)
Vadnal Alojzij (1983)
Marković Dragoslav (1983)
Ivanović Branislav (1984)
Martić Ljubomir (1984)
Petrović Radivoj (1984)
Petrić Jovan (1988)
Zlobec Sanjo (1990)
Stanojević Radoslav (1991)
Vukadinović Svetozar (1993)
Krčevinac Slobodan (1993)
Guberinić Slobodan (1993)
Vuleta Jovo (1993)
Kovačević-Vujčić Vera (1998)
Teodorović Dušan (1998)
Matejić Vlastimir (2000)
Vujošević Mirko (2000)
Borović Siniša (2001)
Zečević Tomislav (2001)
Vujić Slobodan (2003)
Radojević Dragan (2006)
Čangalović Mirjana (2010)
Mladenović Nenad (2010)
Mučibabić Spasoje (2010)
Martić Milan (2012)
Dragoš Cvetković (2013)
Đorđe Dugošija (2017)
Ćirović Goran (2017)
Milorad Vidović (2019)

PREFACE / PREDGOVOR

The Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade traditionally, in cooperation with other higher education and scientific institutions and associations, organizes a SYM-OP-IS symposium to advance the theory and practice of operational research, business analytics and related disciplines. This year, the 46th Symposium on Operations Research - SYM-OP-IS is being organized as an international scientific conference. The symposium brings together domestic and international academic and scientific public, OR practitioners, public and non-governmental sector, as well as students who participate in discussing and analyzing relevant issues in the field of contemporary operational research.

The aim of the Symposium is to provide a unique forum for discussion of current issues and exchange of the latest information, ideas and innovative solutions in the field of operational research in the context of improving business achievements and results. Authors have the opportunity to publish scientific and professional results as research papers or case studies. This year's conference program is organized through thematic sessions and consists of 132 papers by authors from 10 countries. In addition to thematic sections, plenary lectures of eminent scientists in the field of business intelligence data science, efficiency measurement and behavioral operational research will be held as well as a forum on "International Projects in Science and Education".

Scientific Committee Chair

Milan Martić

Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu tradicionalno u saradnji sa drugim visokoškolskim i naučnoistraživačkim organizacijama, kao i naučnim udruženjima, organizuje simpozijum SYM-OP-IS sa ciljem unapređenja teorije i prakse operacionih istraživanja, poslovne analitike i srodnih disciplina. Ove godine se organizuje 46. simpozijum operacionih istraživanja – SYM-OP-IS kao međunarodni naučni skup. Simpozijum okuplja domaću i međunarodnu akademsku i naučnu javnost, predstavnike korporativnog, javnog i nevladinog sektora, kao i studente osnovnih, masterskih i doktorskih studija koji kroz predstavljanje svojih dosadašnjih rezultata, saznanja i iskustava učestvuju u razmatranju i analizi relevantnih pitanja iz oblasti savremenih operacionih istraživanja.

Cilj Simpozijuma je da obezbedi jedinstven forum za diskusiju o aktuelnim pitanjima i razmenu najnovijih informacija, ideja i inovativnih rešenja u oblasti operacionih istraživanja menadžmenta u kontekstu unapređenja poslovnih dostignuća i rezultata. Autori imaju mogućnost da naučne i stručne rezultate publikuju kao istraživačke radove ili studije slučaja. Ovogodišnji program konferencije je organizovan kroz tematske sesije i sastoji se iz 132 rada autora iz 10 zemalja. Uz tematske sekcije, biće održana i plenarna predavanja eminentnih naučnika iz oblasti nauke o podacima poslovne analitike, merenja efikasnosti i bihevijoralnih operacionih istraživanja kao i forum na temu "Međunarodni projekti u nauci i prosveti".

Predsednik Programskog odbora

Milan Martić

TABLE OF CONTENTS / SADRŽAJ

INVITED TALKS / PREDAVANJA PO POZIVU 1

THE MATHEMATICS OF AGEING
Gustav Feichtinger **3**

MACHINE LEARNING FOR DECISION MAKING IN COMPLEX SYSTEMS
Zoran Obradović **3**

BIG DATA PERFORMANCE MEASUREMENT
Ali Emrouznejad **3**

BOUNDED RATIONALITY IN DECISION MAKING MODELS
Marija Kuzmanović **5**

PERFORMANCE ANALYSIS / ANALIZA PERFORMANSI 11

PRIMENA KOMPOZITNOG INDEKSA U ANALIZI KOMPETENCIJA TRENERA IZ OBLASTI JAVNIH FINANSIJA
Snežana Abramović, Gordana Savić **13**

PRIMENA INTEGRISANOG PRISTUPA ANALITIČKOG MREŽNOG PROCESA I ANALIZE OBAVIJANJA PODATAKA: PREGLED LITERATURE
Jelena Novaković **19**

THE APPLICATION OF THE NON-PARAMETRIC METHODOLOGY DEA: THE CASE OF THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA
Toni Naumovski, Violeta Cvetkoska, Lidija Georgieva **25**

OCENA DRUŠTVENO-EKONOMSKOG RAZVOJA EVROPSKIH ZEMALJA: DEA PRISTUP
Jelena Stanković, Ivana Marjanović, Nebojša Stojković **31**

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND NATURAL RESOURCES MANAGEMENT/ EKOLOŠKI MENADŽMENT I UPRAVLJANJE PRIRODNIM RESURSIMA 37

OPTIMIZACIJA PROIZVODNJE NA MALOM POLJOPRIVREDNOM GAZDINSTVU
Dejan Bogdanović, Ivan Jovanović, Sanela Arsić **39**

OPTIMIZACIJA SASTAVA ŠARŽE KONCETRATA BAKRA U CILJU POSTIZANJA BOLJEG EKOLOŠKOG OTISKA
Ivan Jovanović, Dejan Bogdanović, Ivan Mihajlović **44**

ODRŽIVOST ŽIVOTNE SREDINE, ZDRAVLJA I SIGURNOSTI SA ASPEKTA DRUŠTVENO ODGOVORNOG POSLOVANJA
Milica Grujić **50**

ULOGA OBRAZOVANJA U OSNOVNOJ ŠKOLI U KREIRANJU SVESTI OUPRAVLJANJU OTPADOM
Petra Tanović, Danica Bugarski **56**

UPOTREBA FACEBOOK-A KAO PLATFORME ZA E-UČENJE: STUDIJA SLUČAJA
Nataša Petrović, Jelena Andreja Radaković, Nemanja Milenković, Marko Ćirović **62**

PREGLED LINEARNIH OPTIMIZACIONIH PROBLEMA I METODE ANALIZE OBAVIJANJA PODATAKA U OBRADI POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA
Bisera Andrić Gušavac, Gordana Savić **68**

UPOTREBA ANALIZE OBAVIJANJA PODATAKA U OCENJIVANJU ODRŽIVOSTI POSLOVANJA
Jelena Andreja Radaković, Milan Martić **74**

ECONOMIC MODELS AND ECONOMETRICS / EKONOMSKI MODELI I EKONOMETRIJA **81**

ANALIZA METODA U IZBORU INVESTICIONE STRATEGIJE
Marko Backović, Zoran Popović **83**

KORIŠĆENJE PSEUDO -INTEGRALA ZA IZRAČUNAVANJE PREMIJE OSIGURANJA
Jelena Stanojević **89**

ELECTRONIC BUSINESS / ELEKTRONSKO POSLOVANJE **95**

PROCENA ZADOVOLJSTVA KLIJENATA PRI KORIŠĆENJU ELEKTRONSKOG BANKARSTVA: PRISTUP NEURONSKIM MREŽAMA
Stefan Zdravković, Jelena Peković, Aleksandar Jovanović **97**

MODEL INVESTICIONIH MAPA PRIMENOM SERVISA E-UPRAVE
Marina Jovanović-Milenković, Saša Rikanović, Bojan Teodosijević, Davor Đuran, Darko Vučetić **103**

FINANCE AND BANKING / FINANSIJE I BANKARSTVO **109**

HARMONISATION OF TAX POLICY IN SERBIA WITH THE EUROPEAN UNION DIRECTIVES
Saša Ranđelović **111**

STOCK MARKETS' FINANCIAL CONNECTEDNESS DURING AND IN THE AFTERMATH OF THE CRISES
Irena Janković **117**

GEOINFORMATION SYSTEMS / GEOINFORMACIONI SISTEMI **123**

PROJEKTOVANJE KONTROLNE GEODETSKE MREŽE ZA OSMATRANJE KLIZIŠTA
Dragoljub Sekulović, Dragana Skorup, Ivana Ilić **125**

MODEL ZA AUTOMATSKU GENERALIZACIJU SADRŽAJA SAOBRAĆAJNE KARTE U RAZMERI 1:500 000 NA OSNOVU TOPOGRAFSKE KARTE U RAZMERI 1:250 000
Marko Stojanović, Siniša Drobnjak, Ana Vučičević **131**

KARTIRANJE LOKACIJA OSETLJIVIH NA KLIZIŠTA PRIMENOM METODA MAŠINSKOG UČENJA
Siniša Drobnjak, Ljubomir Gigović, Saša Bakrač **137**

GEODETSKE PODLOGE U PROSTORNOM PLANIRANJU
Slaviša Tatimirović, Dragana Skorup, Slavko Vasiljević **142**

KOMBINOVANA PRIMENA GIS-A I VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA U PROGNOZIRANJU ŠUMSKOG POŽARA
Ljubomir Gigović, Siniša Drobnjak, Darko Lukić **148**

INTERAKTIVNO ORIJENTISANI INFORMACIONI SISTEM ZA PREDVIĐANJE POPLAVA
Dragoljub Sekulović, Mladen Amović, Predrag Kovačević **154**

IZRADA MODELA PROSTORA PRIMENOM LIDAR TEHNOLOGIJE
Ljubomir Gigović, Biljana Antunović, Miodrag Regodić, Ivana Janković **160**

PROMENA KONTRASTA NA RGB SNIMCIMA
Nenad Galjak, Miodrag Regodić, Ivan Stokić, Dejan Rončević **165**

GRAPHS AND NETWORKS / GRAFOVI I MREŽE **171**

FURTHER RESULTS ON THE COSPECTRALITY OF SMITH GRAPHS
Dragoš Cvetković, Irena Jovanović, Vesna Todorčević **173**

A VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH APPROACH TO THE P-MEDIAN PROBLEM WITH BALANCED CONSTRAINTS
Kristina Kostić, Zorica Stanimirović **179**

GENERAL VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR ASYMMETRIC VEHICLE ROUTING PROBLEM
Luka Matijević, Tatjana Davidović, Vladimir Ilin, Panos Pardalos **185**

HEURISTICS / HEURISTIKE 191

REŠAVANJE PROBLEMA MINIMALNOG POGAĐANJA SKUPOVA POMOĆU KARUSEL HEURISTIKE
Dragana Makajić-Nikolić, Petar Pavlović, Mirko Vujošević **193**

REŠAVANJE DIFERENCIJALNIH JEDNAČINA PRVOG REDA GENETSKIM ALGORITMIMA
Andrija Petrović, Sandro Radovanović, Boris Delibašić, Uglješa Bugarić **199**

PROFINJENJE INICIJALNE PODJELE U PROBLEMIMA OPTIMIZACIJE NA GRAFOVIMA PONUDE/POTRAŽNJE
Rava Filipović **205**

POSTUPAK PRETRESA I LOKALNO OBNAVLJANJE DOPUSTIVOSTI U PROBLEMIMA OPTIMIZACIJE NA GRAFOVIMA PONUDE/POTRAŽNJE
Rava Filipović **206**

INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES / INFORMACIONI SISTEMI I TEHNOLOGIJE 207

A SIMPLE RESPONSIVE WEB DESIGN SIMULATOR FOR ROUND SCREEN DEVICES BUILT IN JAVASCRIPT
Tanja Krunić, Dušan Krstić **209**

POBOLJŠANJE BEZBJEDNOSTI UPOTREBOM SISTEMA ZA PRAĆANJE POKRETA OKA
Željko Gavrić, Miroslav Minović **215**

MEHANIZMI KOMUNIKACIJE U MIKROSERVISNOJ ARHITEKTURI
Tatjana Stojanović, Saša Lazarević **220**

PRIMENA HOUGH-OVE TRANSFORMACIJE I RAZLIČITIH TEHNIKA POVEZIVANJA DETEKTOVANIH IVICA PRILIKOM IZDVAJANJA REGISTARSKIH TABLICA U DIGITALNOJ SLICI
Hana Stefanović, Radosav Veselinović, Goran Bjelobaba, Ana Savić **226**

PRIMENA POSLOVNIH PRAVILA U PROCESNO-ORIJENTISANIM APLIKACIJAMA
Željana Milošević, Ivan Rakić, Slađan Babarogić, Nenad Aničić **232**

PRISTUPI ZA MODELOVANJE VIŠESTRUKO POVEZANIH KARAKTERISTIKA U MODELIMA KARAKTERISTIKA
Dejan Stojimirović, Nina Turajlić, Siniša Nešković, Nenad Aničić, Slađan Babarogić **238**

RESEARCH & DEVELOPMENT / ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ 245

ON THE SELECTION OF SCIENTIFIC PROJECTS IN THE STRATEGIC RESEARCH INSTITUTE
Nebojša Nikolić **247**

TRENDS OF BUSINESS ENTERPRISE EXPENDITURE ON R&D BEFORE AND AFTER GLOBAL ECONOMIC CRISIS: EVIDENCE FROM SELECTED SEE COUNTRIES
Nikola Vasilić, Đuro Kutlača, Dijana Štrbac **253**

R&D EXPENDITURES: COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN SERBIA AND SELECTED COUNTRIES
Đuro Kutlača, Nikola Vasilić, Lazar Živković **259**

COMBINATORIAL OPTIMIZATION / KOMBINATORNA OPTIMIZACIJA 265

REŠAVANJE PROBLEMA PRERASPOREĐIVANJA KORIŠTENJEM ALGORITAMA NEXT FIT I WORST FIT
Zanin Vejzović, Kemal Marić, Ilhan Karić **267**

PRIMENA ALGORITAMA KOMBINATORNE OPTIMIZACIJE ZA REŠAVANJEPROBLEMA SNABDEVANJA
Miloš Petković **273**

METAHEURISTIČKI PRISTUP REŠAVANJU PROBLEMA MAKSIMALNOG POKRIVANJALOKACIJA
Lazar Mrkela, Zorica Stanimirović **279**

SVOJSTVA SIMETRIJE REZOLVIRAJUĆIH SKUPOVA GRAFA C2M C2N
Nada Mladenović, Nebojša Nikolić **285**

LOGISTICS / LOGISTIKA 289

UNAPREĐENJE PROCESA ODLUČIVANJA U KRIZNIM SITUACIJAMA
Nebojša Mišić, Momčilo Đorđević, Nenad Zrnić, Sanja Pejčić, Radoje Banković **291**

JEDAN PRISTUP MODELIRANJU MREŽE ZA UPRAVLJANJE OTPADOM
Branka Dimitrijević, Branislava Ratković, Katarina Vukadinović **297**

LOCIRANJE DRY PORT TERMINALA: STUDIJA SLUČAJA ZA JADRANSKE LUKE
Mladen Krstić, Milovan Kovač, Snežana Tadić **303**

OPTIMIZACIJA TROŠKOVA TRANSPORTA U TOKOVIMA POVRATNE LOGISTIKE
Vukašin Pajić, Milan Andrejić **309**

A HEURISTIC APPROACH TO SOLVING PERIODIC VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH ZONING
Miloš Ružić, Dražen Popović, Doroteja Mičeta **315**

SIMULATED ANNEALING APPROACH TO SOLVING VEHICLES SCHEDULING IN SIMULTANEOUS FULL TRUCKLOAD PICKUP AND DELIVERY PROBLEM WITH MULTIPLE TIME WINDOWS
Dragana Drenovac, Milorad Vidović, Nenad Bjelić **321**

MATHEMATICAL PROGRAMMING / MATEMATIČKO PROGRAMIRANJE 327

PARAMETRIC ALGORITHM FOR THE FISHER EXCHANGE MODEL WITH SPENDING CONSTRAINTS
Vadim Shmyrev **329**

A MIXED INTEGER NONLINEAR PROGRAMMING MODEL FOR THE DESIGN OF A BLOOD BANK NETWORK
Onur Kaya, Dogus Ozkok **333**

SOFT AND BEHAVIORAL OR / MEKA I BIHEJVIORALNA OI 339

ODREĐIVANJE PREFERENCIJA STUDENATA PRILIKOM ODABIRA POSLA PRIMENOM CONJOINTANALIZE
Sofija Bundalo, Zoran Rakićević, Marija Kuzmanović **341**

IDENTIFIKOVANJE KLJUČNIH FAKTORA KOJI UTIČU NA IZBOR FITNES CENTRA PRIMENOM CONJOINT ANALIZE
Ana Rakićević, Andrijana Bačević, Marija Kuzmanović, Bisera Andrić Gušavac **347**

PREFERENCIJE STUDENATA FON-A PREMA STRUČNOJ PRAKSI
Marija Kuzmanović, Dragana Makajić-Nikolić, Andrijana Bačević **353**

SOFT COMPUTING / MEKO RAČUNARSTVO 359

X-RAY IMAGE SEGMENTATION USING PRODUCT-TYPE AGGREGATION OF DISTANCE FUNCTIONS
Ljubo Nedović, Endre Pap, Nebojša Ralević, Marija Delić **361**

THE NEWTON METHOD FOR SOLVING NONLINEAR EQUATIONS BASED ON AGGREGATION OPERATORS
Nebojša M. Ralević, Dejan Ćebić **367**

OPTIMALNE VREDNOSTI HIPERKUBNE KONTURNE FUNKCIJE
Duško Letić, Ivana Berković, Desnica Eleonora, Branislava Radišić **373**

SISTEM ZA ALGORITAMSKO TRGOVANJE ZASNOVAN NA FAZI KONTROLERU
Vladimir Rajić, Natalija Jovanović, Pavle Milošević, Aleksandar Rakićević,Bratislav Petrović **379**

ZATVARANJE TRANSPORTNOG PROBLEMA U POTPUNO INTUICIONOM FAZI OKRUŽENJU
Bogdana Stanojević, Milan Stanojević **385**

MANAGEMENT / MENADŽMENT 391

THE CHAOTIC MONOPOLY PROFIT GROWTH MODEL AND ADVERTISING
Vesna Jablanović **393**

A CROSS-COUNTRY EVALUATION OF THE NUMBER OF VALID CERTIFICATES TO GLOBAL MANAGEMENT SYSTEM STANDARDS: EVIDENCE FROM ISO 9001 AND ISO 14001
Biljana Tošić, Ana Horvat, Milica Maričić **398**

COMPOSITE INDICATORS AS TOOLS TO EVALUATE TOURISM COMPETITIVENESS
Victo Pérez León, Flor Guerrero Casas, Rafael Caballero **399**

STILOVI LIDERSTVA U JAVNOJ UPRAVI: SLUˇCAJ PET LOKALNIH ZAJEDNICA IZ REPUBLIKE SRPSKE
Nikola Matijašević, Bojan Baškot **405**

UPRAVLJANJE ZNANJEM KAO DETERMINANTA USPEHA UPRAVLJANJA ODNOSIMA S POTROŠAČIMA
Aleksandra Stojiljković, Marijana Petrović **406**

CAPACITY INVESTMENT IN MANUFACTURING SYSTEMS WITH UNCERTAIN OPERATING COST
Soheil Sibdari **412**

ISPITIVANJE UTICAJA MOBILNOG MARKETINGA NA RAZVOJ ODNOSA SA POTROŠAČIMA
Aleksandra Stojiljković **418**

PROJECT MANAGEMENT SUCCESS FACTORS FOR IMPLEMENTATION OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY
Marko Slavković, Marijana Simić **424**

PRIMENA METODA QFD U PROJEKTOVANJU INOVACIJA
Radul Milutinović, Biljana Stošić **430**

RAZLIKE STAVOVA MILENIJALACA U ODNOSU NA PRIMENU KONCEPTA IGARA U PROCESU OBRAZOVANJA – POJAVA "GAMING" UROĐENIKA
Mladen Čudanov, Manojlo Maravić, Sandra Jednak, Veljko Jeremić **436**

RAZLIKE U MOTIVACIONIM PROFILIMA ZAPOSLENIH U USPEŠNIM ORGANIZACIJAMA I U ORGANIZACIJAMA U PROCESU RESTRUKTURIRANJA
Mladen Čudanov, Aleksandar Jokić, Ondrej Jaško **442**

ANALIZA FAKTORA OD UTICAJA NA PRISTRASNOST STUDENATA TOKOM MEĐUSOBNE EVALUACIJE
Filip Stojković, Milica Maričić, Milan Radojičić, Veljko Jeremić **448**

TOWARDS A COMPREHENSIVE APPROACH TO SOLVING COMPLEX PROBLEMS: MODELING DYNAMICS OF SOCIAL SYSTEMS AND SUPPORTING DECISION MAKING
Jerzy Michnik **453**

ZADOVOLJSTVO ZAPOSLENIH NA RADNOM MESTU
Nataša Milošev **458**

POTENTIAL BENEFITS OF LESS WORKING HOURS OR AN ADDITIONAL DAY OFF PER WEEK FOR SLOVENIAN AND SERBIAN EMPLOYEES
Ana Lambić, Ivan Todorović, Miha Marič **464**

MATEMATIČKI MODEL UPRAVLJANJA TROŠKOVIMA U FAZI RAZVOJA PROIZVODA
Biljana Milanović, Mitar Bijelić, Želka Bijelić, Zdravko Bijelić **470**

UNAPREĐENJE DIREKTNE PRODAJE PRIMENOM METODA OPERACIONIH ISTRAŽIVANJA
Dragoljub Simonović, Snežana Knežević, Marina Popović **471**

DATA SCIENCE / NAUKA O PODACIMA **477**

MOGUĆNOSTI PRIMENE ANALIZE SENTIMENATA U SAVREMENOJ POSLOVNOJ PRAKSI
Marijana Petrović, Aleksandra Stojiljković **479**

A METHOD FOR MANAGING SENTIMENTS BY LINGUISTIC TERM SETS AND FUZZIFIED DATABASES
Miroslav Hudec **485**

SELEKCIJA ATRIBUTA U PROCESU MAŠINSKOG UČENJA PRIMENOM SOFTVERSKOG ALATA WEKA
Slađana Janković, Ana Uzelac, Snežana Mladenović, Stefan Zdravković **491**

FEATURE SUBSETS EVALUATION USING FILTER AND WRAPPER METHODS
Slađana Janković, Vladislav Maraš, Mirjana Bugarinović **497**

ANALIZA HISTOGRAMA PODATAKA
Višnja Ognjenović, Filip Lakatuš, Jelena Stojanov, Vladimir Brtka, Vesna Makitan **503**

PRIMENA FURIJEOVE TRANSFORMACIJE ZA PREDVIĐANJE KRETANJA VREDNOSTI FINANSIJSKIH VREMENSKIH SERIJA
Valentina Ljubisavljević, Ivana Dragović, Ana Poledica **504**

BUSINESS ANALYTICS / POSLOVNA ANALITIKA 511

KONKURENTNOST KOMPANIJE IZ UGLA ANALIZE VELIKIH PODATAKA
Biljana Chroneos Krasavac, Ema Karamata **513**

ZLATNA KOPAČKA – KRITIKA TRENUTNE METODOLOGIJE
Milan Radojičić, Aleksandar Đoković, Sandro Radovanović, Nikola Cvetković **519**

UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM PRIMENOM ADEKVATNIH INDIKATORA PERFORMANSI
Teodora Rajković, Dragana Makajić-Nikolić, Mirko Vujošević, Danica Lečić-Cvetković **524**

POREĐENJE PERFORMANSI NEUROEVOLUCIJE I GRADIJENTNOG SPUSTA KAO ALGORITAMA ZA OPTIMIZACIJU TEŽINSKIH KOEFICIJENATA SINAPSI U NEURONSKIM MREŽAMA
Milan Šuša **530**

ANALIZA UTICAJA CENE FOSILNIH GORIVA I CO2 SERTIFIKATA NA FORMIRANJE CENE ELEKTRIČNE ENERGIJE
Minja Marinović, Marko Nikolić **531**

MIP - PROTOTIP MODELA INTELIGENTNOG PREDUZEĆA
Dragan Vukmirović, Tijana Čomić, Željko Bolbotinović, Đorđe Dabetić, Marina Jovanović Milenković **536**

RELIABILITY AND RISK MANAGEMENT / POUZDANOST I UPRAVLJANJE RIZIKOM 543

RAZMIŠLJANJE ZASNOVANO NA RIZIKU U SISTEMU MENADŽMENTA KVALITETA: PREGLED HAZOP METODE
Aleksa Sekulović, Jelena Ruso **545**

OPTIMIZACIJA STEPENA POUZDANOSTI BLIZINSKIH ELEKTRONSKIH UPALJAČA
Zdravko Bijelić, Veljko Petrović, Biljana Milanović **551**

OR APPLICATION IN CIVIL ENGINEEERING / PRIMENE OI U GRAĐEVINARSTVU 557

OPTIMIZACIJA IZBORA I ALOKACIJA GRAĐEVINSKE MEHANIZACIJE ZA ZEMLJANE RADOVE NA GRAĐEVINSKIM PROJEKTIMA
Marko Dragojević, Abel Duran, Nataša Praščević **559**

MODEL EKONOMSKE OPTIMIZACIJE IZBORA GRAĐEVINSKE MEHANIZACIJE ZA ZEMLJANE RADOVE PRIMENOM PRISTUPA LINEARNOG PROGRAMIRANJA
Marko Dragojević, Abel Duran, Nataša Praščević **565**

ANALIZA NASELJA UGROŽENIH OD POPLAVA NA PODRUČJU GRADA BANJA LUKA
Nevena Đurđević, Sandra Kosić-Jeremić, Snježana Maksimović **571**

POVEZANOST USPJEHA STUDENATA GEODEZIJE TOKOM STUDIJA SA KVALIFIKACIONIM ISPITOM I ZAVRŠENOM SREDNJOM ŠKOLOM
Ljubiša Preradović, Sandra Kosić-Jeremić **577**

MOGUĆNOST PRIMENE 3D MODELA DOBIJENIH METODAMA BLISKOPREDMETNE FOTOGRAMETRIJE ZA DOKUMENTOVANJE ELEMENATA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA – ASPEKTI TAČNOSTI
Slavoljub Tomić, Jelena Trivunović, Slobodan Pandžić **583**

MODELOVANJE PONAŠANJA UHPC PRI SAVIJANJU
Dragan Nikolić, Goran Ćirović, Snežana Mitrović, Olivera Jeremić **589**

MOGUĆNOSTI PRIMENE METODA VIŠEKRITERIJUMSKOG VREDNOVANJA U PROCESU PROJEKTOVANJA SAOBRAĆAJNIH INFRASTRUKTURNIH SISTEMA
Ljubo Marković, Ljiljana Milić Marković **595**

EMBODIRANI UGLJENIK KAO KRITERIJUM ZA VREDNOVANJE PROJEKTA INDIVIDUALNOG STAMBENOG OBJEKTA SA ASPEKTA UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU
Marina Nikolić Topalović, Goran Ćirović **600**

PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U BIM
Milena Senjak, Vladimir Mučenski, Goran Ćirović, Igor Peško, Dragana Bibić **606**

OR APPLICATION IN DEFENCE / PRIMENE OI U ODBRANI 613

KVALITATIVNO KOMPARATIVNA ANALIZA – MOGUĆA PRIMENA VIŠE VREDNOSNOG MODELA U STRATEŠKIM PROCENAMA
Miroslav Mitrović **615**

SIMULATOR ROJENJA I SINHRONIZOVANOG RAKETNOG UDARA PROTIV AKTIVNE PRETNJE
Radomir Janković, Momčilo Milinović **621**

MILITARY LOGISTICS SIMULATION MODELING LEARNING - ALGORITHMIC CONCEPT CREATION FOR MILITARY WAREHOUSES OPERATIONS
Nebojša Nikolić, Vladimir Milovanović, Aleksandar Zaharijev **627**

DEFENCE HUMAN RESOURCE SELECTION BY MAIRCA METHOD
Milan Kankaraš, Srđan Dimić, Ivan Petrović **632**

UNAPREĐENJE POSTOJEĆEG NAČINA UTVRĐIVANJA STEPENA REALIZACIJE KRATKOROČNIH CILJEVA U SISTEMU ODBRANE
Srđan Dimić, Milan Kanakaraš, Radiša Saković **638**

PRIMENA FUZZY LOGIKE ZA PROCENU NAČINA UKLJUČIVANJA ZAINTERESOVANIH STRANA U PROCES PLANIRANJA RAZVOJA SISTEMA ODBRANE
Vlada Mitić, Mitar Kovač, Dejan Nikolić **644**

ODREĐIVANJE BORBENIH MOGUĆNOSTI I EFIKASNOSTI ARTILJERIJSKIH JEDINICA PROTIVVAZDUHOPLOVNE ODBRANE U SUKOBU SA NISKOLETEĆIM CILJEVIMA
Dalibor Petrović, Vlada Mitić, Nenad Kapor **650**

PRIMENA GREJNDŽEROVOG TESTA UZROČNOSTI U ISTRAŽIVANJIMA ODBRANE – IZABRANI PRIMERI
Dejan Stojković, Miroslav Glišić **654**

TRAFFIC, TRANSPORTATION & COMMUNICATION / SAOBRAĆAJ, TRANSPORT I KOMUNIKACIJE 659

INTELIGENTNA PREZASIĆENA RASKRSNICA U REALNOM VREMENU - ANALITIČKI I SIMULACIONI PRISTUP
Aleksandar Jovanović, Katarina Kukić **661**

LOKACIJA MANEVARSKIH LOKOMOTIVA PRIMENOM LOKACIJSKOG PROBLEMA POKRIVANJA SKUPA
Jovana Ćalić, Miloš Nikolić, Milica Šelmić **667**

PODEŠAVANJE FAZI SISTEMA ZA PROCENU POTROŠNJE ENERGIJE TERETNIH VOZOVA PRIMENOM METAHEURISTIKE OPTIMIZACIJA KOLONIJOM PČELA
Miloš Nikolić, Jovana Ćalić, Milica Šelmić, Dragana Macura **672**

SIMULATION AND STOCHASTIC MODELS / SIMULACIJA I STOHASTIČKI MODELI 679

SEM ANALIZA NAPLATE ZAGUŠENJA U GRADOVIMA
Marina Milenković, Draženko Glavić, Milica Maričić, Katarina Tadić **681**

SIMULATION OF AIRSIDE OPERATIONS AT NIS AIRPORT
Goran Pavlović, Bojana Mirković **687**

MONTE CARLO SIMULATION OF RUNWAY EXCURSION BAYESIAN BELIEF NETWORK MODEL
Doroteja Timotić, Fedja Netjasov, Marko Đogatović **693**

SIMULACIONA ANALIZA UTOVARNIH OPERACIJA TRANSPORTA OPASNIH MATERIJA NA RAZLIČITIM MESTIMA UTOVARA
Maja Pejica, Marko Đogatović, Milorad Stefanović, Milorad Stanojević **699**

SIMULACIONI MODEL ZA ODREĐIVANJE LOKACIJE IZLAZA U ZAVISNOSTI OD VREMENA ZAUZETOSTI POLETNO-SLETNE STAZE
Stefan Šljukić, Marko Đogatović, Bojana Mirković **705**

PREDVIĐANJE INTENZITETA SAOBRAĆAJA NA SISTEMU ZA NAPLATU PUTARINE
Andrija Petrović, Sandro Radovanović, Uglješa Bugarić, Boris Delibašić, Miloš Jovanović **711**

STATISTICAL MODELS / STATISTIČKI MODELI 717

REGRESSION MODELS ON PANEL DATA FOR ESTIMATING EMPLOYMENT
Marina Dobrota, Nela Milošević, Milica Bulajić **719**

MODELING FDI TIME SERIES: EVIDENCE FROM EMERGING MARKETS
Marina Dobrota, Nikola Zornić, Aleksandar Marković **725**

PRODUCTION MANAGEMENT AND SUPPLY CHAINS / UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM I LANCI SNABDEVANJA 731

DOMETI I OGRANIČENJA PRIMENE ABC KONCEPTA U LEAN OKRUŽENJU
Radmila Jablan Stefanović, Vladan Knežević, Jovana Jugović **733**

RAZVOJ SPREDŠIT MODELA ZA UPRAVLJANJE ZALIHAMA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI PRIMENOM DŽEKSONOVOG STRUKTURNOG DIJAGRAMA
Lena Đorđević Milutinović, Danica Savičić, Slobodan Antić **739**

RAZVOJ MODELA SA DETERIORACIJOM ZALIHA, POPUSTOM NA NARUČENU KOLIČINU I DELIMIČNIM ZADOVOLJENJEM NEISPORUČENIH NARUDŽBINA KAO DISKRETNOG OBJEKTA UPRAVLJANJA U SPREDŠITU
Slobodan Antić, Lena Đorđević Milutinović **745**

MULTICRITERIA ANALYSIS AND OPTIMIZATION / VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA I OPTIMIZACIJA 751

PRAVCI UNAPREĐENJA PRILAGODLJIVOSTI RADNE SNAGE VIŠE-ETAPNIM MODELOM KOMPARATIVNOG ODLUČIVANJA
Maja Jandrić, Saša Ranđelović, Mladen Stamenković, Branko Urošević **753**

MERENJE TEHNIČKE EFIKASNOSTI NACIONALNE EKONOMIJE REPUBLIKE SRBIJE
Ana Krstić, Predrag Mimović, Dragana Rejman Petrović **759**

LEADERSHIP IN HIDDEN CHAMPION ORGANIZATIONS: A MULTI-CRITERIA BASED APPROACH
Violeta Cvetkoska **765**

MULTI-CRITERIA DECISION MODEL FOR SELECTING THE BEST IT EMPLOYEE OF THE YEAR
Violeta Cvetkoska, Nika Ivanovska **766**

A NEW ITERATIVE METHOD FOR MULTI OBJECTIVE LINEAR FRACTIONAL PROGRAMMING PROBLEM SOLVING
Josip Matejaš, Tunjo Perić, Jadranka Kraljević **772**

VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA KLIME BEZBEDNOSTI U PROJEKTNO ORIJENTISANIM ORGANIZACIJAMA
Nenad Milijić, Ivan Mihajlović, Ivan Jovanović, Anđelka Stojanović **778**

EFEKTI OBJEKTIVNOG I SUBJEKTIVNOG ODREĐIVANJA TEŽINA KRITERIJUMA U VIŠEKTIRTRIJUMSKOM DONOŠENJU ODLUKA
Anđelka Stojanović, Nenad Milijić, Đorđe Nikolić, Ivan Mihajlović **784**

MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING FOR ROBOT SELECTION BASED ON CROSS-ENTROPY
Zorica Dodevska, Mirko Vujošević, Boris Delibašić **789**

INVITED TALKS

PREDAVANJA PO POZIVU

THE MATHEMATICS OF AGEING

GUSTAV FEICHTINGER

Professor Emeritus, ORCOS, Institute of Statistics and Mathematical Methods in Economics, Vienna University of Technology, Austria

***Abstract**: Age is a crucial variable in social sciences and particularly in population dynamics. In the first part of this paper, a two-state optimal control model is proposed to explain the substantial variations of scientific production over the life cycle of researchers. We identify conditions under which typical hump-shaped age-specific´patterns of scientific production turn out to be optimal for individual researchers. The second part of the paper deals with the ageing of learned societies. In a nutshell, the dilemma of a learned society is that keeping young, i.e. electing young entrants, has the drawback of reducing the replacement rate of members. It turns out that electing a mix of young and old members delivers the optimal solution of the problem, i.e. guaranteeing a young age structure, while ensuring a high recruitment rate.*

MACHINE LEARNING FOR DECISION MAKING IN COMPLEX SYSTEMS

ZORAN OBRADOVIĆ

Member of the Academia Europaea, The Academy of Europe, Foreign Member of the Serbian Academy of Sciences and Arts, L.H. Carnell Professor of Data Analytics, Temple University Director, Center for Data Analytics and Biomedical Informatics, Professor, Computer and Information Sciences Department, Professor, Statistical Science Department, Fox School of Business

***Abstract**: An overview of our ongoing projects aimed to facilitate predictive analytics in complex systems will be presented in this talk. Challenges and the proposed solutions will be discussed related to modeling temporal dynamics, network embedding, and structure-aware intrinsic representation learning big networks. The algorithms will be evaluated in the context of applications related to improving quality of service in healthcare and power systems.*

BIG DATA PERFORMANCE MEASUREMENT

ALI EMROUZNEJAD

Professor and Chair in Business Analytics, Aston Business School, Aston University Birmingham, UK

***Abstract**: Big Data is a major source of change in today's world. It is without doubt a source of immense economic and social value with the potential to impact individuals, organizations, and society alike in ways that are yet to be fully explored. Organizations are constantly collecting a variety data of unprecedented sizes (millions or billions of records / variables) and from various sources, with the aim to use such data to improve their performance. In this talk we first introduce performance measurement with Data Envelopment Analysis (DEA) and further discuss the notion of big data in DEA.*
***Keywords:** Decision making, Cognitive biases, Bounded rationality, Behavioral OR*

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

BOUNDED RATIONALITY IN DECISION MAKING MODELS

MARIJA KUZMANOVIĆ

University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Belgrade, marija.kuzmanovic@fon.bg.ac.rs

***Abstract**: Traditional models of decision-making are based on the rationality of all actors, including decision-makers and modelers, among the others. Nevertheless, the practice has shown that the behavior and choices of actors are influenced by many factors such as motives, beliefs, opinions, personal and social preferences, as well as cognitive biases. Moreover, it has already been proven that people have limitations in their ability to collect and respond to relevant information, i.e. they are bounded rational. All this has led to the development of behavioral models in many areas including the operations research. In this paper, concept of bounded rationality will be illustrated using p-beauty contest game. The concepts of behavioral operations research will be introduced, followed by a thorough literature review regarding progress in this area.*

***Keywords:** Decision making, Cognitive biases, Bounded rationality, Behavioral OR*

1. INTRODUCTION

The most theoretical models in management science and economics arebased on the assumption of perfect rationality, which means that all actors have a full understanding of their environment and can think infinitely at any given moment. A perfectly rational decision maker has all the information that can be collected and uses it to make a perfectly logical deduction, which he then uses to make the best decision, usually to maximize profits or benefits. Nevertheless, the practice has shown that the behavior and choices of decision makers and other actors are influenced by many factors including motives, beliefs, risk attitudes, personal and social preferences. Moreover, it has already been proven that people have limitations in their ability to collect and respond to relevant information. This is a type of cognitive bias known as bounded rationality. Biases arise from cognitive limitations and represent systematic errors that influence people's decisions and beliefs (Gino & Pisano, 2008). Some other decision-making biases are:confirmation bias, anchoring, decoy effect, time discounting, endowment effect, framing effect, overconfidence effect, reciprocity, among others.

Bounded rationality is the term introduced by Simon (1955)that refers to the concept of rational principles related to non-optimizing adaptive behavior of real people, so-called satisfactory solution concept.Simon argues that the ability of decision makers to act rationally is limited by the information they have access to, as well as by the computing ability they possess. Later on Simon proposed the concept of procedural rationality, which involves the effectively managing the trade-off between costs and quality of decision (Simon, 1976).In 1979, Kahneman and Tversky (1979)developed a prospect theory according to which people evaluate choices differently depending on how the options are framed. Later, Tversky and Kahneman (1992) proposed cumulative prospect theory (CPT), a model for descriptive decisions under risk and uncertainty that may well reflects the DMs' subjective risk preference. All this has contributed to the development of behavioral models in many areas such as economics (Kahneman, 2003), game theory (Camerer, Ho, & Chong, 2004), finance (Olsen, 1998), accounting (Birnberg, 2011), operations management (Gino & Pisano, 2008), and more recently in operations research (Hämäläinen, Luoma, & Saarinen, 2013).

The aim of this paper is to highlight the importance of incorporating human behavior into operations research models, with an extensive review of the literature and analysis of contemporary trends in these fields.

2. *P*-BEAUTY CONTEST GAMEAND LEVEL-*K* REASONING MODEL

The "*p*-beauty contest" is the game based on a concept developed by John Maynard Keynes (1936), to illustrate how investors decide in stock markets. It is based on a fictional newspaper contest, where readers (competitors) are expected to select the six most attractive faces with one hundred photographs. The winner is a player who chooses a face that is the most attractive to most competitors. Thus, instead of choosing

according to his own preferences for physical attractiveness, the strategic reader should predict which faces in the general opinion will be the most attractive. Some competitors might even try to anticipate what the general opinion about the general opinion about the faces might be, and so on. In other words, in this game ―aplayer has to form beliefs about average choices of others and about what average beliefs expect average beliefs to be".

Moulin (1986) introduced a variant of the game, so called *p*-beauty contest game (pBCG), in which participants should simultaneously choose a number in the range from 0 to 100. The winner is the player who chooses the number closest to the average of all selected numbers multiplied by the parameter *p*, which typically takes the value 2/3 or 1/2. The winner receives a fixed prize that does not depend on either the number chosen or the value of parameter *p*. If there is a tie, the prize is distributed equally to the winners.

A rational player does not pick numbers higher than 100*p*, as they are dominated by 100*p*. Besides, if a rational player believes that other players are also rational, then he will not choose a number above $100p^2$ and so on. Thus, assuming a common knowledge of rationality, a process of iterated elimination of weakly dominated strategies will lead to the game's unique equilibrium in which everyone chooses 0.

However, when a game is played in an experimental setting, the average of all picked numbers is typically in the range of 20 and 40 (Camerer, Ho, & Chong, 2004). The reasons for deviating from equilibrium are numerous. In fact, some players are unable to reason in a way that leads to equilibrium or assume that others are unlikely to do so. According to Nagel (1995), players exhibit different, limited rational levels of reasoning, so pBCG can be used to measure the reasoning steps an individual goes through in their thought process. He describes the thought processes of players with varying degrees of strategic sophistication as follows: "A player is strategic of degree 0 if he chooses the number 50. A player is strategic of degree *k* if he chooses the number $50p^k$". Nagel suggested 50 as reference point because it can be anticipated either as the expected value from guessing randomly over a symmetric distribution, or as a focal point that draws the player's focus to the midpoint of the interval. Higher values of *k*indicate both a higher degree of player sophistication and a belief that opponents also think more strategically. This model of marking the level of player sophistication is also known as the ―level-k reasoning model". According to standard level-*k* model, level-0 type is nonstrategic player which might choose number at random, or a number may have some special meaning to the player. A level-*k* type, for any $k \geq 1$, behaves to respond best to the belief that other players are level $k - 1$ type.

A variety of experiments on the p-BCG have been conducted to study iterated dominance and learning both in one-shot and repeated versions of the game. Burnham et al. (2009) found that in a one-shot game, individuals with higher scores on the cognitive test choosing numbers closer to the Nash equilibrium. Similarly, Brañas-Garza et al. (2012) found that players with higher scores on CRT test for measuring intelligence are more likely to choose an equilibrium strategy. However, Schnusenberg & Gallo (2011) suggest that cognitive ability is important only when players are faced with a new situation, while in subsequent rounds of the game variability of responses are not significantly related to CRT scores. Gill and Prowse (2016), find that both cognitive ability and personality affect behavior and learning in repeated *p*-beauty contest game, and that more emotionally stable subjects learn to play equilibrium faster.

3. BEHAVIORAL OPERATIONS RESEARCH

Most formal analytical models in OR are based on an assumption that all actors, including customers, modelers, problem solvers, decision makers among others, are behave rationally. In particular, OR models assume that individuals can "distinguish signal from noise, that they react to relevant information and discard irrelevant information, that their preferences are consistent, and that their decision-making process incorporates all relevant alternatives and variables and is unhampered by cognitive biases or emotions" (Gino & Pisano, 2008). These facts formed the basis for the development of Behavioral Operations Research (BOR).

Behavioral OR involves the development and application of new analytical methods and techniques that incorporate aspects of human behavior to make better decisions in complex settings. It also studies the ways in which human behavior and human interactions shape and are shaped by the use of operations research techniques (Franco & Hämäläinen, 2016). Behavioral studies in OR aim to find ways to reveal and avoid cognitive biases in the OR process, and are closely related to many other disciplines. Greasley and Owen (2016)classify BOR methods as either ―derived from outside the model" or that ―incorporate human behavior within the model". According to Franco and Hämäläinen (2016)a focus of BOR is to generate the outcomes associated with the behavior, such as changes in cognition, attitudes or interactions, but not necessarily to capture behavior explicitly ин order to achieve such outcomes, empirical research through experiments and simulations are particularly important.

3.1. Early developments of Behavioral OR

Although the term BOR is relatively new, research on this topic dates many years ago. A key role in the development of BOR had Simon's paper on bounded rationality (Simon, 1955). Later on, many authors have explored the link between social sciences and OR, concluding that behavioral and more generally social science, may be a tool of OR or could be viewed as a way of understanding OR (Dutton & Walton, 1964; Burgoyne, 1989; Keys, 1997). Bearden and Rapoport (2005) among the first provided reviews of the role of experimental psychology within operations research, noting that both streams can be improved by each other.

Early researches in behavioral operations are primary focused on the newsvendor problem in inventory management, and the "bullwhip effect" in supply chains. In the newsvendor problem a risk neutral decision maker facing random demand for a perishable good should decide how much of those goods to store for a single selling period. The optimal solution to this problem is to order quantity that maximizes expected profit by balancing between the expected costs of under stocking and overstocking (Petruzzi & Dada, 1999).

However, there are many counter-examples in practice that indicate that a manager's order quantity decisions are not always consistent with the goal of maximizing expected profits (Wang & Webster, 2009).Beginning with the paper of Schweitzer and Cachon (2000), many experimental studies considering systematic deviations in decision makers' behavior from normative predictions in the newsvendor problem have been published. Experimental results show that behavior in the newsvendor problem deeply depends on decision makers' risk attitudes (Wang & Webster, 2009), their individual characteristics (Kremer & Minner, 2008; Moritz, Hill, & Donohue, 2013), including bounded rationality (Su, 2008) and other cognitive biases (Ren & Croson, 2013). Some authors used prospect theory (Nagarajan & Shechter, 2013)and judgment bias (Tokar, Aloysius, Williams, & Waller, 2014) to explain newsvendor behavior.

Bullwhip effect occurs when there is a lack of good coordination in supply chain, so fluctuations in the order intensify as moving upwards from the retailer to the manufacturer (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997). Consequently, it can lead to the inefficiency of the chain, as well as unsatisfied customer demand. There are a growing number of experimental studies investigating the causes of behavior in the bullwhip effect, mainly in laboratory settings (see Bhattacharya and Bandyopadhyay (2011)). Using the Beer Game as a simulation tool, it was found that human factor has a crucial role in distortions of information and amplifies the bullwhip effect (Croson & Donohue, 2006). The literature shows that the main behavioral causes of the bullwhip effect, in addition to trust, risk attitudes and bounded rationality, are also underweighting supply line and hoarding behavior (Niranjan, Metri, & Aggarwal, 2009). Kovacevic et al (2013) proposed the use of transactional analysis for diagnosing and understanding social interactions and to improve supply chain coordination by overcoming communicational problems.

In addition, the OR have long been interested in understanding how weight assessment influence decision making (Weber & Borcherding, 1993). Morton and Fasolo (2009) provide a review on behavioral decision theory relevant to structuring, value assessment, and weighting in multi-criteria decision analysis methods.

3.2. Recent trends in Behavioral OR

To analyze the scope and content of BOR research papers, the Web of Science Core Collection database was explored in August 2019. Searching within titles, abstracts, authors' keywords and plus keywords, based on the terms "behavioral/behavioral operations" and "operations/operational research" resulted in only 52 papers. Moreover, only 5 papers were published before 2015, with the first one published in 2008. However, since 2016, the number of relevant papers increased significantly as can be seen from Figure 1. Data on the top five research fields and journals in terms of the number of papers published on Behavioral OR (within found results) are also presented in Figure 1. Two fields in particular stand out, Business Economics and OR/MS, while among the journals EJOR dominates accounting for 46% of all results found. This is due to the fact that EJOR has published a special issue on BOR in 2016. Therefore, 2016 has been a very fruitful year in terms of research papers and empirical contributions to behavior OR.

Monks et al. (2016) provides a novel measurement approach that aim to analyze the impact of transferring learning from modelling. To explore learning, they used a discrete event simulation. Siebert and Kunz (2016) developed a scale to measure an individual's behavior that could be used to select effective decision procedures using OR techniques and to analyze behavioral aspects in problem structuring. Velez-Castiblanco et al. (2016) propose a "boundary games" theory to support the analysis of communication between OR practitioners and other participants when discussing their boundary estimates relating to the intervention design. When it comes to behavioral OR practice, Shi and Lian (2016) modeled passenger–taxi issue as a

double-ended queueing problem. In the same period, Petropoulos et al. (2016) analyzed the impact of losses in adjusting estimates to statistical predictions on experts' behavior.

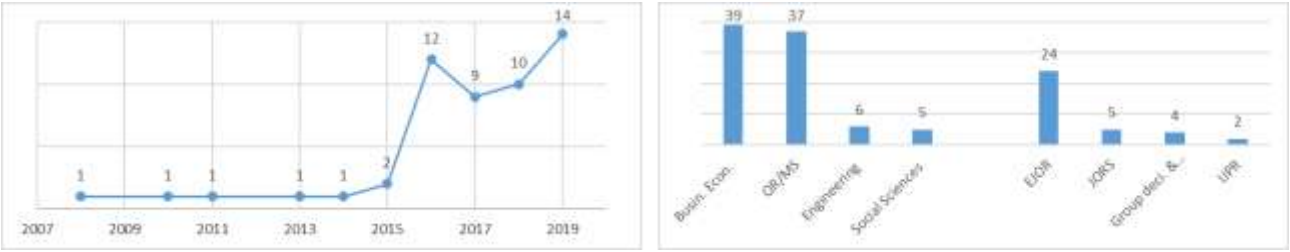


Figure 1: Number of papers explicitly mentioning the term BOR published by: year, field and journal

Behavioral OR continues to address behavioral issues in supply chains (Sterman & Dogan, 2015; Ubøe, Andersson, Jörnsten, Lillestøl, & Sandal, 2017; Udenio, Vatamidou, Fransoo, & Dellaert, 2017), but also increasingly in other fields. Croson et al. (2014) suggest that the bullwhip effect arises due to the coordination risk implying that subjects over-order because of the perceived risk that others will behave sub-optimally. Schiffels (2015), Brailsford (2016) and more recently Kunc et al. (2018)provide a review of approaches and application of behavioral OR in inventory and healthcare, emphasizing the importance of experimental and simulation methods such as discrete-event simulation (Onggo, et al., 2018), system dynamics (Brailsford, 2016) and, agent-based modeling (Sonnessa, Tànfani, & Testi, 2017).

Several studies have investigated human decision making and behavioral issues in group decision making and negotiation, resource allocation problems and portfolio decision making. Franco et al. (2016) used an experimental approach to examine how groups with different closure needs use the conflict management model when deciding on resource allocation.

Behavioral aspects of risk analysis and multi-criteria decision making are often explored through surveys, experiments and simulations. In risk analysis, biases can considerably distort the results and are difficult to correct. The main bias in this context is the overconfidence that arises when experts elicit probability distributions for risky events (Montibeller & von Winterfeldt, 2015). The most common bias in multi-criteria decision analysis is the weighting bias that occurs when decision makers assign weights to decision criteria.Marttunen & Mustajoki (2018) developed a new preferences-based approach that can reduce the risk of cognitive biases in weight elicitation. Similarly, Kuzmanović et al. (2020) used the preference measurement method to reduce the potential error in identifying key inputs and outputs in the DEA method.

4. CONCLUSION

Numerous criticisms can be found in the literature about neglecting the influence of human behavior in OR models and methods. Indeed, there are numerous behavioral influences, from cognitive bias to the personal and social preferences of individuals, all undermining the assumption of rationality on which traditional OR models are based. Although the idea of linking behavioral issues and operational research is not new, it is only recently that the OR as a discipline has reached maturity, leading to the beginnings of the deeper study of BOR and its wider application in practice. A great contribution to the popularization of BOR-a gave H and F, starting from their paper published in 2013 and initiating of a special issue in EJOR dedicated to the BOR.

Although this paper provides detailed overview of the literature, much has not been touched upon, such as the influences of social and personal preferences on choices, both of the modelers themselves and those whose behavior is modeled. However, bounded rationality is illustrated through the p-beauty contest game. A k-level reasoning model is presented which defines the depth of reasoning of individuals explaining the levels of their rationality/irrationalitywhen deciding.

Mathematical models together with behavioral experiments could significantly advance operations research and provide a better basis for decision-making. Therefore, expansion of this sub-discipline is expected in the future with applications in a number of fields and through the advancement a number of methods.

REFERENCES

[1] Bearden, J., & Rapoport, A. (2005). Operations research in experimental psychology. U J. Smith, *Tutorials in Operations Research: Emerging Theory, Methods, and Applications* (str. 213–236). Hanover, Maryland: Informs.

[2] Bhattacharya, R., & Bandyopadhyay, S. (2011). A review of the causes of bullwhip effect in a supply chain. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 54*, 1245-1261.
[3] Birnberg, J. (2011). A proposed framework for behavioral accounting research. *Behavioral Research in Accounting, 23*(1), 1-43.
[4] Brailsford, S. (2016). Healthcare: Human behavior in simulation models. U *Behavioral operational research* (str. 263-280). London: Palgrave Macmillan.
[5] Brañas-Garza, P., Garcia-Munoz, T., & González, R. (2012). Cognitive effort in the beauty contest game. *Journal of Economic Behavior & Organization, 83*(2), 254-260.
[6] Burgoyne, J. (1989). A Behavioural Science Perspective on Operational Research Practice. U *Operational Research and the Social Sciences* (str. 3-12). Boston, MA: Springer.
[7] Burnham, T., Cesarini, D., Johannesson, M., Lichtenstein, P., & Wallace, B. (2009). Higher cognitive ability is associated with lower entries in a p-beauty contes. *Journal of Economic Behavior & Organization, 72*(1), 171-175.
[8] Camerer, C. F., Ho, T. H., & Chong, J. (2004). A cognitive hierarchy model of games. *The Quarterly Journal of Economics, 119*(3), 861-898.
[9] Camerer, C., Ho, T., & Chong, J. (2004). Behavioural game theory: thinking, learning and teaching. U *Advances in understanding strategic behaviour* (str. 120-180). London: Palgrave Macmillan.
[10] Croson, R., & Donohue, K. (2006). Behavioral causes of the bullwhip effect and the observed value of inventory information. *Management science, 52*(3), 323-336.
[11] Croson, R., Donohue, K., Katok, E., & Sterman, J. (2014). Order stability in supply chains: Coordination risk and the role of coordination stock. *Production and Operations Management, 23*(2), 176-196.
[12] Dutton, J., & Walton, R. (1964). Operational research and the behavioural sciences. *Operational Research Quarterly, 15*, 207–217.
[13] Franco, L., & Hämäläinen, R. (2016). Behavioural operational research: Returning to the roots of the OR profession. *European Journal of Operational Research, 249*(3), 791-795. doi:10.1016/j.ejor.2015.10.034
[14] Franco, L., & Hämäläinen, R. (2016). Engaging with behavioral operational research: On methods, actors and praxis. U *Behavioral Operational Research* (str. 3-25). London: Palgrave Macmillan.
[15] Franco, L., Rouwette, E., & Korzilius, H. (2016). Different paths to consensus? The impact of need for closure on model-supported group conflict management. *European Journal of Operational Research, 249*(3), 878-889.
[16] Gill, D., & Prowse, V. (2016). Cognitive ability, character skills, and learning to play equilibrium: A level-k analysis. *Journal of Political Economy, 124*(6), 1619-1676.
[17] Gino, F., & Pisano, G. (2008). Toward a theory of behavioral operations. *Manufacturing & Service Operations Management, 10*(4), 676-691.
[18] Greasley, A., & Owen, C. (2016). Behavior in models: A framework for representing human behavior. U *Behavioral Operational Research* (str. 47-63). London: Palgrave Macmillan.
[19] Hämäläinen, R., Luoma, J., & Saarinen, E. (2013). On the importance of behavioral operational research: The case of understanding and communicating about dynamic systems. *European Journal of Operational Research, 228*(3), 623–634.
[20] Kahneman, D. (2003). Maps of bounded rationality: Psychology for behavioral economics. *American economic review, 93*(5), 1449-1475.
[21] Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica: Journal of the Econometric Society, 47*, 263–291.
[22] Keynes, J. (1936). *The General Theory of Employment, Interest and Money*. London: McMillan.
[23] Keys, P. (1997). Approaches to understanding the process of OR: review, critique and extension. *Omega, 25*(1), 1-13.
[24] Kovacevic, I., Panic, B., Vujosevic, M., & Kuzmanovic, M. (2013). Application of transactional analysis in bullwhip effect analysis. *Amfiteatru Economic, 15*(33), 210-223.
[25] Kremer, M., & Minner, S. (2008). The human element in inventory decision making under uncertainty – a review of experimental evidence in the newsvendor model. *ZfB - Special Issue, 4*, 83–97.
[26] Kunc, M., Harper, P., & Katsikopoulos, K. (2018). A review of implementation of behavioural aspects in the application of OR in healthcare. *Journal of the Operational Research Society*, 1-18.
[27] Kuzmanović, M., Savić, G., & Pajić, K. (2020). Residential Attractiveness of Cities from the Perspective of the Efficiency, Residents' Perception and Preferences: The Case of Serbia. U *Advances in Operational Research in the Balkans* (str. 139-165). Springer.
[28] Lee, H., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect. *Management science, 43*(4), 546-558.
[29] Marttunen, M., & Mustajoki, J. (2018). Use of Analyst-Generated Stakeholder Preference Profiles in Multi-Criteria Decision Analysis—Experiences from an Urban Planning Case. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management, 20*(3).

[30] Monks, T., Robinson, S., & Kotiadis, K. (2016). Can involving clients in simulation studies help them solve their future problems? A transfer of learning experiment. *European Journal of Operational Research, 249*(3), 919–930.
[31] Montibeller, G., & von Winterfeldt, D. (2015). Cognitive and motivational biases in decision and risk analysis. *Risk Analalysis, 35*(7), 1230–1251.
[32] Moritz, B., Hill, A., & Donohue, K. (2013). Individual differences in the newsvendor problem: Behavior and cognitive reflection. *Journal of Operations Management, 31*(1-2), 72-85.
[33] Morton, A., & Fasolo, B. (2009). Behavioural decision theory for multi-criteria decision analysis: A guided tour. *Journal of the Operational Research Society, 60*, 268–275.
[34] Moulin, H. (1986). *Game Theory for the Social Sciences (2nd ed.)*. New York: NYU Press.
[35] Nagarajan, M., & Shechter, S. (2013). Prospect theory and the newsvendor problem. *Management Science, 60*(4), 1057-1062.
[36] Nagel, R. (1995). Unraveling in guessing games: An experimental study. *The American Economic Review, 85*(5), 1313-1326.
[37] Niranjan, T., Metri, B., & Aggarwal, V. (2009). Behavioral causes of the bullwhip effect: Breaking the mould. International. *Journal of Services and Operations Management, 5*(3), 350–374.
[38] Olsen, R. (1998). Behavioral finance and its implications for stock-price volatility. *Financial analysts journal, 54*(2), 10-18.
[39] Onggo, B., Proudlove, N., D'Ambrogio, S., Calabrese, A., Bisogno, S., & Levialdi Ghiron, N. (2018). A BPMN extension to support discrete-event simulation for healthcare applications: an explicit representation of queues, attributes and data-driven decision points. *Journal of the Operational Research Society, 69*(5), 788-802.
[40] Petropoulos, F., Fildes, R., & Goodwin, P. (2016). Do ―big losses" in judgmental adjustments to statistical forecasts affect experts' behaviour? *European Journal of Operational Research, 249*(3), 842–852.
[41] Petruzzi, N., & Dada, M. (1999). Pricing and the newsvendor problem: A review with extensions. *Operations research, 47*(2), 183-194.
[42] Ren, Y., & Croson, R. (2013). Overconfidence in newsvendor orders: An experimental study. *Management Science, 59*(11), 2502-2517.
[43] Schiffels, D. (2015). *Behavioral Operations: Experimental Insights into Inventory, Health Care, and Portfolio Planning.* Universität München.
[44] Schnusenberg, O., & Gallo, A. (2011). On cognitive ability and learning in a beauty contest. *Journal for Economic Educators, 11*(1), 13-24.
[45] Schweitzer, M., & Cachon, G. (2000). Decision bias in the newsvendor problem with a known demand distribution: Experimental evidence. *Management Science, 46*(3), 404-420.
[46] Shi, Y., & Lian, Z. (2016). Optimization and strategic behavior in a passenger–taxi service system. *European Journal of Operational Research, 249*(3), 1024–1032.
[47] Siebert, J., & Kunz, R. (2016). Developing and validating the multidimensional proactive decision-making scale. *European Journal of Operational Research, 249*(3), 864–877.
[48] Simon, H. (1955). A behavioral model of rational choice. *The quarterly journal of economics, 69*(1), 99-118.
[49] Simon, H. (1976). From substantive to procedural rationality. U *25 years of economic theory* (str. 65-86). Boston, MA: Springer.
[50] Sonnessa, M., Tànfani, E., & Testi, A. (2017). An agent-based simulation model to evaluate alternative co-payment scenarios for contributing to health systems financing. *Journal of the Operational Research Society, 68*(5), 591-604.
[51] Sterman, J., & Dogan, G. (2015). ―'I'm not hoarding, I'm just stocking up before the hoarders get here.": Behavioral causes of phantom ordering in supply chains. *Journal of Operations Management, 39*, 6-22.
[52] Su, X. (2008). Bounded rationality in newsvendor models. *Manufacturing & Service Operations Management, 10*(4), 566-589.
[53] Tokar, T., Aloysius, J., Williams, B., & Waller, M. (2014). Bracing for demand shocks: An experimental investigation. *Journal of Operations Management, 32*(4), 205-216.
[54] Tversky, A., & Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and uncertainty, 5*(4), 297-323.
[55] Ubøe, J., Andersson, J., Jörnsten, K., Lillestøl, J., & Sandal, L. (2017). Statistical testing of bounded rationality with applications to the newsvendor model. *European Journal of Operational Research, 259*(1), 251-261.
[56] Udenio, M., Vatamidou, E., Fransoo, J. C., & Dellaert, N. (2017). Behavioral causes of the bullwhip effect: An analysis using linear control theory. *IISE Transactions, 49*(10), 980-1000.
[57] Velez-Castiblanco, J., Brocklesby, J., & Midgley, G. (2016). Boundary games: How teams of OR practitioners explore the boundaries of intervention. *European Journal of Operational Research, 249*(3), 968–982.
[58] Wang, C., & Webster, S. (2009). The loss-averse newsvendor problem. *Omega, 37*(1), 93-105.
[59] Weber, M., & Borcherding, K. (1993). Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. *European Journal of Operational Research, 67*(1), 1–12.

PERFORMANCE ANALYSIS

ANALIZA PERFORMANSI

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PRIMENA KOMPOZITNOG INDEKSA U ANALIZI KOMPETENCIJA TRENERA IZ OBLASTI JAVNIH FINANSIJA

CREATING COMPOSITE INDICATORS FOR PUBLIC FINANCE TRAINER'S COMPETENCY ANALYSIS

SNEŽANA ABRAMOVIĆ[1], GORDANA SAVIĆ[2]

[1] Nacionalna akademija za javnu upravu, Beograd, snezana.abramovic@napa.gov.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, gordana.savic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Okvir kompetencija trenera i procena razvijenosti svake od kompetencija su od suštinskog značaja za unapređenje programa obuke a samim tim i na podizanje kapaciteta uprave. Svaka kompetencija je definisana određenim skupom indikatora koji je bliže definišu. Za potrebe ovog rada, ali i unapređenja kvaliteta rada Nacionalne akademije za javnu upravu Republike Srbije kreiran je upitnik za samoprocenu trenerskih kompetencija. Upitnik je distribuiran posebno trenerima iz oblasti javnih finansija ali i trenerima iz drugih oblasti. Prikupljeni podaci su analizirani deskriptivnom analitikom po svakom indikatoru a zatim je kreiran kompozitni indeks primenom kvantitativnih metoda. Zaključci do kojih se došlo predstavljaju analitičku osnovu za kreiranje naprednih programa obuke trenera kao i instrument za planiranje njihovog daljeg razvoja.*

Ključne reči: *javne finansije, okvir kompetencija trenera, indikatori kompetencija, kompozitni indeks*

Abstract: *The competency framework for the trainers and the assessment of each competence are essential for the improvement of the training program and also for the capacity building of the public administration. Each competence is defined by a specific set of indicators that defines it more closely. For the needs of this paper, as well as for the improvement of the quality of work of the National Academy for Public Administration of the Republic of Serbia, a questionnaire was created for the self-assessment of trainers' competencies. The questionnaire was distributed especially to trainers in the field of public finances and to the trainers from other fields as well. The collected data was analyzed with a descriptive analysis for each indicator, and then a composite index was created using quantitative methods. The conclusions is used as the analytical basis for creating advanced training programs for trainers as well as an instrument for planning their further development..*

Keywords: *public finances, trainers' competency framework, competence indicators, composite index.*

1. UVOD

Kompetencije predstavljaju očekivane veštine i ponašanja koji vode izvrsnosti u poslu koji se obavlja, odnosno veštine koje su ključne za efektivno obavljanje posla. S tim u vezi kompetencije trenera takođe podrazumevaju skup znanja, veština, stavova i sposobnosti koje treneri moraju da poseduju i primenjuju kako bi obezbedili i realizovali kvalitetnu obuku i stručno usavršavanje polaznicima. Imajući u vidu ulogu Nacionalne akademije za javnu upravu u Pregovaračkom poglavlju 32, posebno je važno učiniti napore u jačanje kapaciteta uprave u oblasti javnih finansija. Nacionalna akademija kao centralna institucija sistema stručnog usavršavanja u javnoj upravi Republike Srbije je posebno nadležna za organizovanje teorijske obuke o finansijskom upravljanju i kontroli, internoj reviziji, ali i za kontinuiranu profesionalnu edukaciju zaposlenih. U tom kontekstu, ulažu se veliki napori, najpre u domenu podizanja kapaciteta i akreditovanja većeg broja trenera u oblasti javnih finansija, a zatim i sprovođenje većeg broja treninga za zaposlene.

Treneri u javnoj upravi treba da poseduju dve vrste kompetencija: stručne i trenerske kompetencije. Prve se odnose na posedovanje znanja, veština i sposobnosti primene specifičnih znanja u određenoj stručnoj oblasti, a druge podrazumevaju posedovanje znanja, veština, stavova i sposobnosti koje omogućavaju treneru da sprovodi obrazovni proces. Samo jedinstvo ove dve vrste kompetencija trenera omogućava ostvarivanje ishoda učenja i razvoj kompetencija polaznika.

Stručno usavršavanje, kao i svaki proces sustreće se sa problemima upravljanja. Upravljanje između ostalog podrazumava i merenje učinka realizovanog procesa. Kao jedan vid merenja javlja se merenje

efikasnosti. Efikasnost se sastoji u ostvarivanju što većih efekata (izlaza) uz što manje uloženih inputa (ulaza). Efikasnost se može definisati i kao sposobnost da se željeni ciljevi postignu uz minimalno iskorišćenje raspoloživih resursa. Za razliku od efektivnosti koja predstavlja sposobnost da se odrede i dostignu pravi ciljevi, odnosno da se „rade prave stvari", efikasnost se sastoji u realizovanju tih ciljeva na „pravi način".

Kod entiteta koji koriste jedan ulaz za proizvodnju jednog izlaza ili kod entiteta koji imaju više ulaza i više izlaza, ali se oni mogu svesti na jedan ulaz i jedan izlaz efikasnost se definiše kao njihov količnik. Problem se javlja kod određivanja efikasnosti jedinica koje imaju više raznorodnih ulaza i koriste ih za stvaranje više raznorodnih izlaza, odnosno kod entiteta čiji se ulazi i izlazi ne mogu svesti na istu mernu jedinicu. U poslednjih nekoliko godina u praksi se za komparativnu analizu takvih srodnih entiteta sa zajedničkim ulazima i izlazima i procenu njihove relativne efikasnosti intenzivno koristi metoda „analiza obavijanja podataka". Analizu obavijanja podataka su razvili Charnes, Cooper i Rhodes da bi merili efikasnost poslovanja organizacionih jedinica i to pre svega onih koje ne stvaraju profit. Oni su ovu metodu nazvali Data Envelopment Analysis (DEA).

U ovom radu biće ukazano na mogućnost primene analize obavijanja podataka za potrebe kreiranja kompozitnog indeksa, sa posebnom primenom za ocenu razvijenosti trenerskih kompetencija. Drugo poglavlje opisuje koncept kompetencija, dok treće definiše primenu DEA metode pri kreiranju kompozitnog indeksa. Na kraju je dat primer primene DEA metode za kreiranje kompozitnog indeksa i primena na ocenu razvijenosti kompetencija trenera sa posebnim akcentom na kompetencije trenera iz oblasti javnih finansija.

2. KONCEPT KOMPETENCIJA

Kada govorimo o kompetencijama podrazumevamo očekivane veštine i ponašanja koji vode izvrsnosti u poslu koji se obavlja, odnosno veštine koje su ključne za efektivno obavljanje posla (OSCE, 2015). Uredba o određivanju kompetencija za rad državnih službenika ("Službeni glasnik RS", br. 4/2019 od 25.1.2019.) definiše kompetencije potrebne za rad državnog službenika kao skup znanja, veština, osobina, stavova i sposobnosti koje državni službenik poseduje, a koji oblikuju njegovo ponašanje i vode postizanju očekivane radne uspešnosti na radnom mestu.

Nacionalna akademija kao centralna institucija sistema stručnog usavršavanja u javnoj upravi Republike Srbije akredituje veliki broj trenera koji u njeno ime sprovode različite oblike stručnog usavršavanja. Velika pažnja se posvećuje održavanju kvaliteta pri sprovođenju stručnog usavršavanja, a kao jedna od aktivnosti na tom polju je svakako i osnaživanje trenera za još uspešniju realizaciju obuka.

Programska komisija za trening trenera kao stručno telo pri Nacionalnoj akademiji za javnu upravu, zaduženo za praćenje i razvoj trenera, definisla je Okvir trenerskih kompetencija (NAPA, 2019). Okvir trenerskih kompetencija definiše kompetencije kao model poželjnog ponašanja odnosno potrenih znanja i veština akreditovanih trenera pri Nacionalnoj akademiji. Prema tom konceptu, kompetencija je definisana kao složen koncept, koji pored znanja i veština, uključuje sposobnost ispunjavanja kompleksnih zahteva u konkretnom kontekstu.

Treneri u javnoj upravi treba da poseduju dve vrste kompetencija: stručne i trenerske kompetencije. Prve se odnose na posedovanje znanja, veština i sposobnosti primene specifičnih znanja u određenoj stručnoj oblasti, a druge podrazumevaju posedovanje znanja, veština, stavova i sposobnosti koje omogućavaju treneru da sprovodi obrazovni proces. Samo jedinstvo ove dve vrste kompetencija omogućava trenerima ostvarivanje ishoda učenja i razvoj kompetencija polaznika.

Okvir trenerskih kompetencija, prepoznaje sledeći set kompetencija:

- Planiranje i razvoj programa obuke
- Realizacija obuke (primena metoda i tehnika učenja odraslih i audio-vizuelnih sredstava)
- Upravljanje grupnom dinamikom i interakcijom
- Evaluacija kvaliteta obuke i samoevaluacija
- Orijentacija ka ličnom i profesionalnom razvoju
- Osim navedenih kompetencija, treneri koji učestvuju u razvoju kompetencija drugih trenera trebalo bi da poseduju i kompetenciju: Razvoj kompetencija trenera

Shodno Okviru trenerskih kompetencija, svaka od navedenih kompetencija definisana je skupom različitih indikatora koje je definišu i bliže određuju. Iz skupa indikatora, za potrebe analize trenerskih kompetencija, definisan je uži skup indikatora koji jednako dobro određuju i opisuju svaku od kompetencija. Ovaj uži skup indikatora predstavlja polaznu osnovu za analizu postojećeg stanja i kreiranje instrumenta za samoprocenu trenerskih kompetencija.

Nakon definisanja skupa poželjnih kompetencija i izbor indikatora iz datog skupa koji ih bliže određuju, odnosno definisanja profila idealnog trenera, kao naredna faza nameće se istraživanje i sagledavanje kapaciteta postojećih trenera.

3. PRIMENA DEA METODE PRI KREIRANJU KOMPOZITNOG INDEKSA

Analiza obavijanja podataka (DEA metoda) je tehnika matematičkog programiranja koja omogućuje da se utvrdi da li je svaki od entiteta, na osnovu podataka o njegovim ulazima i izlazima, efikasan ili nije relativno prema drugim entitetima uključenim u analizu. Posmatrani entitet je efikasan ako njegove ulaze nije moguće obaviti odozdo sa ulazima preostalih jedinica (nije moguće proizvesti tekući nivo izlaza sa manjom količinom ulaza), kao i ako nije moguće njegove izlaze obaviti odozgo (nije moguće proizvesti više izlaza sa datim nivoom ulaza). Granicu efikasnosti čini skup međusobno povezanih segmenata svih efikasnih entiteta i ona predstavlja obvojnicu kojom su sve neefikasne jedinice obavijene. U zavisnosti koji je model analize obavijanja podataka korišćen, granica efikasnosti je u obliku konveksnog konusa ili konveksog omotača. Za svaki neefikasni entitet na osnovu njegovog rastojanja od granice efikasnosti određuje se sadržaj i nivo neefikasnosti za svaki od ulaza i izlaza.

Mera efikasnosti koju daje analiza obavijanja podataka je relativna mera, jer zavisi od toga koji su i koliko je entiteta uključeno u analizu, kao i od broja i strukture ulaza i izlaza. Pri tome, ova mera ne zavisi od jedinica mere u kojima su podaci o ulazima i izlazima izraženi, jedino svaki od njih pojedinačno mora biti izražen u istoj jedinici za sve entitete.

Analiza obavijanja podataka je trenutno jedna od najuspešnijih i najpopularnijih oblasti operacionih istraživanja sa širokim rasponom primena. U početku metoda je korišćena za merenje efikasnosti vladinih organizacija, javnih ustanova i drugih neprofitnih organizacija, a kasnije je polje njene primene veoma prošireno. Do sada su najuspešnije primene analize obavijanja podataka realizovane u ocenjivanju performansi bankarskih filijala, škola, departmana na univerzitetu, poljoprivrednih dobara, zdravstvenih i socijalnih ustanova, vojnih službi, ekonomskih celina (regiona), itd.

Prema Savić i Martić (2017) kompozitni indeksi su u poslednje vreme postali veoma popularni i u širokoj upotrebi kada se radi o poređenju performansi različitih jedninica (entiteta). Ovi indeksi su veoma korisni jer omogućavaju širokoj javnosti lako upoređivanje kompleksnih pitanja. Pokazalo se veoma jednostavnim poređenje vrednosti kompozitnih indeksa u odnosu na praćenje trendova pojedinačnih indikatora. Sa druge strane, kompozitni indeksi mogu poslati zbunjujuće poruke ukoliko nisu konstruisani ili izračunati na pravi način.

Rešavanje DEA modela vodi do agregatnih indeksa čija je relativna efikasnost između 0 i 1 (Cook i Seiford, 2009). Ovo znači da je problem normalizacije rešen i da donosioci odluka ne moraju da se odliče za jedan od metoda optimizacije podataka. Indeks efikasnosti za svaku od DMU se računa na osnovu vrednosti ulaza i izlaza kao i dodeljenih težina. Težine nisu unapred određene a svaka DMU određuje svoj set težina u cilju dobijanja najveće efikasnosti. Na ovaj način je rešen problem otežavanja podataka i agregacije indikatora u jedan kompozitni indeks.

„Benefit of the doubt“ DEA model

„Benefit of the doubt“ DEA model je izuzetno koristan pri konstruisanju kompozitnih indikatora jer zadržava sve prednosti DEA modela i omogućava donosiocima odluka da procene kompozitni indikator samo na osnovu posmatranog skupa podataka i indikatora. Takođe, nije neophodno a priori dodeljivanje težina a svaka DMU je prikazana u najboljem svetlu, odnosno sa najboljim vrednostima. Dodatno nije potrebno određivati model agregacije komponenata koje čine indikator jer se on automatski rešava uporedo sa rešavanjem DEA modela. Sa druge strane kod ovakvih modela je nemoguće razdvojiti i rangirati efikasne jedinice, odnosno svakoj efikasnoj DMU sistem dodeljuje istu vrednost 1. Takođe, kvalitativne podatke nije moguće porediti pri upotrebi ovih modela, jer DEA modeli obrađuju isključivo pozitivne kvalitativne podatke. Dodatno, DEA modeli ne uzimaju u obzir nepoželjne izlaze kao što su oni koji imaju negativan uticaj na vrednost DMU.

Kompozitni indeks „Indeks humanog razvoja“ (Human Development Index, 2019) predstavlja indeks kreiran od strane Programa Ujedinjenih nacija za razvoj (UNDP) i meri socioekonomski razvoj zemalja sveta kroz tri glavne dimenzije: životni vek, znanje i životni standard. Svaka od ovih dimenzija je predstavljena kao agregacija nekoliko komponenti. Po tom principu su kreirani i mnogi drugi kompozitni indikatori koji prate na primer: održivi razvoj, informatičko društvo i slično. Zajedničko za sve kompozitne indekse jeste da svi indikatori koji ih sačinjavaju prikazuju pojedine vrednosti posmatranog seta. Kod ovakvog modela svaki indikator koji sačinjava kompozitni indeks predstavlja izlaz iz sistema bez obzira da li ima pozitivan ili

negativan uticaj na sistem. Uzimajući sve navedeno u obzir, DEA modeli su modifikovani da obuhvate i komponente kompozitnih indeksa, na taj način što uvode veštačku varijablu sa vrednošću 1 i više izlaza sa normalizovanim ili neobrađenim podacima. Na ovaj način je kreirana cela grupa takozvanih „Benefit of the doubt“ DEA modela:

$$(\max) h_k = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} \quad (1)$$

p.o.

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} \leq 1, j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$u_1, \dots, u_s \geq 0 \quad (3)$$

Ovaj model omogućava najpoželjniji rezultat svake DMU a vrednost h_k predstavlja razliku između vrednosti DMU i najbolje jedinice (bencmark).

4. PRIMENA KOMPOZITNOG INDEKSA U ANALIZI KOMPETENCIJA TRENERA IZ OBLASTI JAVNIH FINANSIJA – EMPIRIJSKA STUDIJA

U cilju prikupljanja podataka kreiran je upitnik za samoprocenu kao vid procene koji predstavlja veoma značajan instrument za brzo i jednostavno prikupljanje podataka. Ovaj upitnik se zasniva na uvidima trenera o svojim znanjima i sposobnostima što predstavlja dobar izvor podataka sa jedne strane ali istovremeno razvijenost samouvida trenera o svojim znanjima i veštinama predstavlja i ograničavajući faktor. Kao i svaki vid procene, i ovaj metod sadrži određenu dozu subjektivnosti. Kod metoda samoprocena ovaj faktor je izraženo dominantan i uvek ga treba imati u vidu kod analiziranja podataka. Takođe, iskrenost ispitanika predstavlja aspekt koji se mora uzeti u obzir pri analiziranju podataka. Kod ovakvih vrsta istraživanja ispitanici često teže davanju pozitivnijih i poželjnijih odgovora.

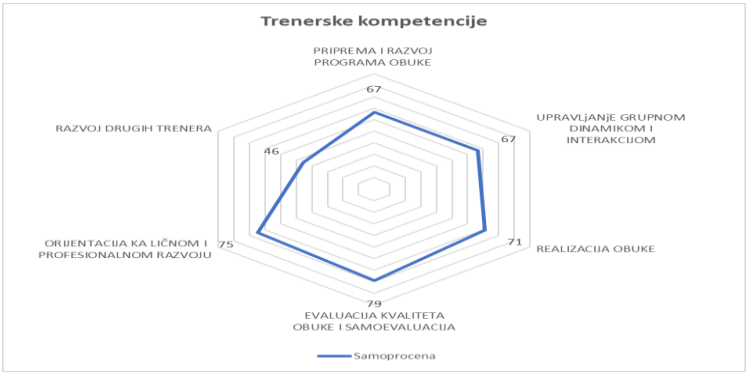
Upitnik je poslat 171 treneru, odnosno samo onima koji su aktivni u ovom trenutku i koji su učestvovali u internom pozivu za akreditovane realizatore. Interni poziv se raspisuje za prethodno akreditovane trenere (realizatore) i to za teme čija je realizacija planirana u narednom periodu. Prikupljeno je 113 odgovora, što predstavlja odziv od 66%, odnosno umnogome veći odziv od proseka za ovakav vid istraživanja. Ukupno 34 ispitanika je akreditovano za oblast javnih finansija.

Što se tiče analize pojedinačnih indikatora, primenjena je deskriptivna statistika a ocene svih indikatora su generalno veoma visoke, sa ukupnom srednjom vrednošću (Mean) od 3,47 (na skali od 1 do 4). Indikator koji proverava etički kodeks i pristup trenerskom radu je najbolje ocenjen od strane većine trenera. Čak 102 trenera je ovaj indikator procenilo ocenom 4. Od prvih pet najbolje ocenjenih indikatora, čak četiri predstavljaju indikatore kompetencije Orjentacija ka ličnom i profesionalnom razvoju. Najlošije procenjeni indikatori (sa vrednošću Mean manjom od 3) su uglavnom u vezi sa kompetencijom Razvoj drugih trenera, što je i razumljivo, s obzirom da nisu svi treneri koji su popunjavali upitnik stručnjaci i za trening trenera.

Kada se posmatraju odgovori trenera iz oblasti javnih finansija, primećuje se da je ukupna prosečna ocena i za ovu grupu visoka (prosek=3,40), mada je nešto niža od ukupne prosečne vrednosti za sve ispitanike. Ovo svakako ukazuje da su treneri iz oblasti javnih finansija strožiji u sagledavanju svojih kompetencija. I kod ove grupe ispitanika, indikator koji prati etičke kodekse i standarde je najbolje ocenjen. Najlošije ocenjeni indikatori (sa srednjom vrednošću manjom od 3) za ovu grupu trenera se takođe odnose na razvoj drugih trenera. Pored toga, indikator koji se odnosi na primenu različitih metoda evaluacije i samoevaluacije je takođe veoma nisko ocenjen sa takođe niskom standardnom devijacijom, što ukazuje da je najvići broj trenera ovaj indikator nisko procenio. Ovaj nalaz je svakako značajan i biće korišćen za dalji razvoj progama obuke. S obzirom da se radi o veoma važnom indikatoru koji ukoliko se ne razvija može uzrokovati stagnaciju u razvoju kompetencija, sigurno će u narednom periodu veća pažnja biti posvećena kako programima razvoja, tako i promociji važnosti ovog indikatora. Smatramo da sprovedeno istraživanje može pomoći u podizanju svesti trenera o značaju različitih metoda evaluacije i samoevaluacije.

Svaka od posmatranih kompetencija je definisana kao skup posebno odabranih šest indikatora, a njihove vrednosti su računate kao prosečna vrednost svih indikatora koji je opisuju prikazano u procentima. Imajući u vidu prikupljene rezultate, sve kompetencije su veoma dobro procenjene (čak iznad 85%, osim kompetencije Razvoj drugih trenera koja je u proseku procenjena preko 76%). U proseku je najbolje procenjena kompetencija Orijentacija ka ličnom i profesionalnom razvoju dok je najlošije procenjena kompetencija Razvoj drugih trenera. Isti trend je uočljiv i kod trenera iz oblasti javnih finansija. Kao i kod pojedinačnih indikatora, i kod kompetencija se oseća nešto strožija samoprocena kod trenera iz oblasti javnih

finansija, osim kod kompetencije Razvoj drugih trenera koja je u proseku bolje procenjena od strane trenera u oblasti javnih finansija.



Grafikon 1: Prikaz vrednosti kompetencija dobijene samoprocenom ispitanika

Model koji je razvijen predstavlja kompozitni indeks kreiran primenom kvantitativnih metoda i razvijen u skladu sa standardima i preporukama međunarodne Organizacije za ekonomsku saradnju i razvoj (OECD, 2008). Za kreiranje kompozitnog indeksa primenjena je DEA metoda, stoga normalizacija podataka nije rađena. Takođe, otežavanje podatka je vršeno automatski, paralelno sa rešavanjem DEA metode. Od prikupljenih podataka na nivou kompetencija kreiran je kompozitni indeks. Prikupljeni podaci su analizirani u softverskom paketu DEA-Solver Pro. V13.0. Primenjena je radijalna metoda CCR-O a zatim i neradijalna metoda SBM kao realnija mera za dati istraživački problem.

Podaci dobijeni CCR metodom ukazuju da indikatori imaju visoku značajnost s obzirom da nisu visoko korelisani (u rasponu od 0,33 do 0,78). Ukupno je čak 50 jedinica (DMU) efikasno. Prema primenjenom modelu sve jedinice koje imaju bar jednu kompetenciju procenjenu sa 100% predstavljaju efikasnu jedinicu.

Ako se posmatraju težinski faktori za ceo skup (za sve procenjivane trenere) može se uočiti da je kod svake posmatrane jedinice (procenjenog trenera) izdvojena po jedna kompetencija koja ima vrednost oko 0,01 dok ostale imaju vrednost 0. To ukazuje da je izdvojena kompetencija u stvari najbolja za posmatranog trenera relativno u odnosu na posmatrani skup. Posmatrani treneri mogu imati još neku kompetenciju takođe visoko procenjenu (čak i sa 100%) ali označena kompetencija ga izdvaja od drugih trenera i čini njegovu komparativnu prednost. Ovo važi i za neefikasne jedinice, odnosno izdvojena kompetencija je ona koja ima vrednost oko ili iznad proseka. Kompetencija Priprema i razvoj programa obuke kod najvećeg broja trenera predstavlja najbolju kompetenciju zatim slede Orijentacija ka ličnom i profesionalnom razvoju i Upravljanje grupnom dinamikom i interakcijom.

Primenjena metoda nam takođe omogućava da projektujemo najbolje vrednosti za svaku posmatranu jednicu, odnosno da se proceni za koliko je potrebno unaprediti bar jedan od indikatora kako bi jedinica postala efikasna. Ovako primenjeni model projektovanja vrednosti se može koristiti kao osnova za preporuke za unapređenje kompetencija svakog od trenera i kao osnova za kreiranje plana ličnog razvoja trenera.

Ukoliko posmatramo samo skup trenera akreditovanih za oblast javnih finansija, dobijamo nešto drugačije rezultate s obzirom da DEA metoda izračunava efikasnost relativno u odnosu na druge posmatrane jedinice. Efikasno je 10 od ukupno 34 posmatrane jedinice što predstavlja nešto manji udeo u odnosu na rezulate dobijene kada se model primenjuje na sve posmatrene jedinice. Ako se posmatraju težinski faktori za ove trenere, uočava se da se za trenere najčešće ne izdvaja po jedna kompetencija koja čini njegovu komparativnu prednost (težina koja ima vrednost jednaku 0,01), već se javlja skup kompetencija koje su zastupljene u manjoj ili većoj meri i koje u stvari predstavljaju skup dominantnih kompetencija za posmatranag trenera. Ovako dobijeni model je svakako kompleksniji i realniji jer označava da sve prikazane kompetencije ulaze u sastav najboljeg skupa, za razliku od modela dobijenog nad skupom svih trenera gde uglavnom samo jedna kompetencija predstavlja komparativnu prednost trenera. Što se tiče preporuka za unapređenje kompetencija dobijenih ovom metodom za trenere u oblasti javnih finansija i one se u manjoj meri razlikuju od preporuka dobijenih kada se posmatra skup svih trenera. Odnosno, projektovane vrednosti kompetencija su nešto niže u odnosu na projektovane vrednosti za skup svih trenera, samo iz razloga što su i prosečne vrednosti kompetencija dobijene samoprocenom trenera nešto niže. I ovo možemo tumačiti time da su treneri iz oblasti javnih finasnija po prirodi posla nešto realniji u proceni, pa tako i u samoproceni svojih trenerskih kompetencija

U proseku najbolje procenjena kompetencija je Orijentacija ka ličnom i profesionalnom razvoju i ona zahteva najmanje unapređenja kako bi jedinica postala efikasna. Ovaj nalaz je izuzetno značajan jer ukazuje na potrebu svih trenera za unapređenjem i razvojem, što svakako doprinosi unapređenju i razvoju

celokupnog sistema stručnog usavršavanja. Najveće potrebno unapređenje je kod kompetencije Razvoj drugih trenera kako kod celokupnog posmatranog skupa, tako i kod trenera u oblasti javnih finansija.

S obzirom da se sprovedenim istraživanjem sagledavaju kompetencije trenera i da nam nije potrebna projekcija koju kompetenciju trener treba da unapredi kako bi bio konkurentniji među drugima već da nam je potreban model koji sagledava da li postoji mogućnost za unapređenjem svih kompetencija do njihovog maksimuma od 100% u analizi je primenjena i SBM neradijalna metoda koja upravo procenjuje da li postoji mogućnost da se svaka pojedinačna kompetencija unapredi do 100%. Ova metoda uzima u obzir razliku do maksimalne vrednosti za svaku kompetenciju. Kada primenimo SBM model na posmatrani skup svih trenera dobijamo očekivano drugačije rezultate. Samo 4 jedinice (DMU) je efikasno. Prema primenjenom modelu za svaku jedinicu se procenjuje mogućnost za unapređenje kompetencija i uzima u obzir razlika do maksimalne vrednosti od 100 i upravo iz tog razloga je samo 4 jedinice efikasno, odnosno nema potrebe za unapređenjem. Ovako dobijeni rezultati ukazuju na to da je SBM metoda diskriminatornija u odnosu na CCR metodu. Dodeljene težine za svaku kompetenciju određuju značajnost te kompetencije za posmatranog trenera. Najveća značajnost se dodeljuje kompetenciji koja je najbolja. U ovom slučaju, za efikasne jedinice sve kompetencije imaju težinu 10 odnosno podjednako su izražene. Sa druge strane u posmatranom skupu, postoji više jedinica koje imaju posebno izraženu jednu ili više kompetencija. Ako posmatramo samo neefikasne jedinice uočićemo da se kompetencija Upravljanje grupnom dinamikom i interakcijom u najvećem broju slučajeva javlja kao dominantna kompetencija kod trenera, dok kompetencija Razvoj drugih trenera nije dominantna ni kod jednog neefikasnog trenera.

Ukoliko posmatramo samo skup trenera akreditovanih za oblast javnih finansija, primenom SBM modela dobijamo takođe nešto drugačije rezultate. Ponovo je efikasno nešto manje jedinica, odnosno samo 6 od ukupno 34 trenera. U posmatranom skupu, efikasne jedinice imaju različite dominantne kompetencije ali se kod svih javlja Orijentacija ka ličnom i profesionalnom razvoju.

5. ZAKLJUČAK

Imajući u vidu sve napred navedeno, može se zaključiti da je kreirani kompozitni indeks odovarajući i da može poslužiti kao dobar alat za donošenje zaključaka i analitička osnova za dalje unapređenje procesa stručnog usavršavanja, za razvoj novih programa obuke, dalje usavršavanje trenera kao i postavljanje standarda i idealnog profila trenera kome se teži.

Istraživanje koje je spovedeno je naročito značajno i daje veliki doprinos celoj oblasti stručnog usavršavanja, s ozirom da je prvo takve vrste koje se primenjuje za analizu trenerskih kompetencija, a razvijeni model se svakako može primeniti i kasnije i u drugim oblastima. Model koji je razvijen predstavlja kompozitni indeks kreiran primenom kvantitativnih metoda i razvijen u skladu sa standardima i preporukama međunarodne Organizacije za ekonomsku saradnju i razvoj (OECD).

Cilj rada je u potpunosti ostvaren, odnosno utvrđen je stepen razvijenosti trenerskih kompetencija iupoređene su kompetencije trenera iz oblasti javnih finansija sa trenerima akreditovanim za ostale oblasti.

U okviru istraživanja dobili smo dobru analitičku osnovu za razvoj naprednih programa obuke trenera, i alat za kreiranje individualnih planova razvoja i programa obuka.

Istraživanje je takođe doprinelo i da treneri na sistematičan način promisle o svakoj kompetenciji, da dobiju povratnu infomaciju o svojim rezultatima i na taj način osveste svoje jake strane ali i definišu kompetencije koje treba da unaprede.

LITERATURA

[1] Cook W. D., Seiford L. M. (2009). Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on. European Journal of Operational Research, 1-17.

[2] Cooper W. W., Seiford L. M., Tone K., (2006). Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses: With DEA-Solver Software and References. Springer US.

[3] Savić, G., Martić, M., (2017). Composite Indicators Construction by Data Envelopment Analysis: Methodological Background. Emerging Trends in the Development and Application of Composite Indicators, 98-126.

[4] Handbook on Constructing Composite Indicators METHODOLOGY AND USER GUIDE. (2008). OECD.

[5] Human Development Index. (2019, 05 19). Retrieved from UNDP: http://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi

[6] Okvir trenerskih kompetencija. (2019). Nacionalna akademija za javnu upravu.

[7] Our competency model, Handbook. (2015). Organization for Security and Co-operation.

[8] Uredba o određivanju kompetencija za rad državnih službenika. ("Službeni glasnik RS", br. 4/2019 od 25.1.2019.).

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PRIMENA INTEGRISANOG PRISTUPA ANALITIČKOG MREŽNOG PROCESA I ANALIZE OBAVIJANJA PODATAKA: PREGLED LITERATURE

APPLICATION OF AN INTEGRATED APPROACH TO ANALYTIC NETWORK PROCESS AND DATA ENVELOPMENT ANALYSIS: LITERATURE REVIEW

JELENA NOVAKOVIĆ[1]

[1]Fakultet organizacionih nauka, Beograd, jekanovakovic@gmail.com

Rezime: *Ovaj rad ima za cilj da pruži pregled literature primene integrisanog pristupa dveju metoda: Analitičkog mrežnog procesa (ANP) i Analize obavijanja podataka (DEA), koji služi za rešavanje širokog spektra problema iz stvarnog života. Ovaj pristup daje pouzdanije rezultate i uzima prednosti ANP i DEA tehnika. Nalazi su pokazali da se rangiranje jedinica o kojima se odlučuje (DMU) razlikuje, a diskriminaciona moć DEA modela raste. ANP-DEA integrisani pristup pruža metodologiju donosiocima odluka da uključe menadžerske procene i preferencije u okvir za merenje efikasnosti u kome se koristi neparametarska DEA.*

Ključne reči: *Analitički mrežni proces (ANP), Analiza obavijanja podataka (DEA), metode višekriterijumskog odlučivanja (MCDM), pregled literature.*

Abstract: *This paper aims to provide a literature review of the application of the integrated approach of two methods: Analytic Network Process (ANP) and Data Envelopment Analysis (DEA), which provides to solve a wide range of real-life problems. This approach produces more reliable results and takes advantage of ANP and DEA techniques. The findings showed that the ranking of decision-making units (DMUs) differand the discriminatory power of the DEA model increases. The ANP-DEA integrated approach provides a methodology for decision makers to incorporate managerial judgments and preferences into the efficiency measurement framework in which a nonparametric DEA is employed.*

Keywords: *Analytic network process(ANP), Data envelopment analysis(DEA), multi-criteria decision making (MCDM) methods, literature review.*

1. UVOD

Analiza obavijanja podataka (DEA) je jedna od najpopularnijih matematičkih metoda u kontekstu operacionih istraživanja. DEA je neparametarska metoda optimizacije koja meri relativnu efikasnost jedinica o kojima se odlučuje (DMU) sa više ulaza i više izlaza (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978). DMU mogu da uključuju firme, neprofitne organizacije, odeljenja ili ogranke organizacija, ili čak pojedince. Originalna metoda DEA ne vrši potpuno rangiranje, ona samo daje klasifikaciju u dve dihotomne grupe: efikasne i neefikasne (Golany, 1988). Ne rangira ih, sve efikasne jedinice su podjednako dobre u Pareto smislu. Za preciznije rangiranje, istraživači su počeli da koriste integrisane pristupe MCDM metoda.

Iako je DEA moćno sredstvo u identifikovanju efikasnih jedinica, on ima dva međusobno povezana problema nerealnu disperziju težine i nedostatak diskriminacione moći. Kod DEA metode, DMU mogu slobodno birati težine koje će se dodeliti svakom ulazu i izlazu na način da se maksimizira njegova relativna efikasnost. Dozvoliti DMU-u da traži maksimalnu efikasnost odabirom mešavine težina je nepraktično, jer ili ignoriše relevantne kriterijume ili nije u skladu sa stručnim procenama. Utvrđeno je da potpuna fleksibilnost težine u DEA može dovesti do neprihvatljivih rezultata efikasnosti. Da bi se prevazišla ova ograničenja kod DEA, mnogi autori predlažu integraciju sa drugim metodama.

DEA je jedna od najvažnijih metoda za merenje performansi, dok je ANP, široko primenjen za donošenje odluka, precizniji u međuzavisnim situacijama, smatra se da je jedno od izvodljivijih i tačnijih rešenja za generisanje pondera kriterijuma za izbor. Donošenje odluka je postupak odabira alternative, iz niza dostupnih, koje rešavaju dati problem. Mnogi istraživači su otkrili sličnosti između DEA i MCDM, te preporučuju pristup DEA-ANP kako bi eliminisali nedostatak u DEA modelu, cele hijerarhije i subjektivne procene u ANP.

2. ANALIZA OBAVIJANJA PODATAKA (DEA)

DEA je neparametarski pristup zasnovan na linearnom programiranju za merenje relativne efikasnosti organizacionih jedinica, koje se nazivaju jedinice o kojima se odlučuje (DMU), koristeći za proizvodnju više raznorodnih izlaza više raznorodnih ulaza. DEA se široko koristi da uzme u obzir više kriterijuma u problemima donošenja odluka. DEA-u su prvi predložili Charnes-Cooper-Rhodes 1978. g. (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978) na osnovu Farrellove proizvodne granice (Farrell, 1957). DEA model (koji se naziva CCR model) koji su predložili Charnes-Cooper-Rhodes pretpostavlja stalni povratak na skali (CRS). Uklanjanjem pretpostavke konstantnog povrata na skali i omogućavanjem promenljivih povrata u skali (VRS) proizvodnih jedinica, Banker, Charns i Cooper (Banker, Charnes, & Cooper, 1984) su proširili model CCR i novi BCC model bio je u stanju da dekomponuje tehničku efikasnost i efikasnost obima DMU-a.

Kao popularna metoda DEA se široko koristi za rangiranje i klasifikaciju DMU-a. DEA se bavi klasifikovanjem jedinica u dve kategorije, efikasna i neefikasna, zasnovana na dva skupa više izlaza koji pozitivno doprinose celokupnoj proceni. DEA se može koristiti sa nepreciznim podacima, koji se mogu izraziti intervalnim ili fuzzy brojevima (Saen, 2009).

Implementacija DEA metode može se podeliti u četiri osnovne faze: (1) izbor jedinica o kojima se odlučuje; (2) izbor ulaza i izlaza; (3) rešavanje DEA modela i (4) analiza i tumačenje rešenja (Martić, 1999). DEA metodu široko koriste mnogi istraživači: (Azadi, Jafarian, Saen, & Mirhedayatian, 2015), (Haghighi, Torabi, & Ghasemi, 2016), (Zhou, Pedrycz, Kuang, & Zhang, 2016).

3. ANALITIČKI MREŽNI PROCES (ANP)

Analitički mrežni proces (ANP) je sveobuhvatna tehnika donošenja odluka koja beleži ishod zavisnosti između kriterijuma (Saaty, 1996). Analitički hijerarhijski process (AHP) služi kao polazište za ANP. ANP metoda je modifikovana metoda zasnovana na AHP metodi, kako bi se izbeglo hijerarhijsko ograničenje u analitičkom hijerarhijskom procesu. Saaty (Saaty, 2008) je u svom radu prikazao razliku između ANP i AHP. U klasičnom AHP modelu elementi su sortirani kao hijerarhijska struktura i pretpostavlja se da su nezavisni jedni od drugih, bez međusobnih povratnih veza. Međutim, mnogi problemi odlučivanja ne mogu se hijerarhijski strukturirati, jer uključuju interakciju i zavisnost elemenata višeg nivoa u hijerarhiji od elemenata nižeg nivoa.ANP metoda opisuje odnose među elementima u ravnom mrežnom obliku i uključuje međusobno zavisan i povratni odnos između elemenata, tako da model može biti bliži realnim problemima pri donošenju odluka. Težine kriterijuma dobijenih od ANP-a su preciznije i razumljivije (Liu, Liu, & Qin, 2018).

Međutim, postoji nekoliko nedostataka u samostalnoj ANP metodi. Jedna od njih je i pretpostavka da svaki kriterijum ima istu težinu. Ova pretpostavka nije razumna, jer težina svakog kriterijuma ima veliku mogućnost da se razlikuje jedna od drugih. Još jedan nedostatak ANP-a je što istraživanje procene uključuje previše parnih poređenja. To može dovesti do nedosledne procene, što zahteva mnogo vremena i teško je prevesti.

Veliki broj istraživanja primenio je ANP za rešavanje izbora dobavljača, (Liao, Chang, & Tseng, 2010), (Büyüközkan & Çifçi, 2011), a takođe je primenjen i u mnogim drugim oblastima: koncept (QFD) (Ertay, Akyol, & Araz, 2011), odabir optimalnih lokacija (Hsu P. F., 2010), (Bottero & Ferretti, 2010), energetskoj industriji (Ergu, Kou, Shi, & Shi, 2014), procena performansi (Hu, Wang, & Wang, 2012).

4. INTEGRACIJA METODA ANP I DEA SA DRUGIM MCDM METODAMA

Mnogi modeli matematičkog programiranja ili pristupi donošenja odluka, kao što su MOP (Babbar & Amin, 2018), ciljno programiranje (Wey & Wu, 2007) i TOPSIS (Kuo, Hsu, & Chen, 2015), integrisani su u ANP za efikasno rešavanje problema višekriterijumskog odlučivanja. Integrisane metodologije se široko koriste. DEA, matematičko programiranje i AHP su prva tri pristupa koja se pojedinačno koriste. Među integrisanim pristupima najčešće se koristi AHP-GP pristup (Ho, Xu, & Dey, 2010).

Na primer, Rouyendegh (Rouyendegh D. B., 2011) je predložio hibridni model zasnovan na TOPSIS i DEA za procenu DMU. Wu (Wu D. , 2009) je razvio novi hibridni model koji uključuje DEA, stablo odlučivanja, i ANN (veštačke neuronske mreže) za procenu dobavljača. Toloo i Nalchigar (Toloo & Nalchigar, 2011) su razvili novi integrisani DEA model sa sposobnošću pronalaženja najefikasnijih dobavljača.

Metoda ANP je integrisana sa mnogim drugim MCDM metodama: TOPSIS (Dağdeviren, 2010), DEMATEL (Tseng, 2010), (Chatterjee, Pamucar, & Zavadskas, 2018), VIKOR (Liu, Liu, & Qin, 2018), AHP (Bottero, Comino, & Riggio, 2011), PROMETHEE (Tuzkaya, Ozgen, Ozgen, & Tuzkaya, 2009). U cilju rešavanja različitih pitanja: izbor dobavljača (Lin, 2009), (Büyüközkan & Çifçi, 2012), (Tavana,

Yazdani, & Di Caprio, 2017), telekomunikacione usluge (Oh, Suh, Hong, & Hwang, 2009), izbor lokacije (Chang, Liao, Tseng, & Liao, 2015), farmaceutska industrija (Tavana, Khalili-Damghani, & Rahmatian, 2015), vazdušni saobraćaj (Bongo & Alimpangog, 2018).

5. PRIMENA INTEGRISANOG PRISTUPA ANP I DEA

Integrisanje ANP i DEA prvi je izveo Sarkis (Sarkis, 1999) za procenu ekoloških proizvodnih programa. Rezultati CCR, RCCR i RCCR / AR sa ograničenjima težine dobijeni ANP-om predstavljeni su i upoređeni u studiji, i pokazali su da se preferencije menadžmenta, kada su integrisane sa podacima u DEA modelu, razlikuju od ocene efikasnosti i rangiranja DMU-a. Talluri i Sarkis (Talluri & Sarkis, 2002) koristili su ANP i DEA pristup kako bi procenili uspešnost 10 projekata unapređenja poslovnih procesa (BPI). Tohumcu i Karasakal (Tohumcu & Karasakal, 2010) ocenili su, koristeći ANP i DEA, performanse 15 tekućih projekata istraživanja i razvoja pri institutu odbrane. Lin (Lin H. T., 2010) je koristio ANP i fuzzy DEA integrisani pristup za izbor osoblja i predstavio simulaciju u izboru inženjera elektrotehnike među osam kandidata u kompaniji za proizvodnju električne i mašinske opreme. Kuo i koautori (Kuo, Wang, & Tien, 2010) predstavili su okvir za procenu performansi 12 mehaničkih zelenih dobavljača i u skladu s tim je ugradio ANP težine DEA procenama, nakon što su utvrdili dimenzije performansi VNN.

U novijoj studiji Kuo-a i Lin-a (Kuo & Lin, 2012) pristup ANP-DEA korišćen je za izbor zelenog dobavljača. Kriterijumi izbora utvrđeni u studiji grupisani su u četiri dimenzije: organizaciona struktura i sposobnost proizvodnje, sposobnost primene dobavljača, sisteme kvaliteta i pitanja životne sredine. Predloženi metod se zasniva na DEA CCR modelu i ANP, koji razmatra međuzavisnost između kriterijuma. Ovo uklanja ograničenje DEA-e da korisnici ne mogu da postave svoje preferencije težina kriterijuma. Predloženi metod evaluacije rešava i ograničenje broja DMU-a. Kriterijumi u ANP nude konzistentnije rangiranje od onog u AHP koji može dovesti do preokreta ranga. Koristeći ukupno 15 kriterijuma u ovim dimenzijama kao ulaza i izlaza DEA, procenjena je efikasnost ANP težina za određivanje granice ulaznih i izlaznih promenljivih.

Khadivi i Ghomi (Khadivi & Ghomi, 2012) integrisali su ANP i DEA radi procene alternativa na lokaciji za postrojenja za čvrsti otpad. Sheikhrabori i koautori (Sheikhrabori, Shirazi, Jahanbin, & Ave, 2012) su takođe primenili ANP i DEA, za najbolji izbor portfelja među 15 investicionih predloga u elektronskoj kompaniji. Mazumder i koautori (Mazumder, Kabir, Hasin, & Ali, 2018) su razvili okvir za podršku odlučivanju integrišući ANP i DEA za rešavanje problema merenja produktivnosti i benchmarking-a u proizvodnom okruženju. ANP je korišćen da bi se utvrdila međuzavisnost između kriterijuma. DEA pristup korišćen je za određivanje konstantnog prinosa na obim usmerenog na efikasnost različitih proizvodnih jedinica sa dodatom vrednošću i njihovo upoređivanje. Predloženi okvir primenjen je za ocenjivanje produktivnosti proizvodnje odeće.

Malo je pokušaja za merenje složenosti inženjerskih projekata. U tom kontekstu autori Cui i Fang (Cui & Fang, 2015) predlažu integraciju ANP i DEA metode. Prvi korak u procesu je identifikovanje kriterijuma, podkriterijuma i njihovih međusobnih zavisnosti koji će se koristiti za merenje složenosti u inženjerskim projektima. Usvojena metoda u ovom koraku je ANP. Drugi korak je merenje složenosti inženjerskog projekta korišćenjem DEA metode. Predloženi hibridni DEA-ANP pristup ublažava nedostatak potpunog ocenjivanja u DEA i subjektivne procene u ANP metodi i pruža uvid u relativni nivo složenosti inženjerskih projekata.

Sistem za pružanje usluge proizvodu (PSS) se pojavio kao koncept za održavanje funkcionalnosti proizvoda tokom njegovog celog životnog ciklusa, koji podržava fizički proizvod zajedno sa odgovarajućim uslugama. Rezultat QFD-ANP analize je kolekcija početnih važnosti težina EC-a (Engineering characteristics) obzirom na zahteve klijenta. Geng i koautori (Geng, Chu, Xue, & Zhang, 2010) u radu predlažu pristup davanju prioriteta EC-ovima PSS-a korišćenjem ANP i DEA. Ovaj pristup se sprovodi kroz dva koraka: (1) određivanje početne važnosti težina EC koje uzimaju u obzir zahteve kupaca zasnovani na super-matričnom pristupu ANP, (2) dobijanje konačne težine EC-a uzimajući u obzir zahteve kupaca i zahteve proizvođača na osnovu DEA.

Interesovanje za pružaocima logističkih usluga treće strane (3PL), tj. outsourcing logističkih funkcija od 3PL-ova raste. Malo je studija koje se bave pitanjem održivosti životne sredine iz perspektive 3PL-ova. Da bi rešili ovaj jaz, Raut i koautori (Raut, Kharat, Kamble, & Kumar, 2018) predlažu integrisanu metodu za pomoć DO, gde istraživanje posebno uzima pitanja životne sredine kao kriterijume u procesu evaluacije i odabira 3PL. Odabir dobavljača 3PL se posmatra kao složen problem MCDM-a dostupnosti kvantitativnih, kvalitativnih i višestrukih kriterijuma koji se moraju uvažiti u procesu donošenja odluka. Predložena metodologija omogućava evaluaciju i izbor 3PL-ova u dva koraka: (1) početni pregled maksimalno efikasnih 3PL-ova od strane DEA-e, i (2) konačni rang i izbor na osnovu ANP-a. ANP omogućava da se uzme u obzir

međuzavisnosti kriterijuma, da im se dodele prioriteti s relativnom težinom dobijenom upoređivanjem u parovima.

Da bi se postavili prioriteti pokretačima upravljanja ljudskim kapitalom i ocenile organizacione jedinice, Tavakoli i koautori (Tavakoli, Shirouyehzad, & Dabestani, 2016) predstavljaju novu metodu za rangiranje alternativa i postavljanje prioriteta za određivanje kriterijuma. DEA meri efikasnost jedinica i težine ulaza i izlaza koji se koriste za popunjavanje super-matrice ANP-a. Međutim, popunjavanje super-matrice i dizajniranje upitnika ANP oduvek su bili izazov naučnicima jer zahtevaju veliki broj podataka. Jedna od glavnih prednosti predložene metode u ovom istraživanju je ta što ona rešava gore navedeni problem ANP-a. U prvom koraku definisani su ulazi i izlazi DEA modela. Zatim se identifikuju vrednosti ulaza i izlaza u svakoj jedinici za donošenje odluka. Nakon toga, pomoću DEA-e, određuje se efikasnost svake DMU i meri se svaka ulazna i izlazna težina. Zatim se formira mreža za donošenje odluka i konačna super-matrica, gde se pomoću ANP-a rangiraju DMU i faktorima upravljanja ljudskim kapitalom kao kriterijumima su određeni prioriteti.

Autor Ozdemir (Ozdemir, 2013) je merio efikasnost 21 turske banke korišćenjem finansijskih pokazatelja kao izlaza DEA-e, pri čemu je integrisano DEA i ANP. Dok se meri efikasnost banaka, ograničenja težina koja se koriste u pristupu regiona sigurnosti (AR) DEA metode izvedena su iz rezultata ANP-a. Integrisanim dvofaznim pristupom relativna efikasnost banaka može se meriti kroz DEA-u koji se oslanja na stvarne i objektivne podatke, a takođe se i preferencije menadžmenta mogu ugraditi u proces merenja korišćenjem ANP.

Autori Royendegh i Erol (Rouyendegh & Erol, 2010) preporučuju hibridni algoritam DEA-ANP za podršku performansama departmana kako bi se eliminisali redosled u DEA i nedostatak cele hijerarhije i subjektivne procene u ANP. U prvom koraku DMU su podeljene u dve grupe, efikasne i neefikasne, koristeći DEA-u. Zatim se klasifikuju rezultati iz prvog koraka i korišćenjem ANP metode i jedinice unutar klasifikacionih kategorija procenjuju se jedna prema drugoj. Procenjuju se i stepeni povezanosti faktora, uključujući situacije zavisnosti. Celokupna hijerarhija se vrši u DMU jedinicama. To značajno poboljšava DEA putem potpunog rangiranja dela iz klasifikacije efikasnih i neefikasnih uslova. Hibridni algoritam DEA-ANP je dizajniran da eliminiše nedostatak potpunog rangiranja u DEA metodi, kao i nedostatak subjektivne procene u ANP metodi. Drugi cilj je uklanjanje problema u hibridnom modelu i problema zavisnosti u alternativama ili kriterijumima.

6. ZAKLJUČAK

I DEA i ANP se koriste vrlo često u praksi, ipak obe imaju ograničenja. Integracijom ova metoda daje pouzdanije rezultate i uzima prednosti ANP i DEA tehnika. Pareto optimalno rešenje DEA-e je rešeno upotrebom ANP-a. Korišćenje ovakvog objedinjujućeg pristupa u analizi efikasnosti omogućava integrisanje menadžerskih preferencija i podataka u analitički pristup koji pomaže procenu skupa proizvodnih jedinica, a rezultat je rangiranje ovih jedinica, i diskriminaciona moć DEA modela raste.

Primenom modela, menadžeri određujuju moguće faktore koji igraju važnu ulogu u povećanju produktivnosti proizvodnih organizacija. Rezultati evaluacije modela za visokotehnološku industriju pokazuju da metoda pruža ne samo razumne ishode s manjim brojem DMU, već može pružiti konzistentnije rezultate.DEAANP pristup daje sveukupno relativno novu dimenziju važnoj menadžerskoj odluci.

LITERATURA

[1] Azadi, M., Jafarian, M., Saen, R. F., & Mirhedayatian, S. M. (2015). A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context. *Computers & Operations Research*, 54, 274-285.

[2] Babbar, C., & Amin, S. H. (2018). A multi-objective mathematical model integrating environmental concerns for supplier selection and order allocation based on fuzzy QFD in beverages industry. *Expert Systems with Applications*, 92, 27-38.

[3] Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.

[4] Bongo, M. F., & Alimpangog, K. S. (2018). An application of DEMATEL-ANP and PROMETHEE II approach for air traffic controllers' workload stress problem: A case of Mactan Civil Aviation Authority of the Philippines. *Journal of Air Transport Management*, 68, 198-213.

[5] Bottero, M., & Ferretti, V. (2010). An analytic network process-based approach for location problems: the case of a new waste incinerator plant in the Province of Torino (Italy). Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 17(3-4), 63-84.

[6] Bottero, M., Comino, E., & Riggio, V. (2011). Application of the analytic hierarchy process and the analytic network process for the assessment of different wastewater treatment systems. *Environmental Modelling & Software*, 26(10), 1211-1224.

[7] Büyüközkan, G., & Çifçi, G. (2011). A novel fuzzy multi-criteria decision framework for sustainable supplier selection with incomplete information. *Computers in industry*, 62(2), 164-174.

[8] Büyüközkan, G., & Çifçi, G. (2012). A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 3000-3011.

[9] Chang, K. L., Liao, S. K., Tseng, T. W., & Liao, C. Y. (2015). An ANP based TOPSIS approach for Taiwanese service apartment location selection. *Asia Pacific Management Review*, 20(2), 49-55.

[10] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.

[11] Chatterjee, K., Pamucar, D., & Zavadskas, E. K. (2018). Evaluating the performance of suppliers based on using the R'AMATEL-MAIRCA method for green supply chain implementation in electronics industry. *Journal of cleaner production*, 184, 101-129.

[12] Cui, M. X., & Fang, C. (2015). A hybrid DEA-ANP method for measuring complexity in engineering projects. *In 2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. pp. 1287-1291). IEEE.

[13] Dağdeviren, M. (2010). A hybrid multi-criteria decision-making model for personnel selection in manufacturing systems. *Journal of Intelligent manufacturing*, 21(4), 451-460.

[14] Ergu, D., Kou, G., Shi, Y., & Shi, Y. (2014). Analytic network process in risk assessment and decision analysis. *Computers & Operations Research*, 42, 58-74.

[15] Ertay, T., Akyol, D. E., & Araz, C. (2011). An integrated fuzzy approach for determining engineering characteristics in concrete industry. *Applied Artificial Intelligence*, 25(4), 305-327.

[16] Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 120, No. 3, pp. 253-290.

[17] Geng, X., Chu, X., Xue, D., & Zhang, Z. (2010). An integrated approach for rating engineering characteristics' final importance in product-service system development. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), 585-594.

[18] Golany, B. (1988). An interactive MOLP procedure for the extension of DEA to effectiveness analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 39(8), 725-734.

[19] Haghighi, S. M., Torabi, S. A., & Ghasemi, R. (2016). An integrated approach for performance evaluation in sustainable supply chain networks (with a case study). *Journal of cleaner production*, 137, 579-597.

[20] Ho, W., Xu, X., & Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of operational research*, 202(1), 16-24.

[21] Hsu, P. F. (2010). Applying the ANP model for selecting the optimal location for an international business office center in China. *Asia Pacific Management Review*, 15(1), 27-41.

[22] Hu, Y. C., Wang, J. H., & Wang, R. Y. (2012). Evaluating the performance of Taiwan homestay using analytic network process. *Mathematical Problems in Engineering, 2012*.

[23] Khadivi, M. R., & Ghomi, S. F. (2012). Solid waste facilities location using of analytical network process and data envelopment analysis approaches. *Waste management*, 32(6), 1258-1265.

[24] Kuo, R. J., & Lin, Y. J. (2012). Supplier selection using analytic network process and data envelopment analysis. *International Journal of Production Research*, 50(11), 2852-2863.

[25] Kuo, R. J., Hsu, C. W., & Chen, Y. L. (2015). Integration of fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS for evaluating carbon performance of suppliers. *International journal of environmental science and technology*, 12(12), 3863-3876.

[26] Kuo, R. J., Wang, Y. C., & Tien, F. C. (2010). Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection. *Journal of cleaner production*, 18(12), 1161-1170.

[27] Liao, S. K., Chang, K. L., & Tseng, T. W. (2010). Optimal selection of program suppliers for TV companies using an analytic network process (ANP) approach. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 27(06), 753-767.

[28] Lin, H. T. (2010). Personnel selection using analytic network process and fuzzy data envelopment analysis approaches. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), 937-944.

[29] Lin, R. H. (2009). An integrated FANP–MOLP for supplier evaluation and order allocation. *Applied Mathematical Modelling*, 33(6), 2730-2736.

[30] Liu, K., Liu, Y., & Qin, J. (2018). An integrated ANP-VIKOR methodology for sustainable supplier selection with interval type-2 fuzzy sets. *Granular Computing*, 3(3), 193-208.

[31] Martić, M. (1999). *Analiza obavijenih podataka sa primenama, Doktorska disertacija.* Beograd: Srbija.

[32] Mazumder, S., Kabir, G., Hasin, M., & Ali, S. (2018). Productivity Benchmarking Using Analytic Network Process (ANP) and Data Envelopment Analysis (DEA). *Big Data and Cognitive Computing*, 2(3), 27.

[33] Oh, Y., Suh, E. H., Hong, J., & Hwang, H. (2009). A feasibility test model for new telecom service development using MCDM method: A case study of video telephone service in Korea. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 6375-6388.

[34] Ozdemir, A. (2013). Integrating analytic network process and data envelopment analysis for efficiency measurement of Turkish commercial banks. *Banks and Bank Systems*, 8(2), 86-103.

[35] Raut, R., Kharat, M., Kamble, S., & Kumar, C. S. (2018). Sustainable evaluation and selection of potential third-party logistics (3PL) providers: An integrated MCDM approach. *Benchmarking: An International Journal*, 25(1), 76-97.

[36] Rouyendegh, B. D., & Erol, S. (2010). The DEA–FUZZY ANP department ranking model applied in Iran Amirkabir University. *Acta Polytechnica Hungarica*, 7(4), 103-114.

[37] Rouyendegh, D. B. (2011). The DEA and intuitionistic fuzzy TOPSIS approach to departments' performances: a pilot study. *Journal of Applied Mathematics*, 2011.

[38] Saaty, T. L. (1996). *Decision Making with Feedback: The Analytical Network Process.* Pittsburg: RWS.

[39] Saaty, T. L. (2008). The Analytic Network Process. *Iranian journal of Operations Research*, 1(1), 1-27.

[40] Saen, R. F. (2009). A decision model for ranking suppliers in the presence of cardinal and ordinal data, weight restrictions, and nondiscretionary factors. *Annals of Operations Research*, 172(1), 177.

[41] Sarkis, J. (1999). A methodological framework for evaluating environmentally conscious manufacturing programs. *Computers & Industrial Engineering*, 36(4), 793-810.

[42] Sheikhrabori, R., Shirazi, M. A., Jahanbin, R., & Ave, H. (2012). Project Portfolio Selection in electrical company based on the Analytic Network Process and Data Envelopment Analysis. *Researcher*, 4(8), 31-41.

[43] Talluri, S., & Sarkis, J. (2002). A methodology for monitoring system performance. *International Journal of Production Research*, 40(7), 1567-1582.

[44] Tavakoli, M. M., Shirouyehzad, H., & Dabestani, R. (2016). Proposing a hybrid method based on DEA and ANP for ranking organizational units and prioritizing human capital management drivers. *Journal of Modelling in Management*, 11(1), 213-239.

[45] Tavana, M., Khalili-Damghani, K., & Rahmatian, R. (2015). A hybrid fuzzy MCDM method for measuring the performance of publicly held pharmaceutical companies. *Annals of Operations Research*, 226(1), 589-621.

[46] Tavana, M., Yazdani, M., & Di Caprio, D. (2017). An application of an integrated ANP–QFD framework for sustainable supplier selection. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(3), 254-275.

[47] Tohumcu, Z., & Karasakal, E. (2010). R&D project performance evaluation with multiple and interdependent criteria. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 57(4), 620-633.

[48] Toloo, M., & Nalchigar, S. (2011). A new DEA method for supplier selection in presence of both cardinal and ordinal data. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 14726-14731.

[49] Tseng, M. L. (2010). Implementation and performance evaluation using the fuzzy network balanced scorecard. *Computers & Education*, 55(1), 188-201.

[50] Tuzkaya, G., Ozgen, A., Ozgen, D., & Tuzkaya, U. R. (2009). Environmental performance evaluation of suppliers: A hybrid fuzzy multi-criteria decision approach. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 6(3), 477-490.\

[51] Wey, W. M., & Wu, K. Y. (2007). Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation. *Mathematical and computer modelling*, 46(7-8), 985-1000.

[52] Wu, D. (2009). Supplier selection: A hybrid model using DEA, decision tree and neural network. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 9105-9112.

[53] Zhou, X., Pedrycz, W., Kuang, Y., & Zhang, Z. (2016). Type-2 fuzzy multi-objective DEA model: An application to sustainable supplier evaluation. *Applied Soft Computing*, 46, 424-440.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

THE APPLICATION OF THE NON-PARAMETRIC METHODOLOGY DEA: THE CASE OF THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA

TONI NAUMOVSKI[1], VIOLETA CVETKOSKA[2], LIDIJA GEORGIEVA[3]

[1] MoD/Army General Staff, Skopje, toninaumovski@yahoo.com
[2] Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Economics-Skopje, Skopje, vcvetkoska@eccf.ukim.edu.mk
[3] Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Philosophy - Skopje, Skopje, georgieva@fzf.ukim.edu.mk

Abstract: *The application of the analytical methods and techniques of the Operational Research discipline can help in making better decisions, which thus allow decrease of costs, increase of revenue and profit, as well as market share, efficiency, etc. The non-parametric methodology Data Envelopment Analysis (DEA) is considered to be the leading methodology for measuring the relative efficiency of the Decision Making Units (DMUs). The DMUs should be homogeneous, i.e. they should use the same inputs to produce the same outputs. Ever since its beginnings up to today, the application of this methodology has noted a significant growth. It has been used in education, health care, banking, agriculture, the defence sector, energetics, tourism, sports, supply chain, transportation, public policy, etc. The aim of this paper is to provide a literature review of the application of DEA in the Republic of North Macedonia. On the basis of the reviewed papers published in journals and conference proceedings, books, Master's theses and Doctoral dissertations, it has been confirmed that this methodology is most commonly used in the finance sector.*

Keywords: *Relative Efficiency, DEA, Literature Review, Republic of North Macedonia.*

1. INTRODUCTION

Amazon, American Airlines, BMW, British Airways, British Telecommunications, Citibank, Dell, DHL, Eastman Kodak, EDS, Federal Express, General Motors, Hewlett-Packard, IBM, Motorola, NASA, Peugeot, Procter & Gamble, Samsung Electronics, etc. These organizations belong to various industries, they are with different size, with headquarters in different countries, but something is common for all of them. What is it? They all use the discipline Operational Research (O.R.) to make better decisions. The usual phases of an O.R. study are the following six (Hillier and Lieberman 2010, p. 8): (1) Define the problem of interest and gather relevant data; (2) Formulate a mathematical model to represent the problem; (3) Develop a computer-based procedure for deriving solutions to the problem from the model; (4) Test the model and refine it as needed; (5) Prepare for the ongoing application of the model as prescribed by management; and (6) Implement. These phases are described in detail in Hillier and Lieberman (2010, pp. 8-19). Some of the decision areas where this discipline is applied are (Anderson *et al.* 2009): assignment, data mining, financial decision-making, forecasting, logistics, marketing, networks, optimization, project planning and management, queuing, simulation, transportation. By using O.R. numerous organizations have increased revenue, profit, efficiency, market share, as well as having decreased costs, improved production, etc.

According to the management guru, Peter F. Drucker: "What gets measured gets improved." Efficiency is an indicator of success and consists of achieving greater results (outputs) by using a minimum of resources (inputs). If an organization (profit or non-profit) achieved a higher output for a given input level, or the same output using less input, it means that the organization has increased efficiency. To measure the efficiency of entities, there exist two approaches in the relevant literature: the parametric (econometric) approach and the non-parametric (mathematical programming) approach. In this paper the focus is on the non-parametric approach, i.e. on Data Envelopment Analysis (DEA). In the literature of the discipline Operational Research, DEA was introduced by Charnes *et al.* (1978). DEA can be applied to measure the efficiency of decision-making units (DMUs) that use the same resources (inputs) to produce the same results (outputs). On the basis of the data for the specified inputs and outputs, an efficiency frontier is constructed, details can be found in Cooper *et al*. (2007). The bibliography of DEA published in 2018 (Emrouznejad and Yang 2018) includes 10300 DEA related articles published in journals since its introduction up to 2016. The focus of this paper is the application of DEA in the Republic of Macedonia. In the literature review there have been considered 14 articles (published in journals, conference proceedings, book, master thesis and PhD dissertation).

This paper is organized as follows: after the Introduction, the non-parametric methodology DEA is explained; then the application of DEA in the Republic of North Macedonia is presented, and the Conclusion is given in the end.

2. APPLICATIONS OF DEA IN THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA

Table 1 shows a literature review of the applications of data envelopment analysis in the Republic of North Macedonia. In this review there have been included papers found through Google Scholar and personal contacts with researchers, as well as the author(s)/year, application, period, sample, variables, and the model of the covered papers. 14 papers are considered, 7 of which have been published in journals, 3 in conference proceedings, 2 are master's thesis, 1 is a doctoral dissertation, and 1 is a book. The analyzed paper are published in the period 2006-2017. Most of the applications are in the financial sector (7 papers), followed by the defense sector (2), education sector (2), tourism (2), and agriculture (1) (Table1). In terms of the period covered, the shortest is one year, and the longest is nine years. The smallest sample for analysis comprises 8 DMUs, and the largest consists of 47 DMUs. The average number of inputs and outputs is two. The most commonly used are CCR, BCC and window analysis models. Besides these papers, Cvetkoska (2013) uses DEA to measure the performance of the branches of one of the leading banks in the Republic of North Macedonia - Komercijalna Banka AD Skopje, but this paper (doctoral dissertation) is not given in the review because parts of it have been processed and published in Cvetkoska (2017).

Table 1: DEA applications in the Republic of North Macedonia: Literature review

Author(s)/ year	Application	Period	Sample	Variables	Model
Atanasova-Pacemska and Timovski (2014)	Higher education	Generation of students 2007/2008	24 courses of the study program of Informatics at the Faculty of Computer Sciences, "Goce Delchev" University in Stip	Three inputs: expenses for professors and assistants, number of classes held, and expenses for equipment and inventory; Two outputs: index of the level of contribution of each course in skills, competences and knowledge delivery, prescribed with the accreditation elaborate of the study program, index of the quality of skills, competences and knowledge delivered through the study program	Dual DEA CCR model
Cvetkoska (2010)	Banking sector	2005-2008	16 banks	Operating approach: Three inputs: interest expenses, commission and fees expenses, and other expenses; Three outputs: interest income, commission and fees income, and other income; Intermediation approach: Three inputs: tangible and intangible investments, number of employees, and total amount of received deposits; Two outputs: total amount of granted loans, and short-term securities	CCR model (input and output oriented), DEA model for measuring the super-efficiency, and combination of DEA and AHP for weight restrictions
Cvetkoska (2015)	Banking sector	2009-2011	8 bank-branches of Komercijalna Banka AD Skopje	Two inputs: deposits structure and operational costs (salary and material costs); Two outputs: corporate lending and lending to citizens	Output-oriented DEA window analysis model with VRS assumption
Cvetkoska (2017)	Banking sector	2009-2011	8 bank-branches of Komercijalna Banka AD Skopje	Production approach: two inputs (staff: salaries of employees) and material expenses); Two outputs (total number of F/X transactions and domestic payment operations – total transactions); Intermediation approach: Two inputs (deposits structure and operating costs); Two	DEA window analysis model for the three approaches (production, intermediation and profitability);

				outputs (corporate lending and lending to citizens); Profitability approach: Two inputs (interest expenses and commission and fees expenses); Two outputs (interest income, and commission and fees income)	orientation: output; assumption: CRS and VRS; for profitability approach, also is specified input orientation
Cvetkoska and Barisic (2014)	Tourism	2004-2013	15 European countries (Austria, Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, France, Greece, Italy, Macedonia, Montenegro, Portugal, Serbia, Slovenia, Spain)	Two inputs: visitor exports and domestic travel and tourism spending; Two outputs: travel and tourism total contribution to GDP, and travel and tourism total contribution to employment	Output-oriented DEA window analysis model with VRS assumption
Cvetkoska and Barisic (2017)	Tourism	2010-2015	11 Balkan countries (Albania, Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Greece, Macedonia, Montenegro, Romania, Serbia, Slovenia, Turkey)	Two inputs: visitor exports and domestic travel and tourism spending; Two outputs: travel and tourism total contribution to GDP, and travel and tourism total contribution to employment	Output-oriented DEA window analysis model with VRS assumption
Cvetkoska and Savic (2017)	Banking sector	2009-2011	8 bank-branches of Komercijalna Banka AD Skopje	Two inputs: personnel (number of employees) and material expenses; Two outputs: corporate lending and deposits structure	Output-oriented DEA window analysis model with VRS assumption (first phase); AHP-DEA validation model (second phase)
Georgieva *et al.* (2016)	Defence sector	2007-2009	36 participating countries in NATO -led mission in Afghanistan, ISAF	Two inputs: total population of each participating country and GDP per capita of the participating countries (in US dollars); One output: number of soldiers (troops) of each participating country per rotation	Output-oriented BCC DEA model

Micajkova (2015)	Insurance sector	2009-2013	11 insurance companies (Albsig, Viner, Evroins, Eurolink, Insig, Kjubi, Kroacija, Osiguritelna Polisa, Sava, Triglav, Unika)	Three inputs: administrative expenses, commission expenses and total capital; Two outputs: gross written premium and gross claims settled	CCR and BCC output-oriented DEA models
Micajkova and Poposka (2013)	Banking sector	2008-2011	15 Macedonian banks	Two inputs: total deposits received and labor costs; Two outputs: loans to banks and customers and investments	CCR and BCC input-oriented DEA models
Naumovska and Cvetkoska (2016)	Banking sector	2007-2013	14 Macedonian banks	Two inputs: deposits (accepted from banks and other clients) and operating costs (cost for salaries, amortization, administrative and other operation costs); Two outputs: loans (issued to banks and other clients), and net interest income	Output-oriented BCC DEA model
Nikolov (2006)	Kindergarten sector	2005	47 public kindergartens; 36 Local-Self Government (LSG) units	Input: earmarked grants (for 2006) per employees (as of 2004); Output: earmarked grants (for 2006) per number of children (as of 2005 September)	DEA models (CRS, VRS, pure scale efficiency; orientation: input)
Petrovska, (2011)	Agriculture	2010	21 pig farms in the Republic of Macedonia	First stage: inputs: feed, labor and other costs; output: total pigs live weight in kg; Second stage: environmental variables and personal characteristics of managers	DEA models (CRS, VRS; input and output perspective)
Stojanoski (2017)	Defence sector	2003-2010 and 2011-2015	2 countries (Iraq and Afghanistan) for the period 2003-2010, and 5 countries (Iraq, Afghanistan, Yemen, Libya and Syria) for the period 2011-2015	Two inputs: US military budget and number of US deployed military forces yearly. Three outputs: number of victims (uniformed official armed forces in each state), number of IDPs and number of refuges.	Input-oriented DEA window analysis model with VRS assumption

3. CONCLUSION

Data envelopment analysis as a non-parametric methodology for measuring the efficiency of decision-making units notes numerous applications in different areas worldwide. According to the DEA bibliography published in 2018, agriculture, banking, supply chain, transportation and public policy are the areas where DEA is applied the most.

The aim of this paper is to present the application of DEA in the Republic of North Macedonia. There have been analyzed 14 papers (7 published in journals, 3 in conference proceedings, 2 master thesis, 1 is a

doctoral dissertation, and 1 is a book). These papers were published/defended in the period 2006-2017. 2017 is characterized as the year with the most published /defended DEA papers (4) applied in the country.

The analyzed papers reflect the possibility of a wide application of DEA in measuring the efficiency of different areas (finance, defence, tourism, education and agriculture). 54% of the analyzed papers are applied in finance.

In the review there have been included papers that we have found through Google Scholar and through personal contacts with researchers, yet a limitation of this paper is that there may exist more papers with DEA applications in the Republic of North Macedonia that are not covered in the literature review.

The applicability of DEA for measuring the efficiency in various areas of society as well as social phenomena and trends is our next challenge for further research.

REFERENCES

[1] Anderson, D.R., Sweeny, D.J., Williams, T.A., & Wisniewski, M. (2009). An introduction to management science: Quantitative approaches to decision making. London: Cengage Learning EMEA.

[2] Atanasova-Pacemska, T., & Timovski, R. (2014). Effectiveness determination of higher education using linear programming. In Book of Proceedings of XIV International Symposium (SYMORG 2014): New business models and sustainable competitiveness, Publisher: University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciencies, Belgrade, 1192-1198.

[3] Charnes, A., Cooper, W.W., & Rhodes, E.L., (1978). Measuring efficiency of decision-making units. European Journal of Operational Research, 2(6), 429-444. doi:10.1016/0377-2217(78)90138-8.

[4] Cooper, W.W., Seiford, L.M., & Tone, K., (2007). Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. (2 ed.). New York: Springer Science + Business Media, LLC.

[5] Cvetkoska, V. (2010). A two-stage approach for measuring efficiency by applying the DEA and AHP methods, Master Thesis, Faculty of Organizational Sciences, Beograd, Serbia. (on Serbian)

[6] Cvetkoska, V. (2013). Methods and models of multi-criteria decision making in management: An empirical study on evaluation of the efficiency of certain organizational units in the Republic of Macedonia, Ph.D. Thesis, Skopje: Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Economics–Skopje, (on Macedonian).

[7] Cvetkoska, V. (2015). Evaluating the relative efficiency of bank branches by using the COOPER-framework. In the Proceedings of SYM-OP-IS 2015, Serbia, 105-108.

[8] Cvetkoska, V. (2017). Applying multi-criteria decision making in banking: The case of Komercijalna banka AD Skopje. Saarbrucken: LAMBERT Academic Publishing.

[9] Cvetkoska, V., & Barisic, P. (2014). Measuring the efficiency of certain uropean ountries in tourism: DEA window analysis. In Book of Proceedings of the International May Conference on Strategic Management – IMKSM2014, Bor, Serbia, 77-86.

[10] Cvetkoska, V., & Barisic, P. (2017). The efficiency of the tourism industry in the Balkans. Proceedings of the Faculty of Economics in East Sarajevo – Journal of Economics and Business, 14, 31-41.

[11] Cvetkoska, V., & Savic, G. (2017). Efficiency of bank branches: empirical evidence from a two-phase research approach, Economic Research-Ekonomska Istraživanja. 30(1), 318-333, DOI: 10.1080/1331677X.2017.1305775

[12] Emrouzejad, A., & Yang, G-l. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978-2016. Socio-Economic Planning Sciences, 61, 4-8.

[13] Georgieva, L., Naumovski, T., & Cvetkoska, V. (2016). Measuring the efficiency of participating countries in NATO led mission in Afghanistan, ISAF: Non-parametric approach. Proceedings of the XLIII International Symposium on Operational Research (SYM-OP-IS 2016), Serbia, 479-482.

[14] Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). Introduction to operations 4esearch. (9th ed.). New York: McGraw-Hill.

[15] Micajkova, V. (2015). Efficiency of Macedonian insurance companies: A DEA approach. Journal of Investment and Management, 4(2), 61-67. doi: 10.11648/j.jim.20150402.1.

[16] Micajkova, V., & Poposka, K. (2013). Efficiency of Macedonian banks: A DEA approach. Research Journal of Finance and Accounting, 4(12), 141-149.

[17] Naumovska, E., & Cvetkoska, V. (2016). Efficiency of the Macedonian banking sector. Yugoslav Journal of Operations Research, 26(3), 317-329.

[18] Nikolov, M. (2006). Measuring performance of kindergartens in Macedonia with data envelopment analysis – DEA. CEA Journal of Economics, 1(2), 25-35.

[19] Petrovska, M. (2011). Efficiency of pig farm production in the Republic of Macedonia: Data envelopment analysis approach, Master Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences.

[20] Stojanoski, O. (2017). US national security policy and characteristics of military intervention in Middle East after September 11, Ph.D. Thesis, Skopje: Facility of Philosophy, Department of Security, Defence and Peace Studies, (on Macedonian).

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

OCENA DRUŠTVENO-EKONOMSKOG RAZVOJA EVROPSKIH ZEMALJA: DEA PRISTUP

AN ASSESSMENT OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF EUROPEAN COUNTRIES: DEA APPROACH

JELENA STANKOVIĆ[1], IVANA MARJANOVIĆ[2], NEBOJŠA STOJKOVIĆ[3]

[1] Ekonomski fakultet, Niš, jelena.stankovic@eknfak.ni.ac.rs
[2] Ekonomski fakultet, Niš, ivana.veselinovic@eknfak.ni.ac.rs
[3] Ekonomski fakultet, Niš, nebojsa.stojkovic@eknfak.ni.ac.rs

---

Rezime: *Aktuelni trendovi u oblasti kvantificiranja društvenog blagostanja ukazuju na potrebu promene definicije rasta koja se oslanja isključivo na ekonomske performanse i potrebu razvoja novih pristupa za merenje napretka društva koji će pored ekonomskih uključiti i društvene performanse nacionalne ekonomije. Savremeni koncepti moraju uzeti u obzir istovremeno ekonomski aspekt ali i društvene ciljeve. Stoga je cilj ovog rada da doprinese razvoju metodološkog pristupa koji se može primeniti za ocenu nivoa društveno-ekonomske razvijenosti. Na uzorku od 32 evropske zemlje, primenom analize obavijanja podataka (DEA), izvršena je ocena dostignutog nivoa društveno-ekonomskog razvoja. Prednost DEA metoda je u tome što daje mogućnost identifikovanja najboljih praksi te može biti koristan alat za donosioce odluka u cilju kreiranja politika usmerenih ka održivom društveno-ekonomskom razvoju.*

Ključne reči: *Analiza obavijanja podataka, Neželjeni rezultati, Društveno-ekonomska efikasnost.*

Abstract: *Current trends in the field of quantifying social well-being point to the need of changing the definition of growth, which relies exclusively on economic performance and the need to develop new approaches to measuring the progress of society, which, in addition to economic ones, will include the social performance of the national economy. Modern concepts must take into account both the economic aspect and the social goals at the same time. Therefore, the aim of this paper is to contribute to the development of a methodological approach that can be applied to assess socioeconomic development. On the sample of 32 European countries, using the data envelopment analysis (DEA), an estimate of the achieved level of socioeconomic development was carried out. The advantage of the DEA method is that it gives the opportunity to identify best practices and can be a useful tool for decision-makers in order to create policies aimed at sustainable socio-economic development.*

Keywords: *Data Envelopment Analysis, Undesirable Outputs, Socio-Economic Efficiency.*

1. UVOD

Društveno-ekonomski razvoj podrazumeva kreiranje adekvatnih programa u domenu razvoja održive socijalne politike i ekonomskog progresa. Krajnji cilj društvenog razvoja je postizanje održivog poboljšanja blagostanja društva u celini, do kojeg se može doći jedino kontinuiranim povećanjem ekonomskog standarda stanovništva u zemlji. Održivi razvoj igra važnu ulogu za moderno društvo koje želi da „zadovolji potrebe sadašnjih generacija, bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje sopstvene potrebe“ (World Commission on Environment and Development, 1987). Promovisanje održivog razvoja zahteva sprovođenje konkretnih akcija, programa i politika, koje uključuju istovremenu borbu i zadovoljenje ekonomskih, ekoloških i socijalnih ciljeva. Postavljanje adekvatnih ciljeva održivosti zahteva određeno znanje i razumevanje trenutnog nivoa održivosti. Tradicionalni pristup ocene ostvarenog nivoa razvijenosti određene nacionalne ekonomije podrazume analiziranje ostvarenog nivoa bruto domaćeg proizvoda (BDP). Međutim, evidentno je da ustaljena praksa oslanjanje isključivo na BDP, kao meru ostvarenog nacionalnog rasta, kako bi se predložile prikladne razvojne strategije nije adekvatna. Postoji potreba za kreiranjem više društveno uključivih modela rasta i razvoja. Stoga su razvijeni indeksi društvenog napretka koji bi obuhvatili i društvene i ekološke pokazatelje, u pokušaju da se izmeri kvalitet života ljudi. Međutim, većina do sada razvijenih indeksa ljudskog blagostanja (poput indeksa ljudskog razvoja - Human Development Index) pored toga što evaluira određene aspekte društvenog razvoja, ne uspeva da objasni složene odnose između

ekonomskog razvoja i društvenog napretka, odnosno, ne uspeva da meri društveni napredak (Charles & D'Alessio, 2019). Sen (2000) je sugerisao da je prilikom kreiranja merila društveno-ekonomskog razvoja važno proceniti faktore koji utiču na životni standard i prevazići procene zasnovane samo na dohotku. Soubbotina (2004) smatra da pomak od tržišno orijentisane definicije napretka ka onoj koja se fokusira na ekonomske i socijalne aspekte treba da se odražava u kreiranju odgovarajućih mera. Porter *et al.* (2016) smatraju da praćenje društvenih performansi predstavlja važan zadatak zato što dovodi do uspostavljanja boljih politika i boljih odluka vlada i korporacija, čime se u konačnom doprinosi i unapređenju ekonomskog rasta. Prema njima društveni progres predstavlja sposobnost društva da zadovolji bazične ljudske potrebe svojih građana, uspostavi infrastrukturu koja olakšava građanima i zajednicama da unaprede i održe kvalitet života i da kreira uslove da pojedinci dostignu svoj pun potencijal. Decancq i Schokkaert (2016) veruju da je neophodno kreirati model ocene razvoja koji prevazilazi tradicionalna merila ekonomskog rasta i napretka budući da tradicionalni pokazatelji ekonomskog rasta ne odražavaju u potpunosti napredak zemlje i ne prikazuju tačno faktore važne za napredak.

Glavni problem kada se radi o oceni održivosti jeste da postoje brojna tumačenja i aspekti ovog koncepta, što otežava definisanje načina merenja ostvarenog nivoa održivosti. Iako je teoretska definicija održivosti jasna, manje je jasno kako da ona postane operativna u empirijskoj analizi (Oskam & Feng, 2008). Radi dobijanja odgovora na pitanje da li je određeni sistem održiv, često je potrebno definisati referentni nivo, indikatore i metode benchmarkinga (Pascucci et al. 2012). Brojni pristupi za merenje različitih aspekata održivosti suočavaju se s poteškoćama u usklađivanju višedimenzionalne prirode ovog koncepta sa potrebom da se osmisli sintetička i jednodimenzionalna mera ocene koja bi se mogla koristiti i za kreiranje politika i za metodološke svrhe (Gerdessen & Pascucci, 2013). Otuda je cilj ovog rada da doprinese razvoju metodološkog pristupa koji može pojednostaviti proceduru ocene društveno-ekonomske razvijenosti, uzimajući u obzir višedimenzionalnu prirodu koncepta. Primenom analize obavijanja podataka (DEA), na bazi indikatora koji pokazuje meru siromaštva, socijalne isključenosti i materijalne deprivacije kao i drugih društveno-ekonomskih indikatora, težnja je da se izvrši kvantifikacija i upoređivanje nivoa društveno-ekonomske razvijenosti evropskih zemalja.

Ostatak rada je struktuiran tako da pored uvoda i zaključka sadrži još sledeće dve celine: 1) Metodologija istraživanja; 2) Rezultati istraživanja i diskusija.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Analiza obavijanja podataka (DEA) predstavlja neparametarski pristup primenjen za ocenu efikasnosti jedinica odlučivanja primenom tehnika linearnog programiranja u situacijama kada postojanje višestrukih ulaza i izlaza otežava poređenje (Boussofiane *et al*, 1991). Razvili su je 1978. Charnes, Cooper i Rhodes (Cooper et al. 1978) kao tehniku za procenu i poređenje performansi skupa jedinica odlučivanja sa zajedničkim ulazima i izlazima. Prednost metoda jeste da ne zahteva *a priori* određene težinske koeficijente, čime se smanjuje subjektivnost i uticaj donosioca odluke. Efikasnost se kvantificira kao odnos ponderisane sume izlaza prema ponderisanoj sumi ulaza. Primenom DEA metoda identifikuje se podskup najefikasnijih jedinica odlučivanja iz ukupnog skupa, čija je ostvarena efikasnost kvantificirana sa 1. DEA takođe izračunava nivoe efikasnosti preostalih jedinica odlučivanja, pri čemu se mere ocenjene efikasnosti kreću između 0 i 1. DEA modeli mogu biti: ulazno orijentisani, kada je cilj minimiziranje ulaza za dati nivo izlaza, ili izlazno orijentisani modeli, kada je cilj maksimiziranje izlaza za dati nivo ulaza. Pored toga, u zavisnosti od tretmana prinosa na obim mogu se identifikovati CCR model (Charnes, Cooper i Rhodes, 1978) sa konstantnim prinosom na obim i BCC model (Banker, Charnes i Cooper, 1984) sa varijabilnim prinosom na obim.

Prilikom formulisanja modela pretpostavlja se postojanje *n* jedinica odlučivanja j=1,…n, pri čemu svaka jedinca odlučivanja proizvodi *s* različitih izlaza na bazi *m* različitih ulaza. Matematički model izlazno-orijentisanog BCC modela može se predstaviti putem sledećih relacija (Seiford & Zhu, 2002).

$$\max \eta \tag{1}$$

Pod ograničenjima:

$$\sum_{j=1}^{n} z_j x_j + s^- = x_0 \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n} z_j y_j - s^+ = \eta y_0 \tag{3}$$

$$\sum_{j=1}^{n} z_j = 1 \tag{4}$$

$$z_j \geq 0, j = 1,2 \dots n \quad (5)$$

Gde je x_j vektor ulaza čiji i-ti element x_{ij} predstavlja količini ulaza i korišćenog od strane j-te jedinice odlučivanja, dok je y_j vektor izlaza čiji r-ti element y_{rj} predstavlja količini izlaza r koji je proizvela j-ta jedinica odlučivanja.

Primena DEA metoda u oblasti održivog razvoja je poslednjih godina doživela ekspanziju, naročito imajući u vidu činjenicu da efikasnost ocenjena DEA metodom može da se interpretira kao indeks održivosti svake od jedinica posmatranja (Cherchye & Kuosmanen, 2004). Kao glavna prednost navodi se to što pored identifikovanja neefikasnih jedinica odlučivanja, DEA omogućava identifikovanje najboljih praksi kojima treba težiti. Veliki broj radova primenjuje DEA metodologiju kako bi se ocenile razlike u ostvarenim nivoima društvene održivosti, kako među zemljama, tako i među regionima određene zemlje. Murias *et al.* (2006) su primenili DEA metod kako bi analizirali razlike u nivou društvenog blagostanja između španskih provincija. Adler et al. (2010) su ocenili relativnu efikasnost zemalja u razvoju u pogledu ostvarenja ciljeva društveno-ekonomske održivosti. Cherchye i Kuosmanen (2004) su analizirali razlike između zemalja u pogledu ostvarenog nivoa održivog razvoja. Charles i D'Alessio (2019) su primenili analizu obavijanja podataka radi ocene ostvarenog društvenog progresa na regionalnom nivou u Peruu.

Sa druge strane, javilo se pitanje kako objasniti neželjene varijable u određenom procesu, odnosno kako tretirati neželjene ulaze i neželjene izlaze. Klasični DEA modeli oslanjaju se na pretpostavku da se ulazi moraju svesti na minimum i da se izlazi moraju maksimizirati. Međutim, Koopmans (1951) primetio je procesi mogu kreirati i neželjene rezultate. Färe *et al.* (1989) kreirali su nelinearni DEA model kako bi ocenili performanse sistema u kojima postoje željeni rezultati koje treba maksimizirati i neželjeni rezultati koje treba minimizirati. Takođe, postoje situacije u kojima je potrebno povećati ulaze i smanjiti neke od izlaza radi unapređenja efikasnosti jedinice odlučivanja (Jahanshahloo *et al.* 2005). Seiford i Zhu (2002) su unapredili tradicionalni DEA model i kreirali izlazno orijentisani BCC model koji uključuje neželjene rezultate. Problem neželjenih rezultata je naročito prisutan u oceni efikasnosti održivog razvoja, posebno ukoliko se u analizu uključe i ekološke varijable (poput količine proizvedenog otpada). Dakle, ukupni rezultati sistema (Y) se mogu kategorisati kao dobri, odnosno poželjni rezultati (Y^g) i kao loši, odnosno nepoželjni rezultati (Y^b), pri čemu je težnja da se povećaju dobri, a smanje loši rezultati (Seiford & Zhu, 2002). Međutim, standardni BCC model podrazumeva da ukupan rezultat mora da se poveća radi unapređenja performansi jedinice odlučivanja, pri čemu ne pravi distinkciju između poželjnih i nepoželjnih rezultata. U cilju unapređenja poželjnih i smanjenja neželjenih rezultata, Färe *et al.* (1989) modifikovali su standardni BCC model u sledeći problem nelinearnog programiranja (Seiford & Zhu, 2002):

$$\max \Gamma \quad (6)$$

Pod ograničenjima:

$$\sum_{j=1}^{n} z_j x_j + s^- = x_0 \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{n} z_j y_j^g - s^+ = \Gamma y_0^g \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^{n} z_j y_j^b - s^+ = \frac{1}{\Gamma} y_0^b \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^{n} z_j = 1 \quad (10)$$

$$z_j \geq 0, j = 1,2 \dots n \quad (11)$$

Brojni pristupi su razvijeni sa svrhom rešavanja problema neželjenih rezultata. Suočavanje sa neželjenim rezultatima svakako u konačnom utiče na efikasnost jedinica odlučivanja. U literaturi se mogu identifikovati četiri najčešća pristupa za tretiranje neželjenih rezultata u DEA modelu (Halkos & Petrou, 2018):

- Ignorisanje neželjenih izlaza – podrazumeva jednostavno zanemarivanje rezultata, čime oni nemaju uticaj na finalnu ocenu. Međutim, Yang i Pollitt (2009) navode da ovaj pristup može dovesti do netačnih rezultata koji ne pokazuju pravu sliku efikasnosti jedinica odlučivanja.
- Tretiranje neželjenih izlaza kao ulaza – u brojnim studijama efikasnosti primenjen je ovaj pristup.
- Primena nelinearnih modela – podrazumeva tretiranje neželjenih izlaza kao normalnih izlaza sistema, pri čemu se podrazumeva da se vrednosti nepoželjnih izlaza ne mogu povećavati bez uticaja na vrednosti drugih poželjnih izlaza (*weakly disposable outputs*). Fare *et al.* (1989) ukazali

su da je ocena performansi jedinica odlučivanja prilično osetljiva na to da li se koriste ili ne koriste neželjeni rezultati i da tradicionalni DEA modeli mogu biti pristrasni.

- Primena neophodnih transformacija – podrazumeva primenu monotono opadajuće transformacije i postoji nekoliko načina za vršenje transformacija neželjenih izlaza:
    - Prva opcija je tzv. ADD pristup koji je predložio Koopmans (1951) prema kojom se transformacija vrši primenom relacije $(U) = -U$, pri čemu treba imati na umu da se tada mogu javiti negativne vrednosti koje mogu izazvati određene probleme prilikom ocene efikasnosti i zahtevaju primenu aditivnih modela (Seiford & Zhu, 2005).
    - Druga opcija je primena transformacije $(U) = -U + \beta$, čime se eliminiše pojava negativnih vrednosti.
    - Treća opcija je primena inverzne funkcije na osnovu relacije $f(U) = 1/U$.

Treba napomenuti da se varijabilni prinos na obim pretpostavlja u svim slučajevima sa transformacijom podataka (Wojcik et al. 2017).

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Socijalni rizik predstavlja mogućnost da jedna ili više osoba bude izloženo negativnim društvenim uslovima koji ugrožavaju društvenu održivost. Jedan od pet glavnih ciljeva strategije Evropa 2020 jeste smanjenje siromaštva izvlačenjem najmanje 20 miliona ljudi iz grupe ugrožene rizikom siromaštva ili socijalne isključenosti do 2020. godine. Problem merenja siromaštva i socijalne isključenosti je savremeni zadatak među akademskim istraživačima i istovremeno operativno relevantna tema na svim nivoima kreiranja politike. U 2017. godini 112,8 miliona ljudi u Evropskoj Uniji živelo je u domaćinstvima ugroženim rizikom siromaštva ili socijalne isključenosti, što čini 22,4% ukupne populacije (Eurostat, 2019). Podaci o stanovništvu suočenom sa rizikom siromaštva ili socijalne isključenosti preuzeti su iz *EU Statistics on Income and Living Conditions* (*EU-SILC*) istraživanja EU koje ima za cilj prikupljanje pravovremenih i uporedivih višedimenzionalnih mikro podataka o prihodima, siromaštvu, socijalnoj isključenosti i životnim uslovima. U cilju analize ostvarenog nivoa društveno-ekonomske održivosti pored podataka o ljudima pod rizikom siromaštva i socijalne isključenosti, potrebno je obuhvatiti i druge indikatore društveno-ekonomskog rasta i održivosti (Tabela 1). Na osnovu ovih podataka kreiran je BCC izlazni model sa tri ulazne i jednom izlaznom varijablom.

Tabela 1: Opis ulaznih varijabli i izlazne varijable DEA modela

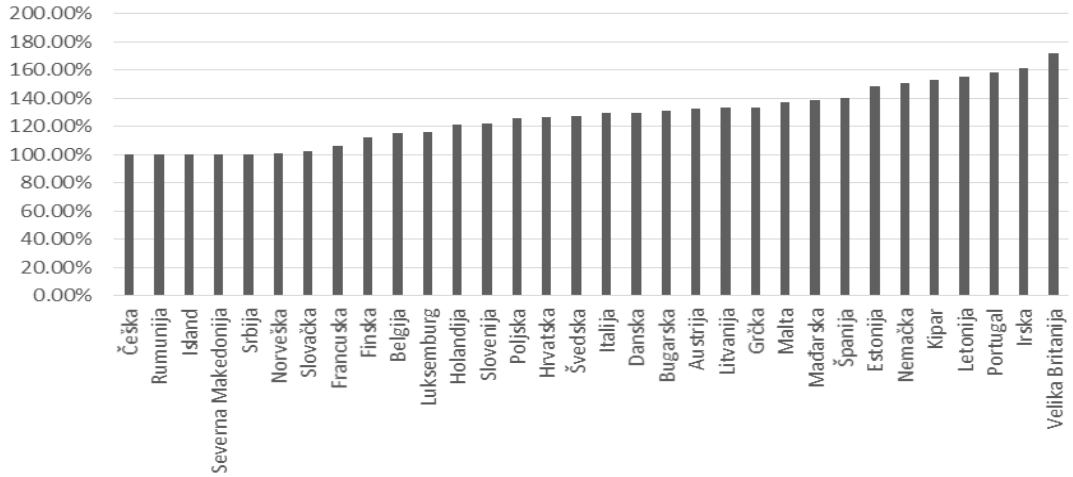
	Naziv	Opis
Ulazne varijable	Stopa zaposlenosti	Stopa zaposlenosti se definiše kao mera u kojoj se koriste raspoloživi resursi radne snage. Izračunava se kao odnos zaposlenih prema radno sposobnom stanovništvu i smatra se ključnim društvenim indikatorom kada se analiziraju kretanja na tržištu rada.
	Srednji ekvivalentni neto prihod	Srednji ekvivalentni neto prihod je medijana ukupnog prihoda svih domaćinstava, nakon oporezivanja i drugih odbitaka, koji je dostupan za potrošnju ili uštedu, podeljen sa brojem članova domaćinstva pretvorenim u ekvivalentne odrasle osobe (članovi domaćinstva su izjednačeni ili ekvivalentni tako što se svaki procenjuje prema njihovoj starosti, koristeći takozvanu skalu ekvivalentnosti OECD-a)
	BDP per capita PPS	BDP po glavi stanovnika (baziran na PPS) je bruto domaći proizvod konvertovan u uporedive vrednosti koristeći standard kupovne moći i podeljen ukupnom populacijom.
Izlazna varijabla	Ljudi pod rizikom siromaštva i socijalne isključenosti	Procenat ljudi koje su ili u opasnosti od siromaštva ili su teško materijalno uskraćeni ili žive u domaćinstvu sa veoma niskim intenzitetom rada

Izvor: Prikaz autora

Analiza efikasnosti ostvarenog nivoa društveno-ekonomske razvijenosti izvršena je primenom *Efficiency Measurement System Software* (skraćeno EMS) koji je razvio Holger Scheel sa Univerziteta u Dortmundu u Nemačkoj (Scheel, 2000).

Na osnovu ocenjene mere efikasnosti društveno-ekonomskog razvoja evropskih zemalja (Slika 1), uočava se da pet zemalja ima zadovoljavajući nivo društveno-ekonomske efikasnosti (Češka, Rumunija, Island, Severna Makedonija i Srbija), pri čemu se opaža da zemlje koje nisu članice Evropske Unije, ili se na nalaze na granici efikasnosti, ili su neposredno iznad. Većina zemalja Evropske Unije (26 od 28) ne ostvaruje zadovoljavajuće nivoe društveno-ekonomske efikasnosti, odnosno, na bazi analiziranih indikatora društveno-

ekonomske razvijenosti (stope zaposlenosti, srednji ekvivalentni neto dohodak i BDP pc) ove zemlje bi trebalo da imaju niži procenat stanovništva pod rizikom siromaštva i socijalne ugroženosti.



Slika 1: Rezultati analize efikasnosti
Izvor: Prikaz autora na bazi proračuna primenom EMS softvera

Kao razlog ovakve situacije može se navesti činjenica o izraženoj nejednakosti u zemljama EU. U EU u 2016. godini, gornjih 20% stanovništva (sa najvećim prihodom) dobilo je 5,2 puta više prihoda od donjih 20%, pri čemu se ovaj odnos značajno razlikovao po zemljama članicama, od 3,5 u Češkoj do 8,2 u Bugarskoj (Income inequality in the EU, 2019). Pored toga, može se uočiti da su grupa novih članica EU (EU13) globalno posmatrano beleži veću prosečnu efikasnost od grupe starih članica (EU15), što se poklapa sa nalazima grupe autora Melecký et al. (2019) koji su ispitivali nivo društvenog i ekonomskog razvoja zemalja Evropske Unije (EU28). Prilikom tumačenja rezultata treba imati na umu da različite zemlje u uzorku različito definišu prag rizika od siromaštva. Prag je postavljen na 60% nacionalnog srednjeg ekvivalentnog raspoloživog dohotka (nakon socijalnih transfera), izražen putem standarda kupovne moći kako bi se uzele u obzir razlike u troškovima života u različitim zemljama. Ukoliko se ima u vidu da je vrednost praga rizika od siromaštva najniža u Srbiji i Severnoj Makedoniji (3087 i 3179, respektivno), može se zaključiti da je jedan od razloga efikasnosti Srbije i Severne Makedonije činjenica da iako ostvaruju relativno niske dohotke, u poređenju sa zemljama EU, stanovnici navedenih zemalja se ne smatraju kategorijom pod rizikom od siromaštva i socijalne isključenosti. Dakle, uprkos relativno niskim ekonomskim performansama, i najnižim nivoima zaposlenosti među posmatranim evropskim zemljama, Srbija i Severna Makedonija imaju efikasan nivo društveno-ekonomskog razvoja, prvenstveno zbog činjenice da je prag rizika od siromaštva znatno niži od proseka zemalja EU.

4. ZAKLJUČAK

Potreba za merenjem ukupne razvijenosti jedne nacionalne ekonomije zahteva nove pristupe koji u obzir istovremeno ekonomske i društvene pokazatelje. Cilj rada bio je da prikaže prednosti neparametarskog, DEA pristupa u situacijama višestrukih ulaza i izlaza, naročito u uslovima kada se javljaju nepoželjni izlazi, što je prilično česta situacija u studijama održivosti. Primena DEA metoda omogućava obuhvatanje različitih aspekata razvoja i pruža mogućnost donosiocima odluka da na adekvatan način povećaju efikasnost. Jedinstvena ocena koju obezbeđuje DEA pristup omogućava poređenje evropskih zemalja. Prednost ovog poređenja je u tome što kreatorima politika predstavlja set najboljih zemalja koji se mogu koristiti kao najbolja praksa za zemlje koje zaostaju. Drugim rečima, najuspešnije zemlje mogu pružiti smernice za uspostavljanje najboljih praksi koje treba usvojiti u zaostalim zemljama, te tako doprineti boljem i delotvornijem dizajnu politika u narednom periodu.

LITERATURA

[1] Adler, N., Yazhemsky, E., & Tarverdyan, R. (2010). A framework to measure the relative socio-economic performance of developing countries. Socio-Economic Planning Sciences, 44(2), 73-88.

[2] Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management science, 30(9), 1078-1092.

[3] Boussofiane, A., Dyson, R. G., & Thanassoulis, E. (1991). Applied data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 52(1), 1-15.

[4] Charles, V., & D'Alessio, F. A. (2019). An envelopment-based approach to measuring regional social progress. Socio-Economic Planning Sciences.

[5] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European journal of operational research, 2(6), 429-444.

[6] Cherchye, L., & Kuosmanen, T. (2004). Benchmarking sustainable development: a synthetic meta-index approach (No. 2004/28). Research Paper, UNU-WIDER, United Nations University (UNU).

[7] Decancq, K., & Schokkaert, E. (2016). Beyond GDP: Using equivalent incomes to measure well-being in Europe. Social indicators research, 126(1), 21-55.

[8] Eurostat (2019), People at risk of poverty or social exclusion. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/People_at_risk_of_poverty_or_social_exclusion#Analysis_of_populations_at_risk

[9] Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C. K., & Pasurka, C. (1989). Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach. The review of economics and statistics, 90-98.

[10] Gerdessen, J. C., & Pascucci, S. (2013). Data Envelopment Analysis of sustainability indicators of European agricultural systems at regional level. Agricultural Systems, 118, 78-90.

[11] Halkos, G., & Petrou, K. N. (2018). A critical review of the main methods to treat undesirable outputs in DEA.

[12] Income inequality in the EU (2019). Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/EDN-20180426-1

[13] Jahanshahloo, G. R., Lotfi, F. H., Shoja, N., Tohidi, G., & Razavyan, S. (2005). Undesirable inputs and outputs in DEA models. Applied Mathematics and Computation, 169(2), 917-925.

[14] Koopmans, T. C. (1951). An analysis of production as an efficient combination of activities. Activity analysis of production and allocation. Cowles Commission, Wiely, New York, 33-97

[15] Melecký, L., Staníčková, M., & Hančlová, J. (2019). Nonparametric Approach to Evaluation of Economic and Social Development in the EU28 Member States by DEA Efficiency. Journal of Risk and Financial Management, 12(2), 72.

[16] Murias, P., Martinez, F., & De Miguel, C. (2006). An economic wellbeing index for the Spanish provinces: A data envelopment analysis approach. Social Indicators Research, 77(3), 395-417.

[17] Oskam, A. J., & Feng, S. (2008). Sustainable land use under different institutional settings. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 55(4), 295-306.

[18] Pascucci S., Polman N., Slangen L. (2012). Institutional Framework for Analyzing Sustainability in European Agriculture and Rural Areas. In Regional development: Concepts, methodologies, tools, and applications (293-314). Information Resources Management Association.

[19] Porter, M., Stern, S., & Green, M. (2016). Social Progress Index 2016. Social Progress Imperative, Washington.

[20] Scheel, H. (2000). EMS: efficiency measurement system user's manual. Operations Research and Witshaftinsformetik. University of Dortmund, Germany.

[21] Seiford, L. M., & Zhu, J. (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. European journal of operational research, 142(1), 16-20.

[22] Seiford, L. M., & Zhu, J. (2005). A response to comments on modeling undesirable factors in efficiency evaluation. European Journal of Operational Research, 2(161), 579-581.

[23] Sen, A. (2000). Social exclusion: Concept, application, and scrutiny.

[24] Soubbotina, T. P. (2004). Beyond economic growth: An introduction to sustainable development. The World Bank.

[25] World Commission on Environment and Development. (1987). Our common future. Oxford: Oxford University Press.

[26] Yang, H., & Pollitt, M. (2009). Incorporating both undesirable outputs and uncontrollable variables into DEA: The performance of Chinese coal-fired power plants. European Journal of Operational Research, 197(3), 1095-1105.

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND NATURAL RESOURCES MANAGEMENT

EKOLOŠKI MENADŽMENT I UPRAVLJANJE PRIRODNIM RESURSIMA

OPTIMIZACIJA PROIZVODNJE NA MALOM POLJOPRIVREDNOM GAZDINSTVU

OPTIMIZATION OF PRODUCTION IN A SMALL AGRICULTURAL ECONOMY

DEJAN BOGDANOVIĆ[1], IVAN JOVANOVIĆ[1], SANELA ARSIĆ[1]

[1] Tehnički fakultet u Boru, Bor, dbogdanovic@tfbor.bg.ac.rs; ijovanovic@tfbor.bg.ac.rs; saarsic@tfbor.bg.ac.rs

Rezime: *Osovni cilj ovog rada je da se primenom metode linearnog programiranja izvrši optimizacija poljoprivredne proizvodnje na porodičnom gazdinstvu uzimajuću u obzir sve relevantne činjenice koje mogu uticati na rezultat optimizacije. Shodno tome, u radu je razmatran realan primer malog poljoprivrednog gazdinstva iz Istočne Srbije. Na osnovu realne situacije je definisan adekvatni matematički model koji odgovara porodičnom gazdinstvu u cilju dobijanja optimalne strukture poljoprivredne proizvodnje na osnovu definisanih kriterijuma i postojećih ograničenja. Dobijeni rezultati pokazuju da se korišćenjem metode linearnog programiranja mogu dobiti bolji rezultati od ostvarenih i da je data metoda vrlo pogodna za rešavanje menadžerskih problema na poljoprivrednim gazdinstvima.*

Ključne reči: *Linearno Programiranje, Poljoprivredno Gazdinstvo, Proizvodnja.*

Abstract: *The main goal of this paper is to use the method of linear programming to optimize agricultural production on the family farm taking into account all relevant facts that can influence the result of optimization. Consequently, the paper examines a real example of a small agricultural economy from Eastern Serbia. On the basis of the real situation, an adequate mathematical model is defined that corresponds to the family farm in order to obtain an optimal structure of agricultural production based on defined criteria and existing limitations. The obtained results show that using the method of linear programming, better results can be obtained than achieved and the method is very suitable for solving managerial problems in agricultural farms.*

Keywords: *Linear Programming, Agricultural Economy, Production.*

1. UVOD

Sektor poljoprivrede ima važnu ulogu u privredi Republike Srbije. Raspoloživo poljoprivredno zemljište, tradicija bavljenja poljoprivrednom proizvodnjom, nemogućnost zaposlenja u nepoljoprivrednim delatnostima i niz drugih faktora doprinose značaju poljoprivrede za društvo u celini. Prema rezultatima popisa poljoprivrede, u Republici Srbiji postoji 631.552 poljoprivredna gazdinstva od toga su 628.552 porodična poljoprivredna gazdinstva. Na poljoprivrednim gazdinstvima živi i radi 1.442.628 članova gazdinstva. Poljoprivredna proizvodnja na poljoprivrednim gazdinstvima u celini posmatrano nedovoljno je razvijena, karakteriše je niska produktivnost rada i niska robnost (Orović 2017, Novković 1990). Brojni eksterni i interni faktori u poslednjih 10-20 godina doprineli su izmeni ambijenta u kome rade porodična gazdinstva (Manos *et al.* 2013). Novi uslovi privređivanja zahtevaju usklađivanje organizacionih rešenja koji će uvažavajući niz faktora, doprineti dostizanju najpovoljnijeg ekonomskog rezultata.

Primarni cilj ovog rada je da se na osnovu originalnih podataka i primenom odgovarajuće metodologije izvrši optimizacija proizvodnje na poljoprivrednom gazdinstvu. Svrha optimizacije je dobijanje najboljeg (optimalnog) rešenja određenog matematičkog problema. Optimalno rešenje predstavlja najbolje rešenje u okviru postavljenih ograničenja i željenog cilja. Optimizacija proizvodnje se vrši u cilju poboljšanja efektivnosti i efikasnosti, povećanja profitabilnost i postizanja boljih rezultata. Optimizacija se može ostvariti primenom različitih metoda, a najčešće korišćena u praksi jeste metodologija matematičkog programiranja kada je model linearan.

Shodno tome, u ovom radu je urađena optimizacija poljoprivredne proizvodnje na malom poljoprivrednom gazdinstvu i izvršeno je upoređenje rezultata optimizacije sa dosadašnjim rezultatima u cilju definisanja mogućih poboljšanja.

Praktična primena matematičkih modela u oblasti ekonomike i organizacije poljoprivredne proizvodnje, daje velike mogućnosti za njeno unapređenje i postizanje boljih proizvodno-finansijskih efekata, što je i pokazano u ovom radu.

2. PRIMENA LINEARNOG PROGRAMIRANJA U POLJOPRIVREDNOJ PROIZVODNJI

Linearno programiranje se može primeniti u poljoprivrednoj proizvodnji sa različitih aspekta: u industriji koja prerađuje poljoprivredne proizvode, u stočarskoj proizvodnji, kod problema regionalnog razmeštaja i specijalizacije poljoprivredne proizvodnje, kao i sa stanovišta raspodele obradive površine na pojedine kulture sa ciljem ostvarenja maksimalnih efekata i dr. (Krčevinac *et al.* 2006). U ovom radu razmatra se upravo raspodela obradive površine na pojedine kulture sa ciljem ostvarenja maksimalne dobiti.

Za formiranje matematičkog modela, polazi se od sledećih predpostavki:

- poljoprivredno gazdinstvo raspolaže sa *h* hektara obradive površine,
- na toj površini se može zasejati *n* vrsta poljoprivrednih kultura,
- raspolaže sa *m* vrsta poljoprivrednih mašina,
- za proizvodnju koristi *g* vrsta semena, zaštitnih sredstava,
- poznati su prosečni prinosi svih poljoprivrednih kultura po jednom hektaru,
- poznate su prodajne cene po jedinici svake kulture,
- poznati su direktni troškovi obrade jednog hektara pod određenom kulturom.

Zadatak je da se odredi na kojoj površini treba zasejati svaku od poljoprivrednih kultura kako bi se ostvarila maksimalna dobit.

Maksimalna dobit predstavlja sumu razlika između prihoda i troškova koje ostvaruju poljoprivredne kulture (Nasution and Rahmawaty 2014). Formula ima sledeći oblik:

$$R = TR - TC \tag{1}$$

gde je

R – maksimalna dobit poljoprivrednog gazdinstva,

TR = ukupni prihod,

TC = ukupni troškovi.

Što se tiče ograničenja, postoje više grupa istih – ograničenja radne snage, ograničenja pojedinih kategorija sredstava mehanizacije ,ograničenja tržišta (plasmana i nabavke) i ograničenja zemljišta.

U konkretnom slučaju – malo porodično poljoprivredno gazdinstvo koristi se modifikovani matematički model koji se bazira na činjenici das se gazdinstvo zasniva na privatnom vlasništvu nad zemljištem i drugim sredstvima za proizvodnju. Takođe, vlasnik porodičnog gazdinstva je ujedno i menadžer i izvršilac poslova, dok radnu snagu čine sami članovi gazdinstva. Proizvodni kapaciteti su mali, uvek postoji nedostatk radne snage, kao i finansijskih sredstava. Shodno tome, modifikovani matematički model ima sledeći oblik:

- Funkcija cilja:

$$\max F_{(x)} = \sum_{j=1}^{n} \left(q_j \cdot p_j - t_j\right) \cdot x_j \tag{2}$$

- Ograničenja:

raspoloživost mehanizacije

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} \cdot x_j \leq a_{i0} \tag{3}$$

raspoloživ broj radnika

$$\sum_{j=1}^{n} b_j \cdot x_j \leq b_0 \tag{4}$$

raspoloživa količina potrebnog materijala (seme, đubre, zaštita,...)

$$\sum_{j=1}^{n} s_{vj} \cdot x_j \leq s_{v0} \tag{5}$$

raspoloživa površina poljoprivrednog zemljišta

$$\sum_{j=1}^{n} x_j = h \tag{6}$$

zahtev za minimalnom, odnosno maksimalnom površinom za određene kulture

$$h_{min} \leq x_j \leq h_{max} \tag{7}$$

gde je

x_j – broj hektara na kojima će biti zasejana j-ta poljoprivredna kultura,

q_j – prosečan prinos j-te kulture po jednom hektaru.

p_j – prodajna cena po jedinici j-te kulture,

t_j – direktni troškovi obrade jednog hektara pod j-tom kulturom,

a_{ij} – vreme potrebno i-toj poljoprivrednoj mašini za obradu jednog hektara pod j-tom kulturom,

a_{i0} – kapacitet i-te poljoprivredne mašine,

b_j – broj radnika koje treba angažovati po jednom hektaru j-te kulture,

b_0 – broj radnika sa kojima raspolaže poljoprivredno dobro,

s_{vj} – količina v-tog materijala potrebna po jednom hektaru pod j-tom kulturom,

s_{v0} – raspoloživa količina v-tog materijala,

h – raspoloživa obradiva površina u hektarima,

h_{min} – minimalna površina pod j-tom kulturom,

h_{max} – maksimalna površina pod j-tom kulturom.

3. STUDIJA SLUČAJA

Porodično poljoprivredno gazdinstvo se nalazi u jednom selu pored reke Timok u Istočnoj Srbiji (kvalitetnije zemljište). Gazdinstvo raspolaže sa 5,5ha oranica gde želi da zaseje četiri vrste kultura – pšenicu, ječam, raž i ovas. Što se tiče mehanizacije, poljoprivredno gazdinstvo raspolaže traktorom Ursus S355, drljačom, plugovima, tanjiračom, sejalicom NODET Pneumasem, prikolicom Tehnostroj 3, traktorskom prskalicom Bata i kombajnom Zmaj.

Celokupna tehnologija proizvodnje može se podeliti u 6 osnovnih grupa:

- osnovna i predsetvena obrada zemljišta,
- unošenje mineralnih i organskih đubriva,
- setva,
- mehanička nega useva,
- hemijska nega, i
- ubiranje i transport proizvoda.

U prvu grupu spadaju mašine koje se koriste za usitnjavanje zemljišta, na taj način se zemljište priprema za setvu. To su drljača, tanjirača, plugovi. Pod đubrenjem podrazumeva se unošenje minearalnih đubriva, kao i organskih đubriva, uz osnovu obradu, odnosno oranje pomoću plugova. Za setvu koristi se sejalica. Hemijska nega useva podrazumeva upotrebu pesticida i fungicida u borbi protiv bolesti, štetočina, korova itd. Od mehanizacije se koristi traktorska prskalica. Za ubiranje proizvoda koristi se kombajn, a za transport traktor sa prikolicom.

Cene žitarica iznose: pšenica 25din/kg, ječam 25din/kg, raž 38din/kg, ovas 35din/kg.

Prosečni prinos po jednom hektaru iznosi: 4000kg/ha, ječam 4000kg/ha, raž 3800kg/ha, ovas 3500kg/ha.

Što se tiče troškova, tu spada:

- gorivo,
- veštačko đubrivo,
- folijarno đubrivo,
- seme,
- pesticidi,
- održavanje mehanizacije,
- troškovi kombajniranja.

U tabeli 1. prikazani su direktni troškovi proizvodnje za svaku proizvedenu ratarsku kulturu,pojedinačno.

Tabela 1: Direktni troškovi proizvodnje za svaku proizvedenu ratarsku kulturu po jednom hektaru

Troškovi	**Pšenica**	**Ječam**	**Raž**	**Ovas**
Seme (din)	16.000,00	12.000,00	20.000,00	15.000,00
Mineralno đubrivo (din)	16.000,00	16.000,00	18.000,00	19.000,00
Folijarno đubrivo (din)	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00
Zaštitna sredstva (din)	5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00
Oranje i tanjiranje (din)	10.500,00	10.500,00	10.500,00	10.500,00
Bacanje mineralnog đubriva (din)	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00
Predsetvena priprema (din)	3.500,00	3.500,00	3.500,00	3.500,00
Setva (din)	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00
Prskanje (din)	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00
Žetva sa prevozom (din)	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00
Ukupno (din)	**78.0000,00**	**74.000,00**	**84.000,00**	**80.000,00**

Ako se označe površine pod kulturama oznakom x_i, onda one imaju sledeći oblik:

x_1 – površina pod pšenicom,

x_2 – površina pod ječmom,

x_3 – površina pod raži,

x_4 – površina pod površina pod ovsom.

Funkcija cilja ima sledeći oblik:

$$\max F_{(x)} = (25 \cdot 4000 - 78000) \cdot x_1 + (25 \cdot 4000 - 74000) \cdot x_2 + (38 \cdot 3800 - 84000) \cdot x_3 + (35 \cdot 3500 - 80000) \cdot x_4$$

odnosno

$$\max F_{(x)} = 22000 \cdot x_1 + 26000 \cdot x_2 + 60400 \cdot x_3 + 42500 \cdot x_4 \quad (8)$$

Ograničenja se odnose na mehanizaciju – traktor i kombajn (tabela 2), kao i na ograničenja u površini kod pojedinih kultura. U tabeli 2 su prikazana potrebna vremena obrade po jednom hektaru određene kulture. Kapacitet (u časovima) predstavlja ukupno dostupno vreme mehanizacije za obradu jer ista oprema angažovana i na drugim poslovima. Takođe, za navedene kulture, angažovanje mehanizacije se vrši gotovo istovremeno za sve kulture (na primer kombajn za vreme žetve, pa traktor kod jesenjeg oranja, itd.).

Tabela 2: Ograničavajući resursi

Resurs	Pšenica	Ječam	Raž	Ovas	Kapacitet
Traktor sa priključnim mašinama	9h	6h	6,5h	8h	60h
Kombajn	2h	1h	1h	2h	20h

Ograničenja u površini (ha) kod pojedinačnih kultura su sledeća:

- Pšenica – minimalna površina 2ha, dok je maksimalna površina 4ha.
- Ječam – minimalna površina 0,3 ha, dok je maksimalna površina 1ha.
- Raž – minimalna površina 1ha, dok je maksimalna površina 1,5ha.
- Ovas – minimalna površina 1,5ha, dok je maksimalna površina 2,5ha.

Shodno tome, ograničenja su sledeća:

$$9 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 6{,}5 \cdot x_3 + 8 \cdot x_4 \leq 60 \quad (9)$$

$$2 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 1 \cdot x_3 + 2 \cdot x_4 \leq 20 \quad (10)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 5{,}5 \quad (11)$$

$$x_1 \geq 2 \quad (12)$$

$$x_1 \leq 4 \quad (13)$$

$$x_2 \geq 0{,}3 \quad (14)$$

$$x_2 \leq 1 \quad (15)$$

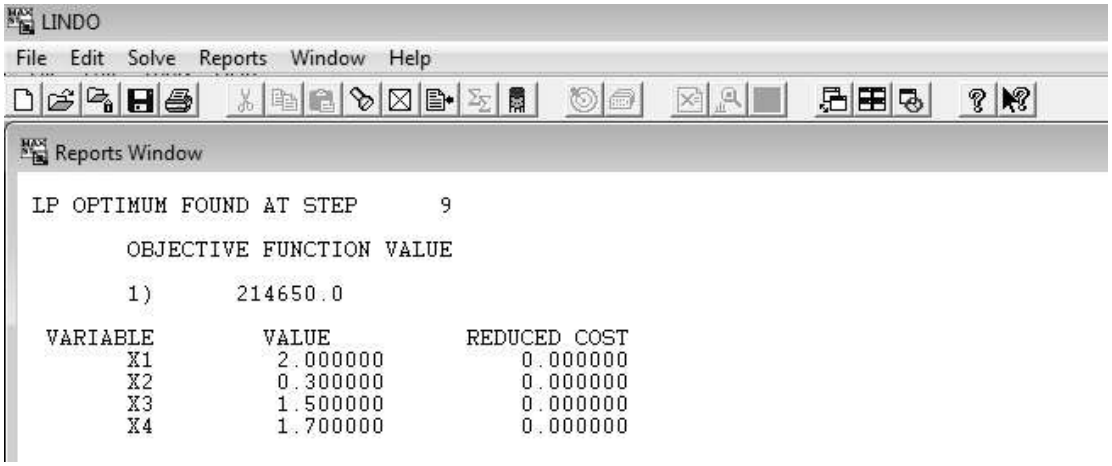
$$x_3 \geq 1 \quad (16)$$

$$x_3 \leq 1{,}5 \quad (17)$$

$$x_4 \geq 1{,}5 \quad (18)$$

$$x_4 \leq 2{,}5 \quad (19)$$

Rešenje matematičkog problema je dobijeno primenom programskog paketa Lindo – slika 1.



Slika 1: Rešenje optimizacije (preuzeto iz programa Lindo)

Kao što se vidi sa slike 1., maksimalna dobit iznosi 214.650,00din, ako se pojedine kulture seju na sledećim površinama:

- pšenica –2,0ha,
- ječam –0,3 ha,
- raž –1,5ha, i
- ovas –1,7ha.

Na kraju, treba odrediti da li je optimalno rešenje bolje od dosadašnjeg načina rada na porodičnom poljoprivrednom gazdinstvu. Prema dostupnim podacima, prošle godine je raspored sejanja pojedinih kultura vršeno je na sledećim površinama:

- pšenica –2,2ha,

- ječam –0,5 ha,
- raž –1,0ha, i
- ovas –1,8ha.

Pri tome, ostvareni su prihodi od 198.300,00din, što je manje od optimalnog plana za 16.350,00din – tabela 3.

Tabela 3: Razlika između postojećeg i optimalnog stanja

Kultura	**Postojeće stanje**		**Optimalno stanje**	
	Površina (ha)	**Prihod (din)**	**Površina (ha)**	**Prihod (din)**
Pšenica	2,2	48.400,00	2,0	44.000,00
Ječam	0,5	13.000,00	0,3	7.800,00
Raž	1,0	60.400,00	1,5	90.600,00
Ovas	1,8	76.500,00	1,7	72.250,00
Ukupno	**5,5**	**198.300,00**	**5,5**	**214.650,00**
Razlika: 214.650,00 – 198.300,00 = 16.350,00				

5. ZAKLJUČAK

Problemi odlučivanja u poljoprivredi javljaju se na svim nivoima, od nacionalnog do nivoa poljoprivrednog gazdinstva, a njihovi konteksti mogu biti individualni i grupni. Specifičnosti poljoprivredne proizvodnje, tehnički, sociološki, politički i ekološki problemi, kao i dostupnost i preciznost podataka samo su neki od faktora koji doprinose kompleksnosti procesa odlučivanja u ovoj oblasti. Danas se sa pravom može reći da se kvalitetna odluka, koja podrazumeva izbor između različitih alternativa pod uticajem brojnih faktora, ne može doneti bez integrisanog delovanja ljudskog faktora, matematičkih metoda i računarskih alata.

Cilj ovog rada je bio da se sastavi optimalan plan proizvodnje na poljoprivrednom gazdinstvu. U radu je izvršena optimizacija poljoprivredne proizvodnje pomoću Lindo programa koji je namenjen rešavanju problema linearnog programiranja. Optimizacija je izvršena na četiri poljoprivredne kulture: pšenica, ječam, raž i ovas. Pri sadnji na 5,5ha zemljišta, optimalno rešenje strukture zasada je kod: pšenice 2,0ha, ječma 0,3ha, raži 1,5ha i ovsa 1,7ha. Ovakvo optimalno rešenje obezbeđuje profit od 214.650,00 dinara, što je za 16.350,00 dinara više od dosadašnjeg načina rada.

ZAHVALNOST

Istraživanja su finansirana od strane Ministarstva Obrazovanja i Tehnološkog Razvoja Republike Srbije kao deo projekta br: TR-34023.

LITERATURA

[1] Krčevinac S., Kovačević-Vujčić V., Martić M., & Vujošević M. (2006) Operaciona istraživanja 1. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka.

[2] Manos B., Chatzinikolaou P. & Kiomourtzi F. (2013). Sustainable Optimization of Agricultural Production. Thessaloniki: Aristotle University of Thessaloniki, Department of Agricultural Economics.

[3] Nasution Z. & Rahmawaty R. (2014). Optimization model on the use of agriculture land in the Catchment area of lake Toba. International Journal of Scientific & Technology Research, 3(11), 1-6.

[4] Novković N. (1990). Višekriterijalni model integralnog planiranja proizvodnje u poljoprivrednim preduzećima. Zbornik radova SYM-OP-IS 90, Kupari, Hrvatska.

[5] Orović G. D. (2017). Optimizacija poljoprivredne proizvodnje na porodičnim gazdinstvima u Topličkom okrugu. Doktorska disertacija, Beograd: Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

OPTIMIZACIJA SASTAVA ŠARŽE KONCETRATA BAKRA U CILJU POSTIZANJA BOLJEG EKOLOŠKOG OTISKA

OPTIMIZING THE COMPOSITION OF COPPER BATCH IN ORDER TO ACHIEVE A BETTER ECOLOGICAL FOOTPRINT

IVAN JOVANOVIĆ[1], DEJAN BOGDANOVIĆ[1], IVAN MIHAJLOVIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Katedra za Inženjerski menadžment, Bor, ijovanovic@tfbor.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu se numeričkom analizom rešava problem sastava mešavine u postupku proizvodnje bakra. Cilj je definisati optimalni sastav šarže koncentrata bakra, koja se koristi u pirometalurškom procesu proizvodnje bakra. U tu svrhu je razvijen i prilagođen matematički model koji odgovara konkretnom problemu. U modelu je predložena funkcija cilja koja maksimizira profit tako što izračunava prihod ostvaren prodajom korisnih proizvoda na tržište (Cu, Ag, Au) i izdataka za nabavku sirovina. Osim osnovnih ograničenja, koja su u literaturi definisana za problem sastava mešavine, razvijena su i ograničenja koja uvažavaju specifičnan proces proizvodnje bakra, kao i ekološke zahteve. Na ovaj način se predlaže model koji usklađuje tri kontradiktorna zahtjeva u proizvodnji bakra: ekonomski, tehnološki i ekološki. Polaznu osnovu za optimizaciju čine osam različitih koncentrata bakra, koji su bili dostupni na tržištu u trenutku ovog istraživanja. Optimizacija je urađena korišćenjem softverskog programa MATHEMATICA v 8.0. Rezultati dobijeni numeričkim eksperimentima potvrđuju pretpostavku da je moguće sastaviti optimalnu šaržu koja će uskladiti sve kontradiktorne zahteve. Uz manje izmene, model se može primeniti i na druge slične procese proizvodnje.*

Ključne reči: *Operaciona istraživanja, problem mešavine, optimizacija šarže, proizvodnja bakra.*

Abstract: *In this paper, the blending composition problem in the copper production process is being solved by using the numerical analysis. The goal is to define the optimal composition of the batch of copper concentrates, which is used in the pyrometallurgical copper smelting process. For this purpose, a mathematical model corresponding to a specific problem has been developed and adapted. In the model, the objective function which maximizing profit was proposed in the way that calculates income generated by selling useful products to the market (Cu, Ag, Au), and expenses for raw materials purchases. In addition to the basic constraints, which are defined in the literature for the problem of the composition of the mixture, constraints have been developed that respect the specific copper smelting process as well as environmental requirements. In this way, a mathematical model that harmonizes three contradictory requirements in the production of copper: economic, technological and environmental is proposed. The starting base for optimization consists of eight different copper concentrates, which were available on the market at the time of this research. Optimization was done using software MATHEMATICA v 8.0. The results obtained by numerical experiments confirm the assumption that it is possible to assemble an optimal batch that will harmonize all contradictory requirements. With minor changes, the model can be applied to other similar production processes.*

Keywords: *Operational research, blending composition problem, batch optimization, copper production.*

1. UVOD

Jedna od najčešćih primena u linearnom programiranju (LP) je problem mešavine, koji se može definisati kao mešanje različitih sastojaka (ulazi) u jednu ili više mešavina (izlazi), a da se pri tome zadovolje data ograničenja i optimizira željeni cilj. Ovakvi problemi su tipični u mnogim industrijskim granama, kao što su crna i obojena metalurgija, prehrambena, naftna, hemijska, mašinska, tekstilna, ali se slični problemi mogu sresti i u drugim. Tako je problem mešavine u proizvodnji uglja istraživan u radovima (Liu and Sherali 2000, Lyalyuk *et al.* 2014); u proizvodnji koksa u radu (Berkutov *et al.* 2010), u proizvodnji čelika u radovima (Kim and Lewis 1987, Logunova *et al.* 2013); u proizvodnji mesinga u radu (Sakallı and Baykoc 2011) kod proizvodnje hemijskih đubriva u radu (Ashayeri *et al.* 1994), u proizvodnji bio dizel goriva u radu (Markov *et al.* 2016), problem mešavine gasova u LED sijalici u radu (Feng *et al.* 2017), u proizvodnji asfalta u radu

(Sivilevičius and Vislavičius 2019), u proizvodnji briketa u radu (Vashchenko *et al.* 2018), itd. Problemi optimizacije šarže u proizvodnji bakra istraživani su u radovima (Nikolić *et al.* 2009, Saramak *et al.* 2010, Saramak 2011, Jovanović and Stanimirović 2012, Jovanović *et al.* 2013).

U ovom radu se rešava problem sastava mešavine šarže koja se koristi za pirometalurški postupak dobijanja bakra. Osnovna ideja je razvijanje i implementacija matematičkog modela za optimizaciju sastava šarže koncentrata bakra, koji se koriste u proizvodnji bakra u kompaniji „Zijin Bor Copper" d.o.o. Bor. Prilikom optimizacije se vodi računa o maksimizaciji profita, a u isto vreme održava željeni nivo kvaliteta proizvoda i snabdevanje tržišta. Pored ekonomskih i tehnoloških zahteva i zahteva za dostizanjem standarda kvaliteta proizvoda, kod proizvodnje bakra je potrebno zadovoljiti i ekološke standarde. Sve su to kontradiktorni zahtevi koje treba uskladiti. Zato su poznati matematički modeli (Ashayeri *et al.* 1994) prilagođeni konkretnom slučaju i prošireni uvođenjem nekih specifičnih ograničenja. Polazna pretpostavka je da se izborom i mešanjem različitih koncentrata bakra može sastaviti „ekološki prihvatljiva" šarža koja sadrži dovoljnu količinu korisnih sastojaka za ekonoski isplativu proizvodnju, a ujedno i manju količinu štetnih sastojaka od propisanih vrednosti. Na ovaj način se daljim, uobičajenim, postupkom proizvodnje bakra znatno utiče na postizanje boljeg ekološkog otiska.

2. OPIS PROBLEMA

Kako bi se zaštitilo zdravlje ljudi, svetska zdravstvena organizacija (*World Health Organization*) (WHO 2001) je propisala dozvoljene vrednosti sadržaja SO_2, $PM_{2.5}$, PM_{10}, i sadržaja teških metala u vazduhu. Takođe, EU svojim direktivama (EU Directive 1999, EU Directive 2004) ograničava vrednosti sadržaja ovih zagađivača u vazduhu (Tabela 1), a to obavezuje kompanije na njihovo poštovanje. I pored navedenih propisa i direktiva, na svetskom tržištu se nalaze koncentrati bakra koji sadrže štetne elemente u većim količinama od propisanih. Prisustvom raznih sastojaka u sirovinama određuje se kvalitet gotovog proizvoda.

Korisni sastojci u koncentratima bakra su: bakar (Cu), srebro (Ag) i zlato (Au). Sumpor (S) se može posmatrati i kao koristan i kao štetan sastojak u koncentratu. Od štetnih sastojaka (elemenata), kao najopasnijih za ljude i okolinu, nalaze se: bizmut (Bi), arsen (As), olovo (Pb), cink (Zn), kadmijum (Cd), selen (Se), živa (Hg), antimon (Sb), nikl (Ni). Problem se svodi na određivanje količina pojedinih koncentrata bakra koje će biti upotrebljene za proizvodnju gotovog proizvoda odgovarajućeg kvaliteta, ali tako da profit, predstavljen kao razlika između prihoda od prodaje korisnih proizvoda i izdataka za nabavku koncentrata bakra, bude maksinimalan, uz uvažavanje ekoloških standarda.

Koncentrati koji se koriste za proizvodnju bakra nabavljaju se po različitim cenama i različitog su kvaliteta. Prisustvo korisnih i štetnih elemenata u koncentratu bakra direktno utiče na njegovu cenu, koja se formira na principu ponude i potražnje sa Londonske berze metala (*LME-London Metals Exchange*).

U ovoj studiji za optimizaciju šarže razmatrana su 8 različitih koncentrata bakra koji su u tom trenutku bili prisutni na tržištu. Koncetrat 5 se uvozi iz Bugarske, a koncetrat 6 iz Rumunije. Koncentrati od 1 do 4 i koncentrat 7 su dobijeni iz rudnih nalazišta u Srbiji. Koncentrat 8 označen kao „Rudno telo H" je prirodni mineralni oblik iz jednog neiskorišćenog rudnog tela, koji ima visok sadržaj Cu, ali je praćen velikim procentom As. Rezultati hemijskih analiza koncentrata prikazani su u Tabeli 1.

Jedan od ciljeva ovog istraživanja je sastavljanje optimalne šarže na osnovu dostupnih koncentrata u saglasnosti sa njihovim sastavom. Drugi cilj je utvrđivanje mogućnosti obrade koncentrata 8 u kombinaciji sa dostupnim koncentratima, na ekološki prihvatljiv način, jer ukoliko bi se direktno tretirao u pirometalurškom procesu, zbog visokog sadržaja As, došlo bi do ekološke katastrofe.

Tabela 1: Hemijski sastav koncentrata bakra

Proizvodi	**P_1**	**P_2**	**P_3**	**P_4**	**P_5**	**P_6**	**P_7**	**P_8**	**P_9**	**P_{10}**	**P_{11}**	**P_{12}**	**P_{13}**	**P_{14}**	**Poreklo koncentrata**
Hem. simbol	**Cu**	**Bi**	**As**	**S**	**Pb**	**Zn**	**Cd**	**Se**	**Hg**	**Sb**	**Ni**	**Ag**	**Au**	**Ostalo**	
Jedinice	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	**%**	
Koncentrat 1	23.40	0.000	0.0030	29.48	0.005	0.00	0.0004	0.0000	0.00001	0.005000	0.004	0.000000	0.000000	47.10	V.Krivelj 1
Koncentrat 2	12.62	0.018	0.0340	10.71	0.19	0.52	0.0025	0.0086	0.00003	0.004990	0.008	0.002192	0.000308	75.88	Bor
Koncentrat 3	16.21	0.021	0.0029	37.73	0.01	0.10	0.0025	0.0140	0.00001	0.004991	0.012	0.001234	0.000132	45.89	V.Krivelj 2
Koncentrat 4	14.59	0.024	0.0057	28.72	0.14	0.40	0.0025	0.0110	0.00002	0.004990	0.010	0.003300	0.000460	56.09	Majdanpek 1
Koncentrat 5	25.87	0.018	0.0070	33.86	0.13	0.21	0.0025	0.0200	0.00002	0.004990	0.002	0.003350	0.000572	39.87	Asarel - BG
Koncentrat 6	21.45	0.021	0.0180	26.16	0.32	0.42	0.0050	0.0190	0.00003	0.004991	0.003	0.006350	0.000420	51.57	Abrud - RO
Koncentrat 7	15.49	0.027	0.0038	24.87	0.04	0.13	0.0026	0.0116	0.00002	0.005240	0.008	0.003150	0.000400	59.40	Majdanpek 2
Koncentrat 8	26.25	0.003	10.340	19.48	0.005	0.15	0.0000	0.0000	0.00000	0.040000	0.010	0.0000001	0.000064	43.72	Rudno telo "H"
Granične vrednosti	>=21	<=0.05	<=0.2	>=32	<=2	<=3	<=0.01	<=0.01	<=0.0005	<=0.3	<=0.1	>=0	>=0	-	-

Kod prerade koncentrata bakra u manjim količinama se proizvodi srebro (Ag) i zlato (Au). Prihod od prodaje Ag i Au je znatno manji u odnosu na ostvareni prihod od prodaje bakra (Cu), ali nije zanemarljiv. Zbog toga se u matematičkom modelu ne može izbeći ostvareni prihod od prodaje Au i Ag. Teški metali Bi, As, Pb, Zn, Cd, Se, Hg, Sb, Ni su neizbežni elementi koncentrata i veoma su štetni za zdravlje ljudi. Zbog toga je poželjno da se štetni metali nalaze u količinama manjim od propisanih vrednosti. Sumpor (S) se posmatra kao korisna komponenta u koncentratima, zbog njegove uloge goriva u procesu prženja.

Dakle, u studiji je razmatrano 4 korisnih i 9 štetnih sastojaka koncetrata bakra, koji su označeni kao proizvodi od P_1 do P_{13}. Proizvod P_{14} predstavlja sve ostale sastojke (elemente i jedinjenja) koji se nalaze u koncetratima bakra. Propisane gornje (U_k) i donje (L_k) granične vrednosti proizvoda P_1–P_{13} su prikazane u poslednjem redu Tabele 1.

3. MATEMATIČKI MODEL

U radu se rešava problem sastava mešavine i to za slušaj proizvodnje više proizvoda od više sirovina. Pretpostavka je da su m=8 različitih koncentrata, označeni sa K_1,...,K_8, raspoloživi za sastavljanje šarže, a da se njihovom preradom dobija n=14 različitih proizvoda, označenih sa P_1,...,P_{14}. Indeksi za korisne proizvode su I={1,12,13}. Takođe, pretpostavka je da u proizvodnji ima otpada i rastura oko 8%, pa se gotov proizvod može iskazati sa 92% u odnosu na količinu svih koncentrata upotrebljenih za njegovu proizvodnju. Zadatak se svodi na određivanje količina svakog koncentrata koji će se upotrebiti za dobijanje svakog od proizvoda, a da se pri tome ostvari maksimalan profit, i usklade svi kontradiktorni zahtevi. Za formiranje matematičkog modela korišćena je sledeća notacija:

x_{ij} – količina koncentrata K_i koja će biti uputrebljena za proizvodnju proizvoda P_j
a_i – ukupna količina K_i-tog koncentrata koji će biti upotrebljen za proizvodnju
g_i – raspoloživa količina K_i-tog koncentrata
ci_i – nabavna (input) cena jedinice K_i-tog koncentrata
b_j – količina P_j-tog proizvoda prema optimalnom rešenju
t_j – količina P_j-tog proizvoda koja se može prodati na tržište
co_j – prodajna (output) cena jedinice gotovog-korisnog proizvoda P_j, $j \in I$
p_{ij} – procenat P_j -tog proizvoda u jednoj jedinici K_i -tog koncentrata
U_j, L_j – gornje i donje granićne vrednosti limitirane procentom sastojaka P_j u šarži
Y_i – koeficijent korisnosti za sirovinu K_i

Na osnovu pretpostavki i uvedenih simbola formira se matematički model problema. Izrazi koji daju korelaciju između promenljuvih x_{ij}, a_i i b_j su prikazani formulama od (1) do (3).

$$a_i = \sum_{j=1}^{n} x_{ij}, \quad i = 1,\ldots,m \tag{1}$$

$$b_j = \sum_{i=1}^{m} Y_i \cdot p_{ij} \cdot a_i, \quad j = 1,\ldots,n \tag{2}$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{a_i} \Rightarrow x_{ij} = p_{ij} \cdot a_{ij}, \quad i = 1,\cdots,m \tag{3}$$

Kako je m=8 i n=14, funkcija cilja koju treba maksimizirati ima oblik prikazan formulom (4).

$$F(x) = \sum_{j\in 1,12,13} co_j \cdot b_j - \sum_{i=1}^{8} ci_i \cdot a_i \tag{4}$$

Prva grupa ograničenja – *raspoložive količine sirovina*, prikazana je formulom (5). Ova ograničenja se odnose na količine koncentrata koje se mogu obezbediti na tržištu. U praksi, te količine su praktično neograničene. Zbog proračuna, u modelu se usvaja raspoloživa količina od 1T za svaki koncentrat. Dakle, svi numerički rezultati su izraženi po jednoj toni koncentrata.

$$a_i \le g_i \Leftrightarrow \sum_{j=1}^{14} x_{ij} \le g_i = 1, \quad i = 1,\ldots,8 \tag{5}$$

Druga grupa ograničenja – *plasman gotovih proizvoda na tržište*, prikazana je formulom (6). Ova ograničenja se odnose na količine gotovih proizvoda (P_1, P_{12} i P_{13}) koje se mogu prodati na tržište, i one su neograničene, tj. $t_j \to \infty$.

$$b_j \le t_j \Leftrightarrow \sum_{i=1}^{8} Y_i x_{ij} \le t_j \to \infty, \quad j = 1,\ldots,14 \tag{6}$$

Treća grupa ograničenja – *strukturna ograničenja*, prikazana je formulom (7), a četvrta grupa ograničenja, tzv. *prirodna ograničenja* prikazana je formulom (8).

$$x_{ij} - p_{ij} \sum_{j=1}^{14} x_{ij} = 0_j, \quad i = 1,\ldots,8, \quad j = 1,\ldots,14 \tag{7}$$

$$x_{ij} \geq 0_j, \quad i = 1,\ldots,8, \quad j = 1,\ldots,14 \tag{8}$$

Peta grupa ograničenja – *donja granica za sadržaj bakra u šarži*. Ova grupa ograničenja je nametnuta tehnološkim postupkom proizvodnje, formula (9). Naime, tehnološki zahtev je da sadržaj bakra u mešavini ne bude ispod 21%. U konkretnom slučaju, donje granične vrednosti se biraju iz skupa $L_1 \in \{21\%,\ldots, 26\%\}$.

Šesta grupa ograničenja – *donja granica za sadržaj sumpora u šarži*. I ova grupa ograničenja je nametnuta tehnološkim postupkom proizvodnje, formula (10). Kako se sumpor posmatra kao korisna komponenta u mešavini u modelu se postavlja samo donja granica, tj. L_4=32%.

Sedma grupa ograničenja – *gornje granice za štetne elemente u šarži*. Ova grupa ograničenja je nametnuta ekološkim zahtevima, i prikazana je formulom (11).

$$b_1 \geq L_1 \cdot \sum_{j=1}^{14} b_j \tag{9}$$

$$b_4 \geq L_4 \cdot \sum_{j=1}^{14} b_j = 0.32 \cdot \sum_{j=1}^{14} b_j \tag{10}$$

$$b_j \leq U_j \cdot \sum_{j=1}^{14} b_j, \quad j \notin I, \; j \neq 4 \tag{11}$$

Matematički model sumira određene vrednosti x_{ij} svih proizvedenih proizvoda iz svakog koncentrata i ostvaruje najveći profit, saglasno ciljnoj funkciji (4). Ograničenja od (5) do (8) su poznata ograničenja koja se mogu naći u literaturi za problem sastava mešavine, dok su ograničenja od (9) do (11) definisana kako bi se ispoštovao tehnološki i ekološki aspekt problema.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Implementacija je urađena u programskom jeziku MATHEMATICA, upotrebom standardne funkcije `Maximize` iz paketa. Funkcija `Maximize[f,{cons},{x,y,...}]` maksimizira *f* definisanom formulom (4), po ograničenjima definisanim formulama od (5) do (11), uz uvažavanje *x*, *y*,... liste (Wolfram 2003).

U radu su izvršeni numerički eksperimenti za sadržaj bakra (Cu) u šaržama u rasponu od 21% do 26%. Eksperimenti su urađeni za tri scenarija. Prvi scenario, označen sa „Cu“, podrazumeva korišćenje formula od (4) do (9), drugi, označen sa „Cu+S“, podrazumeva korišćenje formula od (4) do (10), a treći, označen sa „Cu+Svi“, podrazumeva korišćenje formula od (4) do (11).

Optimalna rešenja za sva tri scenarija su prikazana u Tabeli 2. Kolona označena sa $F(x)$[*$/T*] predstavlja profit izražen u dolarima po toni prerađene šarže. Kolona označena sa $F(x)$[*$*] označava ukupan profit izražen u dolarima, odnosno označava vrednost funkcije cilja definisane formulom (4).

Tabela 2: Eksperimentalni rezultati – Optimalna rešenja za sva tri scenarija

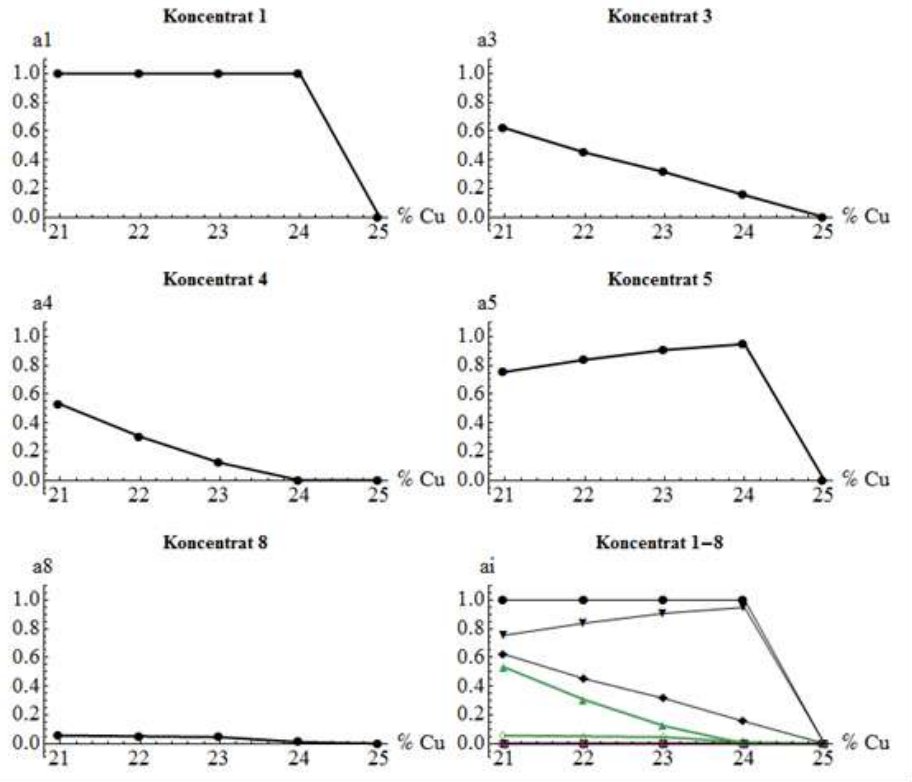
L_1	Tti scenarija	$F(x)$ [$/T]	$F(x)$ [$]	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
21	Cu	1,265	7,870	1	0	0,22	1	1	1	1	1
	Cu+S	1,252	5,085	1	0	1	0,43	1	0,63	0	0
	Cu+Svi	1,237	3,662	1	0	0,62	0,53	0,75	0	0	0,06
22	Cu	1,314	7,005	1	0	0	0,33	1	1	1	1
	Cu+S	1,296	4,667	1	0	0,91	0	1	0,61	0	0,08
	Cu+Svi	1,292	3,411	1	0	0,45	0,30	0,84	0	0	0,05
23	Cu	1,359	6,333	1	0	0	0	1	1	0,66	1
	Cu+S	1,358	3,666	1	0	0,41	0	1	0,29	0	0
	Cu+Svi	1,343	3,209	1	0	0,31	0,12	0,91	0	0	0,05
24	Cu	1,406	5,779	1	0	0	0	1	1	0,11	1
	Cu+S	1,403	3,073	1	0	0,15	0	1	0,04	0	0
	Cu+Svi	**1,408**	**2,957**	**1**	**0**	**0,15**	**0**	**0,94**	**0**	**0**	**0,01**
25	Cu	1,431	4,508	1	0	0	0	1	0,15	0	1
	Cu+S	1,498	2,397	0,57	0	0	0	1	0	0	0,03
	Cu+Svi	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	Cu	1,523	3,122	0,05	0	0	0	1	0	0	1
	Cu+S	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Cu+Svi	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Na osnovu rezultata može se zaključiti da je moguće dobiti optimalna rešenja za sva tri scenarija za vrednost $L_1 \in \{21\%, ..., 24\%\}$. Za vrednost L_1=25% moguće je dobiti optimalno rešenje za prva dva scenarija, dok je za L_1=26% moguće optimalno rešenje samo za prvi scenario. Koncentrat K_2 ne učestvuje u formiranje optimalne šarže ni za jedan scenario za vrednost $L_1 \in \{21\%, ..., 26\%\}$.

Koncentrat K_8 sa velikim udelom ulazi u sastav optimalne šarže kod prvog scenarija, za vrednost $L_1 \in \{21\%, ..., 26\%\}$. To je bilo i očekivano, jer se radi o eksperimentu gde se ne razmatra ekološki aspekt proizvodnje. Kod drugog i trećeg scenarija K_8 sa veoma malim udelom ulazi, ili uopšte ne ulazi, u sastav optimalne šarže.

Optimalno rešenje za treći scenario, koji usklađuje ekonomski, tehnološki i ekološki aspekt, je dobijeno za vrednost L_1=24% (boldirano u Tabeli 2). U ovo optimalno rešenje ulaze koncentrati K_1, K_3, K_4 i K_8. Njihovo učešće u optimalnoj šarži iznosi 47,62%, 7,14%, 44,76% i 0,48%, respektivno. Zanimljivo je da K_8, iako ekološki najlošiji koncentrat, ulazi sa malim procentom (0,48%) u sastav optimalne šarže.

Na Slici 1 su prikazana optimalna rešenja za treći scenario, označen kao „Cu+Svi“. Prikazani su grafikoni pet koncentrata bakra K_1, K_3, K_4, K_5 i K_8 koji učestvuju u formiranju optimalne šarže, za $L_1 \in \{21\%, ..., 25\%\}$, Ovim optimalnim rešenjima se obezbeđuje „ekološki prohvatljiva“ proizvodnja bakra, odnosno usklađuju se sva tri kontradiktorna zahteva (ekonomski, tehnološki i ekološki). Za treći scenario koncentrati K_2, K_6 i K_7 ne učestvuju u satavljane optimalne šarže ni za jednu vrednost $L_1 \in \{21\%, ..., 25\%\}$.



Slika 1: Optimalna rešenja za treći scenario

Na *x*-osi naznačene su vrednosti donjih granica za sadržaj Cu u šarži, u rasponu od 21% do 25%, Na *y*-osi su prikazane vrednosti a_1, a_3, a_4, a_5 i a_8 koji odgovaraju koncentratima K_1, K_3, K_4, K_5 i K_8, respektivno.

5. ZAKLJUČAK

U radu je razvijen matematički model kojim se rešava problem sastava mešavine gde su ulazne sirovine koncentrati, koji se mogu nabaviti na tržištu sirovina, a izlazni proizvodi su nametnuti sadržajem tih koncentrata. Prvi cilj je bio određivanje optimalnog sastava mešavine uz ostvarivanje maksimalnog profita i uvažavanja svih kontradiktornih zahteva. Drugi cilj je bio provera moguće primene K_8 za proizvodnju bakra u kombinaciji sa dostupnim koncentratima.

Razmatrani problem mešavine ima više optimalnih rešenja. To zavisi od primenjenog scenarija i željene vrednosti $L_1 \in \{21\%, ..., 26\%\}$. U skladu sa postavljenim ciljevima istraživanja, kao najbolje rešenje nameće se numerički eksperiment za vrednost L_1=24%. Optimalna šarža se sastoji od domaćih koncetrata K_1 (Veliki Krivelj 1), K_3 (Veliki Krivelj 2), K_4 (Majdanpek 1), i K_8 (rudno telo “H”), sa učešćem od 47,62%, 7,14%, 44,76% i 0,48%, respektivno.

U radu je razvijeni matematički model koji može pomoći menadžmentu kompanije „Zijin Bor Copper“ d.o.o. Bor kod donošenja poslovnih odluka. Uz manje korekcije, model se može primeniti i na druge slične procese proizvodnje.

ZAHVALNOST

Rezultati prikazani u ovom radu su deo istraživanja projekta TR34023, koji je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

[1] Ashayeri, J,, van Eijs, A,G,M,, & Nederstigt, P, (1994), Blending modelling in a process manufacturing: A case study, European Journal of Operational Research, 72(3), 460–468.

[2] Berkutov, N,A,, Stepanov, Y,V,, Gilyazetdinov, R,R,, Popova, N,K,, & Kupriyanova, S,N, (2010), Optimizing the Composition of Coking Batch, Coke and Chemistry, 53(7), 243-246.

[3] EU, 1999/30/CE Council Directive relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxide of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air, The Council of the European Union, 1999.

[4] EU, 2004/107/CE Council Directive relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air, The Council of the European Union, 2004.

[5] Feng, S,, Sun S,,, Yan H,, Shi, M,, Lu, T,J, (2017), Optimum composition of gas mixture in a novel chimney-based LED bulb, International Journal of Heat and Mass Transfer, 115, 32-42.

[6] Jovanović, I,, & Stanimirović, P, (2012), A blending problem in copper production, Environmental Modeling and Assessment, 17(5), 495-503.

[7] Jovanović, I,, Stanimirović, P,, & Ž ivković, Ž, (2013), Envi- ronmental and economic criteria in ranking of copper concentrates, Environmental Modeling and Assessment, 8(1), 73-83.

[8] Kim, J,, & Lewis, R,L, (1987), A large scale linear programming application to least cost charging for foundry melting operations, American Foundrymens, Society Transactions, 95, 735–744.

[9] Liu, C,M,, & Sherali, H,D, (2000), A coal shipping and blending problem for an electric utility company, Omega–International Journal of Management Science, 28(4), 433-444.

[10] Logunova, O,S,, Filippov, E,G,, Pavlov, I,V,, & Pavlov V,V, (2013), Multicriterial Optimization of the Batch Composition for Steel-Smelting Arc Furnaces, Steel in Translation, 43(1), 34-38.

[11] Lyalyuk, V,P,, Kassim, D,A,, Liakhova, I,A,, & Shmeltser E,O, (2014), Optimizing the Composition of Coal Batch, Coke and Chemistry, 57(1), 18-23.

[12] Markov, V,A,, Kamaltdinov, V,G,, Loboda, S,S, (2016), Optimization of diesel fuel and corn oil mixtures composition, Procedia Engineering, 150, 225-234.

[13] Nikolić, Dj,, Jovanović, I,, Mihajlović, I,, & Živković, Ž, (2009), Multi-criteria ranking of copper concentrates according to their quality-an element of environmental management in the vicinity of copper Smelting complex in Bor, Serbia, Journal of Environmental Management, 91(2), 509-515.

[14] Sakallı, U,S,, & Baykoc, O,F, (2011), An optimization approach for brass casting blending problem under aletory and epistemic uncertainties, International Journal Production Economics, 133, 708-718.

[15] Saramak, D,, Tumidajski, T,, & Skorupska, B, (2010), Technological and economic strategies for the optimization of Polish electrolytic copper production plants, Minerals Engineering, 23(10), 757-764.

[16] Saramak, D, (2011), Optimal production of electrolytic copper determined by the concentration and distribution of copper concentrates to smelters on the example of KGHM, Archives of Metallurgy and Materials, 56(3), 619–626.

[17] Sivilevičius, H,, & Vislavičius, K, (2019), Simulation of composition of recycled hot-mix asphalt mixture produced in asphalt mixing plant, Construction and Building Materials, 214, 17-27.

[18] Vashchenko, S,V,, Khudyakov, A,Y,, Baiula, K,V,, & Semenov Yu,S, (2018), Selecting the Batch Composition in Briquetting, Steel in Translation, 48(8), 509-512.

[19] Wolfram, S, (2003), The MATHEMATICA Book, (5th ed,), Wolfram Media/Cambridge University Press, Champaign, IL 61820, USA.

[20] WHO (World Health Organization), Air Quality Guidelines for Europe, 2nd edition WHO Regional Publications, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2001.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ODRŽIVOST ŽIVOTNE SREDINE, ZDRAVLJA I SIGURNOSTI SA ASPEKTA DRUŠTVENO ODGOVORNOG POSLOVANJA

THE SUSTAINABILITY OF ENVIRONMENT, HEALTH AND SAFETY FROM SOCIALLY RESPONSIBLE BUSINESS ASPECT

MILICA GRUJIĆ[1]

[1]Fakultet organizacionih nauka, Beograd, milicadjukic555@yahoo.com

Rezime: *Savremeni uslovi poslovanja zahtevaju od poslovnih organizacija da u svoje poslovne aktivnosti sve više uključuju koncept društveno odgovornog poslovanja. Rastuća zabrinutost stejkholdera zbog očuvanja životne sredine i društvenih pitanja stvara pritisak kompanijama da povećaju svoju odgovornost prema životnoj sredini i svojim zaposlenim. Kompanije danas prihvataju odgovornost za negativan uticaj poslovanja na životnu sredinu i sve više menjaju način poslovanja. Svrha rada je definisanje dimenzija društveno odgovornog poslovanja, sa fokusom na ekološku održivost i odživost zdravlja i bezbednosti kao dimenzije društveno odgovornog poslovanja.*

Ključne reči: *društveno odgovorno poslovanje, korporativna društvena odgovornost, dimenzije društveno odgovornog poslovanja, ekološka održivost, održivost zdravlja i sigurnosti*

Abstract: *Contemporary business methods demand from business organizations to include the concept of socially responsible business to an increasing extent. Increasing concern of stakeholders in terms of environmental protection and social issues creates pressure for the companies to increase their responsibility towards environment and their employees. Companies nowadays accept responsibility for negative effect of their activities on environment and an increasing number of companies are changing their methods. The aim of the work is to define the dimensions of socially responsible operations, with the focus on ecological sustainability and the sustainability of health and security as dimensions of socially responsible business.*

Keywords: *socially responsible business, corporate social responsability, socially responsible business dimensions, environmental sustainability, sustainability of health and safety*

1. UVOD

Promene na tržištu rada, migracije stanovništva, globalizacija, sve brži tehnološki napredak, napredak u automatizaciji i informacionim tehnologijama kao i drugi društveni, ekonomski i tehnološki trendovi donose promene u radu i poslovnom okruženju što posledično dovodi do promena u poslovanju kompanija (Schönborn et al., 2018). U skladu sa tim raste interesovanje javnosti za društveni učinak kompanija, što pokazuje da je neodrživ koncept neracionalne eksploatacije prirodnih resursa i ignorisanja potreba zainteresovanih strana – kako onih unutar kompanije tako i onih izvan kompanije. *Korporativna društvena odgovornost (KDO) ili društveno odgovorno poslovanje (DOP)* sve više dobija na značaju u poslednjih nekoliko godina i kao koncept postaje značajan za rešavanje globalnih izazova budućnosti (Mallin, 2009). Kupci, poslovni partneri i potencijani zaposleni sve više obraćaju pažnju na društveno odgovorne aspekte poslovanja kompanije.

DOP možemo definisati kao način realizacije poslovnih ciljeva u skladu sa principima održivog razvoja što znači da je DOP stalna posvećenost kompanija etičkom ponašanju i ekonomskom razvoju. uz poboljšanje kvaliteta života zaposlenih i njihovih porodica kao i lokalnih zajednica i društva (Mukherjee, Bird, & Duppati, 2018). Prilikom donošenja poslovnih odluka društveno odgovorna kompanija uzima u obzir celokupan uticaj na lokalnu zajednicu i životnu sredinu (Vlastelica Bakić, Cicvarić Kostić, & Nešković, 2015).

Ekološki problemi (Bonnett, 2007; Mert, 2006) su dostigli svoju kritičnu tačku u 21. veku i nastavljaju rapidno da rastu ogledajući se u: globalnom zagrevanju, pogoršanju uslova života, narušavanju ozonskog

omotača, uticaju konzervacije, porastu čvrstog otpada, nuklearnom zagađenju, destrukciji šuma, izumiranju biljnih i životinjskih vrsta… (Petrović, 2012; Petrović, 2013). Ekološka održivost predstavlja ključni problem čovečanstva u 21. veku. Sve zemlje treba da doprinesu očuvanju prirodnih resursa, ekosistema, biljnih i životinjskih vrsta, uključujući i životnu sredinu. Svi navedeni faktori doprineli su da kompanije menjaju način poslovanja i da sve više obraćaju pažnju na uticaj na životnu sredinu, što potvrđuju i činjenica da se dugo smatralo da se koncept DOP-a odnosi samo na pojam zaštite životne sredine i očuvanja prirodnih resursa (Vlek & Steg, 2007).

Poslednjih godina zdravlje i sigurnost na radu sve više dobija na značaju. Dokazano je da se usvajanjem konepta DOP-a doprinosi podizanju kvaliteta zdravlja i sigurnosti na radu, stoga i obezbeđuje zdravije radno okruženje, što rezultira smanjenim brojem povreda na radu, zadržavanjem zaposlenih i poboljšanjem korporativnog imidža u javnosti. Posledično, smanjuju se troškovi regrutacije novih zaposlenih i zamene opreme. Kompanije koje poboljšavaju performanse u oblasti zaštite na radu stvaraju zdravo i bezbedno radno okruženje, što doprinosi održavanju konkurentske prednosti (Farrell, 2010).

U radu će biti predstavljen uporedni pregled literature iz oblasti DOP-a. Cilj rada je da pruži pregled naučnih i stručnih radova koji se bave DOP-a sa posebnim osvrtom na dimenzije DOP-a. Dodatno biće definisana ekološka održivost i održivost zdravlja i sigurnosti na radu kao dimenzije DOP-a.

2. DIMENZIJE DRUŠTVENO ODGOVORNOG POSLOVANJA

Različite definicije DOP-a su definisane u literaturi i praksi na osnovu društvenog, ekonomskog, političkog i ekološkog konteksta u poslednjih nekoliko decenija, stoga dolazi se do zaključka da ne postoji jedinstvena definicija pojma društveno odgovornog poslovanja. Međutim, postoje definicije koje pokrivaju različite dimenzije DOP-a kao što su: ekonomski razvoj, etičke prakse, zaštitu životne sredine, učešće zainteresovanih strana, transparentnost poslovanja, odgovorno ponašanje itd (Rahman, 2011).

Dimenzije DOP-a uključuju obaveze koje kompanija ima prema stejkholderima (engl. Stakeholders) – akcionarima/ vlasnicima, potrošačima, zaposlenima, Vladi, društvu itd. Na osnovu ,,zelenog izveštaja'' Evropske komisije koncept DOP-a obuhvata različita ekološka, etička, finansijska i društvena pitanja, te ovaj izveštaj deli DOP na dve dimenzije: internu i eksternu (European Commision, 2001). U nastavku će dimenzije DOP-a biti detaljnije objašnjene.

2.1. Interna dimenzija DOP-a

Interna dimenzija podrazumeva aktivnosti koje odvijaju unutar preduzeća, stoga ova dimenzija obuhvata:

- *Ljudske resurse* – Uspešne kompanije prepoznaju potrebu za privlačenjem i zadržavanjem zaposlenih koji poseduju odgovorajuća znanja ili veštine. Koncept DOP-a podrazumeva razvoj zaposlenih, individualno učenje, jednake plate i uslove napredovanja za žene, sigurnost na poslu, motivaciju zaposlenih, bolji protok informacija unutar preduzeća, zabranu diskriminacije pri zapošljavanju. Imajući u vidu da je koncept DOP-a postao globalna društvena norma, zaposleni često procenjuju kompanije prema društveno odgovrnim aktivnostima (Shen & Benson, 2014);
- *Zdravlje i sigurnost na radu* odnosi se na sportske aktivnosti zaposlenih, redovne zdravstvene preglede zaposlenih, edukacije o zaštiti na radu i promocije zdravog načina života, postojanje plana u kompaniji za zaštitu zdravlja zaposlenih, procene rizika na radnom mestu, podizanje svesti o prevenciji bolesti i povreda na radu (Verra, Benzerga, Jiao, & Ruggeri, 2018)
- *Prilagođavanje promenama* – kako u svetu tako i u Republici Srbiji sve više je prisutno restrukturiranje kompanija što rezultira zatvaranjem radnih mesta i otpuštanjem zaposlenih. Cilj restrukturiranja je smanjenje troškova, poboljšavanje kvaliteta proizvoda/usluge i povećanje obima proizvodnje. Sa aspekta DOP-a treba pronaći uzeti u obzir zahteve onih na koje posledice restrukturinja direktno utiču. Restrukturinje mora biti pažljivo planirano, sagledavajući sve potencijalne rizike i strategije da u što manjoj meri negativno utiče na zaposlene (Obara & Peattie, 2018);
- *Uticaj na životnu sredinu* – Održivi razvoj i društvena odgovornost predstavljaju veoma značajna strateška pitanja za kompanije u gotovo svakoj industriji. Pritisak javnosti i potrošača na kompanije u cilju unapređenja ekološke održivosti rezultira usvajanjem korporavitivnih strategija čime se smanjuje negativan uticaj proizvoda ili usluga na životnu sredinu. Kompanije treba da doprinesu promociji odgovornosti za životnu sredinu kroz edukaciju i informisanje zaposlenih, izborom sirovina koje ne utiču negativno na okolinu, kao i racionalnom upotrebom prirodnih resursa. (Naidoo & Gasparatos , 2018)

2.2. Eksterna dimenzija DOP-a

Eksterna dimenzija DOP-a koja se predstvalja odnos kompanije sa lokalnom zajednicom i stejkholderima. Utvrđeno je da eksterna dimenzija značajno utiče na povećanje kvaliteta proizvoda ili usluge i da je svakako značajna kao i interna dimenzija DOP-a (Tang , Eiríkur Hull , & Rothenberg, 2012). Eksterna dimenzija DOP-a uključuje:

- *Odnos kompanije prema lokalnoj zajednici* koji se zasniva na ulaganju finansijskih sredstava kompanije u lokalnu zajednicu što rezultira ulaganjem u infrastrukturu, razvijanjem ljudskog kapitala (ulaže se u obrazovanje i veštine ljudi koji žive u lokalnoj zajednici), kao i podržavanje strateških društvenih i ekoloških projekata. To zahteva otvorenu saradnju između lokalne zajednice, Vlade i kompanija, radi bližeg sagledavanja gde će se finansijska sredstva uložiti. Na ovaj način mogu se i ublažiti negativni uticaji kompanije na lokalnu zajednicu (npr. odlaganje otpadnih voda, zagađivanje zemljišta, sanacija divjih deponija) (Fordham, Robinson, & Leeuwen, 2018)
- *Odnos sa stejkholderima* u osnovi predstavlja građenje poverenja između kompanije i stejkholdera, fer odnose i kvalitet proizoda i usluga. U odnosu sa dobavljačima izdvajaju se niže nabavne cene, kraći rokovi isporuke, bolji kvalitet proizvoda i usluga. U odnosu sa državom u kontekstu DOP-a izdvaja se poštovanje zakona, plaćanje poreza i obaveza prema državi, transparentnost u poslovanju, suzbijanje korupcije, racionalno korišćenje resursa. Odnos sa kupcima i krajnjim potrošačima predstvalja sigurnost, trajnost i kvalitet proizvoda i usluga, poštovanje prava kupaca, objektivno oglašanje, informisanost kupaca, reakcija na upite kupaca, zaštita podataka, izbeganje lažnog oglašavanja, rešavanje reklamacija (Jamali, 2008)
- *Poštovanje ljudskih i radnih prava* u kontekstu DOP-a prestavlja pravo na život, slobodu i sigurnost, pošteno suđenje, poštovanje privatnosti, zabranu diskriminacije i prislinog rada, sloboda mišljenja, izražavanja, veroispovesti, okupljanja i udruživanja, zatim poštovanje radnih prava predstavlja pravovremena isplata plate, zdravlje i sigurnost na radu, zabrana diskriminacije na radnom mestu, napredovanje, poslovno usmeravanje, stručno usavršavanje, adekvatno radno vreme, pravo na odmore. Treba naglasiti da su ljudska prava kao dimenzija DOP-a dugo bila marginalizovana, te u poslednjih nekoliko godina sve više dobijaju na značaju (Wettstein, 2012).

3. ODRŽIVOST ŽIVOTNE SREDINE

Održivost životne sredine podrazumeva ispunjenje naših trenutnih potreba bez ugrožavanja prava i sposobnosti budućih generacija da ispune njihove. Treba identifikovati i iskoristiti mogućnosti koje bi rezultirale smanjenjem otpada i upotrebe toksičnih materija, što dovodi do sprečavanja zagađenja vazduha, vode i zemljištva. Održivost životne sredine sa aspekta DOP-a podrazumeva uticaj na životnu sredinu usled korporativnih aktivnosti. Uticaji na životnu sredinu su uzrokovani načinom na koji kompanija koristi resurse, kao i uticaj aktivnosti kompanije na vodu, vazduh i zemljište. Pored toga, uticaj proizvoda na biodiverzitet u toku faza životnog ciklusa su od velikog značaja sa aspekta DOP-a (Baumgartner & Ebner, 2010).

Sa porastom svetske populacije, zagađenje je postalo globalni problem. Usvajanjem određenih mera i normi, problem zagađenja se može smanjiti ili potpuno rešiti. Strategije kompanja za kontrolu zagađenja nastoje da upravljaju zagađivačem nakon emitovanja i smanje njegov uticaj na životnu sredinu. Pristup sprečavanja zagađenja zasniva se na unapređenju efikasnosti procesa kompanije, tako što se kontroliše količina zagađenja u samom procesu. Sprečavanje zagađenja je ključ održivosti životne sredine. Zagađenje je posledica nekontrolisanog odlaganja otpada. Najbolji način za kontrolu zagađenja je sprečavanje da zagađenje nastane, što podrazumeva vrednovanje svakog resursa, kontrolisanje resursa i procesa koji utiču na stvaranje proizvoda ili usluga i njihovo unapređenje. Razumevanje kako otpad i zagađenje nastaju i kako se njegov uticaj može minimizirati ili čak potpuno sprečiti, prvi je korak ka održivoj životnoj sredini (Elleuch, Bouhamed, Elloussaief, & Jaghbir, 2018).

Multinacionalne kompanije su pod pritiskom javnosti zbog transfera zastarelih tehnologija, koje takođe imaju štetan uticaj na životnu sredinu, u zemlje u kojima su zakoni i standardi fleksibilniji po pitanju zaštite životne sredine i gde se može koristiti oprema koja nije ekološki prihvatljiva u razvijenim zemljama sa strogim ekološkim zakonima. Multinacionalne kompanije bi trebalo da se pridržavaju standarda i propisa koje koriste u svojim zemljama i da na taj način uspostave praksu DOP-a na globalnom nivou. Tako bi kompanije donele niz poboljšanja u poslovanje kao što su: bolji kvalitet proizvoda, pozitivan ekološki i društveni učinak, veće tržišne vrednosti i bolja reputacija u javnosti. Mnoge „zelene" tehnologije smanjuju operativne troškove i pozitivno utiču na efikasnost zaposlenih. Istraživanja pokazuju da i u zemljama u razvoju, kompanije koje usvajaju ekološke norme i regulative u skladu sa regulativama u razvijenim zemljama imaju veću tržišnu vrednost od onih koje to ne čine (Dowell, Hart , & Yeung, 2000).

Eksterni stejkholderi insistitraju na primeni ekoloških standarda u poslovanju. Mnogi autori naglašavaju da usvajanje koncepta DOP-a, posebno ekološke dimenzije, podstiče inovativnost, doprinosi smanjenju troškova, uštedi resursa, stoga je kompanija u poziciji da stekne značajnu konkurentsku prednost, kao i da privuče lojalne potrošače. Osim o sprečavanju zagađenja, kompanije moraju da razmišljaju o poboljšanju životne srednine kako bi postigle veću produktivnost resursa. Produktivnost resursa podrazumeva uštedu energije, poboljšanje radne radne snage, efikasnost u korišćenju sirovina kao i kontrolu i smanjenje otpada. Pošto investicije u zaštitu životne sredine povećavaju profitabilnost i produktivnost, kompanije treba da usvoje određene regulative u poslovanje, koje su definisane i usvojene od strane kompanije, Vlade, različitih organizacija i međunarodnih partnera (Stojanović, Mihajlović, & Schulte, 2016).

Standardi koje kompanije najčešće usvajaju su (Stojanović, Mihajlović, & Schulte, 2016):

- ISO 14001 – Sistem upravljanja zaštitom životne sredine

Grupa standarda ISO 14000 pruža praktične alate za organizacije svih vrsta i veličina, bilo da su privatne, neprofitne ili vladine, koje pokušavaju da regulišu svoju odgovornost prema životnoj sredini. Uvođenjem standarda ISO 14001 kompanije mogu da uspostave okvir za održivo poslovanje uz učešće menadžmenta, zaposlenih i stejkholdera. Standardizacija omogućava kontrolu uticaja kompanije na životnu sredinu što rezultira poboljšanjem korišćenja resursa, smanjem zagađenja vazduha, vode i zemljišta, upravljanjem otpadom i ublažavanjem klimatskih promena. Uvođenjem ovog standarda kompanije postepeno poboljšavaju svoj uticaj na životnu sredinu.

- EMAS – Sistem upravljanja zaštitom životne sredine

EMAS je standard napravljen za kompanije koje posluju u Evropskoj uniji, registrovanjem u online bazi podataka koju je definisala Evropska komisija. Sistem EMAS je razvijen 1993. godine i predstavlja sistem upravljanja životnom sredinom koji kompanije koriste za procenu, upravljanje i kontinuirano poboljšanje ekoloških performansi. Evropska komisija navodi da je standard ISO 14001 dobra osnova za implamentaciju sistema EMAS.

4. ODRŽIVOST ZDRAVLJA I SIGURNOSTI

Održivost zdravlja i sigurnosti je multidisciplinarni koncept koji uključuje oblasti medicine, prava, tehnologije, ekonomije i psihologije i koji, kao takav, objedinjuje mentalno, fizičko i emotivno blagostanje zaposlenih. To ga čini važnim konceptom koji dosprinosi uspehu bilo koje organizacije. Tradicionalno, fokus ordživosti zdravlja i sigurnosti je na hemijskoj, biološkoj ili fizičkoj opasnosti kojoj su zaposleni izloženi pri obavljanju posla i posledično bolestima i povredama na radu, dok je koncept mentalnog zdravlja uglavnom zanemaren posebno u zemljama u razvoju. Međutim, pitanja koja se tiču fizičkog radnog prostora, vrste zanimanja i uticaj zanimanja na zdravlje, stresa na poslu, radnog vremena i drugih psihosocijalnih pitanja su sve više u centru pažnje, posebno u razvijenim zemljama. Prema Svetskoj zdravstvenoj organizaciji, svi zaposleni imaju pravo na zdrav i siguran rad i radno okruženje koje im omogućava da imaju društveno i ekonomski produktivan život. Ova izjava stvalja ljudski život u središte svih korporativnih aktivnosti, koji ne sme biti ugrožen ni po koju cenu (Amponsah-Tawiah & Dartey-Baah, 2011).

Istraživanja su pokazala da u organizacijama koje imaju negativan uticaj na životnu sredinu i koje ne vode računa o zaposlenima, postoje veliki finansijski troškovi, stoga su stručnjaci za ljudske resurse počeli da promivišu zdrave programe i aktivnosti na radnom mestu, koji se smatraju izvorom konkurentske prednosti jer doprinose smanjenju troškova zdravstvene zaštite, stvaranju boljih odnosa između poslodavca i zaposlenih i smatraju se korisnim sredstvom za zadržavanje i privlačenje zaposlenih (LaDou, 2002).

Održivost zdravlja i bezbednosti je ključno za sve organizacije, posebno za organizacije gde je izvođenje radnih aktivnosti rizično samo po sebi (rudarstvo, građevinarstvo i drvna industrija). Dobra praksa zdravlja i sigurnosti na radu obezbeđuje zdravije radno okruženje, što rezultira smanjenim brojem povreda na radu, zadržavanjem zaposlenih i poboljšanjem korporativnog imidža u javnosti. Na taj način se smanjuju troškovi vezani za kašnjenje u proizvodnji, regrutaciju novih zaposlenih i zamenu opreme. Preduzeća koja poboljšavaju performanse u oblasti zaštite na radu stvaraju zdravo i bezbedno radno okruženje, što predstavlja benefit, ne samo za zaposlene i poslodavca, već i za njihove porodice i zajednice u kojima žive (Amponsah-Tawiah & Dartey-Baah, 2011).

Nacionalne ekonomije, svakako, imaju koristi od uspešne politike zaštite na radu, što se prvenstveno ogleda u smanjenju socijalnih usluga (npr. zdravstvene usluge, socijalne pomoći). Visok standard zaštite na radu je u direktnoj vezi sa visokim BNP po glavi stanovnika. Zemlje koje najviše ulažu u zaštitu na zdravlje i bezbednost na radu imaju najveću produktivnost i najjaču ekonomiju. Stoga aktivan doprinos zdravlju i sigurnosti na radu pozitivno utiče na razvoj privrede, dok su mala ulaganja u zdravlje i sigurnost prepreka u ekonomskoj konkurenciji (Kaynak, Toklu, Elci, & Tamer Toklu, 2016).

U kontekstu DOP-a kompanije primenjuju određene mere da bi poboljšale zdravlje i sigurnost na radu (Lin & Mills, 2001):

- Definisanje plana koji će poboljšati zdravlje i sigurnost
- Proveriti i pregledati radno okruženje
- Obuka zaposlenih o zdravlju i sigurnosti na radnom mestu;
- Redovna komunikacija sa zaposlenima
- Istraživanje incidenata (ukoliko ih je bilo)
- Održavanje zapisa o aktivnostima u kompaniji vezanih za sve aspekte zdravlja i sigurnosti
- Učiniti zdravlje i sigurnost ključnim delom poslovanja.

U cilju utvrđivanja kako koncept DOP-a utiče na zdravlje i sigurnost u poslovanju, kompanije treba da idenfikuju veze i probleme povezane sa procesom odlučivanja. Među ključnim faktorima vezanih za ostvarivanje željenih ciljeva su (Gorny, 2014):

- Vrsta i veličina preduzeća, kao i priroda poslovanja
- Mesto poslovanja, uključujući posebno, društvene, ekonomske i društvene profile geografskog područja u kojima kompanija obavlja svoje poslovne aktivnosti
- Profil radne snage/ zaposlenih koji obavljaju posao
- Misija i vizija kompanije i kodeksi ponašanja u kompaniji
- Interesi inernih i eksternih stejkholdera
- Način na koji se donose odluke u kompaniji i priroda procesa donošenja odluka.

Dešava se da pojedine organizacije nemaju tačnu predstavu šta zapravo koncept DOP-a predstavlja, ali činjenica je da su koncept DOP-a i njegova pravila u poslovanju sve više zastupljena. Da bi organizacija primenila pravila DOP-a treba da promeni način poslovanja, posebno u onim oblastima poslovanja koje želi da poboljša. Karakteristike DOP-a koje direktno utiču na oblast zdravlja i bezbednosti su (Gorny, 2014):

- Održavanje dobrih odnosa između zaposlenih i menadžmenta
- Poštovanje pravila i propisa
- Plaćanje prekovremenog rada
- Obezbeđivanje odgovarajućih uslova za rad (uključujući bezbednost na radu)
- Održavanje odnosa sa lokalnom zajednicom
- Briga o životnoj sredini i propoznavanje uticaja poslovanja na životnu stredinu.

Konstantno praćenje promena u okruženju i usklađivanje poslovanja sa istim, šansa je da se identifikuju nove mogućnosti u oblasti DOP-a koje će kompanije primenjivati u poslovanju. Mogućnost implementacije principa DOP-a zavisi od profila kompanije, njegove veličine i prirode i drugih faktora koji utiču na poslovanje, između ostalog zahtevi zainteresovanih strana. Briga o životnoj sredini je od suštinskog značaja za kompanije. Da bi kompanija ostvarila određenje ciljeve, kompanija treba da uključi društveno odgovornost u sastvani deo operativne strategije. Staviše, kompanija koja želi da bude prepoznata kao društveno odgovorna treba da se usredsredi na to da svoje zaposlene tretira kao svoj priritet (Lin & Mills, 2001).

5. ZAKLJUČAK

Uspešne kompanije u vreme globalizacije i tehnološkog napretka nisu samo institucije koje imaju za cilj da prodaju proizvode i usluge po odgovarajućim cenama, tj. njihov jedini cilj nije samo ostvarivanje profita. Kompanije moraju da pokažu javnosti da vode brigu o svoji zaposlenima, lokalnoj zajednici, životnoj sredini i društvu u celini. Štavise, kompanije koje posluju u skladu sa principima DOP-a doprinose poboljšanju ugleda u javnosti, doprinose konkurentnosti, a samim tim i ostvarivanju profita.

Održivost životne sredine, zdravlja i sigurnosti je deo institucionalnog razvoja koji dotiče i reformiše svaki segment društva u industrijalizovanim zemljama, počevši od kompanija do Vlade. Razvoj programa za održivost životne sredine, zdravlja i sigurnosti doprinosi ekonomskom uspehu kompanija, a samim tim i celokupnoj industriji jedne zemlje (LaDou, 2002).

Praktična primena istraživanja se odnosi ne samo na sistematizaciju znanja iz ove značajne oblasti kako za naredni razvoj korporativne društvne odgovornosti, tako i na doprinos u davanju pregleda znanja koja se odnose na održivost životne sredine, zdravlja i sigurnosti kao dimenzija DOP-a.

LITERATURA

[1] Amponsah-Tawiah, K., & Dartey-Baah, K. (2011). Occupational Health and Safety: Key Issues and Concerns in Ghana. *International Journal of Business and Social Science, 2*(14), 119-126.

[2] Baumgartner, R. J., & Ebner, D. (2010). Corporate Sustainability Strategies: Sustainability Profi les and Maturity Levels. *Sustainable Development*, 76-89.

[3] Bonnett, M. (2007). Environmental Education And The Issue Of Nature. *Journal of Curriculum Studies, 39*(6), 707-721.

[4] Dowell, G., Hart , S., & Yeung, B. (2000). Do corporate global environmental standards create or destroy market value. *Management Science, 46*, 1059-1074.

[5] Elleuch, B., Bouhamed, F., Elloussaief, M., & Jaghbir, M. (2018). Environmental sustainability and pollution prevention. *Environ Sci Pollut Res, 25*, 18223–18225.

[6] Farrell, P. (2010). UK construction industry site health and safety management: An examination of promotional web material as an indicator of current direction. *Construction Innovation*, 435-446.

[7] Fordham, A., Robinson, G. M., & Leeuwen, J. (2018). Developing community based models of Corporate Social Responsibility. *The Extractive Industries and Society*, 131-143.

[8] Gorny, A. (2014). Influence of corporate social responsibility (CSR) on safety culture. *Management, 18*(1), 43-57.

[9] Jamali, D. (2008). A Stakeholder Approach to Corporate Social Responsibility: A Fresh Perspective into Theory and Practice. *Journal of Business Ethics*.

[10] Kaynak, R., Toklu, A., Elci, M., & Tamer Toklu, I. (2016). Effects of Occupational Health and Safety Practices on Organizational Commitment, Work Alienation, and Job Performance Using the PLS-SEM Approach. *International Journal of Business and Management, 11*(5), 146-166.

[11] LaDou, J. (2002). International Occupational Health. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 1-11.

[12] Lin, J., & Mills, A. (2001). Measuring the Occupational Health and Safety Performance of Construction Companies in Australia. *Facilities*, 131-138.

[13] Mert, M. (2006). *Determination of consciousness level of high school students on the environmentaltraining and solid wastes topics: master of education*. Hacettepe University, 2006.

[14] Mukherjee, A., Bird, R., & Duppati, G. (2018). Mandatory Corporate Social Responsibility: The Indian experience. *Journal of Contemporary Accounting & Economics*, 254-265.

[15] Naidoo, M., & Gasparatos , A. (2018). Corporate environmental sustainability in the retail sector: Drivers, strategies and performance measurement. *Journal of Cleaner Production*, 125-142.

[16] Obara, L. J., & Peattie, K. (2018). Bridging the great divide? Making sense of the human rights-CSR relationship in UK multinational companies. *Jounal of World Business*, 781-793.

[17] Petrović, N. *Ekološki menadžment – drugo izdanje*. Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 2012.

[18] Petrović, N. *Upravljanje ekološkom podobnošću proizvoda: monografija*. Zadužbina Andrejević, Beograd, 2013

[19] Rahman, S. (2011). Evaluation of Definitions: Ten Dimensions of Corporate Social Responsibility. *World Review of Business Research, 1*(1), 166 - 176.

[20] Shen, J., & Benson, J. (2014). When CSR Is a Social Norm: How Socially Responsible Human Resource Management Affects Employee Work Behavior. *Journal of Management, 20*(10), 1-24.

[21] Stojanović, A., Mihajlović, I., & Schulte, P. (2016). CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY: ENVIRONMENTAL ASPECTS. *International May Conference on Strategic Management - IMKSM2016,*. Bor.

[22] Tang , Z., Eiríkur Hull , C., & Rothenberg, S. (2012). How Corporate Social Responsibility Engagement Strategy Moderates the CSR–Financial Performance Relationshipj. *Journal of Management Studies*.

[23] Verra, S. E., Benzerga, A., Jiao, B., & Ruggeri, K. (2018). Health Promotion at Work: A Comparison of Policy and Practice Across Europe. *Safety and Health at Work*, 1-9.

[24] Vlastelica Bakić, T., Cicvarić Kostić, S., & Nešković, E. (2015). Model for Managing Corporate Social Responsibility. *Management*, 47-55.

[25] Vlek, C., & Steg, L. (2007). Human Behavior and Environmental Sustainability: Problems, Driving Forces, and Research Topics. *Journal of Social Issues, 63*(1), 1-19.

[26] Wettstein, F. (2012). CSR AND THE DEBATE ON BUSINESS AND HUMAN RIGHTS: BRIDGING THE GREAT DIVIDE. *Business Ethics Quarterly*, 739-770.

[27] Xu, S., & Yang, R. (2010). Indigenous Characteristics of Chinese Corporate Social Responsibility Conceptual Paradigm. *Journal of Business Ethics*, 321–333.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ULOGA OBRAZOVANJA U OSNOVNOJ ŠKOLI U KREIRANJU SVESTI O UPRAVLJANJU OTPADOM

THE ROLE OF PRIMARY SCHOOL EDUCATION IN CREATING WASTE MANAGEMENT AWARENESS

PETRA TANOVIĆ[1], DANICA BUGARSKI[1]
[1] Visoka tehnička škola strukovnih studija u Novom Sadu, stevanovic@vtsns.edu.rs

Rezime: *Poslednjih godina sve više se posvećuje pažnja zaštiti životne sredine. Da bi očuvanje životne sredine, a naročito postupanje sa otpadom, bilo na višem nivou potrebno je da obrazovne ustanove uzmu više učešća u formiranju mišljenja učenika počev od nižih razreda osnovne škole. Da bi se proverilo mišljenje i stečene navike o očuvanju životne sredine , sprovedeno je istraživanje učenika četvrtog i šestog razreda osnovne škole. U radu su prikazani statistički obrađeni rezultati ankete iz kojih se vidi informisanost učenika o načinima zagađenjima životne sredine i spremnosti učenika da svojim ponašanjem utiču na pravilno upravljanje otpadom.*

Ključne reči: *Obrazovanje, učenici, upravljanje otpadom.*

Abstract: *In recent years more attention has been paid to protection of the environment. In order to provide higher level of environmental protection and especially waste management it is necessary that education institutions take active part in developing environmental awareness of pupils in lower classes of elementary school. In order to examine attitude and acquired habits relating protection of the environment a survey was conducted in fourth and sixth grades of elementary school. The paper presents statistically structured survey results showing to what extent pupils are informed on ways of environment pollution and their readiness to influence waste management in a proper way by their behaviour.*

Keywords: *Education, pupils, waste management.*

1. UVOD

Sve veći ekološki problemi koji su nastali u prirodi a posledica su ljudskih aktivnosti ispoljavaju se narušavanjem ekološke ravnoteže. Poslednjih godina postiče se razvoj ekološke svesti na svim nivoima. S obzirom da su u prirodi prisutna sve veća zagađenja, a generiše se i sve veća količina otpada, nameće se potreba razvoja ekološke svesti kod svih generacija a posebno kod dece školskog uzrasta. Ekološka svest ukazuje na stanje i odnos društva prema okolini. Pored obogaćivanja ekološkog znanja, zauzimanje ispravnih stavova prema okolini je važno. Ako želimo da ljudi promene svoje stavove u pogledu odlaganja otpada potrebno je da se deca ekološki obrazuju u školi i kroz vanškolske aktivnosti. Formiranje ekološke svesti zavisi i od osobinama ličnosti, ljudskih potreba i mogućnosti.

Bergenskom deklaracijom, održanom još 1990. godine, naglašena je potrebna za uvođenjem ekološkog obrazovanja, uključujući i neformalno obrazovanje za sve generacije i slojeve društva, što se može postići izmenama školskih programa. U poglavlju 36 „Agenda 21", se govori o unapređivanju obrazovanja u školama, podizanju ekološke svesti, većem učešću obrazovanja i podsticanju vannastavnih aktivnosti, a naročito se se ističe potreba i značaj ekološkog obrazovanja (Sustainable Development Knowledge Platform-the United Nations, Agenda 21 1993). Ekološko obrazovanje dece bi trebalo da se orijentiše na konkretne situacije, a teme bi mogle biti lokalnog i regionalnog karaktera, koje su značajne za učenike, kao što su uređenje školske ili neke bliže okoline, ali se mogu razmatrati i globalni ekološki problemi.

Učenici moraju biti uvereni u ono što uče i zainteresovani za datu temu, a to se obezbeđuje primenjivošću u praksi. Ukoliko nema emocionalno-voljnih komponenata, znanje bez uverenja i praktične delatnosti ne znači mnogo (Skenderović i Fetić, 2014). Osnivanjem više radionica u obrazovnim ustanovama, mlađa populacija bi se ranije uključila u rešavanje problema upravljanja otpadom i pre svega, zaštite životne sredine. Ekološko obrazovanje mladih kroz različite oblike radioničarskog rada trebalo bi uvesti kod dece

predškolskog uzrasta, zatim tokom osnovnog i srednjeg obrazovanja, pa čak i na visokoškolskim ustanovama. (Todorović, Tanović i Pulisak, 2017). Pored škole veliku ulogu ima i porodica. Sa razvojem savremene porodice i razvojem društva, zaštita životne sredine zavisi i od ekološkog obrazovanja i vaspitanja članova porodice i ekološko obrazovanje treba da započne u porodičnoj sredini (Marković 2017). Obrazovanje i vaspitanje na temu životne sredine i upravljanja otpadom pretpostavlja i dogradnju moralnih principa kod dece i kreiranje pravog sistema vrednosti za očuvanje čiste i zdrave okolinePored razvijanja svesti o upravljanju otpadom postoje i drugi načini motivacije. Prema rezultatima istraživanja oko 1/4 studenata misli da je najvažnije razvijanje svesti, dok ostali podržavaju razvoj novih tehnologija a da su i novčane nadoknade dobar vid motivacije ljudi i da se time vrednuje trud i utrošeno vreme za prikupljanje i razvrstavanje različitih vrsta otpada (Tanović, Petrović i Stojanović, 2016).

2. EKOLOŠKO OBRAZOVANJE I VASPITANJE

Škole imaju važnu ulogu u zaštiti prirode i njen zadatak je da utiču na svest mladih o potrebi očuvanja prirodne sredine, da deci pruži znanje o odnosu ljudi prema prirodnim dobrima, korišćenju neobnovljivih izvora, a i o merama koje je potrebno preduzeti da se obezbedi zdrav život budućih generacija. Škola je nezamenjiva za kreiranje ekološkog vaspitanja i obrazovanja jer se upravo u školi od najranije mladosti formira odgovorna ličnost. Ekološka svest ne predstavlja samo kritikovanje postojeće ekološke situacije, već i saznanje o stanju prirode i uzrocima tog stanja kao i o potrebi zaštite prirode od daljeg narušavanja ekoloških vrednosti, čime bi se očuvao prirodni okvir života čoveka. Ekološka svest ne nastaje spontano, sama po sebi, već u procesu komunikacije, vaspitanja i obrazovanja. Sticanje znanja o zaštiti životne sredine i upravljanju otpadom najznačajniji je činilac formiranja i razvoja ekološke svesti, odnosno bez ekološkog obrazovanja nema ekološke svesti (Marković 2005). Kako će pojedinac shvatiti svoju ulogu u očuvanju životne sredine ne zavisi samo od znanja već i od ubeđenja, stavova, vrednosnog sistema, emocija i svega onoga što može da motiviše pojedinca (Kundačina 1998). Formiranje ekološke svesti kod dece traje dugo, a započinje njihovim naslućivanjem, intuitivnim shvatanjem i buđenjem odgovarajućih emocija, a traje čitavog života i to sve dok se ne dostigne stepen racionalnih stavova i moralnih osećanja karakterističnih za odraslog čoveka (Kamenov 2004). Cilj ekološkog obrazovanja je da se kod mladih ljudi formira svest za pitanja okoline, spremnost za odgovorno ophođenje prema njoj, kao i za ekološki svesno ponašanje koje treba da se nastavi i posle vremena provedenog u školi (Andevski i Kundačina 2004). Smatra se da je koren ekološke krize u načinu na koji se obrazuju buduće generacije (Marković 2005). Krajnji cilj ekološkog vaspitanja i obrazovanja je kreiranje stavova, sposobnosti, navika, uverenja, volje, emocija i ponašanja koje učenik treba da dostigne tokom vaspitno-obrazovnog procesa (Kundačina 1998). Ekološko obrazovanje bi trebalo da razvija i svest za probleme okoline, emocionalne sposobnosti , kao što su odgovornost i zainteresovanost, kao i sposobnosti saznavanja i doživljavanja odnosa između ljudi i prirode, a i sposobnosti za rešavanje ekoloških problema (Andevski i Kundačina 2004). Sistem obrazovanja na svim nivoima, a naročito u osnovnom obrazovanju i vaspitanju treba da sadrži sve elemente ekološkog vaspitanja i obrazovanja kako bi kontinuirano i svestrano doprinosio osposobljavanju mladih za život (Vidosavljević, 2010).

Uloga učitelja i nastavnika je velika jer znanje i navike koje se stiču u školi treba da ostanu za ceo život. Iz tog razloga je važno na koji način se deci prezentuje potreba za pravilnim upravljanjem otpadom, kao jednim od važnih zadataka za očuvanje prirode. Zadaci učitelja i nastavnika se zasnivaju na tome da omoguće učenicima sticanje iskustva, da ih motivišu, da razviju moralne stavove, sposobnosti i veštine da sve što su naučili u školi primene kasnije u životu. Prosvetni radnici to mogu učiniti osmišljavanjem raznovrsnih aktivnosti i programa u okviru nekih predmeta ili vannastavnih aktivnosti.

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U cilju dobijanja podataka o svesti učenika u pogledu očuvanja životne sredine i važnosti pravilnog odlaganja otpada urađeno je istraživanje. Istraživanje je izvršeno u pismenoj formi. Na većinu pitanja ponuđeni su odgovori „da“, „ne“ i „ne znam“, dok su na neka pitanja ponuđeni i drugi odgovori za koje su ispitanici trebali da se odluče. Anketa se sastoji od 13 pitanja i ponuđenih odgovora, koje su sastavljali autori. Anketa ima za cilj da u široj meri sagleda kako obrazovanje u osnovnoj školi utiče na formiranje svesti dece mlađeg uzrasta o životnoj sredini i kako treba pravilno postupati sa otpadom. U anketi je učestvovalo 49 učenika četvrtog razreda i 56 učenika šestog razreda. Anketa je bila anonimna što je doprinelo iskrenijim odgovorima učenika, pa samim tim boljem rezultatu ankete. Pitanja koja je obuhvatila anketa prikazana su grafikim putem. Rezultati ankete su prikazani posebno učenika četvrtog i učenika šestog razreda, da bi se videlo kako se znanje menja sa uzrastom dece u toku školovanja. Odgovori su razvrstani i prema polu, da bi dobili podatke o mogućem različitom razmišljanju dečaka i devojčica.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Razultati istraživanja učenika četvrtog razreda osnovne škole

Anketirano je ukupno 49 učenika četvrtog razreda, uzrasta 10-11 godina od kojih je bilo 24 dečaka i 25 devojčica. U tabelama 1 i 2 prikazani su rezultati ankete učenika četvrtog razreda razvrstani prema polu (muški/ženski)

Tabela 1: Odgovori učenika četvrtog razreda prema polu (M-muški i Ž –ženski)

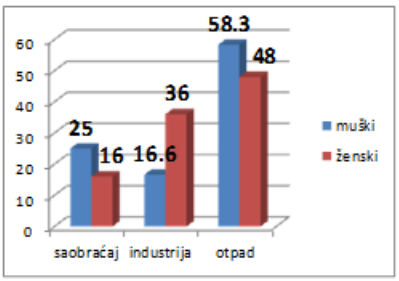
Pitanje	Odgovori (%)					
	da		ne		ne znam	
	M	Ž	M	Ž	M	Ž
Da li mislite da je životna sredina zagađena?	79,2	64,0	20,8	36,0	0	0
Da li mislite da otpad zagađuje životnu sredinu?	100	100	0	0	0	0
Da li razvrstavate otpad?	41,7	60,0	45,8	24,0	12,5	16,0
Da li bacate otpad po ulici?	37,5	16,0	62,5	80,0	0	4,0
Da li ste čuli za reciklažu otpada?	95,8	100	4,2	0	0	0
Da li plastična ambalaža i plastika zagađuju životnu sredinu?	91,7	84,0	4,2	4,0	4,2	12,0
Da li postoji neopasan otpad?	41,7	36,0	20,8	20,8	36,0	41,7
Da li otpad na smetlištima može dovesti do zagađenja podzemnih i površinskih voda?	83,3	58,4	12,5	20,8	4,2	20,8
Da li je opasno bacati medicinski otpad (lekove) u korpu za otpad?	45,8	58,4	29,2	20,8	24,0	20,8
Da li po Vašem mišljenju treba postaviti kontejnere za razvrstavanje otpada u blizini škole?	95,8	95,8	0	0	4,2	4,2
Da li Vam se u školi priča o važnosti očuvanja životne sredine?	95,8	100	4,2	0	0	0

Skoro svi učenici četvrtog razreda (97,9%) izjavili su da se u školi govori o važnosti očuvanja životne sredine. Većina učenika (71,4%) misle da je životna sredina zagađena, a isto toliko učenika čuva životnu sredinu i ne baca otpad po ulici, dok 26,5% učenika baca otpad po ulici. Većina učenika smatra da plastična ambalaža zagađuje životnu sredinu (87,7%). Polovina učenika razvrstava otpad, a skoro svi misle da bi kontejnere za razvrstavanje otpada trebalo postaviti u blizini škole. Kada se govori o opasnom i neopasnom otpadu, mišljenja su podeljena, tako da jedan deo učenika smatra da postoji opasan otpad, a drugi ne zna.

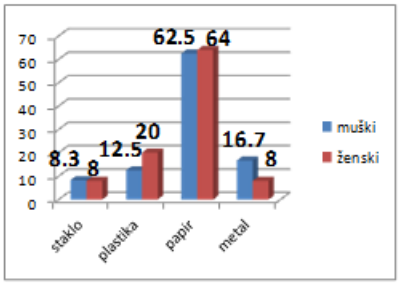
Tabela 2: Odgovori učenika četvrtog razreda prema polu (M-muški i Ž –ženski)

Pitanje	Odgovori (%)							
	M	Ž	M	Ž	M	Ž	M	Ž
Šta najviše zagađuje životnu sredinu?	saobraćaj		industrija		otpad		ostalo	
	25,0	16,0	16,7	36,0	58,3	48	0	0
Koja ambalaža najmanje zagađuje okolinu?	staklena		plastična		papirna		metalna	
	8,3	8,0	12,5	20,0	62,5	64,0	16,7	8,0

Na slikama 1 i 2 prikazani su odgovori na pitanja iz tabele 2.na koja je bilo ponuđeno više odgovora. Na pitanje: „Šta najviše zagađuje životnu sredinu?“ svi misle da je to otpad. Primećuje se da veći broj učenika muškog pola smatra da je životna sredina zagađena, dok za razliku od ženske populacije oni više bacaju otpad po ulici. Takođe, procentualno veći broj muške populacije za razliku od ženske, smatra da smetlišta mogu dovesti do zagađenja podzemnih i površinskih voda. Na slici 1 prikazani odgovori na pitanje; „Šta najviše zagađuje živitnu sredinu?“.



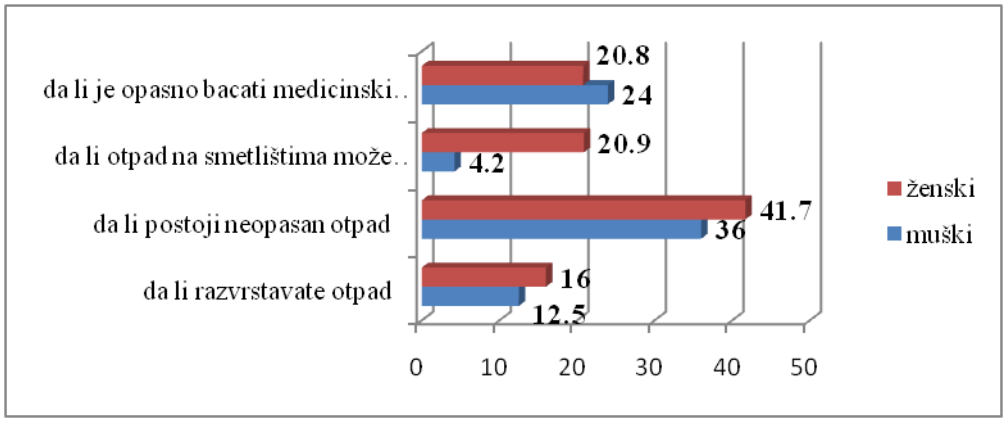
Slika 1: Mišljenje učenika četvrtog razreda: Šta najviše zagađuje životnu sredinu



Slika 2: Odgovori učenika četvrtog razreda: Koja ambalaža najmanje zagađuje životnu

Koja ambalaža najmanje zagađuje životnu sredinu i najmanje šteti zdravlju ljudi, prema mišljenju učenika četvrtog razreda se skoro isto mišljenje imaju oba pola i većina ih smatra da je to papir (slika 2).

Znatan broj učenika četvrtog razreda, na skoro pola pitanja ne znaju odgovore. Učenici ženskog pola procentualno više (oko 20%) nisu znali odgovore. Na slici 3 prikazan je dijagram, koji predstavlja pitanja na koja veći broj učenika četvrtog razreda nisu znali odgovore, a prikazan u zavisnosti od pola učenika.



Slika 3: Pitanja na koja znatan broj učenika četvrtog razreda nisu znali odgovore

4.2. Rezultati istraživanja učenika šestog razreda osnovne škole

U istraživanju je učestvovalo 56 učenika šestog razreda, uzrasta od 12 do 13 godina od kojih je bilo 20 dečaka i 36 devojčica (tabela 3 i 4). U tabelama 3 i 4 prikazani su rezultati ankete učenika šestog razreda razvrstani prema polu (muški/ženski). Većina učenika šestog razreda (87,4%) izjavili su da se u školi govori o važnosti očuvanja životne sredine. 78,6% učenika misli da je životna sredina zagađena i da čuvaju životnu sredinu tako što ne bacaju otpad po ulici (67,9%), dok jedan deo (26,8%) učenika baca otpad po ulici. Na pitanje: „Da li plastika i plastična ambalaža zagađuju životnu sredinu“ većina učenika šestog razreda (73,2%) su odgovorila da zagađuju i veoma malo njih (5,3%) misli da plastična ambalaža nije štetna po zdravlje ljudi i okolinu . 66,1% učenika šestog razreda ne razvrstava otpad, a skoro svi (98,1%) misle da bi kontejnere za razvrstavanje otpada trebalo postaviti u blizini škole. Kada se govori o opasnom i neopasnom otpadu, mišljenja su podeljena, tako da veći deo (46,4%) o tome ništa i ne zna, a samo 30,4% učenika znaju da postoji opasan otpad.

Na slikama 4 i 5 prikazani su odgovori na pitanja iz tabele 4, a na ta pitanja učenici su mogli da se odluče za jedno od više ponuđenih odgovora. Na pitanje: „Šta najviše zagađuje životnu sredinu?“ većina učenika misli da je to otpad (slika 4). Učenici šestog razreda znaju da otpad na smetlištima može dovesti do zagađenja podzemnih voda (73,2%). Gotovo svi učenici šestog razreda su čuli za reciklažu i podržavaju je u Srbiji, ali deo njih (17,9%) ne znaju da li treba da se podrži izgradnja novih deponija i fabrika za reciklažu otpada. Veći broj učenika ženskog pola (88,9%) smatra da je životna sredina zagađena, a takođe, više i brinu o životnoj okolini jer više učenika ženskog pola ne baca otpad po ulici (72,2%). Procentualno veći broj muške popolacije za razliku od ženske, smatra da smetlišta mogu dovesti do zagađenja podzemnih i površinskih voda. Na slici 4 prikazan je dijagram odgovora (muški/ženski) na pitanje; „Šta najviše zagađuje živitnu sredinu?“.

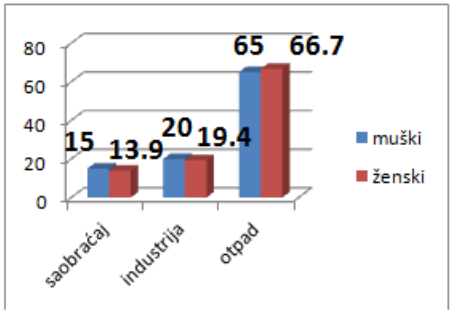
Tabela 3: Odgovori učenika šestog razreda prema polu (M – muški; Ž – ženski)

Pitanje	Odgovori (%)					
	Da		Ne		Ne znam	
	M	Ž	M	Ž	M	Ž
Da li mislite da je životna sredina zagađena?	60,0	88,9	35,0	11,1	5,0	0
Da li mislite da otpad zagađuje životnu sredinu?	100	100	0	0	0	0
Da li razvrstavate otpad?	10,0	11,1	65,0	66,7	13,9	22,2
Da li bacate otpad po ulici?	35,0	22,2	60,0	72,2	15,0	5,6
Da li ste čuli za reciklažu otpada?	90,0	97,2	10,0	0	0	2,8
Da li plastična ambalaža i plastika zagađuju životnu sredinu?	90,0	63,9	5,0	5,6	5,0	30,6
Da li postoji neopasan otpad?	45,0	22,2	25,0	22,2	30,0	55,6
Da li otpad na smetlištima može dovesti do zagađenja podzemnih i površinskih voda?	80,0	69,4	10,0	0	10,0	30,6
Da li je opasno bacati medicinski otpad (lekove) u korpu za otpad?	65,0	44,5	25,0	8,3	10,0	47,2
Da li po Vašem mišljenju treba postaviti kontejnere za razvrstavanje otpada u blizini škole?	95,0	88,9	0	8,3	5,0	2,8
Da li Vam se u školi priča o važnosti očuvanja životne sredine?	80,0	91,7	15,0	2,8	5,0	2,8

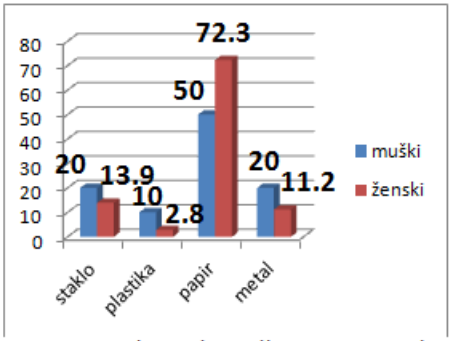
Tabela 4: Odgovori učenika šestog razreda prema polu (M – muški; Ž – ženski)

Pitanje	M	Ž	M	Ž	M	Ž	M	Ž
Šta najviše zagađuje životnu sredinu?	Saobraćaj		Industrija		Otpad		Ostalo	
	15,0	13,9	20,0	19,4	65,0	66,7	0	0
Koja ambalaža najmanje zagađuje okolinu?	Staklena		Plastična		Papirna		Metalna	
	20,0	13,7	10,0	2,8	50,0	72,3	20,0	11,2

Više učenika muškog pola (90%), smatraju da plastična ambalaža i plastika zagađuju životnu sredinu, za razliku od učenika ženskog pola koje (30,6%) ne znaju da li plastika zagađuje okolinu. Koja ambalaža najmanje zagađuje životnu sredinu i najmanje šteti zdravlju ljudi, prema mišljenju učenika šestog razreda u oba pola prikazani su na slici 5.

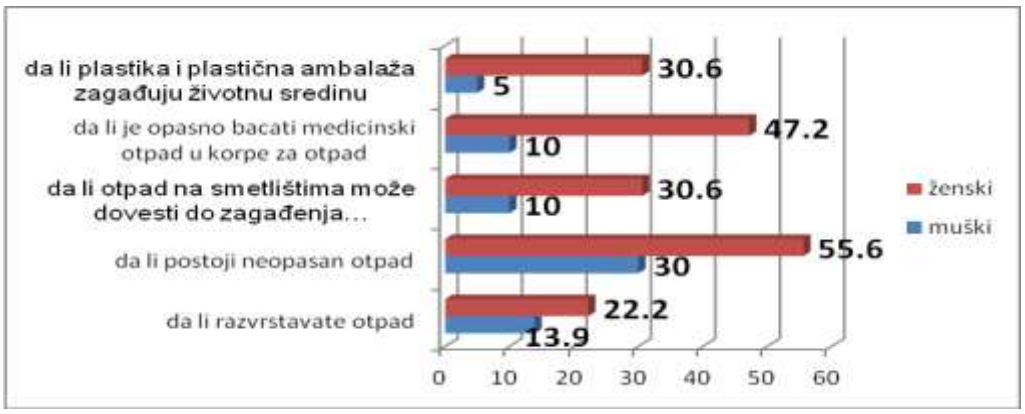


Slika 4: Mišljenje učenika šestog razreda: Šta najviše zagađuje živtonu sredinu



Slika 5: Odgovori učenika šestog razreda: Koja ambalaža najmanje zagađuje životnu sredinu

Dečaci za razliku od devojčica, više smatraju da otpad na smetlištima može dovesti do zagađenja podzemnih i površinskih voda (80%), dok znatan broj devojčica to ne zna (30,6%). Dečaci smatraju da je opasno bacati medicinski otpad (65%), dok devojčice to ne znaju (47,2%). O važnosti očuvanja životne sredine, više devojčica se izjasnilo da se o tome priča u školi (91,7%), dok se više dečaka slaže da je potrebno postaviti kontejnere za razvrstavanje otpada u blizini škole i ako oba pola ne razvrstavaju otpad.



Slika 6: Pitanja na koja znatan broj učenika šestog razreda nisu znali odgovore

Znatan broj učenika šestog razreda, na veći broj pitanja ne znaju odgovore, a rezultati su prikazani na slici 6, a prikazan je u zavisnosti od pola učenika (muški/ženski). Učenici ženskog pola procentualno više (oko 30% i više) nisu znali odgovore.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu odgovora dobijenih prilikom anketiranja vidi se da su učenici šestog razreda više svesni da je životna sredina zagađena, više su informisani o reciklaži otpada i samim tim više podržavaju izgradnju novih deponija i fabrika za reciklažu otpada od učenika četvrtog razreda. Međutim, veći broj učenika šestog razreda ne razlikuju opasan i neopasan otpad. Učenici četvrtog razreda više razvrstavaju otpad od učenika šestog razreda. Interesantno je da učenici šestog razreda manje znaju odgovore na određena pitanja od učenika četvrtog razreda, a stariji su i trebalo bi da su više informisani. Međutim, učenici četvrtih razreda su sa svojim učiteljima više obrađivali tematiku životne sredine, njeno zagađenje, očuvanje, mogućnosti reciklaže itd. Ovo obrazovanje izvodilo se ne samo putem redovne nastave, već i preko ne nastavnih aktivnosti, a pokazali su veću i zainteresovanost za zaštitu životne sredine. Iz navedenog se vidi da je obrazovanje veoma važno i da se na takav način više razvija svest o životnoj sredini.

6. LITERATURA

[1] Andevski, M. & Kundačina, M., (2004). Ekološko obrazovanje, Užice, Učiteljski fakultet u Užicu.
[2] Kamenov, E. (2004): Zelena planeta - program vaspitanja i obrazovanja za zaštitu životne sredine dece predškolskog i mlađeg školskog uzrasta. Novi Sad: Dragon.
[3] Kundačina, M. (1998). Činioci ekološkog vaspitanja i obrazovanja učenika. Užice: Učiteljski fakultet u Užicu.
[4] Marković, M (2017). The role of family in creating the ecological consciousness at children. Sinteze - časopis za pedagoške nauke, književnost i kulturu, 6(11), 123-134.
[5] Marković, Ž. D. (2005). Socijalna ekologija. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.
[6] Skenderović, I. & Fetić, M. (2014). Uloga ekološkog obrazovanja u zaštiti i unapređenju životne sredine. Ekonomski izazovi, 3(5), 123-134.
[7] Sustainable Development Knowledge Platform-the United Nations. (23. april 1993). Agenda 21. preuzeto 14. jula 2019. sa https//sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21
[8] Tanović, P., Petrović, A., & Stojanović, LJ. (2016). Obrazovanje grafičkih inženjera o pravilnom upravljanju otpadom. Zbornik radova 2. Međunarodnog savetovanja "Upravljanje znanjem i informatika" (str 178-183). Novi Sad. Visoka tehnička škola strukovnih studija u Novom Sadu.
[9] Todorović, D., Tanović, P., & Pulisak, Ž. (2017). Razvijanje svesti o upravljanju otpadom u obrazovnim ustanovama. Zbornik radova 12. Međunarodnog savetovanja "Rizik i bezbednosni inženjering" (str 341-346). Novi Sad. Visoka tehnička škola strukovnih studija u Novom Sadu.
[10] Vidosavljević, S. (2010). Sadržaji iz oblasti zaštite i unapređivanja životne sredine u nastavi prirode i društva, doktorska disertacija. Leposavić: Učiteljski fakultet u Prizrenu.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

UPOTREBA *FACEBOOK*-A KAO PLATFORME ZA E-UČENJE: STUDIJA SLUČAJA

USING FACEBOOK AS PLATFORM FOR E-LEARNING: A CASE STUDY

NATAŠA PETROVIĆ[1], JELENA ANDREJA RADAKOVIĆ[2], NEMANJA MILENKOVIĆ[3], MARKO ĆIROVIĆ[4]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, natasa.petrovic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka,, Beograd, jelenaandreja.radakovic@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka,, Beograd, nemanja.milenkovic@fon.bg.ac.rs
[4] Fakultet organizacionih nauka,, Beograd, marko.cirovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *E-učenje predstavlja upotrebu telekomunikacione tehnologije koja ima za cilj da obezbedi neophodne informacije za učenje. Porast razvoja upotrebe informacionih i komunikacionih tehnologija doveo je do toga da e-učenje predstavlja novu i neophodnu paradigmu modernog obrazovanja. Razlozi za ovo leže u oslobađanju od ograničenja u vremenu i prostoru koje poboljšava interakcije između onih koji uče I njihovih edukatora, kao i njihovoj međusobnoj komunikaciji. Kada je u pitanju Facebook treba istaći da se on smatra jednom od najpopularnijih platformi za online društveno umrežavanje mladih, posebno univerzitetskih studenata. S druge strane, rastući pritisak da univerziteti primenjuju pristup obrazovanju koji je okrenut ka studentima stavljajući ih u centar obrazovnog procesa, nameće edukatorima potrebu integracije socijalnih mreža kao što je Facebook u obrazovanje studenata imajući u vidu da Facebook spada u integralni deo njihovog fakultetskog iskustva. Iz ovih razloga ključni aspekti istraživanja predstavljenog u ovom radu se odnose na ne samo na ostvarena dostignuća u učenju studenata putem specifično namenjene Facebook grupe predmetu Sistem kvaliteta životne sredine koji je obavezan predmet na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu, već i na mišljenje studenata o efikasnoj razmeni informacija sa nastavnicima i saradnicima, kao i kolegama koje se odnose kako na predmet, tako i na spremanje kolokvijuma i polaganje ispita. U istraživanju je učestvovalo 88.1 procenat studenata koji su položili predmet u prvom ispitnom roku. Analiza rezultata je urađena upotrebom SPSS 24 software paketa.*

Ključne reči: *E-učenje, Facebook, Facebook grupa, Sistem kvaliteta životne sredine, dostignuća u učenju.*

Abstract: *E-learning implies the use of telecommunication technology, that aims to provide the necessary learning information. The growth in the use of information and communication technologies has led to the point where e-learning represents a new and indispensable paradigm of modern education. E-learning removes time and space constraints and enhances interactions between students and their educators, as well as their mutual communication. When it comes to Facebook, it should be noted that it is considered for one of the most popular platforms for online social networking for young people, especially university students. On the other hand, the growing pressure for universities to apply access to student-centered education, putting them at the center of the educational process, imposes on educators the need to integrate social networks such as Facebook in the education of students, bearing in mind that Facebook is an integral part of their university experience. For these reasons, the key aspects of the research presented in this paper relate not only to the achievements in student learning through the specific Facebook group dedicated to the course Environmental Quality System, which is an obligatory subject at the Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade. But the group is also used for the students' efficient exchange of information with teachers and associates, as well as colleagues who relate both to the subject and to the preparation of the tests and the final exam. In the research, 88.1 percent of students participated, which volunteered and past the exam in the first test period. The analysis of the results was done using the SPSS 24 software package.*

Keywords: *E-learning, Facebook, Facebook group, Environmental Quality System, achievements level in education.*

1. UVOD

E-učenje predstavlja upotrebu telekomunikacionih tehnologija u obrazovanju. Napredak i razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija doveo je do posmatranja e-učenja kao paradigme modernog obrazovanja. Razlozi ovoga leže u nizu prednosti koje e-učenje obezbeđuje, kao što su slobodna interakcija

između edukatora i učenika, kao i učenika međusobno bez ograničenja kao što su vreme i mesto (Katz & Oblinger, 2000; Katz, 2002; Trentin, 2007).

Imajući u vidu ove karakteristike e-učenja, zaključuje se da ono zadovoljava zahteve edukacije u modernom društvu i institucijama visokog obrazovanja (Ruiz, Mintzer, & Leipzig, 2006).

Dalje, pojava i razvoj društvenih mreža kao što su *Facebook, LinkedIn, MySpace* i dr. su bili intenzivni, proširivši se širom sveta (Boyd & Ellison, 2007) sa značajnim uticajem ne samo na milione ljudi već i na živote velike većine studenata (Thompson, 2007; Salaway, Caruso, & Nelson, 2008; Petrovic, Jeremic, Petrovic, & Cirovic, 2014).

Ovo je dovelo do toga da se posledično mnoga istraživanju usmeravaju na ulogu koju društvene mreže imaju u obrazovanju (Joly, 2007; Petrovic, Petrovic, Jeremic, Milenkovic, & Cirovic, 2012; Petrovic, Jeremic, Cirovic, Radojicic, & Milenkovic, 2013), kao što su istraživanja koja se odnose na:

- Edukativnu upotrebu Facebook-a (Decarie, 2010; Dyrud, 2011; Malita, 2011; Petrovic, Petrovic, Jeremic, Milenkovic, & Cirovic, 2012; Petrovic, Jeremic, Cirovic, Radojicic, & Milenkovic, 2013; Petrovic, Jeremic, Petrovic, & Cirovic, 2014).
- Upotrebu *Facebook*-a za interakcije na relaciji student-nastavnik (Cheung & Vogel, 2011; Teclehaimanot & Hickman 2011).
- Analizu sadržaja studentskih *Facebook* grupa (Fernandes, Giurcanu, Bowers, & Neely, 2010).

Imajući prethodno u vidu, autori rada su, da bi ocenili mogućnosti i benefite upotrebe *Facebook*-a u obrazovanju, posebno visokoškolskom, ali i mišljenje studenata ne samo o *Facebook*-u, već i o mogućnostima njegove primene u njihovom svakodnevnom i akademskom životu, kao studiju slučaja izabrali za svoje istraživanje studente četvrte godine studijske grupe Menadžment kvaliteta i standardizacija, upisane na obavezni predmet Sistem kvaliteta životne sredine u zimskom semestru školske 2018/2019 godine na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu.

Studenti su imali kao dobrovoljnu aktivnost mogućnost da sve informacije vezane za predmet i njegovo polaganje, praćenje broja ostvarenih bodova tokom semestra i postavljanje traženih sadržaja u okviru domaćih zadataka, prate u okviru zatvorene *Facebook* grupe namenjene specifično ovom predmetu – SKŽS 2018 (SKŽS 2018, 2018). Analiza rezultata ankete je urađena upotrebom SPSS 24 software paketa. U istraživanju je učestvovao reprezentativni uzorak od 37 studenata (88.1 procenata) koji su po završetku semestra i posle polaganja ispita u prvom ispitnom roku, dobrovljno i volonterski popunili anonimnu anketu koja se sastojala od ukupno 35 pitanja.

Pored uvoda, rad se sastoji od sledećih delova: Poglavlje 2 predstavlja teorijsku osnovu sa pregledom literature potrebne za sprovedenu studiju – e-učenje i upotreba *Facebook*-a u edukaciji; Poglavlje 3 obuhvata materijale i metode primenjene u istraživanju; Poglavlje 4 predstavlja dobijene rezultate i diskusiju rezultata sprovedenog istraživanja; a u Poglavlju 5 su dati zaključci.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. E-UČENJE

E-učenje se odnosi na upotrebu Internet tehnologija radi poboljšanja procesa učenja i njegovih performansi, imajući u vidu da poboljšava efikasnost i efektivnost edukativnih aktivnosti u kontekstu novih društvenih, naučnih i pedagoških izazova (Ruiz, Mintzer, & Leipzig, 2006).

E-učenje se još naziva i učenje zasnovano na Web-u, online učenje, distribuirano učenje, učenje uz pomoć računara, učenje pomoću Interneta. Treba naglasiti da e-učenje obuhvata dve glavne oblasti: učenje i tehnologiju koja se koristi kao bilo koji drugi alat u edukativnoj praksi (Aparicio, Bacao, & Oliveira, 2016).

Prednosti ovakvog vida učenja kao značajnog dodatka tradicionalnom učenju u učionici prepoznate su od strane institucija koje se bave visokoškolsim obrazovanjem širom sveta (Larreamendy-Joerns and Leinhardt, 2006; Rodriguez-Gairin, 2011), imajući u vidu da e-učenje „koristi" različite multimedijalne alate i softvere, online diskusione forume, te na taj način poboljšava mogućnosti savladavanja nastavnih sadržaja putem Interneta (Kamsin, 2005; Kudumovic, Kudumovic, Mesanovic & Huremovic, 2010).

Takođe, treba istaći da za razliku od tradicionalnog učenja, e-učenje obezbeđuje fleksibilnost koja omogućava studentima da poboljšaju svoja znanja u vreme i na mestu koje njima odgovara (Petrovic, Jeremic, Cirovic, Radojicic, & Milenkovic, 2013), što je od posebnog značaja za studente koji imaju poteškoće u pohađanju klasičnih, tradicionalnih časova nastave iz razloga njihove udaljenosti, zaposlenja, ličnih poteškoća… (Hobl and Welzer, 2010).

2.2. UPOTREBA *FACEBOOK*-A U OBRAZOVANJU

Socijalna mreža *Facebook* je nastala u februaru 2004. godine sa svrhom poboljšavanja komunikacije između prijatelja i kolega, sa mogućnošću pristupa svakome ko želi da ostvari interakciju sa ljudima koje zna u okruženju od poverenja (Facebook, 2019). I pored činjenice da je *Facebook* nastao kao društvena mreža namenjena studentima Harvarda, brzo se proširio uključujući druge studente, zaposlene u korporacijama, kao i eventualno sve one koji imaju pristup online svetu (Cassidy, 2006; Mazman & Usluel, 2011). Tako, uvođenje i širenje društvene mreže Facebook predstavlja jedan od najvažnijih društvenih trendova u protekle dve decenije (Wilson, Gosling, & Graham, 2012; Caers et al., 2013). Zato se može zaključiti da Web 2.0 ne predstavlja tehnološku već društvenu revoluciju (Downes, 2005). Dodatno, treba naglasti da su Web 2.0 aplikacije, a posebno društvene mreže i njihovi alati, postali neophodni deo životnog stila digitalne Generacije Y ili Milenijalaca koji su rođeni između 1981. i 2000. godine (Prensky, 2001a; Prensky, 2001b; Yang, 2013).

Ovo je takođe rezultovalo brojnim naučnim radovima i publikacijama o upotrebi društvenih mreža u obrazovanju (npr. Hew, 2011; Greenhow, 2011; Aydin, 2012; Gao, Luo, & Zhang, 2012; Petrovic, Petrovic, Jeremic, Milenkovic, & Cirovic, 2012; Petrovic, Jeremic, Cirovic, Radojicic, & Milenkovic, 2013; Greenhow, Gleason, & Li, 2014; Petrovic, Jeremic, Petrovic, & Cirovic, 2014; Rodríguez-Hoyos, Haya Salmón, & Fernández-Díaz, 2015; Greenhow & Askari, 2017). Razlozi ovoga je u velikoj popularnosti koju imaju društvene mreže među edukatorima, posebno u visokoškolskom obrazovanju u kome se *Facebook* koristi za učenje i kao alat za davanje instrukcija (Kent & Leaver, 2014; Manca & Ranieri, 2016).

Autor Bartlett-Bragg (2006) zaključuje da integrisanje društvenih mreža u prakse učenja postaje veoma značajno u procesu poboljšanja mogućnosti učenja i pružanja znanja od strane edukatora. „Takođe, proliferacija društevnih tehnologija je kreirala kulturu u kojoj mladi participiraju u stvaranju i deljenju sadržaja, suštinski menjajući način na koji studenti komuniciraju, ostvaruju interakcije i uče" (Petrovic, Jeremic, Petrovic, & Cirovic; 2014). Drugim rečima „oni koji uče su postali deo globalne mreže ljudi u kojoj mogu da pristupe kolektivnoj ljudskoj inteligenciji u svetu u kome to nikada pre nije bilo moguće" (Yang, 2013).

3. MATERIJALI I METODE

Predmet izabran za istraživanje kao studija slučaja upotrebe *Facebook*-a u visokoškolskom obrazovanju je Sistem kvaliteta životne sredine. Ovo je obavezan predmet koji se sluša u zimskom semestru na četvrtoj godini studijske grupe Menadžment kvaliteta i standardizacija na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Predmet se sastoji od dva časa predavanja i dva časa vežbi tokom svake nedelje semestra koji traje 13 nedelja.

U okviru izabranog predmeta studentima je predloženo da na dobrovoljnoj bazi budu članovi zatvorene grupe SKŽS 2018 (SKŽS 2018, 2018) koja se odnosi na predmet, imajući u vidu da je većina studenata online i da će im na ovaj način biti omogućeno trenutno dobijanje informacija o predmetu: silabus predmeta, preporuke za učenje gradiva, aktivnosti i materijali za proučavanje, materijali za spremanje za naredni čas, korisni web linkovi koji se odnose na teme koje se obrađuju na času, informacije o gostujućim predavačima, datumi predaje domaćih zadataka, zadaci za rad, informacije o kolokvijumima i ispitu. Studenti su preko *Facebook* grupe međusobno razmenjivali informacije koje se odnose na zadatke u okviru predmeta i ispita, te sarađivali na timskim projektima u online okruženju.

U svrhu istraživanja mišljenja studenata o ovakvom radu i prednostima korišćenja *Facebook* grupe u edukaciji, autori rada su koristili upitnik u kome je učestvovalo 37 studenata (88.1 procenata) koji su po završetku semestra i posle polaganja ispita u januaru 2019. godine, popunili upitnik. Studenti su bili upoznati sa svrhom istraživanja i svim potrebnim informacijama za donošenje odluke da li će ili ne da učestvuju dobrovoljno u ovoj studiji. Učesnici koji su odlučili da učestvuju u popunjavanju upitnika su dali svoj verbalni pristanak i uvereni su u anonimnost istraživanja. Upitnik se sastojao od ukupno 35 pitanja. Prva tri pitanja su bila opšteg karaktera. Od četvrtog do 13-og pitanja, ispitanici su davali odgovore na njihovo mišljenje o načinu i svrsi korišćenja *Facebook*-a i ostalih društvenih mreža. Od pitanja 14 do pitanja 19 ispitanici su odgovarali na pitanja koja se odnose na razloge pristupanja grupi SKŽS 2018, kao i da li je učlanjenje u ovu grupu bilo korisno za njih u kontekstu boljeg savladavanja gradiva predmeta i njegovog polaganja. Ova pitanja su spadala i u najvažnija pitanja istraživanja. Od pitanja 20 do 35, ispitanici su na Likertovoj skali od 1 – 5 rangirali *Facebook* u kontekstu njegove upotrebe u edukaciji i u akademske svrhe, te o relevantnosti podataka koji se mogu naći na ovoj društvenoj mreži, (1 – najmanje značajno, 2 – ne tako značajno, 3 – značajno, 4 – veoma značajno, 5 – najznačajnije).

Analiza rezultata je urađena korišćenjem SPSS 24 software paketa. Korišćena je deskriptivna statistika radi analize karatkeristika uzorka.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Reprezentativni uzorak je uključivao 37 ispitanika od čega zastupljenost po polovima je bila sledeća:

- ženski – 59.5 procenata,
- muški – 40.5 procenata.

Godine:

- 23 godine – 21.6 procenata,
- 22 godine – 75.7 procenata,
- 21 godina – 2.7 procenata.

Mesto rođenja:

- Beograd – 43.24 procenata,
- Užice – 10.8 procenata,
- Kraljevo – 5.4 procenata,
- Čačak – 5.4 procenata
- Bar, Brus, Jagodina, Kruševac, Loznica, Priština, Prokuplje, Smederevo, Subotica, Surdulica, Vranje, Šabac – po 2.71 procenat.

Dalje, rezultati pokazuju da 100 procenata ispitanika ima svoj nalog na *Facebook*-u, a od toga 97.2 procenata je učlanjeno u neku grupu. Kada je u pitanju grupa SKŽS 2018 u nju se učlanilo 100 procenata ispitivanih studenata.

Odgovori studenata na postavljena pitanja koja su i glavna istraživačka pitanja su sledeći:

- P1: Zašto ste pristupili grupi SKŽS na Facebook-u?
  O1: Zbog dobijanja pravovremenih informacija vezanih za predmet od nastavnika i saradnika – 81.1 procenat; Zbog razmene informacija sa kolegama koje se odnose na predmet – 70.3 procenata; Zato što mi se dopala ideja 56.8 procenata.
- P2: Da li mislite da je bilo korisno to što ste pristupili SKŽS grupi na Facebook-u?
  O2: Da – 100 procenata.
- P3: Zbog čega mislite da je bilo korisno to što ste pristupili SKŽS grupi?
- O3: Zato što sam saznao/la više informacija vezanih za predmet od nastavnika i saradnika – 91.9 procenata; Zato što mi je bilo pojednostavljeno pripremanje za ispit – 59.5 procenata; Zato što sam saznao/la više informacija vezanih za predmet od kolega – 43.2 procenata.
- P4: Da li vas je pristupanje SKŽS grupi motivisalo da bolje savladate nastavni sadržaj predmeta i lakše položite predmet?
- O4: Da – 100 procenata.

Ovi dobijeni procenti su dokazali da *Facebook* doprinosi u veoma značajnoj meri poboljšanju komunikacije i dobijanju pravovremenih informacija od značaja za nastavno gradivo, te motivaciji za savladavanje nastavnog sadržaja i polaganje ispita. Ovim su dokazana i ključna istraživačka pitanja sprovedene studije.

5. ZAKLJUČAK

Sprovedeno istraživanje je pokazalo da upotreba *Facebook*-a predstavlja dobar model edukativnog i pedagoškog alata u visokoškolskom obrazovanju.

Dalje, adekvatna upotreba ove društvene mreže omogućava studentima brzu razmenu informacija i savladavanje nastavnog sadržaja, tako da njihova percepcija ovakvog načina edukacije u poređenju sa tradicionalnim metodama participacije u učionici pokazuje ne samo korisnost iskazanu kroz visoki rang dodeljen ovoj karakteristici obrazovne upotrebe *Facebook*-a već i dodatnu društvenu vrednost kroz iskazane međusobne iterakcije studenata i online timski rad.

Na osnovu rezultata istraživanja može se zaključiti da se upotreba *Facebook*-a kao dodatka tradicionalnom e-učenju pokazala kao odlično sredstvo i za bolje učestvovanje studenata u procesu učenja i bolje pripreme za potrebne zadatka, kolokvijume, testove i ispit. Ovim su potvrđeni i rezultati prethodnih istraživanja autora u ovoj oblasti (Petrovic, Petrovic, Jeremic, Milenkovic, & Cirovic, 2012; Petrovic, Jeremic, Cirovic, Radojicic, & Milenkovic, 2013; Petrovic, Jeremic, Petrovic, & Cirovic, 2014).

LITERATURA

[1] Aparicio, M., Bacao, F., & Oliveira, T. (2016). An e-learning theoretical framework. *Educational Technology and Society, 19*(1), 292-307.

[2] Aydin, S. (2012). A review of research on Facebook as an educational environment. *Educational Technology research and development, 60*(6), 1093-1106.

[3] Boyd, D. M., & Ellison, N. B. (2007). Social network sites: Definition, history, and scholarship. *Journal of computer-mediated Communication, 13*(1), 210-230.

[4] Caers, R., De Feyter, T., De Couck, M., Stough, T., Vigna, C., & Du Bois, C. (2013). Facebook: A literature review. *New Media & Society, 15*(6), 982-1002.

[5] Cassidy, J. (2006). Me media: how hanging out on the internet became big business. The New Yorker, 82(13), 50. Dostupno na http://www.newyorker.com/archive/2006/05/15/060515fa_fact_cassidy.

[6] Cheung, R., & Vogel, D. (2011). Can Facebook enhance the communications between teachers and students?. *International Journal of Learning, 17*(11).

[7] Decarie, C. (2010). Facebook: Challenges and opportunities for business communication students. *Business Communication Quarterly, 73*(4), 449-452.

[8] Downes, S. (2005, October 17). E-learning 2.0. *eLearn Magazine*.

[9] Dyrud, M. A. (2011). Social networking and business communication pedagogy: Plugging into the Facebook generation. *Business communication quarterly, 74*(4), 475-478.

[10] Facebook (2019). About Facebook. Dostupno na https://www.facebook.com/peering/.

[11] Fernandes, J., Giurcanu, M., Bowers, K. W., & Neely, J. C. (2010). The writing on the wall: A content analysis of college students' Facebook groups for the 2008 presidential election. *Mass Communication and Society, 13*(5), 653-675.

[12] Gao, F., Luo, T., & Zhang, K. (2012). Tweeting for learning: Acritical analysis of research on microblogging in education. *British Journal of Educational Technology*, 43,783–801.

[13] Greenhow, C. (2011). Online social networks and learning. On the Horizon, 19, 4-12.

[14] Greenhow, C., & Askari, E. (2017). Learning and teaching with social network sites: A decade of research in K-12 related education. *Education and information technologies, 22*(2), 623-645.

[15] Greenhow, C., Gleason, B., & Li, J. (2014). Psychological, social, and educational dynamics of adolescents' online social networking. Media Education. *Studi, ricerche, buone pratiche, 5*(2), 115-130.

[16] Hew, K. F. (2011). Students' and teachers' use of Facebook. *Computers in Human Behavior*, 27, 662-676.

[17] Hölbl, M., & Welzer, T. (2010). Students' feedback and communication habits using Moodle. *Elektronika ir Elektrotechnika, 102*(6), 63-66.

[18] Joly, K. 2007. Facebook, MySpace, and Co.: IHEs ponder whether or not to embrace social networking sites. University Business. Dostupno na http://www.universitybusiness.com/ViewArticle.aspx?articleid=735.

[19] Kamsin, A., & Is, E. (2005). Is e-learning the solution and substitute for conventional learning. *International journal of the computer, the internet and management, 13*(3), 79-89.

[20] Katz, R. N., & Oblinger, D. G. (2000). The "E" Is for Everything: E-Commerce, E-Business, and E-Learning in Higher Education. EDUCAUSE Leadership Strategies, No. 2. Jossey-Bass Higher and Adult Education Series. Jossey-Bass, 350 Sansome St., San Francisco, CA 94104.

[21] Katz, Y. J. (2002). Attitudes affecting college students' preferences for distance learning. *Journal of computer assisted learning, 18*(1), 2-9.

[22] Malita, L. (2011). Social media time management tools and tips. *Procedia Computer Science*, 3, 747-753.

[23] Manca, S., & Ranieri, M. (2016). Is Facebook still a suitable technology-enhanced learning environment? An updated critical review of the literature from 2012 to 2015. *Journal of Computer Assisted Learning, 32*(6), 503-528.

[24] Manca, S., & Ranieri, M. (2016). Is Facebook still a suitable technology-enhanced learning environment? An updated critical review of the literature from 2012 to 2015. *Journal of Computer Assisted Learning, 32*(6), 503-528.

[25] Mazman, S. G. & Usluel, Y. K. (2010). Modeling educational usage of Facebook. *Computers & Education*, 55, 444−453.

[26] Petrovic, N., Jeremic, V. Cirovic, M., Radojicic, Z. & Milenkovic, N. (2013). Facebook vs. Moodle: What do students really think? In L. Morris & C. Tsolakidis (Eds.), Proceedings of International Conference on Information Communication Technologies in Education - ICICTE 2013, Crete, Greece - July 4-6, 2013, Greece (pp. 413-421). Crete: Southampton Solent University, University of the Aegean, The Justice Institute of British Columbia (JIBC).

[27] Petrovic, N., Jeremic, V., Petrovic, D., & Cirovic, M. (2014). Modeling the Use of Facebook in Environmental Higher Education. In Ġ. Mallia (Ed.), The Social Classroom: Integrating Social Network Use in Education (pp. 100-119). Hershey, PA: Information Science Reference. doi:10.4018/978-1-4666-4904-0.ch006.

[28] Petrovic, N., Petrovic, D., Jeremic, V., Milenkovic, N., & Cirovic, M. (2012). Possible educational use of facebook in higher environmental education. In L. Morris & C. Tsolakidis (Eds.), Proceedings of International Conference on Information Communication Technologies in Education - ICICTE 2012 July 5-7, 2012, Rhodes, Greece (pp. 355-362). Rhodes: Southampton Solent University, University of the Aegean, The Justice Institute of British Columbia (JIBC).

[29] Prensky, M. (2001a, September/October). Digital natives, digital immigrants. *On the Horizon, 9*(5), 1-6.

[30] Prensky, M. (2001b, November/December). Digital natives, digital immigrants, part 2: Do they really think differently? *On the Horizon, 9*(6), 1-6.

[31] Rodríguez Hoyos, C., Haya Salmón, I., & Fernández Díaz, E. M. (2015). Research on SNS and education: The state of the art and its challenges. *Australasian Journal of Educational Technology, 31*(1), 100-111.

[32] Ruiz, J. G., Mintzer, M. J., & Leipzig, R. M. (2006). The impact of e-learning in medical education. *Academic medicine, 81*(3), 207-212.

[33] Salaway, G., Caruso, J. B., & Nelson, M. R. (2008). The ECAR Study of Undergraduate Students and Information Technology. 2008 (No. 8). Boulder, CO: EDUCAUSE Center for Applied Research.

[34] SKŽS 2018 (2018). In Facebook [group]. Dostupno na https://www.facebook.com/groups/960345617482933/.

[35] Teclehaimanot, B., & Hickman, T. (2011). Student-teacher interaction on Facebook: What students find appropriate. *TechTrends, 55*(3), 19.

[36] Thompson, J. (2007). Is education 1.0 ready for Web 2.0 students? *Innovate, 3*(4). Dostupno na http://www.innovateonline.info/index.php?view=article&id=393&action=article.

[37] Trentin, G. (2007). A multidimensional approach to e-learning sustainability. *Educational Technology*, 36-40.

[38] Wilson, R. E., Gosling, S. D., & Graham, L. T. (2012). A review of Facebook research in the social sciences. *Perspectives on psychological science, 7*(3), 203-220.

[39] Yang, H. H. (2013). New world, new learning: trends and issues of e-learning. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 77, 429-442.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PREGLED LINEARNIH OPTIMIZACIONIH PROBLEMA I METODE OBAVIJANJA PODATAKA U OBRADI POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA

OVERVIEW OF LINEAR OPTIMIZATION PROBLEMS AND DATA ENVELOPMENT ANALYSIS IN AGRICULTURAL LAND PROCESSING

BISERA ANDRIĆ GUŠAVAC[1], GORDANA SAVIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Beograd, bisera.andric.gusavac@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Beograd, gordana.savic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Poljoprivreda spada u primarni sektor privrede, zajedno sa šumarstvom, lovom i ribolovom. Poljoprivredna proizvodnja obavlja se na poljoprivrednom zemljištu, koje je neophosno iskoristiti na najbolji mogući način, s obzirom na sve veću populaciju i ograničenost raspoloživog zemljišta. U literaturi se može naći veliki broj istraživanja koja se bave problemima u poljoprivredi, a rešavaju se metodama i tehnikama operacionih istraživanja. U ovom radu dat je pregled radova linearnih optimizacionih problema i metode obavijanja podataka (DEA) pri obradi poljoprivrednog zemljišta. Pregled obuhvata period od poslednjih pet godina.*

Ključne reči: *Poljoprivreda, obrada poljoprivrednog zemljišta, linearno programiranje, metoda obavijanja podataka (DEA).*

Abstract: *Agriculture belongs to the primary sector of the economy, together with forestry, hunting and fishing. Agricultural production is performed on an agricultural land, which has to be exploited in the best possible way, given the increasing human population and the limited availability of the land. A large number of research studies dealing with problems in agriculture can be found in the literature, and many are solved by operations research methods and techniques. This paper presents an overview of linear optimization problems and data envelopment analysis (DEA) in the processing of agricultural land. Overview covers a period of the last five years.*

Keywords: *Agriculture, processing of agricultural land, linear programming, data envelopment analysis (DEA).*

1. UVOD

Rast ljudske populacije i industrijske proizvodnje posledično dovodi do porasta zagađenja, degradacije zemljišta, fragmentacije habitata i neodržive potrošnje, a zbog ekstenzivnog korišćenja, obradivo zemljište je sve lošijeg kvaliteta, sve više je zagađeno, a posledica je da ga ima sve manje. Efektivno upravljanje poljoprivredom je neophodno kako bi se produžila produktivnost zemljišta.

Pregledom literature u poslednjih pet godina uočeno je da su najčešći problemi u oblasti poljoprivrede koje se rešavaju metodama i tehnikama operacionih istraživanja vezani za obradu i način obrade poljoprivrednog zemljišta. Broj radova koji se bave primenom operacionih istraživanja u oblasti poljoprivrede u poslednjih pet godina je veći od 150, a s obzirom na ograničen broj strana, u ovom radu dat je samo pregled radova koji se bave rešavanjem problema pri obradi poljoprivrednog zemljišta linearnim programiranjem i DEA metodom.

2. PREGLED LINEARNIH OPTIMIZACIONIH PROBLEMA VEZANIH ZA OBRADU I NAČIN OBRADE POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA

Metode i tehnike operacionih istraživanja se opsežno primenjuju za rešavanje problema u oblasti poljoprivrede. Modeliranje, kao osnovni alat u nauci o poljoprivrednim sistemima, razvili su naučnici koji rade u različitim oblastima tokom proteklih šest decenija (Jones et al. 2017).

Problemi vezani za obradu i način obrade poljoprivrednog zemljišta su veoma česti u literaturi. Rešavaju se problemi vezani za podelu obradive površine na kulture, planiranje useva, a sve češće i rotacija useva – gde se podrazumevaju odluke o vrstama biljaka koje se sade na jednom obradivom zemljištu, na način gde se

u svakom periodu (ili svakih nekoliko perioda) sadi druga vrsta biljke. Problemi ove vrste često se modeliraju linearnim programiranjem. Takođe su aktuelni problemi izbora strategija obrađivanja/neobrađivanja zemljišta na nivou farme radi izbegavanja degradacije tla, a ovi problemi se najčešće modeliraju linearnim i mešovitim linearnim programiranjem. Kod svih ovih tipova problema uzima se kao faktor odlučivanja i područje gde se zemljište nalazi – sušno ili ne, raspoloživost vode za navodnjavanje, raspoloživost energetskih i svih ostalih resursa i sl.

U tabeli 1 prikazani su radovi koji se bave problemima vezanim za obradu poljoprivrednog zemljišta, a rešavaju se linearnim programiranjem. Za svaki rad ukratko je opisan problem i dat je model kojim se razmatrani problem rešava.

Tabela 1: Pregled radova koji se bave problemima vezanim za obradu poljoprivrednog zemljišta

Referenca	Problem/Grupa problema	Model
Boboev *et al.* 2019	podela obradive površine na kulture, konzervacioni sistemi poljoprivrede - sistem rotacije useva (izvodljivost; istraživanje finansijskih prednosti sistema sadnje raznovrsnih biljaka u odnosu na sadnju samo jedne biljke)	linearno programiranje
Albornoz *et al.* 2019	podela obradive površine na pravougaone delove (homogene zone upravljanja)	linearno programiranje
Kiryluk-Dryjska and Beba 2018	raspodela budžeta za ruralni razvoj Evropske Unije na regione	linearno programiranje
Smith *et al.* 2018	problem prelaska na 100% organsku proizvodnju i procena posledica na poljoprivrednu proizvodnju	linearno programiranje
Kocjančič *et al.*. 2018	planiranje poljoprivredne proizvodnje primenom emergy pristupa - problem u mlekarstvu	linearno programiranje, višekriterijumska analiza, ciljno programiranje
Bavorova *et al.* 2018	izbor strategija obrađivanja/neobrađivanja zemljišta na nivou farme radi izbegavanja degradacije tla	linearno programiranje
Zhong *et al.* 2018	problem prenamene poljoprivrednog zemljišta za proizvodnju bioenergije	višekriterijumski model mešovitog linearnog programiranja
Herrera-Cáceres *et al.* 2017	planiranje žetve u proizvodnji maslinovog ulja (određivanje redosleda žetve različitih parcela)	mešovito linearno programiranje
Zhang *et al.* 2017	problem uzgoja poljoprivrednih kultura u sušnim područjima	linearno razlomljeno programiranje, stohastičko programiranje, transformisano u model linearnog programiranja
Singh 2017	problem alokacije vodnih i zemljišnih resursa za poljoprivrednu proizvodnju	linearno programiranje
Filippi *et al.* 2017	problem izbora miksa useva radi najboljeg iskorišćenja obradive površine	linearno programiranje
Herrera-Cáceres *et al.* 2017	optimizacija plana ubiranja plodova za proizvodnju maslinovog ulja	mešovito linearno programiranje
Filippi *et al.* 2017	problem selekcije useva	mešovito linearno programiranje
Capitanescu *et al.* 2017	problem određivanja vrste i rasporeda sadnje useva	mešovito linearno programiranje
You and Hsieh 2017	problem planiranja proizvodnje organskog povrća	mešovito linearno programiranje
Li *et al.* 2017	problem selekcije useva i alokacije vodnih resursa	mešovito linearno programiranje
Pieralli 2017	problem razvoja indikatora za ocenu kvaliteta zemljišta	linearno programiranje
Nidumolu *et al.* 2016	problem izbora useva u skladu sa prognoziranim vremenskim uslovima	linearno programiranje
Rocco and	planiranje proizvodnje useva (proizvodnja paradajza):	linearno programiranje

Morabito 2016	konceptualna shema i matematički model	
Zhang *et al.* 2016	podela obradive površine na pravougaone zona upravljanja u poljoprivredi	mešovito celobrojno linearno programiranje
Galán-Martín *et al.* 2015	problem određivanja optimalnog plana setve	linearno programiranje
Das *et al.* 2015	podela obradive površine na kulture; alokacija zemljišnih i vodnih resursa za poljoprivrednu proizvodnju sa navodnjavanjem	linearno programiranje
Singh 2015	upravljanje zemljišnim i vodnim resursima u sušnim područjima	linearno programiranje
Ward *et al.* 2014	problem ishrane, urbana poljoprivreda	linearno programiranje
Prišenk *et al.* 2014	upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom	linearno programiranje, ciljno programiranje

3. PREGLED PRIMENE DEA METODE ZA REŠAVANJE PROBLEMA VEZANIH ZA OBRADU I NAČIN OBRADE POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA

Što se tiče problema ocene i uporedne analize efikasnosti u poljoprivredi, najčešće se primenjuje tehnika matematičkog programiranja - analiza obavijanja podataka (Charnes *et al.* 1978) (DEA-Data Envelopment Analysis).

U tabeli 2 prikazani su radovi koji se bave problemima ocene i uporedne analize efikasnosti u poljoprivredi. Za svaki rad ukratko je opisan problem i dat je model kojim se razmatrani problem rešava.

Tabela 2: Pregled radova koji se bave primenom DEA metode za analizu efikasnosti

Referenca	Problem/Grupa problema	Model
Grados and Schrevens 2019	procena uticaja poljoprivredne proizvodnje krompira na životnu sredinu i ocena eko-efikasnosti posmatranih agro – sistema	DEA
Muhtarom *et al.* 2019	analiza efikasnosti i produktivnosti poljoprivredne proizvodnje	DEA
Rybaczewska-Błazejowska and Gierulski 2018	procena eko-efikasnosti poljoprivredne proizvodnje u 28 država EU	DEA
Li *et al.* 2018	evaluacija efikasnosti i potencijala za poboljšanje u poljoprivrednom sektoru Kine	DEA
Khoshroo *et al.* 2018	poboljšanje energetske efikasnosti s obzirom na smanjenje emisije CO2 u proizvodnji repe	DEA
Moutinho *et al.* 2018	efikasnost u evropskom poljoprivrednom sektoru	DEA
Masuda 2018	energetska efikasnost intenzivne proizvodnje pirinča u Japanu	DEA
Staniszewski 2018	procena održivosti intenzifikacije poljoprivrede u Evropskoj uniji	DEA
Abbas *et al.* 2018	novi pristup za procenu energetske efikasnosti i održivosti proizvodnje pšenice	DEA
Godoy-Durán *et al.* 2017	ocena eko-efikasnosti malih farmi koje se bave hortikulturom	DEA
Khanjarpanah *et al.* 2017	procena efikasnosti lokacija-kandidata za za za održivu, najmanje rizičnu setvu trave za proizvodnju bio-goriva	DEA (model ocene unakrsne efikasnosti)
Toma *et al.* 2017	ocena efikasnosti poljoprivrede u zemljama Evropske unije (EU) u cilju boljeg planiranja i upravljanja	bootstrap-DEA
Vlontzos *et al.* 2017	procena održivosti poljoprivrednog sektora pomoću indeksa eko-efikasnosti	DEA
Pokhrel and Soni 2017	analiza tehničke efikasnosti farmi za različite načine žetve pirinča	DEA

Murtaza and Thapa 2017	procena tehničke efikasnosti proizvođača jabuka	DEA
Atici and Podinovski 2015	procena efikasnoti poljoprivrednih jedinica različite specijalizacije	DEA
Gadanakis *et al.* 2015	razvoja alata za procenu održivog intenziviranja poljoprivredne proizvodnje	DEA
Nowak *et al.* 2015	procena tehničke efikasnosti poljoprivrede u zemljama EU	DEA
Kočišová 2015	procena relativne tehničke efikasnosti poljoprivrede u EU	DEA
Souza and Gomes 2015	procena ekonomske efikasnosti poljoprivrede	DEA
Mirza *et al.* 2015	procena tehničke efikasnosti farmi pšenice	DEA
Gadanakis *et al.* 2015	problem procene indikatora održivosti obradivih površina	DEA

3. ZAKLJUČAK

Problemi pri obradi poljoprivrednog zemljišta uspešno se rešavaju metodama i tehnikama operacionih istraživanja, a u ovom radu dat je pregled samo (zbog ograničenog prostora) linearnih optimizacionih problema i primena DEA metode u rešavanju navedenih problema. Može se zaključiti da se veliki broj problema može rešiti linearnim programiranjem, što je dobro, jer se ovi problemi i velikih dimenzija mogu egzaktno rešiti, a u problemima koji se javljaju u poljoprivredi, skor uvek su u pitanju problemi velikih dimenzija. Rad je obuhvatao pregled literature za poslednjih pet godina, a za buduće istraživanje pregled će se proširiti i na ostale probleme (problemi rutiranja, navodnjavanje, zaštita životne sredine i zdravlja ljudi, itd.).

LITERATURA

[1] Abbas A., Iqbal T., Ahmad M., Yousaf K., Elahi E., Yang M. (2018). Implementation of a novel approach for the evaluation of energy efficiency, management needs and sustainability of wheat production.Fresenius Environmental Bulletin 27,10, 6695-6703. DOI:

[2] Albornoz V.M., Ñanco L.J., Sáez J.L. (2019). Delineating robust rectangular management zones based on column generation algorithm.Computers and Electronics in Agriculture „ -. DOI:10.1016/j.compag.2019.01.045

[3] Atici K.B., Podinovski V.V. (2015). Using data envelopment analysis for the assessment of technical efficiency of units with different specialisations: An application to agriculture.Omega (United Kingdom) 54,, 72-83. DOI:10.1016/j.omega.2015.01.015

[4] Bavorova M., Imamverdiyev N., Ponkina E. (2018). Farm-level economics of innovative tillage technologies: the case of no-till in the Altai Krai in Russian Siberia.Environmental Science and Pollution Research 25,2, 1016-1032. DOI:10.1007/s11356-017-9268-y

[5] Boboev H., Djanibekov U., Bekchanov M., Lamers J.P.A., Toderich K. (2019). Feasibility of conservation agriculture in the Amu Darya River Lowlands, Central Asia.International Journal of Agricultural Sustainability 17,1, 60-77. DOI:10.1080/14735903.2018.1560123

[6] Capitanescu F., Marvuglia A., Navarrete Gutiérrez T., Benetto E. (2017). Multi-stage farm management optimization under environmental and crop rotation constraints.Journal of Cleaner Production 147,, 197-205. DOI:10.1016/j.jclepro.2017.01.076

[7] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). A Data Envelopment Analysis Approach to Evaluation of the Program Follow through Experiment in US Public School Education (No. MSRR-432). Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh Pa Management Sciences Research Group.

[8] Das B., Singh A., Panda S.N., Yasuda H. (2015). Optimal land and water resources allocation policies for sustainable irrigated agriculture.Land Use Policy 42,, 527-537. DOI:10.1016/j.landusepol.2014.09.012

[9] Filippi C., Mansini R., Stevanato E. (2017). Mixed integer linear programming models for optimal crop selection.Computers and Operations Research 81,, 26-39. DOI:10.1016/j.cor.2016.12.004

[10] Gadanakis Y., Bennett R., Park J., Areal F.J. (2015). Evaluating the Sustainable Intensification of arable farms.Journal of Environmental Management 150,, 288-298. DOI:10.1016/j.jenvman.2014.10.005

[11] Galán-Martín A., Pozo C., Guillén-Gosálbez G., Antón Vallejo A., Jiménez Esteller L. (2015). Multi-stage linear programming model for optimizing cropping plan decisions under the new Common Agricultural Policy.Land Use Policy 48,, 515-524. DOI:10.1016/j.landusepol.2015.06.022

[12] Godoy-Durán Á., Galdeano- Gómez E., Pérez-Mesa J.C., Piedra-Muñoz L. (2017). Assessing eco-efficiency and the determinants of horticultural family-farming in southeast Spain.Journal of Environmental Management 204,, 594-604. DOI:10.1016/j.jenvman.2017.09.037

[13] Grados D., Schrevens E. (2019). Multidimensional analysis of environmental impacts from potato agricultural production in the Peruvian Central Andes.Science of the Total Environment 663,, 927-934. DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.01.414

[14] Herrera-Cáceres C., Pérez-Galarce F., Álvarez-Miranda E., Candia-Véjar A. (2017). Optimization of the harvest planning in the olive oil production: A case study in Chile.Computers and Electronics in Agriculture 141,, 147-159. DOI:10.1016/j.compag.2017.07.017

[15] Jones, J. W., Antle, J. M., Basso, B., Boote, K. J., Conant, R. T., Foster, I., ... & Keating, B. A. (2017). Brief history of agricultural systems modeling. Agricultural systems, 155, 240-254.

[16] Khanjarpanah H., Pishvaee M.S., Seyedhosseini S.M. (2017). A risk averse cross-efficiency data envelopment analysis model for sustainable switchgrass cultivation location optimization.Industrial Crops and Products 109,, 514-522. DOI:10.1016/j.indcrop.2017.09.005

[17] Khoshroo A., Izadikhah M., Emrouznejad A. (2018). Improving energy efficiency considering reduction of CO2 emission of turnip production: A novel data envelopment analysis model with undesirable output approach.Journal of Cleaner Production 187,, 605-615. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.03.232

[18] Kiryluk-Dryjska E., Beba P. (2018). Region-specific budgeting of rural development funds-An application study.Land Use Policy 77,, 126-134. DOI:10.1016/j.landusepol.2018.05.029

[19] Kocjančič T., Debeljak M., Žgajnar J., Juvančič L. (2018). Incorporation of emergy into multiple-criteria decision analysis for sustainable and resilient structure of dairy farms in Slovenia.Agricultural Systems 164,, 71-83. DOI:10.1016/j.agsy.2018.03.005

[20] Kočišová K. (2015). Application of the DEA on the measurement of efficiency in the EU countries.Agricultural Economics (Czech Republic) 61,2, 51-62. DOI:10.17221/107/2014-AGRICECON

[21] Li N., Jiang Y., Mu H., Yu Z. (2018). Efficiency evaluation and improvement potential for the Chinese agricultural sector at the provincial level based on data envelopment analysis (DEA).Energy 164,, 1145-1160. DOI:10.1016/j.energy.2018.08.150

[22] Li Q., Hu G., Jubery T.Z., Ganapathysubramanian B. (2017). A farm-level precision land management framework based on integer programming. PLoS ONE 12,3, -. DOI:10.1371/journal.pone.0174680

[23] Li X., Zhang Y., Liang L. (2017). Measure of agricultural production input/output efficiency and the spatial disparity analysis in China.Custos e Agronegocio 13,2, 408-420. DOI:

[24] Masuda K. (2018). Energy efficiency of intensive rice production in Japan: An application of data envelopment analysis.Sustainability (Switzerland) 10,1, -. DOI:10.3390/su10010120

[25] Mirza F.M., Najam N., Mehdi M., Ahmad B. (2015). Determinants of technical efficiency of wheat farms in Pakistan.Pakistan Journal of Agricultural Sciences 52,2, 577-582.

[26] Moutinho V., Madaleno M., Macedo P., Robaina M., Marques C. (2018). Efficiency in the European agricultural sector: environment and resources.Environmental Science and Pollution Research 25,18, 17927-17941. DOI:10.1007/s11356-018-2041-z

[27] Muhtarom A., Haryanto T., Istifadah N. (2019). Analysis of productivity efficiency of food plant agriculture in East Java based on DEA index.International Journal of Civil Engineering and Technology 10,1, 420-443. DOI:

[28] Murtaza G., Thapa G.B. (2017). Factors affecting technical efficiency of small-scale apple farms in Balochistan Plateau, Pakistan.Journal of Mountain Science 14,4, 782-794. DOI:10.1007/s11629-016-3937-z

[29] Nidumolu U.B., Lubbers M., Kanellopoulos A., van Ittersum M.K., Kadiyala D.M., Sreenivas G. (2016). Engaging farmers on climate risk through targeted integration of bio-economic modelling and seasonal climate forecasts.Agricultural Systems 149,, 175-184. DOI:10.1016/j.agsy.2016.09.011

[30] Nowak A., Kijek T., Domańska K. (2015). Technical efficiency and its determinants in the European Union agriculture.Agricultural Economics (Czech Republic) 61,6, 275-283. DOI:10.17221/200/2014-AGRICECON

[31] Pieralli S. (2017). Introducing a new non-monotonic economic measure of soil quality.Soil and Tillage Research 169, 92-98. DOI:10.1016/j.still.2017.01.015

[32] Pokhrel A., Soni P. (2017). Performance analysis of different rice-based cropping systems in tropical region of Nepal.Journal of Environmental Management 197,, 70-79. DOI:10.1016/j.jenvman.2017.03.035

[33] Prišenk J., Turk J., Rozman Č., Borec A., Zrakić M., Pažek K. (2014). Advantages of combining linear programming and weighted goal programming for agriculture application.Operational Research 14,2, 253-260. DOI:10.1007/s12351-014-0159-4

[34] Rocco C.D., Morabito R. (2016). Production and logistics planning in the tomato processing industry: A conceptual scheme and mathematical model.Computers and Electronics in Agriculture 127,, 763-774. DOI:10.1016/j.compag.2016.08.002

[35] Rybaczewska-Błazejowska M., Gierulski W. (2018). Eco-efficiency evaluation of agricultural production in the EU-28.Sustainability (Switzerland) 10,12, -. DOI:10.3390/su10124544

[36] Singh A. (2015). Land and water management planning for increasing farm income in irrigated dry areas.Land Use Policy 42,, 244-250. DOI:10.1016/j.landusepol.2014.08.006

[37] Singh A. (2017). Optimal allocation of water and land resources for maximizing the farm income and minimizing the irrigation-induced environmental problems.Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 31,5, 1147-1154. DOI:10.1007/s00477-016-1326-3

[38] Smith L.G., Jones P.J., Kirk G.J.D., Pearce B.D., Williams A.G. (2018). Modelling the production impacts of a widespread conversion to organic agriculture in England and Wales.Land Use Policy 76,, 391-404. DOI:10.1016/j.landusepol.2018.02.035

[39] Souza G.D.S., Gomes E.G. (2015). Improving agricultural economic efficiency in Brazil.International Transactions in Operational Research 22,2, 329-337. DOI:10.1111/itor.12055

[40] Staniszewski J. (2018). Attempting to measure sustainable intensification of agriculture in countries of the European Union.Journal of Environmental Protection and Ecology 19,2, 949-957. DOI:

[41] Toma P., Miglietta P.P., Zurlini G., Valente D., Petrosillo I. (2017). A non-parametric bootstrap-data envelopment analysis approach for environmental policy planning and management of agricultural efficiency in EU countries.Ecological Indicators 83,, 132-143. DOI:10.1016/j.ecolind.2017.07.049

[42] Vlontzos G., Niavis S., Pardalos P. (2017). Testing for environmental Kuznets curve in the EU agricultural sector through an Eco-(in)efficiency index.Energies 10,12, -. DOI:10.3390/en10121992

[43] Ward J.D., Ward P.J., Mantzioris E., Saint C. (2014). Optimising diet decisions and urban agriculture using linear programming.Food Security 6,5, 701-718. DOI:10.1007/s12571-014-0374-0

[44] You P.-S., Hsieh Y.-C. (2017). A computational approach for crop production of organic vegetables.Computers and Electronics in Agriculture 134,, 33-42. DOI:10.1016/j.compag.2016.11.003

[45] Zhang C., Li M., Guo P. (2017). Two-stage stochastic chance-constrained fractional programming model for optimal agricultural cultivation scale in an arid area.Journal of Irrigation and Drainage Engineering 143,9, -. DOI:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001216

[46] Zhang X., Jiang L., Qiu X., Qiu J., Wang J., Zhu Y. (2016). An improved method of delineating rectangular management zones using a semivariogram-based technique.Computers and Electronics in Agriculture 121,, 74-83. DOI:10.1016/j.compag.2015.11.016

[47] Zhong J., Yu T.E., Clark C.D., English B.C., Larson J.A., Cheng C.-L. (2018). Effect of land use change for bioenergy production on feedstock cost and water quality.Applied Energy 210,, 580-590. DOI:10.1016/j.apenergy.2017.09.070

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

UPOTREBA ANALIZE OBAVIJANJA PODATAKA U OCENJIVANJU ODRŽIVOSTI POSLOVANJA

USE OF DATA ENVELOPMENT ANALYSIS IN THE ASSESSMENT OF BUSINESS SUSTAINABILITY

JELENA ANDREJA RADAKOVIĆ[1], MILAN MARTIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, jelenaandreja.radakovic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, milan.martic@ fon.bg.ac.rs

Rezime: *Poslednje decenije razvoja nauke i prakse odlikuje važnost koja se pridaje održivom razvoju i potrebi za ocenjivanjem održivosti, posebno u pogledu poslovanja kompanija. U ovome radu, autori se bave istraživanjima koja su fokusirana na održivost i primenu Analize obavijanja podataka (DEA) u ocenjivanju odživosti poslovanja kompanija posebno u domenu njihovog društveno-odgovornog poslovanja (DOP). Treba naglasiti da su ova istraživanja sve brojnija sa ciljem integrisanja metodološkog okvira za ocenjivanje održivosti kompanija imajući u vidu rastuće i sve kompleksnije probleme ekoloških sistema i povezanog ljudskog blagostanja. Dodatno, u radu se naglašava neophodna veza između poslovanja kompanija i njenih performansi i sva tri aspekta održivosti: ekonomskog, ekološkog i društvenog.*

Ključne reči: *Analiza obavijanja podataka, DEA, Održivi razvoj, Održivost, Održivost kompanija.*

Abstract: *Last decade the development of science and practicec characterized by the importance given to sustainable development and the need for evaluating sustainability, particularly in terms of operating companies. In this paper, the authors deal with research that is focused on sustainability and the application of data envelopment analysis (DEA) in assessing the sustainability of company operations particularly in the area of their corporate social responsibility (CSR). It should be noted that these studies more numerous with the aim of integrating the methodological framework for assessing the viability of the company keeping in mind the growing and increasingly complex problems of ecological systems and the related human welfare. In addition, the paper emphasizes the undeniable link between the company and its business performance and all three aspects of sustainability: economic, environmental and social.*

Keywords: *Data Envelopment Analysis, DEA, Sustainable Development, Sustainability, Company sustainability.*

1. UVOD

Potrebe za uspostavljanjem održivog razvoja i koncepta održivosti predstavljaju rastuće i neophodne trendove u razvoju savremenog čovečanstva. Tako se velika pažnja poklanja ekološkim problemima, zagađenosti životne sredine, klimatskim promenama zajedno sa usmerenošću na probleme siromaštva i socijalne nejednakosti, kao i rastućeg jaza između država i nacija. Osnove principa održivosti proizilaze iz same definicije održivog razvoja koja se odnosi na odgovoran model razvoja kako životne sredine, tako i društva i ekonomije. Kada je u pitanju definisanje održivog razvoja treba naglasiti da ima puno njegovih definicija, ali da je svakako najcitiranija definicija održivog razvoja ona koju je izdala 1987. godine Svetska komisija za životnu sredinu i razvoj (*World Commission on Environment and Development*) u izveštaju „Naša zajednička budućnost" (*"Our Common Future"*) poznatom i kao Brundtland izveštaj (*Brundtland Report*), a koja glasi: „Održivi razvoj je razvoj koji zadovoljava sadašnje potrebe bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje potrebe" (WCED, 1987). Od ovog perioda, započinje i niz inicijativa i akcija na lokalnom, nacionalnom i globalnom nivou sa ciljem odgovora na različite izazove i aspekte održivosti (Mebratu, 1998; Zhou, Yang, Chen, & Zhu, 2018). Ovo je rezultovalo potrebama za merenjem primene i ostvarenja održivog razvoja (Tyteca, 1998) u donošenju odluka, menadžmentu i istraživanjima (Parris & Kates, 2003), kao i primenu sprovednih merenja na različitim nivoima (Munksgaard, Wier, Lenzen, & Dey, 2005; Coli, Nissi, & Rapposelli, 2011; Munda & Saisana, 2011) i u industrijskim sektorima (Peres-Neto, Legendre, Dray, & Borcard, 2006; Zhou, Yang, Chen, & Zhu, 2018).

Dalje, nova Agenda održivog razvoja – Transformacija našeg sveta: Agenda 2030 za održivi razvoj (*Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*) sa svojih 17 ciljeva i 169 podciljeva, uključuje sve tri dimenzije održivog razvoja: ekonomski rast, socijalnu inkluziju i zaštitu životne sredine. Na ovaj način omogućava zadovoljavanje niza društvenih potreba kao što su edukacija, zdravlje, zdravstvena i socijalna zaštita, mogućnosti za zapošljavanje... (UN, 2019). Agenda ima multidimenzionalni i kompleksni karakter te stoga ukazuje i na mogućnosti adekvatne primene metode Analize obavijanja podataka (*Data envelopment analysis* - DEA). Razlozi za ovo se nalaze u tome što DEA omogućava: prevazilaženje standardnih mera ekonomskih, društvenih i ekoloških performansi; te pruža osnove za sveobuhvatne „pakete" političkih saveta za regionalne, industrijske i globalne agende (Emas, 2015).

Ovaj rad je organizovan na sledeći način: u Poglavlju 1 su data uvodna razmatranja; u Poglavlju 2 je prikazan pregled literature koji se odnosi na DEA metodologiju, Poglavlje 3 se bavi fenomenom i definisanjem održivosti, u Poglavlju 4 su dati glavni rezultati koji se odnose na primenu DEA metode u merenju održivosti sa akcentom na održivost kompanija, a u Poglavlju 5 – zaključci i budući pravci istraživanja.

2. ANALIZA OBAVIJANJA PODATAKA - DEA

Rastuća primena metoda i alata operacionih istraživanja i srodnih matematičkih metoda u merenju održivosti proistekla je iz potrebe za adekvatnim merenjima i ocenama performansi održivog razvoja posebno u oblasti industrije imajući u vidu da neodrživost sadašnjeg načina ekonomskog i industrijskog razvoja uz porast populacije i rastuću urbanizaciju ima posledično i često pogubne uticaje na životnu sredinu (Mehta, 2002). Karakteristike metoda operacionih istraživanja koje su značajne za planiranje održivosti i primenu održivog razvoja se odnose na: interdisciplinarne prilaze u primeni ekspertiza različitih disciplina radi adekvatnog rešavanja postojećih problema, kao i svrsishodne implementacije u određivanju, definisanju i rešavanju problema.

Kada je u pitanju metoda DEA, treba naglasiti da se ona može smatrati posebnom metodom operacionih istraživanja za merenje efikasnosti kompleksnih entiteta sa raznorodnim ulazima i izlazima. Ova metoda je široko poznata kao jedna o najuspešnijih tehnika operacionih istraživanja (Popović, & Martić, 2005). Njen razvoj traje preko četrdeset godina i može se reći da je postala vodeća metoda za merenje performansi efikasnosti, jer se na osnovu nje može odrediti koliko su pojedini entiteti o kojima se odlučuje - DMU (*Decision Making Unit*) neefikasni u odnosu na efikasne entitete. DEA takođe omogućava da se odredi koliko je potrebno da se utiče na pojedine ulaze odnosno izlaze da bi se postigla efikasnost entiteta. „Značajna osobina DEA metode je da ulazi i izlazi za konkretnu DMU ne moraju biti istorodni, ali je neophodno da ove jedinice koje se ocenjuju u okviru jedne analize međusobno imaju iste vrste ulaza i izlaza" (Savić, 2016). DEA metoda je razvijena od strane autora Charnes, Cooper i Rhodes (1978). Ovaj model je po inicijalima autora poznat kao CCR model (Savić, Dragojlović, Vujošević, Arsić, & Martić, 2015). CCR model koristi linearno programiranje radi dodeljivanja težina ili određivanja koeficijenata koji su izabrani na taj način da dodele najbolji set težina/koeficijenata za svaku jedinicu. Od perioda uvođenja DEA metode, brojni istraživači su u različitim oblastima počeli da koriste ovu metodu imajući u vidu njen visok nivo primenljivosti u modelovanju operacionih procesa za evaluaciju performansi (Cooper, Seiford, & Zhu, 2011). Ovo je kao rezultat dalo razvoj više vrsta modela zasnovanih na različitim parametrima koji omogućavaju različite analize produktivnosti i efikasnosti, kao i rangiranje razmatranih entiteta (Cook, & Zhu, 2005; Petrovic et al., 2016). Tako se DEA primenjuje u: poljoprivredi, bankarstvu, obrazovanju, energetskom sektoru, rešavanju problematike životne sredine, zdravstvu, osiguranju, marketingu, proizvodnji, maloprodaji, uslugama, turizmu, održivosti.

3. ODRŽIVOST

Koncept održivosti ima veoma dugu istoriju i razvoj (Kidd, 1992). Danas je ovaj koncept široko prepoznat kao ideja, proces, strategija ali i tema kojoj se pridaje velika važnost jer se odnosi na globalne promene koje obuhvataju povezane krize u oblasti stanja životne sredine, društva i ekonomije (Biggs, Biggs, Dakos, Scholes, & Schoon, 2011; Hugé, Block, Waas, Wright, & Dahdouh-Gueba, 2016; Borojević et al., 2017). Imajući u vidu brojne stejkholdere angažovane u pitanjima koja se odnose na održivost, mora se naglasiti da postoji veliki broj tumačenja i definicija održivosti (WCED, 1987; Hopwood, Mellor, & O'Brien, 2005; Hugé, Block, Waas, Wright, & Dahdouh-Gueba, 2016). Neke od definicija održivosti je određuju kao (Radaković, Pepić, & Stevanović, 2016; Borojević et al., 2017):

- „zadovoljavanje potreba sadašnjih generacija bez narušavanja mogućnosti da buduće generacije zadovolje svoje potrebe (WCED, 1987);

- aktivnosti koje mogu da izazovu narušavanja životne sredine (Fletcher, 2008);
- razvoj koji zadovoljava sadašnje potrebe dok u isto vreme čuva ekosisteme planete Zemlje od kojih zavisti blagostanje sadašnjih i budućih generacija (Griggs et al., 2013);
- obiman i sistemski koncept koji ima za cilj da maksimizira dobrobit životne sredine, ekonomije i društva (Vallance, Perkins, & Dixon, 2011; Maletič, Maletič, Dahlgaard, Dahlgaard-Park, & Gomišček, 2014);
- princip koji se zasniva na direktnoj i indirektnoj vezi opstanka civilizacije i naše prirodne životne sredine (EPA, 2019)."

Iz ovih definicija može se zaključiti da je održivosti održivost višedimenzionalni koncept, mada treba naglasiti da je na početku razvoja održivosti preovlađivao fokus na ekolološke probleme i njihovo rešavanje, tako da se održivost poistovećivala sa ekološkom problematikom odnosno sa sve zastupljenijim i urgentnijim potrebama za rešavanjem zagađenja životne sredine (Drexhage, & Murphy, 2010). Dalje, socijalna odnosno društvena komponenta održivosti je naglašena u samoj definiciji održivog razvoja koju je dala Svetska komisija o životnoj sredini i razvoju 1987. godine. Naime, u ovoj definiciji koja ima i najširu upotrebu se naglašava potreba za pomirenjem potreba sadašnjih i budućih generacija (WCED, 1987). Prema autorima Dempsey, Bramley, Power i Brown (2011), na ovaj način se pažnja posvećuje međugeneracijskoj jednakosti te naglašavaju socijalni aspekti kao što su: socijalna jednakost, socijalna pravda, distributivna pravda i pravo na jednakost uslova. Razvoj ove komponente održivosti je išao i u pravcu društveno odgovornog poslovanja (DOP) korporacija, imajući u vidu da se i održivost i DOP odnose na aktivnosti kompanija koje uključuju dobrovoljnu inkluziju brige o društvu (i životnoj sredini) u poslovne operacije i interakcije sa stejkholderima (Van Marrewijk, 2003). Treća komponenta održivosti koja se odnosi na ekonomiju predstavlja vezu između upotrebe i potrošnje prirodnih resursa prilikom poslovnih aktivnosti kompanija pri čemu je na kompanijama da svoje poslovanje sprovode tako da „koriste samo one resurse koji se iskorišćavaju sporije od njihove prirodne reprodukcije, ili sporije od razvoja njihovih supstituta; da ne prouzrokuju emisije gasova koje se akumuliraju u životnoj sredini brže od kapaciteta prirode da ih apsorbuje i asimilira; da nemaju aktivnosti koje degradiraju ekosistem (Dyllick, & Hockerts, 2002). Ovakvo poslovanje se odnosi i na ekoefikasnost i ekoefektivnost (Braungart, & McDonough, 1998; WBCSD, 2000). Drugim rečima, održivost omogućava kompanijama da obavljaju svoje aktivnosti na profitabilan i produktivan način, uz zadovoljavajuće finansijske performanse, te da na održiv način upravljaju ekološkim i društvenim kapitalom.

Sve ovo ukazuju na to da održivost „uključuje integraciju, razumevanje i delovanje usmereno ka kompleksnim međupovezanostima koje postoje između životne sredine, ekonomije i društva" (Drexhage, & Murphy, 2010).

4. PRIMENA DEA METODE U OCENJIVANJU ODRŽIVOSTI

Primena DEA metode u oblasti održivosti datira još od 1996. godine kada su autori Färe, Grosskopf i Tytecaet (1996) prvi put primenili DEA metodu orijentisanu na input, a koja sadrži "loše outpute" koji se odnose na varijable zagađenja sa ciljem izračunavanja indikatora ekoloških performansi za elektro-postrojenja u SAD. Radi ovoga autori su razvili indikator ekoloških performansi zasnovan na dekompoziciji ukupnog faktora produktivnosti u indeks zagađenja i input-output indeks efikasnosti. Od tada, DEA metoda je našla široku primenu u ocenjivanjima različitih komponenti održivosti kao što su npr. energetska i ekološka efikasnost (Sueyoshi, & Goto, 2014; Petrovic et al., 2016). Tako su autori Zhang, Fan, Yuan i Ge (2008) svojim istraživanjem omogućili dublju analizu uzroka koji dovode do ekološke efikasnosti te posledičnih preporuka za strategije zaštite životne sredine u Kini, pokazavši uspešnu primenu DEA metode i potrebu za daljim izučavanjem njene primene u ovoj oblasti. Autori Petrovic i ostali (2016) su u svom radu dokazali mogućnosti primene DEA metode u evaluaciji eko-efikasnosti materijala u zavisnosti od njihove ekološke podobnosti, na osnovu kvantifikacije uticaja na životnu sredinu svakog pojedinačnog materijala i njihovih rangova. Ono što je evidentno je da najzastupljenije primene DEA metode koje se koriste u ocenjivanju održivosti su tradicionalni DEA modeli kao što su CCR i BCC modeli (Zhou, Yang, Chen, & Zhu, 2018). Treba naglasiti da, se sve više razvijaju i napredni DEA modeli koji se koriste u istraživanjima o održivosti kao odgovor na sve veću potrebu za preciznošću analize kompleksnih podataka.

Procena održivosti kompanije spada u jedne od „najpopularnijih" primena DEA metode u istraživanjima održivosti. Ovo ilustruju brojne naučne publikacije koje se bave ovom oblašću, a u kojima se koriste različiti DEA modeli za merenje održivosti DOP kao podrška odlučivanju. Tako autori Chen i Delmas (2011) u svojoj studiji se bave kritičkom evaluacijom sadašnjih pristupa agregacije radi predloga nove metodologije zasnovane na DEA zbog proračunavanja CSP indeksa i na taj način određivanja benčmarka kompanije. Belu i Manescu (2013) predlažu nov indeks DOP zasnovan na DEA koji predstavlja meru strategijskog DOP. Botsian i Karpiuk (2015) su razvili metodologiju merenja performansi DOP-a uzimajući u razmatranje

specifične inpute i outpute koji se odnose na aktivnosti društvenog poslovanja. Pregled indikatora koji se najčešće koriste kao inputi i outputi prilikom primene DEA metode za merenje i procenu održivosti kompanija je dat u Tabeli 1.

Tabela 1: Indikatori za procenu održivosti kompanija primenom DEA metode (Zhou, Yang, Chen, & Zhu, 2018)

	Input indikatori	**Output indikatori**
Ekonomski	Imovina, kapital, materijali i mašine, cene istraživanja i razvoja, administrativni troškovi, marketing rashodi, operativni troškovi, troškovi transporta, troškovi zaposlenih, tehnički rizik, komercijalni rizik	Prinos outputa, prihod ili neto prihod, prodaja, profit, prinos na aktivu, tržišni udeo dodatne vrednosti, vrednost tržišta, nematerijalna ulaganja
Ekološki	Upotreba energije, korišćenje zemljišta, investicije u smanjenje emisija CO_2, investicije u zaštitu životne sredine, karbonski otisak, energetski otisak, vodeni otisak, generisanje otpada, troškovi tretmana otpada, rizik od pesticida, erozija	Emisije hidro-ugljenika, emisije ugljen-monoksida, emisije azotnih oksida, SO_2 emisije, prevencija zagađenja i tretman, reciklirani otpad, ekološki sertifikati, smanjenje CO_2, klimatske promene, ekološki menadžment i inovacije, ekološka snaga
Socijalni	Trošak zaštite na radu, zdravlje radnika, ljudski rad, investicije u odnose sa kupcima, tačnost dostava i preciznost, stepen odbijanja dostavljača, kontrola kvaliteta	Kvalitet, fleksibilnost, usluge i zadovoljstvo kupaca, ljudska prava, tačnost i preciznost dostave, kapacitet i bezbednost, diverzitet, društveni doprinos, transparentnost poslovanja, kooperacija

Iz Tabele 1 se može zaključiti da su najčešće korišćeni ekonomski input indikatori prilikom ocenjivanja održivosti kao što su: imovina, kapital i različiti indikatori povezani sa troškovima na nivou kompanije. Kada su u pitanju ekološki input indikatori, onda su to: potrošnja energije, potrošnja zemljišta i investicije u zaštitu životne sredine, karbonski otisak kao mera ukupne emisije ugljen-dioksida, azotnih oksida i emisija metana iz sagorevanja fosilnih goriva. Najčešće korišćeni društveni input indikatori su ljudski rad, kao i indikatori poput investicija u odnose sa potrošačima, kontrolu kvaliteta i bezbednost na radu. Što se tiče outputa, oni se odnose na izlazne prinose, prihode i prodaju kao tri najpopularnija ekonomska output indikatora, dok su najčešće korišćeni ekološki output indikatori različite vrste zagađujućih emisija poput emisija ugljen-monoksida, ugljen-dioskida, azotnih oksida i SO_2 emisija, a društveni output indikatori - usluge i zadovoljstvo potrošača, ljudska prava, društveni doprinosi, itd.

5. ZAKLJUČAK

Može se zaključiti da trenutne primene DEA metode u ocenjivanju i proceni održivosti, posebno održivosti kompanija obuhvataju tri glavne teme: evaluaciju eko-efikasnosti kompanija, poboljšanje ekološke efikasnosti i merenje društvenih performansi kompanije. Pri ovome analize pokazuju da se postojeća istraživanja najviše fokusiraju na ekološke aspekte održivosti, dok se manji broj bavi društvenim i ekonomskim aspektom održivosti, te da je potrebno još istraživanja usmerenih na primenu DEA metode i modela u oblasti održivosti kompanija sa fokusom na sva tri aspekta održivog razvoja, te njihovo integrisano razmatranje.

Kako se progres ka održivosti može meriti ostvarenjem ciljeva održivog razvoja Ujedinjenih nacija (Costanza et al., 2016), a da UN 2030 Agenda za održivi razvoj sa svojih 17 ciljeva, 169 podciljeva i 300 indikatora omogućava razrađen vodič za primenu i merenje ciljeva održivog razvoja, tako bi dalji pravci istraživanja svakako trebalo da budu usmereni na upotrebu DEA metode u merenju efikasnosti sprovođenja ovih ciljeva od strane kompanija kao validne ocene njihovog održivog polovanja, posebno imajući u vidu da DEA omogućava evaluaciju multidimenzionalnog problema održivosti, efikasnost u oceni ekonomskih, ekoloških i društvenih performansi, te predstavlja sveobuhvatnu osnovu za donošenje odluka u procesu odlučivanja.

Zaključuje se da DEA predstavlja odgovarajuću metodu u ocenjivanju održivosti kompanija, posebno u domenu njihovog DOP-a. Svakako, potreban je dalji razvoj njene primene u ovoj oblasti, uzimajući u obzir

značajan trend u istraživanjima koja naglašavaju potrebu za kombinacijom DEA sa drugim analitičkim metodama kao što su AHP, teorija igara, analiza životnog ciklusa (LCA) i regresiona analiza (Zhou, Yang, Chen, & Zhu, 2018).

LITERATURA

[1] Belu, C., & Manescu, C. (2013). Strategic corporate social responsibility and economic performance. *Applied Economics*, *45*(19), 2751-2764.

[2] Biggs, D., Biggs, R., Dakos, V., Scholes, R. J., & Schoon, M. (2011). Are we entering an era of concatenated global crises?. *Ecology and Society, 16*(2).

[3] Borojević, T., Maletič, M., Petrović, N., Radaković, J. A., Senegačnik, M., & Maletič, D. (2017). Youth Attitudes Towards Goals of a New Sustainable Development Agenda. *Problemy Ekorozwoju, 12*(2), 161-172.

[4] Botsian, T., & Karpiuk, O. (2015). The role of DEA in CSR efficiency evaluation. *ScienceRise*, *2*(3), 66-69.

[5] Capelle-Blancard, G., & Petit, A. (2017). The weighting of CSR dimensions: One size does not fit all. *Business & Society*, *56*(6), 919-943.

[6] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, *2*(6), 429-444.

[7] Chen, C. M., & Delmas, M. (2011). Measuring corporate social performance: An efficiency perspective. *Production and Operations Management*, *20*(6), 789-804.

[8] Coli, M., Nissi, E., & Rapposelli, A. (2011). Monitoring environmental efficiency: an application to Italian provinces. *Environmental Modelling & Software*, *26*(1), 38-43.

[9] Cook W., & Zhu J. (2005). Modeling Performance Measurement: Applications and Inplementation Issues in DEA. Springer, Boston, MA.

[10] Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). Data envelopment analysis: History, models, and interpretations. In Handbook on data envelopment analysis (pp. 1-39). Springer, Boston, MA.

[11] Costanza, R., Daly, L., Fioramonti, L., Giovannini, E., Kubiszewski, I., Mortensen, L. F., ... & Wilkinson, R. (2016). Modelling and measuring sustainable wellbeing in connection with the UN Sustainable Development Goals. *Ecological Economics*, *130*, 350-355.

[12] Dempsey, N., Bramley, G., Power, S., & Brown, C. (2011). The social dimension of sustainable development: Defining urban social sustainability. *Sustainable development*, *19*(5), 289-300.

[13] Drexhage, J., & Murphy, D. (2010). Sustainable development: from Brundtland to Rio. In Background Paper prepared for consideration by the High-Level Panel on Global Sustainability at its first meeting, 19 September 2010.

[14] Dyllick, T., & Hockerts, K. (2002). Beyond the business case for corporate sustainability. *Business strategy and the environment*, *11*(2), 130-141.

[15] Emas, R. (2015). The concept of sustainable development: definition and defining principles. *Brief for GSDR*, 1-3.

[16] Färe, R., Grosskopf, S., & Tyteca, D. (1996). An activity analysis model of the envi- ronmental performance of firms-application to fossil-fuel-fired electric utilities. *Ecological Economics*, *18*(2), 161-175.

[17] Fletcher, K. (2008). Sustainable Fashion & Textiles: Design Journeys. Oxford, Earthscan.

[18] Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., ... & Noble, I. (2013). Policy: Sustainable development goals for people and planet. *Nature, 495*(7441), 305.

[19] Hopwood, W., Mellor, M., & O'Brien, G. (2005). Sustainable development: mapping different approaches. *Sustainable Development*, 13, 38-52.

[20] Hugé, J., Block, T., Waas, T., Wright, T., & Dahdouh-Guebas, F. (2016). How to walk the talk? Developing actions for sustainability in academic research. *Journal of Cleaner Production*, 137, 83-92.

[21] Kidd, C. V. (1992). The evolution of sustainability. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, *5*(1), 1-26.

[22] Maletič, M., Maletič, D., Dahlgaard, J. J., Dahlgaard-Park, S. M., & Gomišček, B. (2014). Sustainability exploration and sustainability exploitation: From a literature review towards a conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 79, 182-194.

[23] McDonough, W., & Braungart, M. (1998). The next industrial revolution. *The Atlantic monthly*, *282*(4). Dostupno na https://www.ratical.org/co-globalize/nextIndusRev.pdf.

[24] Mebratu, D. (1998). Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. *Environmental impact assessment review*, *18*(6), 493-520.

[25] Mehta, P. K. (2002). Greening of the concrete industry for sustainable development. *Concrete international*, *24*(7), 23-28.

[26] Munda, G., & Saisana, M. (2011). Methodological considerations on regional sustainability assessment based on multicriteria and sensitivity analysis. *Regional Studies*, *45*(2), 261-276.

[27] Munksgaard, J., Wier, M., Lenzen, M., & Dey, C. (2005). Using input-output analysis to measure the environmental pressure of consumption at different spatial levels. *Journal of Industrial Ecology*, *9*(1-2), 169-185.

[28] Parris, T. M., & Kates, R. W. (2003). Characterizing and measuring sustainable development. *Annual Review of environment and resources*, *28*(1), 559-586.

[29] Peres-Neto, P. R., Legendre, P., Dray, S., & Borcard, D. (2006). Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. *Ecology*, *87*(10), 2614-2625.

[30] Petrovic B. N., Savic, G., Andrijasevic, D., Stanojevic, M., Cirovic, M., Slovic, D., & Radakovic, J. A. (2016). Evaluating eco-efficiency of beverage packaging materials: A Data Envelopment Analysis approach. *Feb-Fresenius Environmental Bulletin, 25*(8), 2958-2963.

[31] Popović, G., & Martić, M. (2005, May). Two-stage DEA use for assessing efficiency and effectiveness of micro-loan programme. In *7th Balkan Conference on Operational Research*.

[32] Radaković, J. A., Pepić, M., & Stevanović, D. (2016). Sustainability of the Fashion Industry: How does the youth feel. In O. Jaško & S. Marinković (Eds.), Reshaping the Future through Sustainable Business Development and Entrepreneurship. International symposium SymOrg 2016, Faculty of Organizational Sciences, Zlatibor, Srbija, 10-13 June 2016 (pp. 585-589).

[33] Savić, G. (2016). Merenje performansi poslovnih sistema. Dostupno na http://pa.fon.bg.ac.rs/wp-content/uploads/2016/02/Merenje-perofrmansi-i-DEA-Osnove.pdf.

[34] Savić, G., Dragojlović, A., Vujošević, M., Arsić, M., & Martić, M. (2015). Impact of the efficiency of the tax administration on tax evasion. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, *28*(1), 1138-1148.

[35] Sueyoshi, T., & Goto, M. (2014). Photovoltaic power stations in Germany and the United States: A comparative study by data envelopment analysis. *Energy Eco- nomics*, 42, 271-288

[36] Tyteca, D. (1998). Sustainability indicators at the firm level: pollution and resource efficiency as a necessary condition toward sustainability. *Journal of Industrial Ecology*, *2*(4), 61-77.

[37] United Nations - UN. (2019). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Dostupno na http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang =E.

[38] United States Environmental Protection Agency – EPA (2019). What is Sustainability? Dostupno na https://www.epa.gov/sustainability/learn-about-sustainability#what.

[39] Vallance, S., Perkins, H. C., & Dixon, J. E. (2011). What is social sustainability? A clarification of concepts. *Geoforum, 42*(3), 342-348.

[40] Van Marrewijk, M. (2003). Concepts and definitions of CSR and corporate sustainability: between agency and communion. *Journal of Business Ethics*, 44, 95-105.

[41] World Business Council for Sustainable Development - WBCSD (2000). Corporate Social Responsibility: Meeting Changing Expectations. Geneva Switzerland.

[42] World Commission on Environment and Development - WCED, U. (1987). Our Common Future-The Brundtland Report. *Report of the World Commission on Environment and Development*.

[43] Zhang, B., Bi, J., Fan, Z., Yuan, Z., & Ge, J. (2008). Eco-efficiency analysis of industrial system in China: A data envelopment analysis approach. *Ecological Economics*, *68*(1), 306-316.

[44] Zhou, H., Yang, Y., Chen, Y., & Zhu, J. (2018). Data envelopment analysis application in sustainability: The origins, development and future directions. *European Journal of Operational Research*, *264*(1), 1-16.

ECONOMIC MODELS AND ECONOMETRICS

EKONOMSKI MODELI I EKONOMETRIJA

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ANALIZA METODA U IZBORU INVESTICIONE STRATEGIJE

ANALYSIS OF METHODS IN THE CHOICE OF INVESTMENT STRATEGY

MARKO BACKOVIĆ[1], ZORAN POPOVIĆ[2]

[1] Ekonomski fakultet, Beograd, backovic@ekof.bg.ac.rs
[2] Ekonomski fakultet, Beograd, zpop@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *U radu se bavimo analizom i primenom metoda i modela za određivanje optimalne strategije investiranja u više projekata koji se međusobno ne isključuju.*

Ključne reči: *Investiciona strategija, neto sadašnja vrednost, interna stopa prinosa, dinamičko programiranje.*

Abstract: *The paper deals with the analysis and application of methods and models for determining the optimal investment strategy in several projects that are not mutually exclusive.*

Keywords: *Investment strategy, net present value, internal rate of return, dynamic programming.*

1. UVOD

Primarni cilj privređivanja privrednog subjekta jeste rentabilno poslovanje i ostvarivanje što većeg profita. Dakle, sve poslovne odluke uslovljene su ka ostvarenju tog cilja na najbolji moguće način. U okviru ukupne poslovne politike upravljanja posebno mesto posvećeno je investicionim ulaganjima. Strategija optimalnog investiranja predstavlja preduslov i jedan od osnovnih zahteva efikasnog poslovanja.

Cilj ovog rada jeste analiza egzaktnog definisanja strategije investiranja privrednih subjekata. Za potrebe ove analize koristimo kvantitativne modele, koji u zavisnosti od definisanih uslova i zahteva treba da daju manje ili više uspešna rešenja. U radu polazimo od pretpostavki da privredni subjekt raspolaže sa više invevesticionih alternativa, odnosno različite iznose sredstava, privredni subjekt može investirati u više projekata. Primenom kvantitativnih modela, potrebno je izabrati alternativa koja će predstavljati optimalnu strategiju investiranja.

Pošto polazimo od pretpostavke da postoji mogućnost investiranja u više projekata, za vrednovanje projekata i određivanje iznosa investiranih sredstava, u radu ćemo primeniti dva modela, i to

- metod neto sadašnje vrednosti i interne stope prinosa, i
- dinamičko programiranje.

Pri tome, predstavićemo osnovne matematičko-metodološke karakteristike modela, a zatim na hipotetički definisanom primeru u pogledu iznosa investiranih sredstava i efikasnosti investiranja, odrediti optimalnu strategiju investiranja.

2. MATEMATIČKO METODOLOŠKE KARAKTERISTIKE MODELA

Investicione projekte predstavljamo kao skup novčanih tokova u različitim vremenskim periodima oblika

$$x(t) = (x_0, x_1, x_2, \ldots, x_n), t = 0, 1, 2, \ldots, n, \quad (1)$$

gde, x_0 predstavlja iznos investiranih sredstava, a $x_1, x_2, \ldots, x_n$ predstavlja ostvarene iznose profita od investiranih sredstava u različitim vremenskim periodima.

Pretpostavimo da su projekti podjednako rizični, i da je diskontni faktor $d = \frac{1}{1+r}$, gde je r-diskontna stopa, isti za svaki analizirani investicioni projekat.

2.1. Metod neto sadašnje vrednosti i interne stope prinosa

Investicioni projekat dat izrazom (1) je uvek prihvatljiv ako je za svaki diskontni faktor d, neto sadašnja vrednost (NSV) veća od nule, tj.

$$za\ svaki\ d, NSV\left[x(t), d\right] > 0, \tag{2}$$

pri čemu iznos investiranih sredstava predstvljamo kao negativnu vrednost, tj. $x_0 < 0$.

Primenom metoda neto sadašnje vrednosti moguće je vršiti poređenje više projekata. Ako su projekti podjednako rizični i imamo fiksiranu vrednost diskontnog faktora d, tada je bolji onaj projekat koji ima veću neto sadašnju vrednost.

Kako je diskontni faktor $d = \frac{1}{1+r}$, sledi da postoji diskontna stopa r^0 za koju je $NSV\left[x(t), \frac{1}{1+r^0}\right] = 0$. Diskontna stopa r^0 predstavlja internu stopu prinosa IRR.Primenom metoda interne stope prinosa projekat je uvek prihvatljiv ako važi uslov da je

$$za\ svaki\ \ d > d^0, \tag{3}$$

odnosno, ako važi uslov da je $za\ svaki\ \ r < IRR$.

Primenom metoda interne stope prinosa možemo zaključiti da je neki projekat uvek bolji od ostalih projekata ako ima veću vrednost interne stope prinosa od interne stope prinosa ostalih projekata.

Dakle, primenom metoda neto sadašnje vrednosti ili interne stope prinosa može se doneti odluka o izboru jednog investicionog projekta između više alternativa.

2.2. Dinamičko programiranje

Dinamičko programiranje predstavlja matematički model za određivanje ekstremuma funkcije kriterijuma sa više promenljivih, i sa unapred definisanim ograničenjima. Osnovni princip dinamičkog programiranja na bazi koga se određuju rešenja je princip optimalnosti, koji se može predstaviti kao zahtev za određivanjem optimalnih rešenja u svakoj etapi procesa, ne uzimajući u prethodnja stanja i rešenja. Analiziramo ekonomski sistem koji se razvija u vremenu i koji se u trenutku t može predstaviti u obliku vektora stanja

$$x(t) = \left(x_0(t), x_1(t), \ldots, x_n(t)\right) \tag{4}$$

gde $x_i(t)$ definiše i-tu karakteristiku n-dimenzionalnog ekonomskog sistema.

Pretpostavimo da raspolažemo sa ukupnim iznosom od X_0 sredstava koje možemo investirati u više projekata, gde je x_{0i} iznos investiranih sredstava u projekat i. Poznati su efekti od investiranih sredstava u vremenskom periodu $t = 1,2,\ldots,n$ u svaki od projekata $i = 1,2,\ldots,m$, odnosno efekte investiranja u projekat i dajemo vektorom $x_i = \left(x_{1i}, x_{2i}, \ldots, x_{ni}\right)$.

Kako se efekti investiranja realizuju u vremenskom periodu $t = 1,2,\ldots,n$, da bi mogli vrednovati efekte svakog od projekata potrebno je buduće vrednosti diskontovati na početni vremenski period. Primenom metoda neto sadašnje vrednosti dobijamo diskontovanu vrednost budućih efekata za svaki projekat, zadatu izrazom

$$za\ svaki\ i = 1,2,\ldots,m,\ \ NSV\left(x_{1i}, x_{2i}, \ldots, x_{ni}, d\right), \tag{5}$$

pri čemu polazimo od pretpostavke da su projekti jednako rizični, i isti je diskontni faktor d.

Ako funkciju kriterijuma definišemo kao ukupnu sumu neto sadašnjih vrednosti svih projekata, tj.

$$F\left(x_{01}, x_{02}, \ldots, x_{0m}\right) = \sum_{i=1}^{m} NSV\left(x_{1i}, x_{2i}, \ldots, x_{ni}, d\right), \tag{6}$$

tada zahtev optimizacije predstavlja određivanje strategije investiranja u svaki od projekata tako da funkcija kriterijuma zadata izrazom (6) ostvari maksimalnu vrednost, sa uslovom da je $\sum_{i=1}^{m} x_{0i} = X_0$

Rešenje zadatka datog izrazima (6) primenom metoda dinamičkog programiranja, moguće je odrediti kroz m faza. Naime, umesto razmatranja jednog viševarijabilnog problema, zadatak se dekomponuje na m-faza, pri čemu se u svakoj fazi posmatra jedna promenljiva dekomponovanog potproblema. Pošto vrednost funkcije kriterijuma (izraz (6)) zavisi od ukupnog iznosa investiranih sredstava X_0 i broja projekata m u

koja se sredstva investiraju, možemo dati da je kriterijum maksimazacija ukupne neto sadašnje vrednosti svih projekata, tj.

$$f_m(X_0) = \max_{x_{0i}} F(x_{01}, x_{02}, ..., x_{0m}), \text{ gde je } \sum_{i=1}^{m} x_{0i} = X_0 . \quad (7)$$

Kako je dinamičko programiranje model čiju osnovu predstavlja rekurzivna jednačina koja spaja diferencirane faze modela, i pri tome obezbeđuje da u svakoj fazi dobijeno optimalno izvodivo rešenje je takođe i optimalno i ostvarivo za celokupan model, možemo definisati funkcionalne jednačine preko kojih se određuje optimalna strategija investiranja. Neka je x_{0i} iznos investiranih sredstava u projekat i, a neto sadašnja vrednost budućih efekata je $NSV(x_{1i}, x_{2i}, ..., x_{ni}, d)$. Preostali iznos investiranih sredstava $X_0 - x_{0i}$ potrebno je optimalno raspodeliti na preostalih $m-1$ projekat, a efekat ove raspodele može se izraziti ostvarenom neto sadašnjom vrednošću $f_{m-1}(X_0 - x_{0i})$. Ukupan efekat koji se ostvaruje investiranjem dobija se kao zbir prethodno datih efekata, tj.

$$NSV(x_{1i}, x_{2i}, ..., x_{ni}, d) + f_{m-1}(X_0 - x_{0i}) \quad (8)$$

Optimalna strategija investiranja predstavljaće onu alternativu investiranja x_{0i} koja će maksimizirati ukupan efekat zadat izrazom (13). Dakle, rekurzivna jednačina ima oblik

$$f_i(X_0) = \max_{x_{0i}} \left[NSV(x_{1i}, x_{2i}, ..., x_{ni}, d) + f_{m-1}(X_0 - x_{0i}) \right] \quad (9)$$

Rekurzivna jednačina data izrazom (9) predstavlja osnovu za određivanje optimalne strategije investiranja.

3. PRIMER

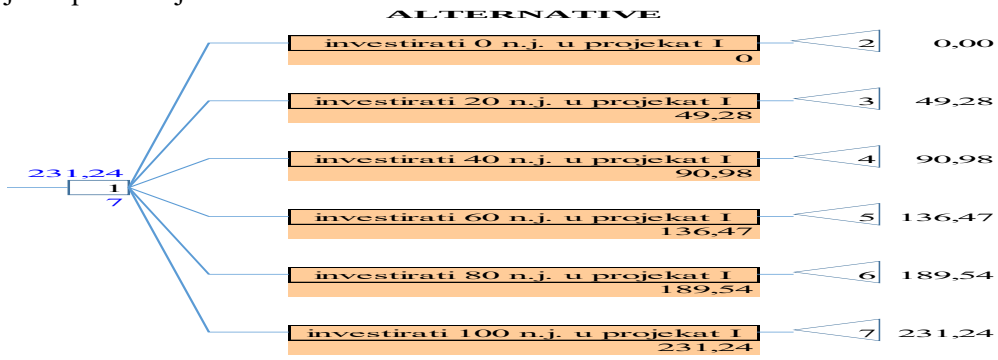
Radi jasnije prezentacije razmatranih metoda izbora strategije investiranja, dajemo hipotetički primer.
Pretpostavimo da se raspolaže sa sredstava za investiranje u iznosu od 100 n.j., pri čemu je moguće investiranje u tri projekta koji su istog stepena rizika i sa prinosom od investiranja u narednih pet godina. Pošto smo pretpostavili da su projekti istog stepena rizika, možemo poći od toga da je ista diskontna stopa za svaki projekat i neka iznosi 10%. Iznosi investiranih sredstava i prinosi od investiranja (profit) u svaki od projekata dati su narednim tabelama.

Tabela 1: Iznos investiranih sredstva i prinosi od investiranja

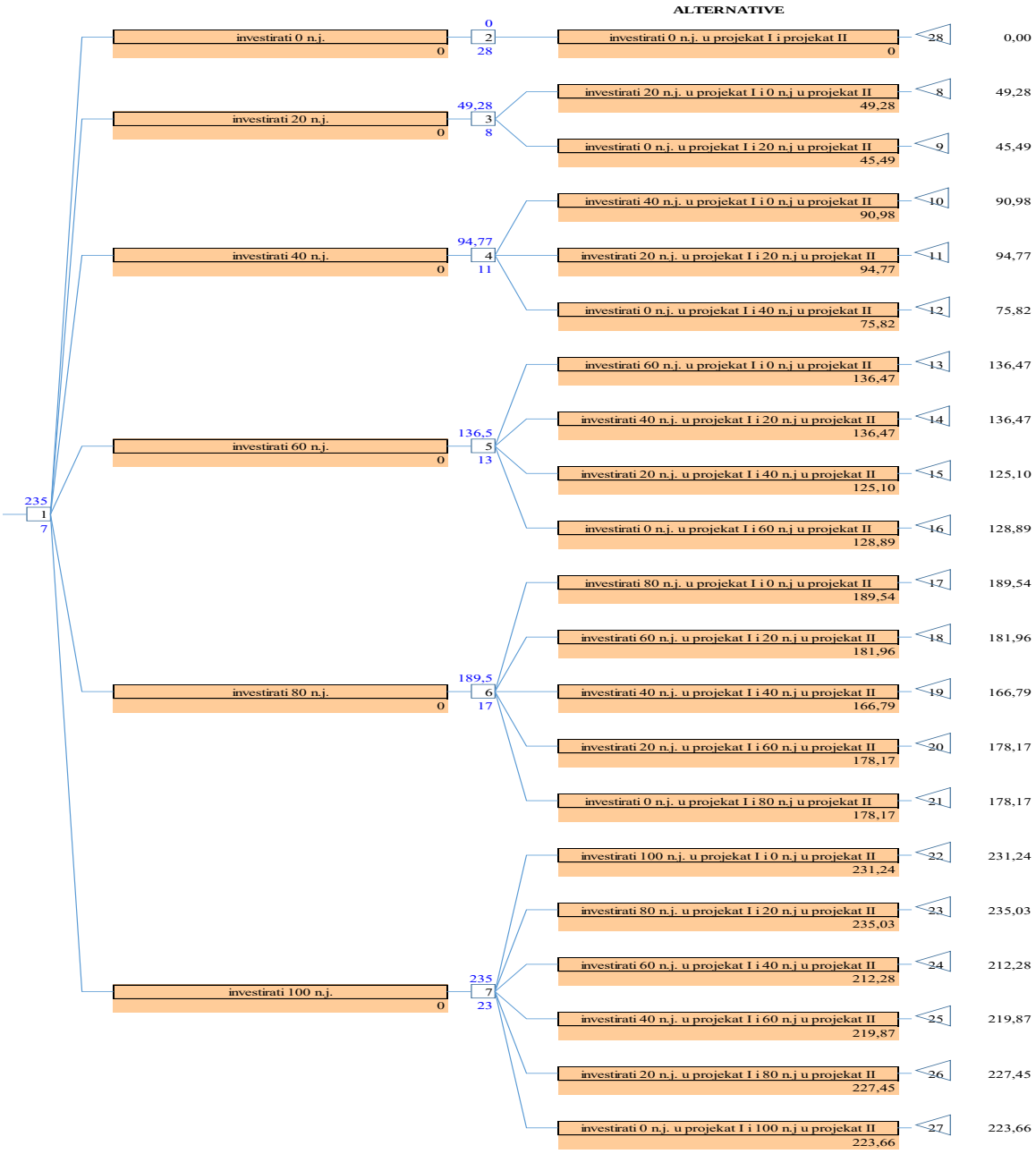
		projekat I	projekat II	projekat III
investicija		**-20,00**	**-20,00**	**-20,00**
profit po godini		13,00	12,00	15,00
Neto sadašnja vrednost	**NPV**	**49,28**	**45,49**	**56,86**
Interna stopa prinosa	**IRR**	**59%**	**53%**	**70%**
investicija		**-40,00**	**-40,00**	**-40,00**
profit po godini		24,00	20,00	30,00
Neto sadašnja vrednost	**NPV**	**90,98**	**75,82**	**113,72**
Interna stopa prinosa	**IRR**	**53%**	**41%**	**70%**
investicija		**-60,00**	**-60,00**	**-60,00**
profit po godini		36,00	34,00	40,00
Neto sadašnja vrednost	**NPV**	**136,47**	**128,89**	**151,63**
Interna stopa prinosa	**IRR**	**53%**	**49%**	**60%**
investicija		**-80,00**	**-80,00**	**-80,00**
profit po godini		50,00	47,00	52,00
Neto sadašnja vrednost	**NPV**	**189,54**	**178,17**	**197,12**
Interna stopa prinosa	**IRR**	**56%**	**51%**	**59%**
investicija		**-100,00**	**-100,00**	**-100,00**
profit po godini		61,00	59,00	63,00

Neto sadašnja vrednost	**NPV**	**231,24**	**223,66**	**238,82**
Interna stopa prinosa	**IRR**	**54%**	**52%**	**56%**

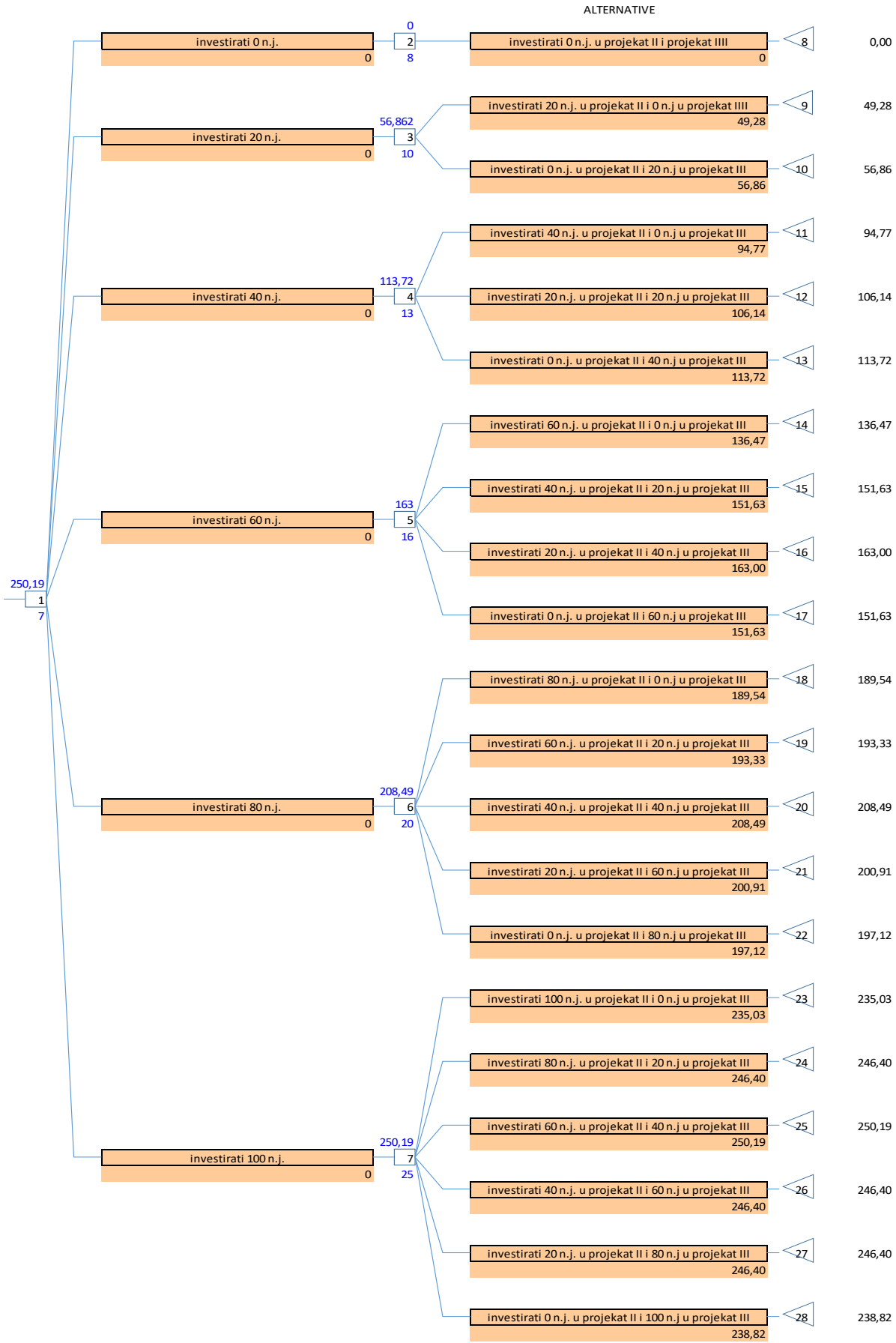
Metod dinamičkog programiranja realizovan je primenom Excel OM/QM, modul Decision Analysis. Rezultate dajemo po svakoj fazi.



Slika 1: Faza 1



Slika 2: Faza 2



Slika 3: Faza 3

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata za različite iznose investiranja, primenom metoda neto sadašnje vrednosti strategija investiranja jeste alternativa da se investira 100 n.j. u projekat III, pošto se dobija najveća neto sadašnje vrednosti koja iznosi 238,82 n.j. Takođe, poređenjem projekata primenom metoda interne stope prinosa, strategija investiranja jeste investiranje u projekat III.

Primenom metoda dinamičkog programiranja, pod pretpostavkom da projekti nisu međusobno isključivi, optimalna strategija investiranja jeste

- investirati 40 n.j. u projekat III, pri tome se ostvaruje profit izražen kao neto sadašnja vrednost u iznosu od 113,72 n.j. (u trećoj fazi maksimalna vrednost je ostvarena u čvoru odluke 25)
- investirati 20 n.j. u projekat II, pri tome se ostvaruje profit izražen kao neto sadašnja vrednost u iznosu od 45,49 n.j. (u drugoj fazi maksimalna vrednost je ostvarena u čvoru odluke 23)
- preostali iznos od 40 n.j. potrebno je investirati u projekat I, i pri tome se ostvaruje profit izražen kao neto sadašnja vrednost u iznosu od 90,98 n.j.

Primenom ove optimalne strategije ukupno ostvareni profit izražen kao neto sadašnja vrednost iznosi 250,19 n.j. Na osnovu dobijenih rezultata, izvodimo zaključak da kod investicionih projekata koji nisu međusobno isključivi, primenom metod dinamičkog programiranja dobija se optimalna strategija investiranja, kao oblik raspodele ukupno raspoloživih investicionih sredstava između projekata. Dakle, metod neto sadašnje vrednosti i interne stope prinosa vrši rangiranje projekata, i za rezultat ima strategiju investiranja ukupno raspolozivih sredstava u prvo rangirani projekat. Sa druge strane, metodom dinamičkog programiranja dobija se strategija raspodele investiranih sredstava na projekte, što za rezultat ima veći prinos od investiranja nego primenom metoda neto sadašnje vrednosti i interne stope prinosa.

LITERATURA

[1] Backović, M., Popović, Z. (2018). Matematičko modeliranje i optimizacija. (2th ed.). Ekonomski fakultet Beograd.

[2] Bellman, R. (1957). Dynamic Programming. Princeton Un. Press. Princeton, New Jersy.

[3] Stanojević, R. (2004). Dinamičko programiranje.Ekonomski institut Beograd.

[4] Urošević, B., Božović, M. (2013). Operaciona istraživanja i kvantitativne metode investicija. (2th ed.). Ekonomski fakultet Beograd.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

KORIŠĆENJE PSEUDO g-INTEGRALA ZA IZRAČUNAVANJE PREMIJE OSIGURANJA

APPLICATION OF PSEUDO g-INTEGRAL FOR INSURANCE PREMIUM CALCULATION

JELENA STANOJEVIĆ[1]

[1] Ekonomski fakultet, Beograd, jelenas@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *Na početku ovog rada dat je kratak osvrt na osnovnu notaciju i definicije g-računa, što je osnov pseudo analize. Kao primer korišćenja g -računa predstavljen je princip izračunavanja premije, korišćenjem g -integrala. U radu su samo spomenuti principi obračuna premije, koji se baziraju na očekivanoj vrednosti odgovarajuće slučajne veličine, iznosa šteta, u čijoj je osnovi običan Lebegov integral, koji su do sada već poznati u literaturi. Dalje je dat kratak pregled uvođenja pseudo integrala i na osnovu te definicije data je formula za obračun pseudo premije, koja predstavlja generalizaciju običnog postupka za obračun premije, korišćenjem očekivane vrednosti. Kroz dva primera, za odgovarajuće funkcije korisnosti, funkcije generatora i odgovarajuće parametre, izračunate su gornja i donja granica za pseudo premiju.*

Ključne reči: *pseudo analiza, g-račun, g-integral, neto pseudo premija*

Abstract: *At the beginning of this paper we gave short overview of basic notation and definition of g -calculus, which is the base of pseudo analysis. The principe of premium calculation with use of g -integral is given as an example of g -calculation. In the paper we only mention principles of premium calculation, which are based on expected value of appropriate random variable, the loss function, where Lebeg integral is in its base, and which are already well known in the literature. Then we gave short overview of pseudo integration and on the base of that definition a formula for calculation of pseudo premium is given, which represents the generalisation of the usual premium formula. Through two examples, with appropriate utility functions, generating functions g and appropriate parameters, we calculated upper and lower boundaries for pseudo premium.*

Keywords: *pseudo analysis, g-calculus, g-integral, net pseudo premium*

1. UVOD

U poslednjih par decenija velika pažnja je posvećena izučavanju modifikacija aditivnih karakteristika mera i Lebegovog integrala. Skup funkcija, monotonih (neopadajućih) mera, neaditivnih mera, fazi mera, predstavlja uopštenje klasičnih mera i one, generalno nisu aditivne. Princip premije, u matematičkom okruženju, koristi aparaturu teorije neaditivnih mera, kao i teoriju klasičnih mera, gde je od najveće važnosti izračunavanje integrala, pa tako i očekivane vrednosti.

U aktuarstvu i drugim oblastima, u skladu sa trendom i rezultatima u teoriji korisnosti i teoriji neaditivnih mera, razvijen je integralno-bazirani princip premije, što uključuje Wangov princip premije, CPT (cumulative prospect theory) princip premije, što je najplodnija oblast za primenu neaditivnih integrala i takođe velika je primena u teoriji odlučivanja. Za detaljniji pregled literature iz ovog dela, pogledati Wakker 2010; Yaari 1987; Goovaerts *et.al.* 2010; Kaas *et. al.* 2009; Young 2006; Wang *et.al.* 1997.

U ovom radu dat je prikaz principa neto pseudo premije, što je princip neto premije zasnovan na pseudo integralu realno-vrednosne funkcije. Pod principom premije posmatraćemo pravilo koje riziku u osiguranju, što je slučajna veličina, dodeljuje premiju, jednu realnu vrednost. Ostatak rada je organizovan na sledeći način: u drugom poglavlju date su osnovne definicije i notacija iz pseudo analize i g-računa, koje predstavljaju osnov za razmatranje generalizacije principa neto premije, princip maksimizacije korisnosti jeste deo trećeg poglavlja, koje sadrži osnove principa premije sa stanovišta funkcije korisnosti; u četvrtom poglavlju dato je uopštenje principa neto premije u princip neto pseudo premije, baziranog na pseudo integralu realno-vrednosne funkcije, kao i dva primera izračunavanja gornje i donje granice neto pseudo premije.

2. PSEUDO ANALIZA I g-RAČUN

U pseudo analizi jedan od osnovnih pojmova jeste poluprsten, koji je struktura u oznaci: $([a,b], \oplus, \odot)$, gde je $[a,b]$ zatvoreni podinterval intervala $[-\infty,+\infty]$, dok se u nekim slučajevima posmatra poluzatvoreni podinterval, na kome je definisano totalno uređenje (u oznaci $\preccurlyeq$), gde su $\oplus$ i $\odot$ pseudo operacije definisane sa sledećim svojstvima:

1. $\oplus$ je pseudo sabiranje, funkcija koja $\oplus$: [a,b] × [a,b] → [a,b] i koja je komutativna, neopadajuća (u odnosu na totalno uređenje $\preccurlyeq$), asocijativna i sa neutralnim elementom, u oznaci **0**.
2. $\odot$ je pseudo množenje, funkcija koja $\odot$: [a,b] × [a,b] → [a,b] i koja je komutativna, pozitivno neopadajuća (što znači x $\preccurlyeq$ y povlači x $\odot z \preccurlyeq$ y $\odot z$, gde je $z \in [a,b]_+ = \{x: x \in [a,b], \mathbf{0} \preccurlyeq x\}$), asocijativna i sa jediničnim elementom, u oznaci **1**.
3. $\mathbf{0} \odot$ x = **0**.
4. $x \odot (y \oplus z) = (x \odot y) \oplus (x \odot z)$.

Mnogo više o poluprstenu može se pogledati u Kolokoltsov 1997; Pap 1993; 1995. Ovde trba istaći da postoje tri tipa poluprstena, sa neprekidnim, do na neke tačke, pseudo operacijama i da će ovde biti analiziran samo treći tip, g-poluprsten. Za bliže reference pogledati Pap 1993; 1995; 2002. Neka je funkcija g striktna monotona bijekcija na [a,b], koja se naziva generator funkcija, ili generator. Tako su u ovom slučaju definisane pseudo operacije, g-sabiranje $\oplus$ i g-množenje $\odot$ na $[a,b]^2$, na sledeći način:

$$x \oplus y = g^{-1}(g(x) + g(y)),$$

$$x \odot y = g^{-1}(g(x) \cdot g(y)).$$

Možemo istaći ovde da je totalno uređenje $\preccurlyeq$ povezano sa generator funkcijom g, na sledeći način:

$$x \preccurlyeq y \Leftrightarrow g(x) \leq g(y),$$

što znači, da se totalno uređenje $\preccurlyeq$ poklapa sa uobičajenim poretkom na realnoj osi, ako je generator funkcija g rastuća, dok je u suprotnom, totalno uređenje suprotno uobičajenom peretku na realnoj osi.

Navešćemo sada jedan primer, sa uobičajenim generator funkcijama g koje se koriste, i zbog svojih specifičnih oblika pseudo množenja. U prvom primeru pseudo množenje se poklapa sa uobičajenim sabiranjem, dok se u drugom primeru ono poklapa sa uobičajenim množenjem.

Primer 2.1.

a) $[a,b] = [-\infty,+\infty]$, $g(x) = e^{-x}$, uz $(-\infty) + \infty = +\infty$, g-operacije su definisane sa:

$$x \oplus y = -\ln(e^{-x} + e^{-y}),\ x \odot y = x + y.$$

b) $[a,b] = [0,+\infty]$, $g(x) = x^{\alpha}$, $\alpha \geq 1$, uz $0 \cdot \infty = 0$, g-operacije su definisane sa:

$$x \oplus y = (x^{\alpha} + y^{\alpha})^{1/\alpha},\ x \odot y = x \cdot y.$$

Napomena: Ako je generator g funkcija identiteta, $g(x) = x$, tada su g-sabiranje i g-množenje uobičajene operacije sabiranja i množenja.

Dalje je definisana $\oplus$-mera kaja će biti od osnovne važnosti za razumevanje pseudo integrala realno vrednosne funkcije. Za detaljno uvođenje $\oplus$-mere, pogledati Pap 1995.

Neka je na nepraznom skupu Ω data σ- algebra podskupova, u oznaci Σ. Skup funkcija μ: $\Sigma \to [a,b]_+$ se naziva $\oplus$-mera, ako je zadovoljeno:

1. $\mu(\emptyset) = \mathbf{0}$,
2. $\mu(\cup_{i=1}^{\infty} A_i) = \oplus_{i=1}^{\infty} \mu(A_i) = \lim_{n\to\infty} \oplus_{i=1}^{n} \mu(A_i)$,

gde je $(A_i)_{i\in N}$ niz skupova iz Σ, međusobno bez preseka. Specijalno, ukoliko je $\oplus$ idempotentna operacija, tada se uslov $\mu(\emptyset) = \mathbf{0}$ može izostaviti i skupovi iz drugog uslova ne moraju biti bez preseka.

Sada je moguće dati definiciju pseudo-integrala realno-vrednosne funkcije za g-poluprsten, što je centar ovog rada. Dalje predstavljeni rezultati mogu se pogledati u Pap 1993; 1995. U slučaju da su pseudo-operacije generisane funkcijom g, koja je strogo monotona bijekcija, $g\colon [a,b] \to [0,+\infty]$, pseudo-integral merljive funkcije $f\colon \Omega \to [a,b]$ se računa na sledeći način:

$$\int_{\Omega}^{\oplus} f \odot d_{\mu} = g^{-1}(\int (g \circ f) d(g \circ \mu)),$$

gde je integral na desnoj strani, Lebegov integral. Osnovne osobine i svojstva ovog pseudo-integrala, ispitana su u Pap 1995.

3. PRINCIPI OBRAČUNA PREMIJE

Rizici osiguranja se mogu definisati kao nenegativne slučajne veličine, iz klase u oznaci $\mathcal{F}(\Omega)$, na prostoru verovatnoće (Ω, Σ, P), pogledati Billingsley 1995; Kass 2009; Young 2006. Pravilo koje će riziku osiguranja $f\colon \Omega \to [0,\infty]$ dodeliti premiju $\Pi(f)$, naziva se princip premije. Najčešće korišćen princip je princip neto premije, dok postoji više principa premije u upotrebi u aktuarstvu, koji nisu u fokusu ovog rada, pa ćemo njihovo predstavljanje i analizu ovom prilikom izostaviti. Pincip neto premije se definiše kao matematičko očekivanje rizika, $E(f)$, ukoliko ono postoji. One fine osobine principa premije, nezavisnost, neprekidnost, aditivnost, translatorna i skalarna invarijantnost, monotonost i druge osobine, pogledati Kass 2009; Mihailović 2013; Young 2006, zadovoljava i princip neto premije.

Dalje je predstavljen koncept funkcije korisnosti u određivanju minimalne i maksimalne vrednosti premije, koju bi prihvatili osiguravač i osiguranik, redom. Naime, Bernuli je prvi predložio koncept korisnosti bogatstva. U radu Kass 2009, objašnjeno je iz kog razloga je osiguranik spreman da plati premiju veću od matematičkog očekivanja štete osiguranja. On je predložio koncept funkcije korisnosti koja treba da preslika fizičku meru bogatstva u percipiranu vrednost bogatstva. Pretpostavlja se konkavnost te funkcije, koja treba da označi averziju prema riziku, i iz činjenice da veća dobit daje veći nivo korisnosti, pretpostavlja se da je funkcija korisnosti neopadajuća. Moderna ekonomija zastupa ideju da suočeni sa neizvesnošću, donosioci odluka treba da donesu odluku na osnovu očekivane korisnosti.

Osnovno pitanje koje se postavlja jeste koji bi iznos premije osoba bila spremna da plati, da bi se osigurala od rizika, ukoliko njeno inicijalno bogatstvo iznosi w, sa funkcijom korisnosti u, ukoliko je izložena mogućoj šteti X? Posle plaćanja premije G, bogatstvo kojim raspolaže data osoba iznosilo bi $w - G$, a bez ugovora o oseguranju ono bi iznosilo $w - X$. Dalje se premija određuje iz principa maksimizacije očekivane korisnosti, predstavljene nejednačinom:

$$u(w - G) \geq E[u(w - X)].$$

Tako je maksimalna prihvatljiva premija za osiguranika G_{max}, određena jednačinom:

$$u(w - G_{max}) = E[u(w - X)].$$

Sa druge strane, sa stanovišta osiguravača, prihvatljiva premija H, koja će pokriti štetu X, ukoliko je njegova funkcija korisnosti u_1 i inicijalno bogatstvo iznosi w_1, treba da zadovolji nejednačinu:

$$u_1(w_1) \leq E[u_1(w_1 + H - X)].$$

Tako je minimalna prihvatljiva premija za osiguravača H_{min}, određena jednačinom:

$$u_1(w_1) = E[u_1(w_1 + H_{min} - X)].$$

Premija, koja je prihvatljiva sa obe strane, i sa stanovišta osiguranika i sa stanovišta osiguravača, treba da zadovolji sledeću nejednačinu:

$$H_{min} \leq P \leq G_{max}.$$

Potpuno analogan princip izračunavanja premije se može iskoristiti i u kompleksnijem tipu osiguranja, na primer ukoliko osiguranik želi da osigura deo pX, $p \in (0,1]$, od potencijalne štete X, što ćemo prikazati u primerima u sledećem odeljku.

4. UOPŠTENJE PRINCIPA NETO PREMIJE U PRINCIP NETO PSEUDO PREMIJE

U ovom poglavlju razmatraćemo metrički prostor (Ω, Σ, μ), gde je Ω neprazan skup, μ je $\oplus$-mera, takva da je $\mu(\Omega) = \mathbf{1}$, i merljivu funkciju $f: \Omega \to [a,b]_+$, koja je ograničena u smislu datog poluprstena. Tačnije, razmatraćemo realno vrednosne funkcije $f: \Omega \to [a,b]_+$, koje su nenegativne u smislu posmatranog poluprstena, iz subfamilije $\mathcal{F}_{\oplus\odot}(\Omega)$, familije $L^1_{\oplus}(\mu)$ svih ograničenih i merljivih funkcija, koje su integrabilne u odnosu na pseudo-integral, pogledati Grbić *at.al.* 2011. Analogno klasičnom pristupu, ove funkcije ćemo nazivati rizici osiguranja. Sledi definicija principa neto pseudo premije.

Definicija 1. Neka funkcija $\Pi_{\oplus\odot}: \mathcal{F}_{\oplus\odot}(\Omega) \to [a,b]_+$. Za rizik $f: \Omega \to [a,b]_+$ princip neto pseudo premije je definisan sledećom formulom:

$$\Pi_{\oplus\odot}(f) = \int_{\Omega}^{\oplus} f \odot d_{\mu}.$$

Ovako uvedeni princip neto pseudo premije zadržava one fine osobine uvedenog neto principa premije, u klasičnom slučaju, o čemu govori naredna teorema.

Teorema 1. Princip neto pseudo premije $\Pi_{\oplus\odot}: \mathcal{F}_{\oplus\odot}(\Omega) \to [a,b]_+$ zadovoljava sledeće osobine:

1) Nema dodatka za rizik: $\Pi_{\oplus\odot}(f) = c$, ako je rizik f indentički jednak konstanti $c \in [a,b]_+$.
2) Pseudo-aditivnost: za sve $f_1, f_2 \in \mathcal{F}_{\oplus\odot}(\Omega)$ važi $\Pi_{\oplus\odot}(f_1 \oplus f_2) = \Pi_{\oplus\odot}(f_1) \oplus \Pi_{\oplus\odot}(f_2)$.
3) Pseudo-translatorna invarijantnost: za sve $f \in \mathcal{F}_{\oplus\odot}(\Omega)$ i $c \in [a,b]_+$ važi $\Pi_{\oplus\odot}(f \oplus c) = \Pi_{\oplus\odot}(f) \oplus c$.
4) Pseudo-skalarna invarijantnost: za sve $f \in \mathcal{F}_{\oplus\odot}(\Omega)$ i $c \in [a,b]_+$ važi $\Pi_{\oplus\odot}(c \odot f) = c \odot \Pi_{\oplus\odot}(f)$.
5) Monotonost: za sve $f_1, f_2 \in \mathcal{F}_{\oplus\odot}(\Omega)$, za koje je $f_1 \preccurlyeq f_2$, važi $\Pi_{\oplus\odot}(f_1) \preccurlyeq \Pi_{\oplus\odot}(f_2)$.

Dokaz prethodne teoreme sledi iz osobina pseudo-integrala realno vrednosne funkcije. Za detalje pogledati Medić 2014.

Na kraju ovog poglavlja navešćemo dva primera koja opisuju kako se može odrediti minimalna prihvatljiva premija H_{min}, za osiguravača i maksimalno prihvatljiva premija G_{max}, za osiguranika, kako bi se pokrio deo štete $pX, p \in (0,1]$, koristeći princip neto pseudo premije.

Primer 4.1. Neka je dat poluprsten $([A,B], \oplus, \odot)$, generisan funkcijom $g(x) = e^{-x}$ i neka je funkcija korisnosti osiguravača data jednačinom $u_1(x) = \ln(\alpha + x)$, $x > -\alpha$, $\alpha < 0$, gde je njegovo inicijalno bogatstvo $w_1 = 1$ i slučajna šteta X je uniformno raspodeljena na intervalu (a,b), tj. $X: U(a,b), a = -\alpha$. Ukoliko klijent želi da osigura deo potencijalne štete X, koja iznosi $pX, p \in (0,1]$, prihvatljiva premija H za osiguravača, koja bi pokrila štetu X, treba da zadovolji sledeću nejednakost:

$$u_1(w_1) \preceq \Pi_{\oplus\odot}[u_1(w_1 + H - pX)]. \tag{1}$$

Kako je:

$$u_1(w_1) = \ln(\alpha + w_1) = \ln(\alpha + 1), \tag{2}$$

$$\Pi_{\oplus\odot}[u_1(w_1 + H - pX)] = g^{-1}\left(\int_a^b g(\ln(\alpha + w_1 + H - px)) \cdot \frac{1}{b-a} d_x\right) =$$

$$= -\ln\left(\frac{1}{b-a}\int_a^b \frac{1}{\alpha + 1 + H - px} d_x\right) = -\ln\left(\frac{1}{b-a}\,\frac{\ln(\alpha + 1 + H - pb) - \ln(\alpha + 1 + H - pa)}{(-p)}\right) =$$

$$= -\ln\left(\frac{\ln(\alpha + 1 + H - pa) - \ln(\alpha + 1 + H - pb)}{p(b-a)}\right) =$$

$$= \ln\left(\frac{p(b-a)}{\ln(\alpha + 1 + H - pa) - \ln(\alpha + 1 + H - pb)}\right)$$

uz pretpostavku da je odgovarajući Lebegov integral u (2) definisan za odgovarajuće vrednosti parametara. Zamenjujući jednakosti iz (2) u nejednačinu (1), dobija se:

$$\ln(\alpha+1) \leq \ln\left(\frac{p(b-a)}{\ln(\alpha+1+H-pa)-\ln(\alpha+1+H-pb)}\right)$$

odakle sledi:

$$\alpha+1 \leq \frac{p(b-a)}{\ln\left(\frac{\alpha+1+H-pa}{\alpha+1+H-pb}\right)}.$$

Posle kraćeg izračunavanja dobija se:

$$\alpha+1+H-pb \geq \frac{p(b-a)}{e^{p(b-a)/(\alpha+1)}-1}$$

te kako je $\alpha=-a$, važi:

$$H_{min}=a-1+pb+\frac{p(b-a)}{e^{p(b-a)/(1-a)}-1} \tag{3}$$

što je trebalo izračunati.

Primer 4.2. Neka je dat poluprsten $([A,B],\ \oplus, \odot)$, generisan funkcijom $g(x)=e^{-x}$ i neka je funkcija korisnosti osiguranika data jednačinom $u(x)=\ln(\alpha+x),\ x>-\alpha,\ \alpha<0$, gde je njegovo inicijalno bogatstvo $w=1$ i slučajna šteta X je uniformno raspodeljena na intervalu (a,b), tj. $X: U(a,b), a=-\alpha$. Ukoliko klijent želi da osigura deo potencijalne štete X, koja iznosi $pX, p \in (0,1]$, premija G prihvatljiva za osiguranika, koja bi pokrila štetu X, treba da zadovolji sledeću nejednakost:

$$u(w-G) \geq \Pi_{\oplus\odot}[u(w-pX)]. \tag{4}$$

Kako je:

$$u(w-G)=\ln(\alpha+w-G)=\ln(\alpha+1-G), \tag{5}$$

$$\Pi_{\oplus\odot}[u(w-pX)]=g^{-1}\left(\int_a^b g(\ln(\alpha+w-px))\cdot\frac{1}{b-a}d_x\right)=$$

$$=-\ln\left(\frac{1}{b-a}\int_a^b\frac{1}{\alpha+1-px}d_x\right)=-\ln\left(\frac{1}{b-a}\,\frac{\ln(\alpha+1-pb)-\ln(\alpha+1-pa)}{(-p)}\right)=$$

$$=-\ln\left(\frac{\ln(\alpha+1-pa)-\ln(\alpha+1-pb)}{p(b-a)}\right)=$$

$$=\ln\left(\frac{p(b-a)}{\ln(\alpha+1-pa)-\ln(\alpha+1-pb)}\right)$$

uz pretpostavku da je odgovarajući Lebegov integral u (5) definisan za odgovarajuće vrednosti parametara. Zamenjujući jednakosti iz (5) u nejednačinu (4), dobija se:

$$\ln(\alpha+1-G) \geq \ln\left(\frac{p(b-a)}{\ln(\alpha+1-pa)-\ln(\alpha+1-pb)}\right)$$

odakle sledi:

$$\alpha+1-G \geq \frac{p(b-a)}{\ln\left(\frac{\alpha+1-pa}{\alpha+1-pb}\right)}.$$

Posle kraćeg izračunavanja dobija se:

$$\alpha + 1 - G \geq \frac{p(b-a)}{\ln(1 + \frac{p(b-a)}{\alpha + 1 - pb})}$$

te kako je $\alpha = -a$, važi:

$$G_{max} = 1 - a - \frac{p(b-a)}{\ln(1+\frac{p(b-a)}{1-a-pb})} \tag{6}$$

što je trebalo izračunati.

Na kraju ovog dela, na osnovu dva prethodna primera i jednakosti (3) i (6), dobijamo interval u kome bi trebala da se kreće premija, tj.

$$H_{min} \leq P \leq G_{max}, \tag{7}$$

$$1 - a - \frac{p(b-a)}{\ln(1+\frac{p(b-a)}{1-a-pb})} \leq P \leq a - 1 + pb + \frac{p(b-a)}{e^{p(b-a)/(1-a)}-1}. \tag{8}$$

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je kratak osvrt na osnovnu notaciju i definicije iz pseudo analize, kako bismo razumeli uvođenje pseudo integrala realno vrednosne funkcije. Posmatran je treći tip poluprstena, g-poluprsten, na kome su pseudo operacije sabiranja i množenja definisane pomoću odgovarajuće generator funkcije g. Nakon toga, predstavljen je princip neto premije, koji se uopštava na princip neto pseudo premije, pomoću pseudo integrala. Ostali principi premije, poznati već u literature koji se koriste u aktuarstvu, ovde su izostavljeni, zbog ograničenosti. Zatim je u radu predstavljen princip uvođenja funkcije korisnosti za izračunavanje odgovarajuće premije, minimalno prihvatljive sa stanovišta osiguravača i maksimalno prihvatljive sa stanovišta osiguranika. Kroz dva primera, za odgovarajuću funkciju korisnosti, koja je sa odgovarajućim osnovnim svojstvima, neopadajuća i konkavna, za štetu koja je slučajna veličina iz uniformne (a, b) raspodele i za eksponencijalnu generator funkciju g, izračunate su donja i gornja granica prihvatljive premije, od strane osiguravača i osiguranika redom, date nejednakostima (7) i (8).

LITERATURA

[1] Billingsley, P. (1995). Probability and Measures. Third ed., New York: John Wiley and sons, Inc.

[2] Kass, R., Goovaerts, M., J., Dhaene, J. & Denuit, M. (2009). Modern Acturial Risk Theory. New York: Springer.

[3] Kolokolstsov, V. N. & Maslov, V. P. (1997). Indepotent Analysis and its Application. Dordrecht: Kluwer Academic.

[4] Medić, N. (2014). Nejednakosti Jensena i Čebiševa za intervalno-vrednosne funkcije. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka.

[5] Mihailović, B. & Đapić, P. (2013). Premium principles based on generated Choquet integrals. Proc. of SISY 2013, Subotica, 195-198.

[6] Goovaerts, M. J., Kass, R., & Laeven, R. J. A. (2010). A note on additive risk measures in rank-dependent utility. Insurance: Mathematics and Economics, 47, 187-189.

[7] Grbić, T., Štajner-Papuga, I. & Štrboja, M. (2011). An approach to pseudo-integration of set-valued functions. Inf. Sci. 181 (11), 2278-2292.

[8] Pap, E. (1993). g- calculus. Journal of Mathematics Novi Sad 23, 145-156.

[9] Pap, E. (1995). Null-Additive Set Functions. Dordrecht: Kluwer Academic.

[10] Pap, E. (2002). Pseudo additive measures and their applications. In Handbook of Measure Theory. Pap, E. Ed. Vol II, 1403-1465. North-Holland: Elsevier.

[11] Wakker, P. P. (2010). Prospect theory: For Risk and Ambiguity. New York: Cambrige University Press.

[12] Wang, S., Young, V. R. & Panjer, H. H. (1997). Axiomatic characterisation of insurance prices. Insurance: Marhematics and Economics 21 (2), 173-183.

[13] Yaari, M. E. (1987). The dual theory of choice under risk. Econometrica 55, 95-115.

[14] Young, V. R. (2006). Premium principles. Encyclopedia of Acturial Science. New York: John Wiley.

ELECTRONIC BUSINESS

ELEKTRONSKO POSLOVANJE

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PROCENA ZADOVOLJSTVA KLIJENATA PRI KORIŠĆENJU ELEKTRONSKOG BANKARSTVA: PRISTUP NEURONSKIM MREŽAMA

ESTIMATION OF USERS SATISFACTION IN ELECTRONIC BANKING: NEURAL NETWORK APPROACH

STEFAN ZDRAVKOVIĆ[1], JELENA PEKOVIĆ[2], ALEKSANDAR JOVANOVIĆ[3]

[1] Ekonomski fakultet, Kragujevac, szdravkovic034@yahoo.com
[2] Ekonomski fakultet, Kragujevac, jelenapekipekovic@gmail.com
[3] Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac, a.jovanovic@kg.ac.rs

Rezime: *Ubrzani razvoj informacionih tehnologija stvorio je mogućnost za razvoj elektronskog bankarstva. Promene u zahtevima i stilu života klijenata nametnule su potrebu da banke koriste nove tehnologije za komunikaciju sa njima. Glavna prednost elektronskog bankarstva je mogućnost obavljanja transakcija u bilo koje vreme i na bilo kom mestu. Za banke, kao provajdere usluga elektronskog bankarstva, je važno da identifikuju faktore koji utiču na satisfakciju klijenata. U ovom radu ispitivan je stav klijenta pomoću unapred pripremljene ankete, koja je sastavljena od relevantnih pitanja preuzetih iz literature, u cilju procene satisfakcije klijenata. Ovako dobijeni rezultati odnose se na subjektivan stepen satisfakcije svakog od klijenta. Odabrana su 4 parametra koja mogu da utiču na klijente, i za svakog od njih ispitivan je stepen uticaja na krajnju satisfakciju klijenta. Potom je razvijena neuronska mreža koja vrši aproksimaciju funkcije objektivnog stepena satisfakcije klijenata, koji u obzir uzima i stavove svih prethodnih klijenta i poredi se sa njima. Za poslednjih 5 klijenta koji su popunili obrasce dati su i subjektivni i objektivni stepen satisfakcije. Ova metoda za procenu objektivnog stepena satisfakcije klijenta može poslužiti bankama kao parametar pri proceni efekata rada svog elektronskog sistema.*

Ključne reči: *Elektronsko bankarstvo, Stepen satisfakcije klijenta, Neuronske mreže.*

Abstract: *The rapid progress of information technologies has resulted in the development of e-banking. The significant range in consumer demands and lifestyles have imposed the need for banks to use new technologies to communicate with clients. The main advantage of e-banking is the ability to conduct transactions at any time and anywhere. For banks, as providers of e-banking services, it is important to identify factors that influence customer satisfaction. In this paper, we deal with users attitudes that were examined using a pre-prepared survey, which is composed of relevant issues taken from the literature in order to assess the user's satisfaction. The results thus obtained relate to the subjective level of satisfaction of each user. Four parameters were selected that can affect users, and for each of them, the degree of influence on the ultimate customer satisfaction was examined. After then we develop a neural network that approximates the function of an objective level of user satisfaction, taking into account the views of all previous users and matching them. For the last 5 users, who completed the survey, both subjective and objective level of satisfaction was presented. This method for estimating the objective level of customer satisfaction can serve banks as a parameter in estimating the effects of the applied e-banking system.*

Keywords: *E-banking, Users satisfaction, Neural network.*

1. UVOD

Razvojem tehnologije internet je postao najbolji kanal za pružanje bankarskih usluga. Banke sada smatraju da je internet deo njihovog strateškog plana. Internet dovodi do revolucionarnih promena u načinu poslovanja, takmičenju na tržištu i sticanju konkurentske prednosti (Alsajjan *et al.* 2006). Kupci sada zahtevaju nove nivoe udobnosti i fleksibilnosti, kao i jednostavne alate za finansijsko upravljanje, koje tradicionalno bankarstvo ne može da ponudi. Sa promenom stila života ljudi, banke su prepoznale mogućnost uvođenja elektronskog bankarstva u svoje poslovanje (Yiu *et al.* 2007). Kao rezultat toga, kvalitet usluga elektronskog bankarstva zaokuplja pažnju među istraživačima i menadžerima banaka zbog svog snažnog uticaja na poslovne performanse, troškove, satisfakciju i lojalnost kupaca, kao i na profitabilnost (Seth *et al.* 2004).

U literaturi postoje brojni modeli koji imaju za cilj da objasne šta utiče na kvalitet usluge. U ovom radu se polazi od *SERVQUAL* modela, u kojem se između ostalog kao determinante kvaliteta usluga izdvajaju odgovornost i bezbednost (Parasuraman *et al.* 1988). Odgovornost se odnosi na percepciju klijenata da li su zaposleni spremni da u svakom trenutku pomognu klijentu i da mu pruže sve neophodne savete i informacije (Gasevic *et al.* 2016). Bezbednost se odnosi na zaštitu klijenata tokom korišćenja usluga elektronskog bankarstva (Yang 2009).

Glavna prednost elektronskog bankarstva je mogućnost obavljanja transakcija u bilo koje vreme i na bilo kom mestu. Međutim, određeni broj klijenata ima averziju prema riziku i sporije prihvata nove tehnologije. Iz tog razloga se u ovom istraživanju koristi modifikovan model prihvatanja tehnologije (eng. Technology Acceptance Model-*TAM*), gde se kao značajne determinante elektronskog bankarstva mogu izdvojiti lakoća korišćenja i sadržaj website (Davis 1989). Lakoća korišćenja se odnosi na napor koji će pojedinac morati da uloži da bi obavio neki tehnički zadatak (Revels *et al.* 2010). Sadržaj website se odnosi na mišljenje ispitanika da li je website banke jasan i razumljiv za korišćenje, kao i da li pruža sve neophodne informacije klijentima (Gasevic *et al*. 2016).

Svaka banka nastoji da pruži što kvalitetniju uslugu klijentima, kako bi oni ostvarili određeni stepen satisfakcije. Koncept satisfakcije klijenata predmet je posebne pažnje u marketingu, jer se opravdano veruje da satisfakcija utiče na namere i buduće ponašanje klijenata. Satisfakcija se definiše kao klijentovo shvatanje stepena do kojeg su ispunjeni njegovi zahtevi (Marinković 2012).

Predmet istraživanja u radu je ispitivanje uticaja ključnih determinanti elektronskog bankarstva (odgovornost, bezbednost, lakoća korišćenja i sadržaj website) na satisfakciju klijenta. Reč je o važnoj istraživačkoj aktivnosti, koja može da ima praktične implikacije za provajdere usluga u bankarskom sektoru. Osnovni cilj rada je da se utvrdi da li determinante elektronskog bankarstva (odgovornost, bezbednost, lakoća korišćenja i sadržaj website) imaju uticaj na satisfakciju klijenta. Posebno, pomoću neuronske mreže, ocenjena je satisfakcija klijenta kada se u obzir uzmu iskustva svih ranije ispitanih klijenata.

Rad se sastoji iz 5 delova. Posle uvoda i pregleda literature u prvom delu, u drugom delu data je postavka problema za analizu uticaja determinanti elektronskog bankarstva na satisfakciju klijenta. U ovom delu formulisane su istraživačke hipoteze. U trećem delu je predstavljena struktura uzorka i metodologija istraživanja. Četvrti deo sadrži rezultate istraživanja, dok su u petom delu dati zaključci i doprinos rada, ukazano je na ograničenja, kao i na pravce budućih istraživanja.

2. POSTAVKA PROBLEMA

U ovom radu se ispituje kako determinante *SERVQUAL* modela (odgovornost i bezbednost) i determinante modifikovanog *TAM* modela (lakoća korišćenja i sadržaj website) utiču na satisfakciju klijenta.

Odgovornost se odnosi na klijentovu percepciju da li zaposleni pokazuju spremnost da u svakom trenutku pomognu klijentu, da mu pruže sve neophodne informacije i savetodavne usluge. Rezultati prethodne studije (Gasevic et al., 2016) su pokazali da je odgovornost najbitnija determinanta elektronskog bankarstva i da ostvaruje pozitivan uticaj na satisfakciju klijenata. U skladu sa navedenim, može se formulisati prva istraživačka hipoteza u ovom radu:

H1: *Odgovornost ima pozitivan uticaj na satisfakciju korisnika elektronskog bankarstva*.

Bezbednost se odnosi na zaštitu privatnosti klijenata tokom obavljanja bankarskih transakcija (Chung and Paynter, 2002). Prethodna studije (Eweoya *el al.* 2016) je pokazala da bezbednost ima pozitivan uticaj na satisfakciju korisnika elektronskog bankarstva. Shaikh and Sohail (2008) su u svom istraživanju došli do sličnog rezultata. U skladu sa navedenim, može se formulisati druga istraživačka hipoteza u ovom radu:

H2: *Bezbednost ima pozitivan uticaj na satisfakciju korisnika elektronskog bankarstva.*

Lakoća korišćenja se odnosi na percepciju pojedinca da je korišćenje određenog sistema slobodno ili jednostavno (Taylor and Todd 1995). Prethodno istraživanje (Eweoya *el al.* 2016) je pokazalo da lakoća korišćenja ima pozitivan uticaj na satisfakciju klijenta. Rezultati studije (Guardia, Leiva and Cabanillas 2013) su pokazali da je lakoća korišćenja ima presudan uticaj na klijente da koriste usluge elektronskog bankarstva. U skladu sa navedenim, može se formulisati treća istraživačka hipoteza u ovom radu:

H3: *Lakoća korišćenja ima pozitivan uticaj na satisfakciju korisnika elektronskog bankarstva.*

Sadržaj website se odnosi na dizajn, grafički stil, fotografije, animacije i potrebno je da klijentu bude jasan i razumljiv za korišćenje i da mu pruži sve neophodne informacije (Hoque and Lohse 1999). Gasevic *et al.* 2016 su ispitivali uticaj sadržaja website u kombinaciji sa lakoćom korišćenja na satisfakciju klijenta elektronskog bankarstva. U skladu sa navedenim, može se formulisati četvrta istraživačka hipoteza u ovom radu:

H4: *Sadržaj website ima pozitivan uticaj na satisfakciju korisnika elektronskog bankarstva.*

Autori u ovom radu uvode dva pojma vezana za stepen satisfakcije klijenta, koji predstavlja izlaznu veličinu modela. *Subjektivna satisfakcija klijenta* predstavlja izraz zadovoljstva jednog klijenta sistemom elektronskog bankarstva uzimajući u obzir samo njegovo lično iskustvo. *Objektivna satisfakcija klijenta* predstavlja izraz zadovoljstva jednog klijenta sistemom elektronskog bankarstva uzimajući u obzir iskustva svih prethodnih klijenta. Subjektivna satisfakcija klijenta proizilazi iz ankete koju je popunio, dok se objektivna satisfakcija klijenta dobija pomoću razvijene neuronske mreže.

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je sprovedeno na teritoriji grada Kragujevca u periodu od 15. aprila do 15. maja 2019 godine. Uzorak broji 105 ispitanika, koji su segmentirani prema određenim demografskim karakteristikama. Istraživanje je sprovedeno lično i elektronskim putem, metodom ankete. Ispitanici su davali odgovore putem Likertove skale i izražavali stepen slaganja sa određenom konstatacijom ocenama od 1 do 7 (1- apsolutno se ne slažem; 7- apsolutno se slažem). Uslov da ispitanici mogu da učestvuju u istraživanju se odnosio na to da koriste usluge elektronskog bankarstva. Obrada podataka je izvršena putem statističkog softvera *SPSS*.

Ispitanici su segmentirani prema kriterijumima pol, starost, mesečna primanja i obrazovanje. U uzorku od 105 ispitanika, ima 56 žena i 49 muškaraca. Najveći broj ispitanika ima do 20 godina (25,7%). Najveći broj ispitanika na mesečnom nivou zarađuje preko 50 000 dinara (34,3%), dok najveći broj ispitanika ima visoko obrazovanje 46 (43,8 %).

U cilju ispitivanja uticaja ključnih determinanti elektronskog bankarstva na satisfakciju klijenata, sprovedeno je empirijsko istraživanje. Formulisan je upitnik koji sadrži 15 konstatacija. Varijable odgovornost, bezbednost, lakoća korišćenja, sadržaj website i satisfakcija klijenata merene su sa po 3 konstatacije. Pregled konstatacija putem kojih su merene navedene varijable prikazan je u Tabeli 1.

Tabela 1: Varijable istraživanja i njima odgovarajuće konstatacije

Varijable	Konstatacije	Izvor
Odgovornost	1. Zaposleni uvek imaju vremena da odgovore na pitanja klijenata. 2. Zaposleni su spremni da pomognu klijentu u bilo kom trenutku. 3. Zaposleni imaju potrebno znanje i kompetencije da bi odgovorili na svako pitanje klijenta.	Prilagođeno prema: Gasevic, Vranjes and Drinic 2016.
Bezbednost	4. Elektronsko bankarstvo primenjuje mere kako bi se zaštitili klijenti. 5. Elektronsko bankarstvo nudi mogućnost da se potvrdi identitet klijenata u cilju njihove bezbednosti. 6. Osećao bih se sigurno po pitanju elektronskog sistema plaćanja u mobilnom bankarstvu.	Prilagođeno prema: Koufaris and Hampton-Sosa 2004.
Lakoća korišćenja	7. Način upotrebe elektronskog bankarstva je jasan i razumljiv. 8. Korišćenje usluga elektronskog bankarstva ne zahteva preveliki napor. 9. Smatram da je lako koristiti usluge elektronskog bankarstva	Prilagođeno prema: Choi 2018
Sadržaj website	10. Sadržaj informacija na sajtu elektronskog bankarstva zadovoljava moje potrebe. 11. Sadržaj website je jasan i razumljiv. 12. Website pruža dovoljno informacija.	Prilagođeno prema: Gasevic, Vranjes and Drinic 2016.
Satisfakcija klijenata	13. Smatram da je moj izbor da koristim usluge elektronskog bankarstva dobar. 14. Iskustvo koje sam stekao koristeći elektronsko bankarstvo je pozitivno. 15. Generalno, zadovoljan sam pogodnostima koje pruža elektronsko bankarstvo.	Prilagođeno prema: Ha, Chang and Susanto 2016.

4. REZULTATI

U istraživanju je primenjena analiza pouzdanosti, kako bi se utvrdilo da li su konstatacije putem kojih se mere određene varijable interno konzistentne. U Tabeli 2 su predstavljeni rezultati.

Tabela 2: Analiza pouzdanosti

Varijable	Vrednost Cronbach's alpha koeficijenta
Odgovornost	0,875
Bezbednost	0,729
Lakoća korišćenja	0,809
Sadržaj website	0,827
Satisfakcija klijenata	0,876

Analiza pouzdanosti obično se koristi sagledavanjem vrednosti Cronbach's alpha koeficijenta. Da bi određena varijabla posedovala odgovarajući stepen pouzdanosti, neophodno je da vrednost ovog koeficijenta bude viša od 0,70 (Nunnally 1978). U slučaju svih pet varijabli dobijeni su adekvatni rezultati.

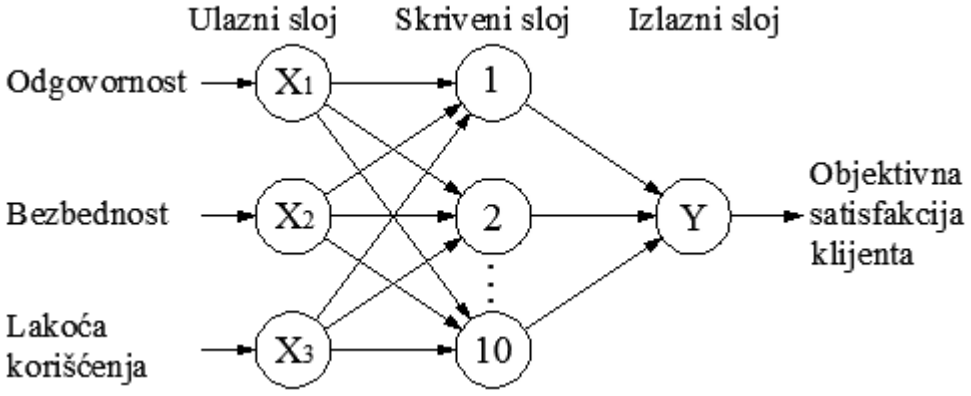
U istraživanju je primenjena višestruka regresiona analiza, putem koje je meren uticaj determinanti elektronskog bankarstva (odgovornost, bezbednost, lakoća korišćenja, sadržaj website) na satisfakciju klijenata. Rezultati su prikazani u Tabeli 3.

Tabela 3: Rezultati višestruke regresiona analize (zavisna varijabla: satisfakcija klijenata)

Varijable	β	Sig vrednost	VIF
Odgovornost	0,342*	0,000	1,461
Bezbednost	0,331*	0,001	1,882
Lakoća korišćenja	0,217*	0,014	1,364
Sadržaj website	-0,072	0,428	1,500

Koeficijent determinacije R^2 iznosi 0,451, što znači da je 45,1 % varijabiliteta satisfakcije klijenata objašnjeno ovim regresionim modelom. Problem ispoljavanja multikolinearnosti testiran je analizom faktora rasta varijanse (*VIF*- variance inflation factor), čija je vrednost kod svih varijabli značajno niža od praga 5 (Field 2000). Time je potvđeno da je multikolinearnost prisutna u niskom stepenu u datom istraživačkom modelu i da su izračunate vrednosti standardizovanih koeficijenata precizne i stabilne. Koeficijent β pokazuje jačinu uticaja nezavisne varijable na zavisnu. Da bi određena varijabla imala statistički značajan uticaj, potrebno je da *Sig* vrednost bude niža od 0,05. Na osnovu rezultata možemo da zaključimo da varijable odgovornost, bezbednost i lakoća korišćenja imaju pozitivan statistički značajan uticaj na satisfakciju klijenata, dok varijabla sadržaj website ne ostvaruje statistički značajan uticaj na satisfakciju klijenata. Faktor odgovornost ima najveći uticaj na satisfakciju klijenata (najviša vrednost β koeficijenta 0,342). Na osnovu navedenog, zaključujemo da su potvrđene H1, H2, H3, a H4 nije potvrđena.

Na osnovu izlaza iz prethodne analize, odnosno potvrđenih hipoteza, formirana je neuronska mreža prikazana na Slici 1. Ulazne veličine predstavljaju odgovornost, bezbednost i lakoću korišćenja, dok je izlazna veličina objektivna satisfakcija klijenta. Skriveni sloj se sastoji od 10 neurona. Grupa ulaznih podataka za obučavanje neuronske mreže preuzeta je od prvih 100 klijenta, dok su poslednjih 5 klijenata iskorišćeni za testiranje. Neuronska mreža je razvija u softveru *MATLAB*.



Slika 1: Neuronska mreža razvijena za rešavanje postavljenog problema

U Tabeli 4. dati su rezultati testiranja. Razlika, koja predstavlja poslednju kolonu tabele, dobija se kada se od subjektivnog oduzme objektivna satisfakcija klijenta. Ukoliko je ona pozitivna to znači da je klijentova subjektivna satisfakcija veća nego što to po njegovim odgovorima ukazuje iskustvo svih drugih klijenata.

Važi i suprotno, ukoliko je ova razlika negativna, to nam govori da je subjektivna procena satisfakcije klijenta manja nego što to govori iskustvo nasleđeno od ostalih klijenata.

Ukoliko je ova razlika bliska vrednosti nula, to nam govori da je klijent svoju satisfakciju, kroz iskazane stavove o odgovornosti, bezbednosti i lakoći korišćenja, ocenio u skladu sa prethodnim iskustvima koji su rezultat svih procenjenih satisfakcija svih prethodnih klijenta obuhvaćenih ovim istraživanjem.

Tabela 4: Satisfakcije klijenata koji su poslužili za testiranje modela

Klijent	Odgovornost	Bezbednost	Lakoća Korišćenja	Subjektivna	Objektivna	Razlika
101	4	5,67	5,67	4,67	4,72	-0,05
102	6,67	7	7	7	6,18	0,82
103	6	6,67	4,67	4,33	4,36	-0,03
104	5,33	3,33	4,67	6,67	4,42	2,25
105	4,67	3,67	3,67	2,33	3,11	-0,78

Izuzev u slučaju klijenta 104 nisu prihvaćena značajna odstupanja u subjektivnim i objektivnim procenama satisfakcije. Može se reći da je ovaj klijent procenio svoju satisfakciju veću nego što to govore njegovi stavovi iskazani u anketi, a kada se u obzir uzmu procene svih ostalih klijenta.

5. ZAKLJUČAK

U uslovima pojačane konkurencije, bankarskim institucijama se kao imperativ postavlja primena adekvatnog modela za analizu poslovnih performansi kao i fokusiranje na pružanje kvalitetnih usluga kako bi klijenti ostvarili određeni stepen satisfakcije. U Republici Srbiji se poslednjih godina uočava tendencija povećanja broja klijenata banaka koji koriste usluge elektronskog bankarstva. Neke od najznačajnijih prednosti elektronskog bankarstva su ušteda vremena, povoljnija cena, brzo obavljanje transakcija.

Teorijske implikacije rada se ogledaju u proširenju naučnog saznanja o uticaju determinanti elektronskog bankarstva na satisfakciju klijenta. Dat je i uticaj determinanata elektronskog bankarstva na satisfakciju klijenata. Menadžerske implikacije rada se ogledaju u pomoći provajderima bankarskih usluga prilikom sagledavanja faktora koji utiču na satisfakciju klijenata. Doprinos rada se ogleda u povezivanju dva pojma koji se odnose na subjektivnu i objektivnu satisfakciju klijenata. U radu je primenjena neuronska mreža za procenu objektivne satisfakcije klijenta, a na osnovu iskustva ranijih klijenata. Glavno ograničenje rada predstavlja veličina uzorka, koji je obuhvatio samo 105 ispitanika. U budućim istraživanjima bi trebalo povećati uzorak i u konceptualni model bi bilo poželjno uključiti još neku determinantu elektronskog bankarstva.

PRIZNANJE

Ovaj rad je delimično podržan od strane Ministarstva Prosvete, Nauke i Tehnološkog razvoja Republike Srbije, kroz projekat „ОИ 179062“ za period od 2011 do 2014 godine.

LITERATURA

[1] Alsajjan, A., Bander, B., and Dennis, C. (2006). The impact of trust on acceptance of online banking. Paper presented at European Association of Education and Research in Commercial Distribution, Brunel University, West London (June 27-30).

[2] Chung, W., and Paynter, J. (2002). An evaluation of Internet Banking in New Zealand. Proceedings of the 35th Hawarii International Conference in System Sciences IEEE, Hawarii, September, pp. 1-9.

[3] Choi, S., (2018). What promotes smartphone-based mobile commerce? Mobile-specific and self-service characteristics. Internet Research, 28(1), 105-122.

[4] Davis, F.D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly, 13(3), 319-340.

[5] Eweoya, I., Adewoye, O., Oni, A., and Ayo, C. (2016). E-banking users' behaviour: e-service quality, attitude, and customer satisfaction. International Journal of Bank Marketing, 34(3), 347-367.

[6] Field, A. (2000). Discovering statistics using SPSS for Windows. Sage Publication: Thousand Oaks

[7] Gašević, D., Vranješ, M., and Drinić, D. (2016). Identification of Key Determinants of Satisfaction of Users of Electronic Banking Services. Economic Themes, 54(2), 301-321.

[8] Guardia, R., Leiva, M., and Cabanillas, F. (2013). The determinants of satisfaction with e-banking. Industrial Management and Data Systems,13(5), 750-767.

[9] Ha, Y., Chang, Y., and Susanto, A. (2016). Determinants of continuance intention to use the smartphone banking services: An extension to the expectation-confirmation model. Industrial Management and Data Systems,16(3), 508-525.

[10] Hoque, A.Y. and Lohse, G. (1999). An information search cost perspective for designing interfaces for electronic commerce. Journal of Marketing Research, 36, August, pp. 387-394.

[11] Koufaris, M., and Hampton-Sosa, W. (2004). The development of initial trust in an online company by new customers. Information e management, 41(3), 377-397.

[12] Marinković, V. (2012). Marketinški aspekti satisfakcije i lojalnosti- orijentacija na potrošače u savremenom bankarskom poslovanju. Ekonomski fakultet, Kragujevac.

[13] Nunnally, J. C. (1978). Introduction to Psychological Measurement. New York, NY: McGraw-Hill.

[14] Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., and Berry, L. L. (1988). SERVQUAL: a multiple-item scale for measuring consumer perception of service quality. Journal of Retailing, 64(1), 12–40.

[15] Revels, J., Tojib, D. and Tsarenko, Y. (2010). Understanding consumer intention to use mobile services. Australasian Marketing Journal , 18(2), 74-80.

[16] Seth, N., Deshmukh, S.G., and Vrat, P. (2004). Service quality models: a review. International Journal of Quality and Reliability Management, 22(9), 36-51.

[17] Shaikh, N., and Sohail, M., (2008). Internet banking and quality of service: Perspectives from a developing nation in the Middle East. Online Information Review, 32(1), 58-72.

[18] Taylor, S. and Todd, P.A. (1995). Understanding information technology usage: a test of competing models. Information Systems Research, 6(2), 144-176.

[19] Yiu, C.S., Grant, K., and Edgar, D. (2007). Factors affecting the adoption of internet banking in Hong Kong – implications for the banking sector. International Journal of Information Management, 27(2), 336-51.

[20] Yang, A. (2009). Exploring adoption difficulties in mobile banking services. Canadian Jorunal of administrative sciences, 26(2), 157-179.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MODEL INVESTICIONIH MAPA PRIMENOM SERVISA E-UPRAVE

MODEL OF INVESTMENT MAP BY APPLICATION OF THE E-GOVERNMENT SERVICE

MARINA JOVANOVIĆ-MILENKOVIĆ[1], SAŠA RIKANOVIĆ[2], BOJAN TEODOSIJEVIĆ[2], DAVOR ĐURAN[2], DARKO VUČETIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, marina.jovanovic.milenkovic@fon.bg.ac.rs
[2] Republički geodetski zavod, Bulevar vojvode Mišića 39, Beograd, projekat.involok@rgz.gov.rs

Rezime: *Primena servisa e-uprave je od velikog značaja za trenutni razvoj Republike Srbije. Ključna mera razvoja je uspostavljanje osnovnih registara u elektronskom obliku i njihovo unapređenje, kako bi se obezbedilo uspostavljanje sistema i protokola pristupa podacima svim organima koji imaju osnov da ih prikupljaju i koriste u vršenju javnih ovlašćenja. Tom izazovu se priključio Republički geodetski zavod, realizujući ideju da se investicione lokacije postave na digitalnu platformu Geosrbije kako bi svi podaci u vezi sa lokacijama bili pravovremeni, tačni, pouzdani, transparentni, u svakom trenutku potencijalnim investitorima. Izazov projekta predstavlja standardizaciju podataka čije redovno ažuriranje dovodi do uspostavljanja Nacionalnog registra investicionih mapa. Planirani model koncipiran je da omogući jedinstvenu identifikaciju svake investicione lokacije, da da nedvosmislenu prostornu komponentu o lokaciji investicionog područja, da uspostavi jedinstvenu klasifikaciju lokacija na državnom nivou, kao i da pruži relevantne informacije potencijalnim investitorima.*

Ključne reči: *E-uprava,investicione lokacije, investicione mape, Geosrbija.*

Abstract: *The application of e-Government services is of great importance for the current development of the Republic of Serbia. A key development measure is the establishment of basic registers in electronic form and their improvement, in order to ensure the establishment of a system and access protocol for data to all bodies that have the basis to collect and use them in the exercise of public authority. This challenge was joined by the Republic Geodetic Authority, realizing the idea that investment locations should be placed on the digital platform of Geosrbija so that all location data are timely, accurate, reliable, transparent, at any time to potential investors. The challenge of the project is the standardization of data whose regular update leads to the establishment of the National Register of Investment Maps. The planned model is designed to provide a unique identification of each investment site, to provide an unambiguous spatial component of the location of the investment area, to establish a unique classification of locations at the state level, and to provide relevant information to potential investors.*

Keywords: *E-government, investment locations, investment maps, Geosrbija.*

1. UVOD

E-uprava je pojam koji predstavlja koncept e-poslovanja vlade i odnosi se na isporuku elektronskih servisa prema različitim ciljnim grupama u javnosti, te na poslovnu saradnju i transakcije koje vlada obavlja sa različitim organizacionim entitetima (Jovanović-Milenković et all, 2009). Dakle, suština novog načina funkcionisanja javne uprave je elektronsko poslovanje, odnosno njegova direktna primena (Radenković et all, 2017). Ciljevi su smanjenje administrativnih troškova, unapređenje transparentnosti i predvidljivosti poslovnog okruženja i pojednostavljenje administrativnih postupaka, optimizacija utrošenog vremena, kao i unapređenje kvaliteta usluga javne uprave (Naled, 2019; Caldwell, Baum, Di Maio, 2000).

Servisi pametne e-uprave integrisani su sa servisima i platformom pametnog grada koja u kontekstu e-uprave treba da obuhvati: IKT infrastrukturu, geoprostorne informacije, deljenje podataka, podršku za građanske inicijative (Radenković et all, 2017). Prostorne informacije, objedinjene u zajedničkoj infrastrukturi, obezbeđuju mnoštvo mogućnosti za unapređenje javnih servisa, doprinose boljem planiranju i donošenju odluka i smanjenju troškova ne dozvoljavajući dupliranje i nesaglasnost podataka. Uspešno uspostavljena Nacionalna infrastruktura geoprostornih podataka bitan je oslonac za razvoj e-uprave. Za razvoj infrastrukture u elektronskoj upravi ključna mera je uspostavljanje osnovnih registara u elektronskom

obliku i njihovo unapređenje, kako bi se obezbedilo uspostavljanje, odnosno unapređivanje drugih izvedenih registara i evidencija i uspostavio sistem i protokoli pristupa podacima svim organima koji imaju osnov da ih prikupljaju i koriste u vršenju javnih ovlašćenja.

2. INVESTICIONE LOKACIJE

Primena elektronskih servisa pametne e-uprave dovela je do povećanog učešća lokalnih samouprava Republike Srbije u razvoju ukupnog poslovanja i stvaranju strateškog planiranja. Značaj strateškog planiranja za lokalni ekonomski razvoj ukazuje da je potrebno da postoji svest o potrebi i svrsi kreiranja ovakvog plana koji sa sobom donosi sprovođenje adekvatnih mera. Krajnji cilj ovih mera je kreiranje novih radnih mesta za lokalno stanovništvo, odnosno smanjenje broja nezaposlenih i povećanje fiskalnih prihoda za lokalnu samoupravu (Carril Caccia et all, 2019).

Bez kvalitetne strategije, lokalni ekonomski razvoj se svodi na stihijsko delovanje različitih aktera, koji ne donose privredni rast i razvoj. Jedna od strategija razvoja je i privlačenje investicija. Prema autoru Magdolna Sass (2003) koja je istraživala konkurentnost i uticaj ekonomske politike na privlačenje direktnih investicija, zaključeno je da investitori u potencijalnoj zemlji domaćinu najčešće obraćaju pažnju na: veličinu tržišta, visinu nacionalnog dohotka, karakteristike radne snage (kvalifikacije, produktivnosti, visina nadnica), infrastrukturne kapacitete, političku i ekonomsku stabilnost, ekonomsku politiku i pravni okvir (Stankov, 2017).

Republika Srbija je preduzela korake u sprovođenju reformi radi privlačenja domaćih i stranih investicija. Te reforme dovode do pozitivne investicone klime (Melohina, 2015). Tačnije Republika Srbija je na Doing Business listi Svetske Banke napredovala za 48 mesta u poslednje 3 godine, i sada je na 43 mestu u svetu (Razvojna agencija Srbije, 2019). Na osnovu izvora Razvojne agencije Srbije u 2019. godini, ključni investitori se razlikuju na osnovu broja projekata odnosno prema vrednosti investicija. Paralelan pregled se vidi na sledećim grafikonima koji ukazuju da najveće učešće u Srbiji u investicijama je uzela Italija, a najmanje Grčka.

Grafikon 1. Ključni investitori u Republici Srbiji na osnovu broja projekata odnosno prema vrednosti investicija (prema podacima Razvojne agencije Srbije, 2019)

Sagledavajući ključne investitore u Srbiji, javila se i potreba da se analiziraju potencijali investicionih lokacija u Republici Srbiji. Radi boljeg razumevanja, investicione lokacije imaju multidicsplinarni pristup sa

aspekata arhitekture, urbanizma, građevine, ekonomije, finansija, prava ali često i zaštite čovekove okoline. Takav pristup zahteva osnovnu podelu lokacija na grinfild (*greenfield),* braunfild (*brownfield*), grejfild (*greyfield*):

- Grinfild investicije podrazumevaju ulaganje u kompletno novo preduzeće i izgradnju svih njegovih objekata i kapaciteta. Investitor je u obavezi da obezbedi sve neophodne dozvole i sredstva za izgradnju zgrada, hala, fabričkih postrojenja, priključka na komunalnu mrežu, kao i brojih drugih obaveza koje ima prema lokalnoj samoupravi, odnosno državi domaćinu (Rapaić, 2016). Ovo praktično znači da investitor neće biti opterećen nasleđenim dugovima, zastarelom opremom i tehnologijom, kao i obavezom održanja u radnom odnosu nekvalifikovane radne snage, što je često slučaj prilikom kupovine preduzeća.
- Braunfild investicije stvaraju takođe potpuno nova preduzeća, ali kroz revitalizaciju postojećih kapaciteta na lokalitetu koji je ranije imao određenu namenu. U ovom slučaju investitor ima manje troškove, jer postoji određena infrastruktura. Posao se sastoji od uklanjanja, i čišćenja zemljišta i postojećih objekata da bi se nakon toga krenulo sa gradnjom. U ovoj fazi potrebno je sačiniti odgovarajuće projekte i dobiti određene dozvole i saglasnosti (Rapaić, 2016).
- Pod grejfild lokacijama se podrazumevaju ekonomski i tehnički prevaziđene lokacije, koje imaju dobru funkciju ali investitor treba dodatno da investira u prenamenu objakata (Rapaić, 2016). Posebna vrednost i prednost ovih lokacija i objekata je u tome što su oni često dovoljno strukturalno izgrađeni, poseduju odgovarajuće dozvole, imovina je uknjižena, te poseduju odgovarajuće priključke za vodu, kanalizaciju, struju, grejanje.

3. MODEL INVESTICIONIH MAPA PRIMENOM SERVISA E-UPRAVE

Značaj i ulaganje u investicine lokacije lokalnih samouprava prepoznao je i Republički geodetski zavod kao nosilac realizacije ideje da se sve potencijalne investicione lokacije publikuju u digitalnoj formi. Ideja je implementirana kroz projekat „Unapređenje poslovne klime u Republici Srbiji“, koji je podržan od Švedske agencije za međunarodni razvoj i saradnju (SIDA) i švedske agencije za kartografiju, katastar i registraciju zemljišta – Lantmateriet koji je počeo sa realizaciojom početkom 2019. godine.

Navedeni projekat predstavlja jednu u nizu aktivnosti u procesu razvoja elektronske uprave Republike Srbije i treba da doprinese jačanju ekonomije zasnovanoj na znanju i inovacijama. Cilj projekta je davanje doprinosa u postizanju održivog i inkluzivnog ekonomskog rasta u Republici Srbiji, u unapređenju poslovnog ambijenta, u povećanju investicija i inovativnosti privatnog sektora, u unapređenju transparentnosti investicionog procesa i u unapređenju klime za priliv investicija. Takođe, projekat doprinosi procesu evropskih integracija Republike Srbije i unapređuje aktivnosti na realizaciji Agende održivog razvoja 2030 Ujedinjenih nacija i kao takav je od izuzetne važnosti za Vladu Republike Srbije.

Izazov projekta predstavlja standardizaciju podataka čije redovno ažururanje dovodi do uspostavljanja Nacionalnog registra investiocionih mapa. Planirani model koncipiran je da (Republički geodetski zavod, 2018):

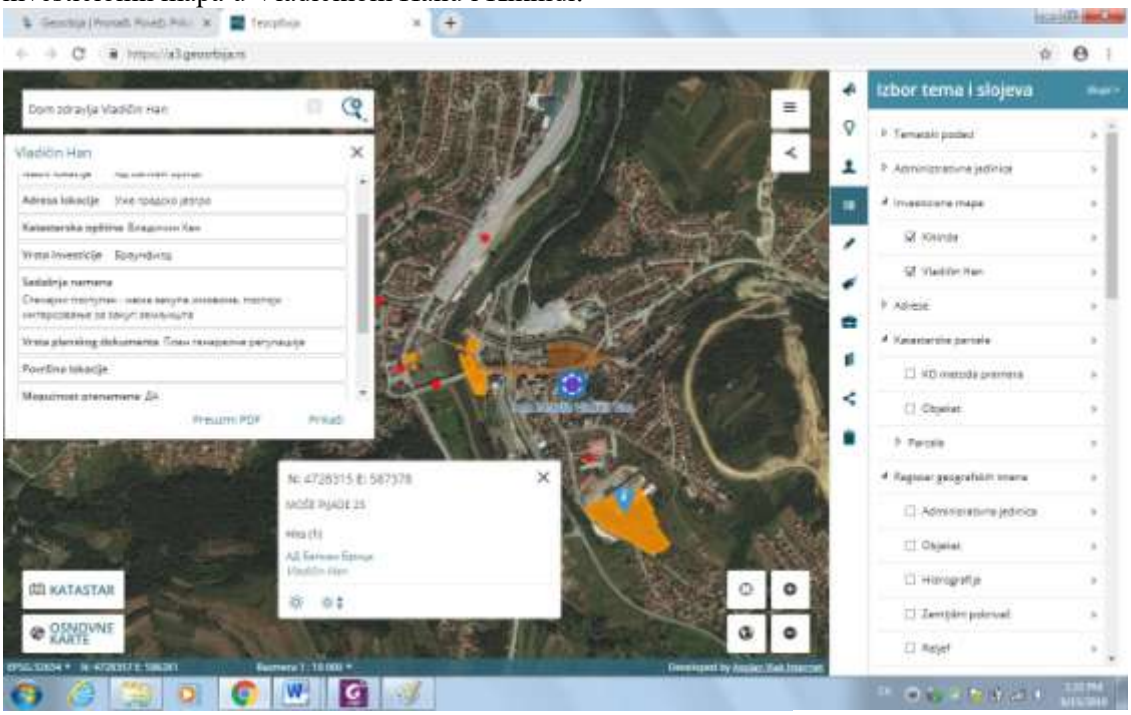
- omogući jedinstvenu identifikaciju svake investicione lokacije,
- da nedvosmislenu prostornu komponentu o lokaciji investicionog područja,
- uspostavi jedinstvenu klasifikaciju lokacija na državnom nivou,
- pruži relevantne informacije potencijalnim investitorima,
- pruži transparentan uvid građanima, državi i ostalim zainteresovanim stranama,
- ima mogućnost povezivanja sa drugim nacionalnim registrima,
- osigura da su sve informacije definisane u skladu sa ISO 19100 standardima i INSPIRE direktivom,
- osigura da se sve izmene podataka mogu pratiti i ažurirati;

Nacionalni registar investicionih mapa je struktuiran tako da obezbedi njegovu održivost i razvoj tokom i nakon uspostavljanja registra. To se postiže veb aplikacijom koja sadrži podatke sa terena. Primarna uloga veb aplikacije je da obezbedi mehanizam za prikupljanje i održavanje podataka o investicionim lokacijama na terenu koji će automatski biti skladišteni u bazi podataka Nacionalne infrastrukture geoprostornih podataka. Veb aplikacija će biti interfejs za praćenje i javnu promociju projekta. Ona će predstavljati segment koji je u obliku interaktivnog kartografskog prikaza i koji pruža trenutni status projekta u realnom vremenu. Cilj ove aplikacije je da pruži transparentan kontrolni mehanizam za praćenje dinamike implementacije projekta. I na kraju aplikacija podrazumeva interfejs za uspostavljanje komunikacije između investitora i lokalne uprave.

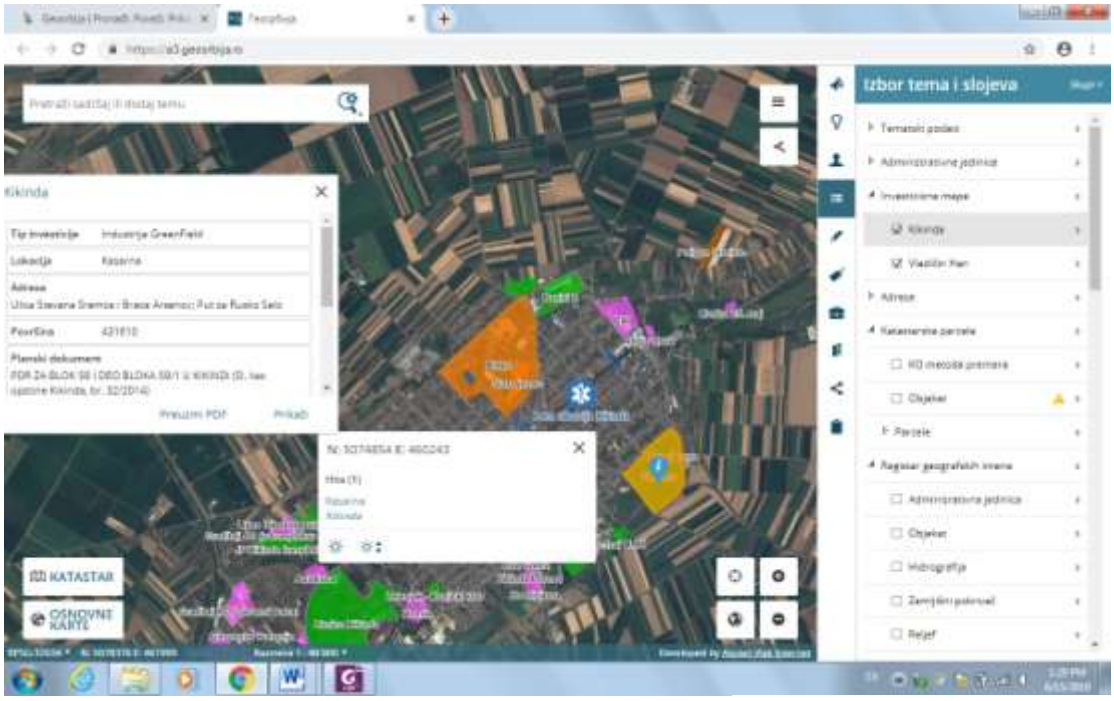
Nakon uspostavljanja Nacionalnog registra investicionih lokacija, potencijalni investitori će moći putem aplikacije da ostvare komunikaciju da organima lokalne samouprave i ulože investiciju na određenu lokaciju.

Aplikacija će omogućavati pretraživanje po više parametara kako bi potencijalni investitor sagledao u potpunosti sve lokacije koje su mu od interesa.

Mogućnost realizacije ovog projekta je prvobitno započet na studiji slučaja dve opštine – Kikinda i Vladičin Han. Podaci koji su se koristili su pripadali različitim tipovima podataka. Podaci koji su se primenili za opštinu Vladičin Han su proizašli iz modela Ministarstvom građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture. Kikinda je dostavila podatke koje su prikupili zaposleni u gradskoj upravi. Ti podaci su publikovani na geoportalu Geosrbija (Republički geodetski zavod, 2019) Na sledećim slikama je prikazan izgled investicionih mapa u Vladičinom Hanu i Kikindi.



Slika 1. Investiciona mapa Vladičinog Hana na geoportalu Geosrbija (Republički geodetski zavod, 2019)



Slika 2. Investiciona mapa Kikinde na geoportalu Geosrbija (Republički geodetski zavod, 2019)

Jedan od podciljeva, ali svakako značajan je motivacija ljudskih resursa. Motivacija zaposlenih se jednim segmentom stimuliše adekvatnim treningom zaposlenih. Trening će omogućiti da se koriste i održavaju opisane aplikacije.

Na osnovu ovih studija slučaja, zaključeno je da budući model bi trebao da obuhvati sledeće podatke (Ivanović et all, 2018):

- Osnovne informacije o lokaciji (naziv, adresa).
- Informacije o lokaciji – planski okvir, vrsta lokacije (grinfild, braunfild, grejfild) i namena lokacije: površine za stanovanje, površine mešovite namene, površine javne namene, površine za industrijske i proizvodne delatnosti, površine za komercijalne delatnosti, površine za rekreaciju i zelenilo, površine za infrastrukturu i površine ostalih namena.
- Infrastrukturna opremljenost – koncipirana je da se vidi šta lokacija poseduje od infrastrukturnih priključaka.
- Imovinsko pravni odnosi – bliže definišu imovinsko pravni status, daje podatke o konkretnom objektu ukoliko postoji i popisuje poslednje pravne izmene na lokaciji.
- Dodatna pojašnjenja – predstavljaju skup opisa o lokaciji. Sastoji se iz dva dela: Dodatni opis i Fotografija lokacije.
- Prezentacija lokacije – prikaz već postojećih prezentacija jedinica lokalne samouprave vezano za dato područje.
- Geometrija – atribut koji skladišti prostornu komponentu u državnom koordinatnom sistemu koja je značajna kako zbog dalje upotrebe, tako i zbog primarne vizuelizacije. Umesto nabrajanja parcela, omogućava se da se lokaciji pristupi direktno na mapi i vide nazivi parcela.

4. ZAKLJUČAK

Elektronska uprava osigurava interoperabilnost postojećih sistema i aplikacija, predstavlja adekvatno rešenje za institucije koje koriste zastarele sisteme i omogućava elektronsku komunikaciju između vlade i građana. Primenom servisa elektronske uprave na geoprostorne podatke dolazimo do spoja digitalizacije i investicionih lokacija - mapa. Značaj i ulaganje u investicione lokacije lokalnih samouprava prepoznao je i Republički geodetski zavod kao nosilac realizacije ideje da se sve potencijalne investicione lokacije publikuju u digitalnoj formi. Ideja je implementirana kroz projekat „Unapređenje poslovne klime u Republici Srbiji“. Izazov projekta predstavlja standardizaciju podataka čije redovno ažururanje dovodi do uspostavljanja Nacionalnog registra investiocionih mapa. Autori u radu ukazuju da značaj investicionih mapa na digitalnoj platformi Geosrbija dovode do povećanog učešća i privrednog rasta i razvoja lokalnih samouprava Republike Srbije što dovodi do razvoja ukupnog poslovanja Srbije.

LITERATURA

[1] Caldwell F., Baum C. H., Di Maio A., (2000), What Is E-Government? Gartner's Definitions, dostupno na https://www.gartner.com/en/documents/308454/what-is-e-government-gartner-s-definitions

[2] Carril Caccia F., Juliette Milgram-Baleix J., Paniagua J. ,(2019), Foreign Direct Investment in oil-abundant countries: The role of institutions, APLoS ONE 14(4):e0215650, DOI: 10.1371/journal.pone.0215650

[3] Ivanović, M., Paunić, N., Stanojlović,S., (2018) Investicione mape – Trenutni status i mehanizmi uključivanja u NIGP, (ur.) dr Aleksandar Jevtić i Borko Drašković, Izmena Zakona o planiranju i izgradnji /II Geosrbija /III Razvojni koridori Srbije i Jugoistočne Evrope, LOGO doo Bijeljina: Bijeljina

[4] Jovanović Milenković M., Radojičić Z., Milenković D., Vukmirović D., (2009), Applying electronic documents in development of the healthcare information system in the Republic of Serbia, Computer Science and Information Systems, vol. 6, no. 2, pp. 111-126, DOI: 10.2298/CSIS0902111J, ISSN 1820-0214

[5] Melohina V., (2015), EBRD and Serbia work together to attract investments, dostupno na https://www.ebrd.com/news/2015/ebrd-and-serbia-work-together-to-attract-investments.html

[6] Naled (2019), Analiza stanja elektronske uprave u Republici Srbiji: rezultati konsultativnog procesa, Beograd

[7] Radenković B., Despotović-Zrakić M.,Bogdanović Z.,Barać D.,Labus A., Bojović Ž.,(2017), Internet inteligentnih uređaja – Prvi udžbenik na srpskom jeziku izoblasti Internet of things, Fakultet organizacionih nauka, ISBN:978-86-7680-304-0

[8] Rapaić S., (2016), Uloga stranih direktnih investicija u lokalnom ekonomskom razvoju u Republici Srbiji (2001-2013), doktorska disertacija, Fakultet političkih nauka, Univerzitet u Beogradu

[9] Razvojna agencija Srbije, (2019), Why Invest in Serbia, dostupno na https://ras.gov.rs/uploads/2019/03/why-invest-march-2019.pdf

[10] Republički geodetski zavod, (2018), The Project Proposal for Improvement of Investment environment in Serbia, Serbia

[11] Republički geodetski zavod, (2019), geoportal Geosrbija, dostupno na https://a3.geosrbija.rs/

[12] Sass, M. (2003), Competitiveness and economic policies related to foreign direct investment. Hungarian Ministry of Finance, Strategic Analysis Division Working Paper, (3).

[13] Stankov B., (2017), Panel analiza stranih direktnih investicija i konkurentnosti u evropskim zemljama u nastajanju u razvoju, doktorska disertacija, Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment u Novom Sadu.

FINANCE AND BANKING

FINANSIJE I BANKARSTVO

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

HARMONIZACIJA PORESKE POLITIKE U SRBIJI SA DIREKTIVAMA EVROPSKE UNIJE

HARMONISATION OF TAX POLICY IN SERBIA WITH THE EUROPEAN UNION DIRECTIVES[1]

SAŠA RANĐELOVIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet, Beograd, randjelovic@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu je izvršena identifikacija jaza između poreske politike u Srbiji i pravila propisanih direktivama Evropske unije (EU). Na osnovu toga, analizirane su najznačajnije promene koje se u poreskoj politici Srbije u narednom periodu mogu očekivati, po osnovu usklađivanja sa pravilima EU, kao i ekonomski efekti tih promena. Iako je poreski sistem Srbije već u znatnoj meri usklađen sa pravilima EU, potpuna harmonizacija će podrazumevati veći broj parametarskih promena, pre svega u domenu PDV-a i akciza i oporezivanja međunarodnih tokova kapitala, što će uglavnom imati pozitivne fiskalne efekte.*

Ključne reči: *poreska politika, EU direktive, harmonisacija poreza.*

Abstract: *This paper provides identification of gap between the tax policy in Serbia and the tax rules stipulated by the European Union (EU) directives. Based on that, we analyse the major changes to Serbia's tax system in the future, driven by harmonisation with the EU rules and discuss the economic consequences of these reforms. Albeit the tax system of Serbia has already been, to a large extent aligned with the EU rules, full harmonisation will trigger numerous parametric changes, first of all in VAT, excise duties and taxation of international capital flows, with mostly positive fiscal effects.*

Keywords: *tax policy, EU directives, harmonisation of taxes.*

1. UVOD

In contrast to the single trade policy and single or highly coordinated monetary policy, the EU Member States have retained their sovereignty in tax policies, which means that taxes can still be introduced exclusively by the laws adopted by the Member States. However, in order to ensure the functioning of the European Single Market and to affirm the four basic freedoms (free movement of goods, service, people and capital), to ensure full equality of the citizens and companies from all Member States, and to prevent harmfull tax competition, steps have been taken in the previous decades to harmonise tax policies across Member States. Accordingly, the Treaty on the Functioning of the European Union (TFEU) gave a general mandate to the European Commission to implement activities toward these goals by adopting relevant directives at the level of EU, which are then binding for the Member States when legislating taxes.

In harmonising taxes at the EU level, significant progress has been made in the last decades in the field of indirect taxes, while in terms of direct taxes, the degree of harmonisation is significantly lower and it comes down to applying rules with the aim of preventing discrimination, facilitating integration of the single market and removing international double taxation, in respect of corporate income tax. Member States retain almost full sovereignty over personal income and property tax with a limitation that their rules cannot put the citizens and legal entities from other Member States in an unequal position.

EU-candidate countries are expected to align their national legislation and practices during the process of pre-accession negotiation. Harmonisation of tax policy with the EU directives is encompassed with the Chapter 16 - Taxation. In the last two decades, Serbia has undertaken substantial transformation to its tax system in order to attain fiscal and other economic objectives, but also in order to gradually align its tax policy with the EU rules and practice, thus enabling future integration in the Single Market. In spite of these efforts, full harmonisation with the EU rules is expected to trigger additional tax policy reforms, which may

[1] The first version of this article has been made available through the Quarterly Monitor of Economic Trends and Policies in Serbia No. 51, presented and discussed at the University of Belgrade – Faculty of Economics in December 2017. I would like to thank to all discussants for providing comments, which have been incorporated in the final version of the paper, presented in this Proceedings.

have an impact on public finances, but also on economic efficiency and (in)equality. The aim of this paper is to identify the main (forthcoming) changes in Serbia's tax policy, which shall be triggered by pre-accession harmonisation efforts, and to discuss the economic consequences of these changes.

In Section 2, harmonisation of indirect taxes (VAT and excise duties) will be analysed, while the Section 3 discusses the harmonisation of direct taxes. Section 4 concludes.

2. HARMONISATION OF INDIRECT TAXES

VALUE ADDED TAX

Harmonisation of taxes in the European Economic Community (EEC) started in the 1960s - customs duties on trade between EEC Member States have been abolished by 1969, while at the same time, transition from a gross retail sales tax to the value added tax (VAT) has been initiated. At the end of 1960s and beginning of 1970s, the First and the Second VAT Directive of the EEC have been adopted (67/227 and 67/228), marking the beginning of the harmonisation process of general consumption tax, while the Sixth VAT Directive of the EEC (77/388), issued in 1977, provided broad range harmonisation, by regulating in details the issues of definition of taxable transactions, place and time of taxation, minimum tax rates, tax exemptions, etc. Importance of harmonisation of indirect taxes has been reinforced by the EU Treaty, where (in Article 93), the European Council was given a mandate to carry out activities on harmonisation of regulations in the domain of taxation of consumption (VAT, excises and other consumption taxes), through the adoption of directives necessary for the establishment and functioning of the Single Market. Since its adoption, taxation has been amended several times and in 2006 the Directive on the Common VAT System in the European Union (2006/112) was adopted, which replaced the previous directives, with the previously defined principles and characteristics largely kept.

The objective of harmonisation of VAT in the EU, which is generally defined as a requirement for removing barriers for the smooth functioning of the Single Market, has substantially shaped the basic characteristics of the harmonised VAT system in the EU. In this respect, the European VAT model has several basic characteristics: *i) Broad definition of the taxable transactions* – supply of the vast majority of goods and services is subject to VAT, while the list of goods and services, exempted from VAT is strictly (and narrowly) defined, *ii) Expenditure type of VAT*– supply of fixed assets is subject to VAT, while a taxpayer is allowed to deduct the full amount of VAT on purchased fixed assets, against its tax liability, *iii) Destination principle applied in taxation of international trade* – goods (and the most of services) are taxed in a country of its use, which means that export is exempted from VAT, while import is taxed. This principle prevents double taxation of international trade and facilitates integration of the Single Market. In order to reduce room for fraud, a VAT Exchange Information System (VIES) has been established at the EU level, which provides electronic exchange of the VAT data between the Member States. In addition, there is also MOSS (Mini One Stop Shop), an information system for the exchange of data between Member States regarding electronic services, *iv) Application of harmonised rules regarding tax rates* - prescribes the possibility to apply one standard tax rate and up to two reduced VAT rates. In order to discourage harmful tax competition, EU directives prescribe that the standard VAT rate cannot be lower than 15%, while the reduced rates cannot be lower than 5%. The lower rate is allowed for basic goods and services, in order to reduce regressive effects of consumption taxes. The VAT Directive also stipulates the list of goods and services that can be taxed at the lower rate. Member States are not obliged to introduce a lower rate, but if they do so, the lower rate can be applied only to the goods and services, disclosed in that list. Figure 1 shows that all Member States comply with the rules on the minimum VAT rates. Although there is variation across the countries, the coefficient of VAT rates variation is lower than in the rate of other taxes, in which the harmonisation had not been carried out (Arsić and Ranđelović, 2017).

In 2005, Serbia introduced VAT based on the European VAT model, which replaced the retail sales tax. Consequently, the basic structure of the VAT system of Serbia is based on the principles defined by the EU directives, and therefore, in the process of EU accession, no radical changes will be needed in the way of functioning of the VAT system of Serbia. However, full harmonisation will still require several parametric changes. Although both the standard and reduced VAT rate in Serbia (20% and 10%) are in line with EU directives, some of the goods taxed at a reduced rate in Serbia, should be taxed at the standard rate, according to the EU rules. This refers to goods such as natural gas, heating, and the sale of newly built immovable (real estate). Therefore, in a due course of harmonisation it will be necessary to increase the VAT rate on supply of these goods (from 10% to 20%). In the part relating to tax exemptions, it will be necessary to abolish tax exemptions for purchase of the first apartment, imports of equipment for the disabled persons, the supply in river traffic, as well as the exemptions for religious communities. In addition, it will also be necessary to abolish VAT exemptions for supply of goods and services to customers in the Free Zones, for

goods and services used in the Free Zone for final consumption, and not as an intermediate good. In the forthcoming period, further harmonisation of the VAT refund rules (for non-resident customers) will be necessary, since this regime is not being practiced. The Law on VAT in Serbia stipulates that legal entities and entrepreneurs whose annual turnover does not exceed 8 million dinars (about 68 thousand euros) cannot be included in the VAT system, while according to the EU directives this limit is significantly lower (up to 5 thousand euros). Therefore, in the coming period it will be necessary to lower the limit for VAT registration. Expected parametric changes include also a need to rewrite the rules regarding the method of defining the taxpayer, the place where the tax liability is created in some cases, etc. The aforementioned changes will increase the mandate and scope of the Tax Administration, so in parallel with the harmonisation of regulations, it will be necessary to strengthen the capacities of Tax Administration, to enable proper enforcement of new rules. In addition, full integration of Serbia into the electronic system of exchange of VAT data between Member States (VIES and MOSS) will be required.

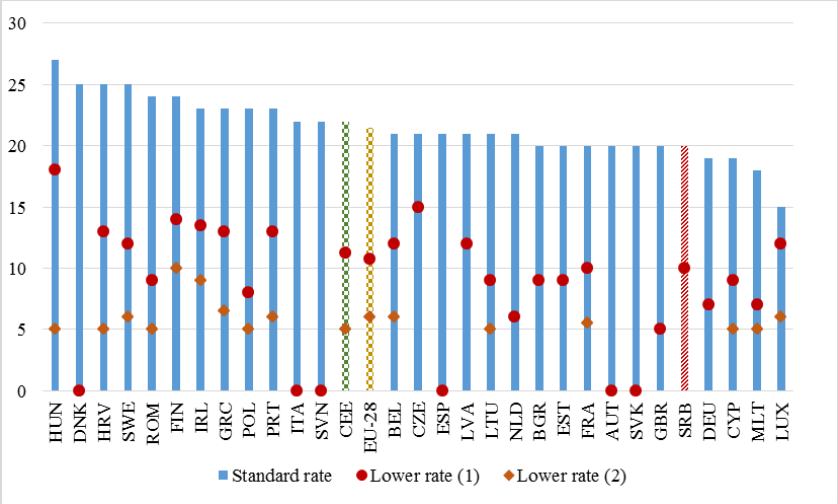


Figure 1: VAT Rates in Europe
Source: Arsić and Ranđelović (2017)

Forthcoming changes in Serbia's VAT system are expected to trigger increase in tax revenues, as they mostly imply increase in VAT rate and broadening the scope of taxation. Increase in VAT rate on some basic goods may have adverse effects on consumption inequality. However, reducing the portfolio of tax exemptions and preferential treatments and inclusion in the EU system of exchange of VAT information, shall also narrow the space of shadow economy and tax frauds.

EXCISE DUTIES

Harmonisation of excise duties in the EU was intensified yet in the early 1990s, almost twenty years after the beginning of harmonisation of the general consumption tax, with the aim to create conditions for undistorted functioning of the Single Market and to reduce the space for cross-border tax arbitrage and tax evasion. The general mandate for harmonisation of excise duties is given in the Treaty on the Functioning of the EU (Articles 113, 191 and 192), based on which this issue is more closely regulated through three groups of directives: *i) Horizontal directives* - which regulate the general framework for production, storage trade and control of excise products in the EU, as well as the time when the tax liability was created (the moment of leaving the excise warehouse); *ii) Structural directives* - which define the subject of excise taxation, the set of goods to which the Member States are obliged to introduce excise duties (alcoholic products, tobacco products and energy products); *iii) Directives on the harmonisation of excise rates*, which prescribe the lower limits of the tax rates which can be applied by the Member States.

Thus, the EU directives require Member States to levy excise duties on alcoholic products (all alcoholic beverages), tobacco products (cigarettes, cigars, cigarillos and cut tobacco) and energy products (gasoline, kerosene, gas oils, liquefied petroleum gas, natural gas, coal, coke and electricity). The minimum rates stipulated by the directives are disclosed in the Table 1. In addition, Member States have the right to impose excise on the supply of other goods, in accordance with their objectives and priorities.

Table 1: Effective Excise Rates in Serbia and Effective Minimum Excise Rates in EU[2]

		Base	Serbia	EU min
Alcoholic drinks	Beer	EUR/hl/^{0}alcohol	0.22	0.09
	Wine	EUR/hl	0	0
	Other low-alcohol beverages	EUR/hl	0.19	0.45
	High alcohol beverages (>22%)	EUR/lit/^{0}alcohol	1.12-1.83	2.2-5.28
Tobacco products	Cigarettes	EUR/1000 pieces	48.5	90
	Cigars and Cigarillos	EUR/1000 pieces	180	12
	Tobacco	EUR/kg	31,7	22-54
	Liquid for electronic cigarettes	EUR/ml	0,03	-
Energy	Leaded petrol	EUR/1000 lit	504.92	412
	Unleaded petrol	EUR/1000 lit	474.92	359
	Diesel	EUR/1000 lit	488.39	330
	Kerosene	EUR/1000 lit	569.24	330
	Gas oil	EUR/1000 kg	488.39	15
	Biofuels	EUR/1000 lit	477.12	-
	LPG	EUR/1000 kg	370.85	125
	Natural gas	EUR/GJ	-	0.15-2.6
	Coal and coke	EUR/GJ	-	0.15-0.3
	Electricity	EUR/GJ	4	0-1
Coffee	Non-roasted coffee	EUR/kg	0.77	-
	Roasted coffee	EUR/kg	0.95	-
	Coffee shells and membranes	EUR/kg	1.05	-
	Extracts, essences and concentrates	EUR/kg	1.43	-

Source: European Commission (2016); Arsić and Ranđelović (2017) and author's calculations

According to Serbia's tax legislation, four groups of goods are subject to excise duties - alcoholic beverages, tobacco products, energy products, and coffee, which indicates that the subject of taxation in Serbia is largely aligned with EU. To attain full harmonisation with the EU rules, in terms of the scope of taxation, Serbia will be expected to introduce excise duties on supply of natural gas, coal and coke. In some segments, the scope of excise duties in Serbia is slightly broader than the mandatory coverage defined by EU directives (e.g. tax on coffee, liquid for electronic cigarettes and biofuels), which is not opposed to the EU rules, as long as domestic and EU producers are treated equally.

The rates of excise duties in Serbia are mostly in line with the EU directives. However, in some segments, where this is not the case, it will be necessary to make certain corrections in the structure of excise rates (for alcoholic beverages and electricity), as well as in terms of their levels (on cigarettes and alcoholic drinks). Regarding the excise on energy products, until the moment of joining the EU, Serbia will be obliged to introduce excises on the remaining energy products defined by the EU directives - natural gas, coal and coke, and to replace the *ad valorem* excise on electricity with a unit tax. In terms of taxation of tobacco products, it will be necessary to make a significant increase in excise taxes on cigarettes (by 57%), which in Serbia amount to EUR 57 per 1,000 pieces of cigarettes, comparing to at least EUR 90 per 1,000 pieces, as set by the EU rules. In terms of the excise tax on alcoholic beverages, the change in the way excise tax is expressed is needed, so that the excise tax rate is expressed as a function of percentage of alcohol content in the drink, and not on the type of beverage Current excise system is stricter on imported than domestic alcoholic beverages, as it imposes higher rates on drinks which are mostly imported. Also, the tax rates for some sorts of alcoholic drinks will have to be increased to the EU-minimum level. It will also be necessary to introduce homemade alcoholic beverages in the excise system, where EU directives prescribe the possibility of applying lower rates of excise taxes on alcoholic beverages produced by small producers.

[2] The first group of Southeast European countries include Serbia's neighbouring countries (Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Montenegro, FYR Macedonia, Hungary, Croatia and Romania), since those countries are relevant for the analysis of incentives for cross-border tax arbitration.

Regarding the exemptions, Serbia will be obliged to adjust the amount of alcoholic beverages that can be brought into the country without excise taxation (according to EU rules, it is one litre of spirits or two litres of beverages with a lower alcoholic content), while the value limit for the other excise goods (except alcoholic beverages and cigarettes) will have to be raised from 100 Euros to up to 430 Euros. These limits apply only to third-country travellers and not the EU Member States. In order to improve the control of excise goods flows, Serbia will also be required to join the European Excise Movement and Control System.

Full harmonisation with the EU excise directives, is expected to have positive effects on tax revenues, as some tax rate are to be increased (e.g. on cigarettes and alcoholic drinks) and the scope of taxation is to be broadened (e.g. natural gas, coal, etc.). The most significant change in excise duties scheme is related to taxation of tobacco products. Significant increase in excise duties on cigarettes may trigger decline in consumption of cigarettes and/or shift to illicit trade. The effects of tax harmonisation on illicit trade would to large extent depend on the policies in the neighbouring countries – if the other countries in the Western Balkans simultaneously to Serbia make an effort to reach the EU minimum cigarettes' excise rates, the potential for shift to illicit market (via cross-border shopping) will be narrowed (see Bisić and Ranđelović, 2018). However, if Serbia is to harmonise its tax rates much faster than the other neighbouring countries, there might be a significant risk of leakage to illicit trade via cross-border shopping.

3. HARMONISATION OF DIRECT TAXES

In contrast to indirect taxes, where significant degree of harmonisation has been achieved, in terms of harmonisation of direct taxes only limited progress has been made in a last five decades. Due to lack of consensus in terms of directions of common direct tax policy, harmonisation of direct taxes has been mostly focused on elimination of discrimination in the tax treatment of taxpayers from different Member States, and prevention of double taxation. Consequently, harmonisation of direct taxes relates mainly to corporate income tax, while in the case of income tax and property taxes, Member States have a full freedom in designing their tax policy, as long as taxpayers from various Member States are treated equally.

After failure to make a progress in harmonisation of corporate income tax base and the tax rates, in the early 1990s, the European Commission launched a new initiative, which resulted in the adoption of three directives that regulate tax treatment of cross-border capital flows within the EU - the Parent-Subsidiary Directive, the Mergers Directives and the Interest-Royalty Directive, as well as one convention (the Arbitrage Convention). *Mergers Directive* (90/4347 EEC) aims to remove fiscal obstacles to cross-border status changes and reorganisations (mergers, divisions, transfers of assets and exchanges of shares) involving companies from different Member States. This directive provides for the possibility of deferral of capital gains tax liability that may arise at the time of the transfer of assets or shares within the status change, provided that the receiver continues with its business operations and continues to disclose assets at its tax value. *Parent-subsidiary Directive* (90/434/EEC, 2003/123/EEC), aims to prevent an unequal tax treatment of cooperation between companies from different Member States in comparison to cooperation between companies from the same Member State, and to eliminate double taxation within the EU. In particular, this Directive stipulates: *i)* exemption from withholding tax on profits distributed by a subsidiary in one Member State to its parent company in another Member State (conditional on min. 10% shareholding), *ii)* elimination of double taxation of dividends received by a parent company located in one Member State from its subsidiary located in another. *Interest-royalty Directive* (2003/49/EC), prescribes elimination of withholding tax (in the payer's country), on interest and royalties paid by a company from one Member State to a related company in another Member State. In addition to the directives that incorporate the merits of profit taxation issues, there are also a number of regulations at the EU level that regulate procedural issues with the aim of eliminating double taxation and preventing harmful tax competition, such as the Arbitrage Convention and Corporate Taxation Guidelines.

The basic elements of corporate income tax in Serbia are defined in a manner that is conceptually comparable with taxation systems in other European countries. However, with respect to full harmonisation with the EU *acquis* in the field of direct taxes, further changes will have to be made in the forthcoming period, primarily in removing the double taxation of incomes between Serbia and other EU Member States. Thus, in accordance with the Parent-subsidiary Directive, it will be necessary to eliminate the double taxation of dividends received from one of the EU Member States (using the tax credit method or exemption from taxation in Serbia), as well as dividends paid to a company from a Member State (by the exempting such dividend from taxation in Serbia). Pursuant to the Interest-royalty Directive, it will be necessary to prescribe exemption from taxation of interest and royalties paid by a legal entity from Serbia to a related legal entity, a recipient from an EU Member State. In addition, some tax relieves will have to be revised, such as the exemption from taxation of personal income, from interest on securities issued by the Republic of

Serbia, so that this relief applies equally to securities issued by other Member States, in order to ensure equal tax treatment. Also, it will be necessary to make appropriate changes to the regulations in order to comply with the provisions of the Mergers Directive on deferral of tax liability in the event of status changes and the establishment of the rules for changing the seat of European companies. By the EU accession date, Serbia will also be obliged to join the Arbitrage Convention on transfer pricing issues, to legally regulate the procedure for the application of arbitrage committee decisions, and to develop appropriate rules regarding the calculation of the "out of reach" prices.

While implementation of the EU directives may have a limited negative impact on tax revenues, it is expected to promote capital flows between Serbia and the EU member states, encouraging stronger financial integration. However, if by the Serbia's accession to the EU, activities on harmonisation of the rules for computation of the corporate income tax base is completed, Serbia will need to account for these provisions as well, which may have a more significant economic impact.

4. CONCLUSION

The tax system in Serbia is already to a considerable extent aligned with the EU rules, since the general structure of main harmonised taxes (VAT, excise and, to a lesser extent, corporate income tax) in Serbia is comparable to the corresponding rules in the EU. Nevertheless, in the process of accession, a number of parametric changes to the tax system of Serbia will have to be carried out – the most important being: increasing VAT rate on supply of some goods (natural gas, heating, new real estate), abolition of some VAT exemptions (VAT on purchase of the first apartment, relief for religious communities, etc.), as well as the reduction of the VAT registration fee, introduction of excise taxes on natural gas, coal and coke, substantial increase in excise duties on cigarettes, revision and increase of excise duties on strong alcoholic drinks and full implementation of three directives concerning direct taxation, in order to provide conditions for undistorted flow of capital.

Pre-accession negotiations in this field will mostly revolve around discussion on dynamics of harmonisation. As a rule, all amendments to the tax regulations need to be incorporated into domestic legislation, until the closing of Chapter 16, although there is a possibility to agree to start applying some of these changes from the date of accession to the EU. Experience of the countries that joined the EU in 2004, 2007 or 2013 show that there is a possibility that on some issues, which are considered relevant for a particular country, a transition period can be agreed, during which the old rules would apply. For example, Hungary has managed to agree with the European Commission that the transfer of natural gas into a basket of goods taxed at a standard VAT rate is made one year after its accession to the EU. Also, during the negotiations, it is possible to agree minor deviations from the general rule in matters where the European directives have given this possibility (e.g. Bulgaria has agreed with the European Commission to apply by 50% reduced tax rate on homemade brandy).

Considering gap between Serbia’s tax policy and the EU rules, most of the harmonisation implies an extension of the tax base, abolition of some tax reliefs, increase of tax rates, etc. which could have a positive effect on tax revenue. In this context, since the total tax burden in Serbia (measured by the share of tax revenues to GDP) in the European and regional context is already relatively high, the additional fiscal space that will arise from compliance with the EU rules could also be exploited to lower other taxes, which are not restricted by EU rules (e.g. in labour taxes). However, that decision should be fitted within the overall fiscal strategy, which is aimed at providing long-term sustainability of public finances and at fostering economic growth driven by investments and exports.

LITERATURE

[1] Arsić, M. & Ranđelović, S. (2017). Ekonomija oporezivanja – teorija i politika, CID Ekonomski fakultet, Beograd.

[2] Bisić, M. & Ranđelović, S. (2018). Cigarette excise tax policy in the Western Balkans: Trends, effects and challenges. Ekonomika preduzeća, 66(5-6), 320-332.

[3] Bénassy-Quéré, A., Trannoy, A., & Wolff, G. (2014). Tax harmonisation in Europe: Moving forward. Notes du conseil d’analyse économique, (4), 1-12.

[4] European Commission (2016). Screening Report Serbia: Chapter 16 – Taxation, MD 173/16

[5] European Commission (2017). Taxation Trends in the EU. Available at: https://ec.europa.eu/taxation_customs/business/economic-analysis-taxation/taxation-trends-eu-union_en

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

FINANSIJSKA POVEZANOST TRŽIŠTA AKCIJA TOKOM TRAJANJA I NAKON KRIZA

STOCK MARKETS' FINANCIAL CONNECTEDNESS DURING AND IN THE AFTERMATH OF THE CRISES

IRENA JANKOVIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet, irenaj@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *U ovome radu analizira se finansijska povezanost svetskih tržišta akcija tokom trajanja i nakon svetske finansijske krize i dužničke krize u Evrozoni. Prelivanja šokova i volatilnosti u periodu kriza imaju direktan uticaj na tržišni i rizik neizvršenja sa mogućim izraženim sistemskim posledicama. Nalazi rada ukazuju na povećanu osetljivost globalnog finansijskog tržišta na ekonomsko-političke šokove. Pri tome, više finansijski integrisana tržišta su neto transmiteri šokova, dok su slabije razvijena i povezana tržišta neto primaoci šokova u posmatranom periodu.*

Ključne reči: *finansijska povezanost, tržišta akcija, prelivanja volatilnosti, kriza.*

Abstract: *This paper analyses the financial connectedness of global stock markets in the period of and in the aftermath of the global and debt crisis in the eurozone. Volatility spillover effects in the period of crises have a direct effect on market and default risk with possible pronounced systemic consequences. The results of the paper indicate increased sensitivity of the global financial market on economic and political shocks. Thereby, financially more integrated markets are net volatility transmitters while less developed an integrated markets are net receivers of shocks in the observed period.*

Keywords: *financial connectedness, stock markets, volatility spillovers, crisis.*

1. INTRODUCTION

Financial connectedness is an important characteristic of global financial markets. Its level and behaviour are very significant for financial risk measurement and management. Volatility spillover effects have a direct effect on market and credit risk, with possible pronounced systemic consequences, particularly in crisis periods. Throughout history, crises have tended to occur at regular intervals and have often had similar consequences (Reinhart and Rogoff 2008). During crises, volatility usually increases and spills over into other markets and asset classes. Thus, it is important to measure and record volatility spillovers for at least two reasons: to get early warning signals of upcoming crises and to follow the duration of the ongoing one.

Global financial markets became strongly connected during the previous two decades. The connectedness seems particularly pronounced in the periods of crises when volatility increases and spills over between different markets but also asset classes. The transmission of volatility shocks has significant effects on portfolio choices and asset allocation.

2. LITERATURE REVIEW

Diebold and Yilmaz (2009) developed a VAR-based volatility spillover measure which was later modified and improved. Based on the generalised vector autoregressive framework in which forecast-error variance decompositions are invariant to the variable ordering, Diebold and Yilmaz (2012) propose measures of total and directional volatility spillovers. They estimate daily volatility spillovers across US stock, bond, foreign exchange, and commodity markets over a ten year period from January 1999 to January 2010, and show that although significant volatility fluctuations were present in all four markets, cross-market volatility spillovers were limited until the global financial crisis. As the crisis intensified, so did the volatility spillovers, with particularly important spillovers from the stock market to other markets after the collapse of Lehman Brothers in September 2008.

Many studies have used Diebold and Yilmaz's procedure to estimate volatility spillovers.

Duncan and Kabundi (2013) use and extend the spillover methodology. They analyse domestic and foreign sources of volatility spillover for South African bonds, commodities, currencies, and equities. Based

on data for the period 1996–2010, they investigate bidirectional spillovers between domestic assets and volatility coming from shocks in the global financial market. They find that spillovers increased during both domestic and foreign crises, and that domestic spillovers significantly exceeded foreign spillovers. Their findings suggest a high level of systemic risk that was mostly related to internal factors. The main transmitters of spillovers were shocks in commodity and equity markets.

Alter and Beyer (2012) extend Diebold and Yilmaz's methodology and develop measures of the strength of spillover effects. They quantify spillovers between sovereign credit markets and banks in the euro area. Spillovers are estimated based on daily CDS spread changes. They take into account interdependencies between sovereign and bank CDS spreads and assess the systemic effect of an unexpected shock to the creditworthiness of a particular sovereign or country-specific bank index on other sovereign or bank CDSs in the period October 2009–July 2012. Their Contagion Index measures the average potential spillover among sovereigns, among banks, from sovereigns to banks, and from banks to sovereigns. The results show growing interdependency between banks and sovereigns, which represents a potential source of systemic risk and contagion.

Antonakakis and Vergos (2013) explore sovereign yield spread spillovers between eurozone core and periphery countries in periods of global and sovereign debt crisis in Europe. They calculate the spillover indices of Diebold and Yilmaz (2012) and conclude that bond yield spread shocks coming from periphery eurozone countries to core eurozone countries have an effect on core countries that is three times stronger than vice versa. They stress the increased vulnerability of the eurozone from shocks originating predominantly in the periphery countries.

Louzis' (2015) study examines volatility spillovers between eurozone money, stock, foreign exchange, and bond markets. Their empirical results, based on data for the period 2000–2012, suggest a high level of total volatility spillover. Stock markets across the eurozone are identified as the main transmitters of volatility spillover, while for the most part the core countries transmit volatility spillovers to the periphery. The money, FX, and bond markets are receivers of spillovers, with the exception of Greek bonds, which transmitted spillovers during the Greek sovereign debt crisis in 2011–2012.

3. METHODOLOGY

Diebold and Yilmaz (2012) propose volatility spillover measures based on forecast error variance decompositions from vector autoregressions (VARs). VAR variance decompositions present how much of the *H*-step-ahead forecast error variance of some variable *i* is due to innovations in another variable *j* (Sims 1980). Spillover measures based on variance decompositions provide an answer to the question of how much of a variable's *i* future uncertainty is due to shocks occurring at variable *j*. In addition, they allow for spillover at different time horizons. The proposed indicators can be used to measure and track volatility spillover across asset classes, portfolios, and markets, both within and between countries. They propose total and directional spillover measures. The total volatility spillover measure shows spillover from (to) each market *i*, to (from) all other markets, added across *i*. Directional spillovers offer a more detailed picture of volatility spillover from (to) a particular market. Besides investigating spillovers across identical asset classes in various countries, or the same asset class within one country across different industry sectors, of even more profound interest is the spillover effect among different asset classes. Volatility spillover between different asset classes is especially interesting when investigating different crisis periods. In the last global crisis the spillover happened from credit markets to equity markets, with further effects on bond and commodity markets.

Diebold and Yilmaz initially based their total spillover measure on a simple VAR framework (with possible order-dependent results due to Cholesky factor orthogonalisation) and progressed to directional measures (Diebold and Yilmaz 2009). The methodology to calculate the directional volatility spillover measures is based on the generalized VAR, in which forecast-error variance decompositions are invariant to the variable ordering (Diebold and Yilmaz 2012). The proposed methodology is based on variance decomposition on an N-variable VAR(*p*).

The starting point is a covariance stationary *N*-variable VAR(*p*), $x_t = \sum_{i=1}^{p} \Phi_i x_{t-i} + \varepsilon_t$, where $\varepsilon \sim (0, \Sigma)$ is a vector of independently and identically distributed disturbances. The moving average presentation is $x_t = \sum_{i=0}^{\infty} A_i \varepsilon_{t-i}$, where the $N \times N$ matrices of coefficients A_i complies with recursion $A_i = \Phi_1 A_{i-1} + \Phi_2 A_{i-2} + \ldots + \Phi_p A_{i-p}$, where A_0 is a $N \times N$ identity matrix and $A_i = 0$ for $i < 0$. The moving average coefficients are very important for understanding the dynamics of the system. The variance decompositions allow the division of each variable's forecast error variance into parts that are attributable to

different system shocks. In addition, they allow assessing the part of the *H*-step ahead of error variance in forecasting x_i that is due to shocks in x_j, where $\forall j \neq i$, for each *i*.

In order to calculate variance decompositions, orthogonal innovations are required, whereas VAR innovations are generally contemporaneously correlated. Identification schemes based on Cholesky factorisation achieve orthogonality, but the variance decompositions then depend on the ordering of the variables. Hence, the generalized VAR framework of Koop, Pesaran, and Potter (1996) and Pesaran and Shin (1980), KPPS, is followed here, which produces variance decompositions that are invariant to ordering. Instead of the attempt to orthogonalise shocks, the generalised approach allows for correlated shocks but accounts appropriately for the correlation using the historically observed distribution of the errors. Since shocks to each variable are not orthogonalised, the sum of the contributions to the variance of the forecast error does not have to be equal to one.

3.1. Variance shares

Own variance shares are the fractions of the *H*-step-ahead error variances in forecasting x_i that are due to shocks to x_i, for $i = 1,2,\ldots,N$. On the other hand, cross variance shares or spillovers are fractions of the *H*-step-ahead error variances in forecasting x_i that are due to shocks to x_j, for $i,j = 1,2,\ldots,N$, such that $i \neq j$.

KPPS *H*-step-ahead forecast error variance decompositions are denoted by $\theta_{ij}^{g}(H)$, and for $H=1,2,\ldots$, as follows

$$\theta_{ij}^{g}(H) = \frac{\sigma_{jj}^{-1}\sum_{h=0}^{H-1}\left(e_i' A_h \Sigma e_j\right)^2}{\sum_{h=0}^{H-1}\left(e_i' A_h \Sigma A_h' e_j\right)} \tag{1}$$

where Σ is the variance matrix for error vector ε, σ_{jj} is the standard deviation of the error term for the *j*th equation, and e_i is the selection vector having 1 as the *i*th element and 0 otherwise. Since the sum of elements in each row of the variance decomposition table is not equal to 1, as previously stated, in order to be able to use the decomposition matrix in the calculation of the spillover measure, each element of the variance decomposition matrix is normalised by the row sum:

$$\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H) = \frac{\theta_{ij}^{g}(H)}{\sum_{j=1}^{N}\theta_{ij}^{g}(H)} \tag{2}$$

where $\sum_{j=1}^{N}\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H) = 1$ and $\sum_{i,j=1}^{N}\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H) = N$.

3.2. Total volatility spillover measure

Total volatility spillover index is based on volatility contributions from the KPPS variance decomposition:

$$S^{g}(H) = \frac{\sum_{i,j=1,i\neq j}^{N}\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H)}{\sum_{i,j=1}^{N}\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H)}\times 100 = \frac{\sum_{i,j=1,i\neq j}^{N}\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H)}{N}\times 100 \tag{3}$$

This index measures the contribution of volatility shock spillovers across asset classes to the total forecast error variance (Diebold and Yilmaz 2012, p. 59).

3.3. Directional volatility spillover measures

Generalized VAR enables comprehending in more detail the direction of the volatility spillovers across different asset classes. Directional indices are calculated based on normalised elements of the generalised variance decomposition matrix.

Directional volatility spillovers received by market *i* from all other markets *j* are presented as:

$$S_{i\cdot}^{g}(H) = \frac{\sum_{j=1,j\neq i}^{N}\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H)}{\sum_{i,j=1}^{N}\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H)}\times 100 = \frac{\sum_{j=1,j\neq i}^{N}\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H)}{N}\times 100 \tag{4}$$

Directional volatility spillovers transmitted by market *i* to all other markets *j* is denoted in a similar way:

$$S_{\cdot i}^{g}(H)=\frac{\sum_{j=1,j\neq i}^{N}\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H)}{\sum_{i,j=1}^{N}\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H)}\times 100=\frac{\sum_{j=1,j\neq i}^{N}\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H)}{N}\times 100 \quad (5)$$

Directional measures represent a decomposition of total spillover to spillovers coming from (or to) a specific source.

3.4. Net volatility spillover measures

Net volatility spillover from market *i* to all other markets *j* can be calculated as:

$$S_{i}^{g}(H)=S_{\cdot i}^{g}(H)-S_{i\cdot}^{g}(H) \quad (6)$$

It is the difference between volatility shocks transferred to and received from all other markets. It provides information about how much, in net terms, each market contributes to the volatility of other markets.

3.5. Net pairwise volatility spillover measures

Finally, net pairwise volatility spillovers are defined as:

$$S_{ij}^{g}(H)=\left(\frac{\tilde{\theta}_{ji}^{g}(H)}{\sum_{i,k=1}^{N}\tilde{\theta}_{ik}^{g}(H)}-\frac{\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H)}{\sum_{j,k=1}^{N}\tilde{\theta}_{jk}^{g}(H)}\right)\times 100=\left(\frac{\tilde{\theta}_{ji}^{g}(H)-\tilde{\theta}_{ij}^{g}(H)}{N}\right)\times 100 \quad (7)$$

The net pairwise volatility spillover between markets *i* and *j* is the difference between the gross volatility shocks transmitted from market *i* to market *j* and those transmitted from market *j* to market *i*.

4. FINANCIAL CONNECTEDNESS OF GLOBAL STOCK MARKETS

The following chart presents the total volatility spillover index for the global stock markets encompassing stock market index return volatilities for 45 countries in the period from 6th August 2004 till 3rd October 2018.[1]

Figure 1. Total volatility spillover index for global stock markets in the period August 2004 – October 2018

Source: Author's presentation based on the database financialconnectedness.org

The volatility spillover index variations indicate the significant increase in volatility spillovers between global stock markets during the global financial crises, in the period of the eurozone crisis and the initiation of Brexit.

[1] The results are based on generalized variance decompositions (with 10-day forecast horizon) obtained from a VAR(3) model of daily range volatilities. Dynamic connectedness measures are obtained from the estimation of the VAR model over 150-day rolling windows.

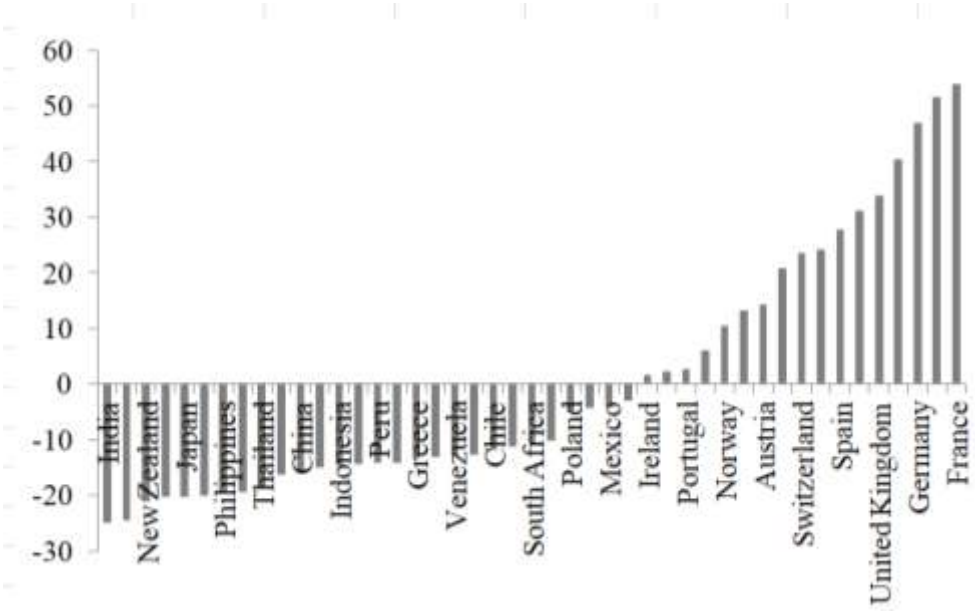


Figure 2. Average net financial connectedness measure for global stock markets in the period August 2004 – October 2018

Source: Author's calculation and presentation based on the database financialconnectedness.org

Analysis of the average net volatility spillover measure indicates the stock markets' that were net transmitters and net receivers of volatility shocks in the observed period 2004-2018. Positive value of the indicator signals the net transmitter while negative measure indicates the net receiver of shocks. More integrated countries in financial terms are predominant net transmitters of shocks while less integrated - developed and developing countries are net receivers.

5. CONCLUSION

The aim of the paper was the analysis of the financial connectedness of global stock markets in the period before, during and after the global financial crisis and debt crisis in eurozone. Total, directional and net volatility spillover measures were methodologically presented. Empirically were analysed total and net volatility spillover measures for global stock markets. The analysis indicates that spillovers were most significant during the global financial crisis, sovereign debt crisis and Brexit. Average net financial connectedness measure in the investigated period indicates that developed and more opened stock markets were predominant transmitters of shocks while less developed and less integrated markets were net receivers of volatility spillovers.

LITERATURE

[1] Alter, A., & Beyer, A. (2012). The dynamics of spillover effects during the European sovereign debt turmoil (CFS Working Paper, No. 2012/13), Frankfurt A. M: Goethe University, Center for Financial Studies (CFS).

[2] Antonakakis, N., & Vergos, K. (2013). Sovereign bond yield spillovers in the Euro zone during the financial and debt crisis. Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, 26, 258-272.

[3] Diebold, F.X., & Yilmaz, K. (2009). Measuring Financial Asset Return and Volatility Spillovers, With Application to Global Equity Markets. Economic Journal, 119, 158–171.

[4] Diebold, F.X., & Yilmaz, K. (2012). Better to Give than to Receive: Forecast-Based Measurement of Volatility Spillovers. International Journal of Forecasting, 28(1), 57–66.

[5] Duncan, A.S., & Kabundi, A. (2013). Domestic and foreign sources of volatility spillover to South African asset classes. Economic Modelling, 31, 566–573.

[6] Koop, G., Pesaran, M. H., & Potter, S. M. (1996). Impulse response analysis in non-linear multivariate models. Journal of Econometrics, 74, 119–147.

[7] Louzis, P.D. (2015). Measuring spillover effects in Euro area financial markets: a disaggregate approach. Empirical Economics, 49 (4), 1367–1400.

[8] Pesaran, M. H., & Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. Economics Letters, 58, 17–29.

[9] Reinhart, C. M., & Rogoff, K. S. (2008). Is the 2007 US subprime crisis so different? An international historical comparison. American Economic Review, 98, 339–344.

[10] Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. Econometrica, 48, 1–48.

[11] http://financialconnectedness.org/research.html

GEOINFORMATION SYSTEMS

GEOINFORMACIONI SISTEMI

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PROJEKTOVANJE KONTROLNE GEODETSKE MREŽE ZA OSMATRANJE KLIZIŠTA

DESIGNING OF THE CONTROL GEODETIC NETWORK FOR LANDSLIDE MONITORING PURPOSES

DRAGOLJUB SEKULOVIĆ[1], DRAGANA SKORUP[2], IVANA ILIĆ[3]

[1]Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Univerzitet „Union - Nikola Tesla“, Beograd, Srbija, dragoljub.sekulovic@fpsp.edu.rs
[2] Angermeier d.o.o., Sarajevo, Bosna i Hercegovina, draganaskorup@gmail.com
[3]Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Univerzitet „Union - Nikola Tesla“, Beograd, Srbija, ivana.ilic@fpsp.edu.rs

---

Rezime: *U radu je prikazan način projektovanja kontrolne geodetske mreže kako bi se dobilo optimalno rješenje za osmatranje klizišta. Klizišta su najčešći geodinamički proces koji predstavlja ogroman problem u svim dijelovima svijeta.*

Ključne reči: *Kontrolna mreža, klizište, projektovanje.*

Abstract: *This paper is presented the project for the optimal geodetic control network for landslide monitoring purposes. Landslides are the most common geodynamic process, which represents very dangerous problem all over the world.*

Keywords: *Control geodetic network, landslide, designing.*

1. UVOD

Sve prirodne nepogode predstavljaju katastrofe u materijalnom i ljudskom smislu. U grupu lokalnih geoloških procesa ubrajaju se pojave lokalnog otkidanja i kretanja geoloških masa na prirodnim nagibima i vještačkim kosinama. U inženjerskoj geologiji razmatraju se pod nazivom fizičko-geoloških pojava. Da bi se spriječila njihova pojava ili ublažile posljedice izazvane pojavom istih, važno je da se, upotrebom svaremene tehnologije, vrši njihovo osmatranje i predviđanje. Nagli razvoj tehnologije omogućio je da se na brz, efikasan i ekonomičan način prikupi veliki broj prostornih informacija. Savremene metode opažanja i mjerenja klizišta pomažu prilikom uočavanja potencijalne opasnosti i spriječavanja katastrofa. Koja metoda opažanja će se upotrijebiti zavisi od osobina kliziša i konfiguracije terena. Problematika klizišta, izbor odgovarajuće metode mjerenja i obrada podataka može se pronaći u radovima mnogobrojnih naučnika, kao na primer u radovima Clara-Beatrice Vilceanu (2016), Shao-tang Liu i Zhi-wu Wang (2008), dok su projekti kontrolnih mreža obrađeni u radovima Pelzer (1979), Frankić (2011) i Ašanin i dr. (2007).

Kod velikog broja inženjersko-tehničkih problema potrebno je kreiranje posebnih mreža tačaka koje će služiti kao osnova za mjerenje situacije na terenu, i s kojih će biti moguće praćenje stabilnosti okoline, ili praćenje eventualnih pomaka i deformacija.

U radu je prikazan način na koji je potrebno projektovati kontrolnu mrežu kako bi se ispunili uslovi tačnosti, pouzdanosti i ekonomičnosti koji su i zahtjevani od strane naručioca poslova.

2. PROJEKTOVANJE KONTROLNE GEODETSKE MREŽE

U inženjersko-tehničkim zadacima ključnu ulogu ima geodetska kontrolna mreža kao osnova svih radova. Kontrola, praćenje i modelovanje se ne ograničavaju samo na izgrađene objekte, već i na okolinu, jer promjene okolnog terena mogu izazvati i neželjene promjene na objektu i u prirodi. Prilikom projektovanja kontrolnih mreža mora se voditi računa da se ispunjavanjem odgovarajućih zahtjeva dobije tražena tačnost jer se one koriste za potrebe izgradnje aerodroma, saobraćajnica, građevinskih i industrijskih postrojenja, sportskih objekata, tunela, kanala, brana, urbanih područja, kao i za praćenje prirodnih objekata i fenomena poput vulkana, zemljotresa, klizišta i glacijalnih aktivnosti [Frankić, 2011].

Kako bi se kvalitetno izveli geodetski radovi potrebno je da se projekat radova izradi detaljno, u skladu sa projektnim zadatkom i važećim propisima. Projektovanje kontrolne geodetske mreže vrši se istraživačkom i analitičkom metodom. Istraživačka metoda odnosi se na definisanje kriterijuma koje geodetska mreže treba ispuniti u pogledu: geodetskog datuma i plana opažanja, preciznosti mjerenja i proračuna tačnosti. Analitički metod odnosi se na primjenu jedinstvenog niza matematičkih koraka za neposredno ispunjenje definisanih kriterijuma [Vasiljević i dr., 2018].

Projektovanje kontrolne geodetske mreže definiše se kao niz koraka koje je potrebno ispuniti kako bi se zadovoljili uslovi koje određena mreža mora imati.

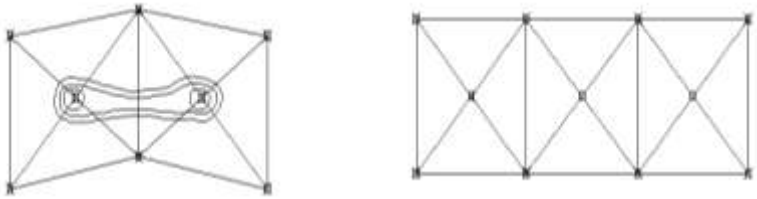
Da bi se napravio valjan projekat geodetske osnove, potrebno je prethodno obići lokaciju na kojoj se planiraju stabilizovati tačke. Postupak izrade projekta geodetske mreže, po pravilu počinje, prikupljanjem topografskih podloga ciljanog područja. Razmjera zavisi od veličine projektovanih struktura. Zatim, definiše se preciznost i pouzdanost geodetskih mjerenja na osnovu zadate građevinske tolerancije. Zadata tolerancija se definiše u projektnom zadatku. Tolerancija je veličina za koju se može promjeniti geometrija objekta, a da njegova stabilnost i funkcionalnost nisu ugrožene. Polovina vrijednosti tolerancije je dozvoljeno odstupanje (Δ). Geodetske mreže treba projektovati tako da 95% kvadrata dozvoljenog odstupanja otpada na grešku izvođenja radova, a samo 5% na grešku geodetskog obilježavanja. Standardno odstupanje položaja obilježenih tačaka računa se, prinicipom zanemarljivosti, kao trećina dozvoljenog odstupanja tačke na objektu. Greška obilježavanja se sastoji od više komponenti: greške datih veličina, greške odmjeranja i greške fiksiranja. Vrijednosti ovih komponenti dobijaju se principom zanemarljivosti u odnosu na grešku obilježavanja [Milovanović i dr., 2016].

Broj i raspored tačaka u mreži zavisi prvenstveno od konfiguracije terena i karakteristika objekta ili pojave koja se prati. U zavisnosti od lokacije na kojoj će se izvršiti stabilizacija tačaka geodetske osnove, a koja je prethodno utvrđena, bira se oblik geodetske mreže.

Visinske geodetske mreže imaju oblik zatvorenih poligona. Nove tačke mogu se, po potrebi, izbaciti izvan mreže direktno se vezujući na reper.

Horizontalne geodetske mreže mogu biti različitih konfiguracija:

- Geodetski četverougao je najjednostavniji oblik geodetske mreže. Njegova najčešća upotreba je prilikom projektovanja mreža na manjim površinama, za izgradnju mostova, brana, visokih zgrada i slično;
- Dvostruki geodetski četverougao ili lanac geodetskih četverouglova;
- Lanac trouglova koji se najčešće koristi prilikom izrade duguljastih objekata kao što su ceste, željezničke pruge, tuneli i slično;
- Mreža trouglova koja se koristi na većim gradilištima;
- Centralni sistem predstavlja čvrstu mrežu trouglova koja je pogodbna za primjenu kod objekata koji se prostiru na većem području. Ovakva mreža upotrebljava se kada tačke terena na sredini imaju više visine od onih na krajevima pa se u sredini geodetskog četverougla dodaje dopunska tačka i tako formira centralni sistem; i
- Dvostruki centralni sistem ili lanac centralnih sistema (slika 1).



Slika 1: Dvostruki centralni sistem i lanac centralnih Sistema [Novaković, 2007].

Idelan oblik mreže je kombinacija geodetskih četverouglova i centralni sistem trouglova, međutim idealni oblici rijetko se mogu ostvariti. Poznavanje projekta u njegovih zahtjeva uz brižno rekognosciranje terena vodi do neke vrste optimalnog rješenja mreže. Pri tome treba voditi računa da mreža zadovoljava sljedeće uslove:

- sa svake tačke mreže moraju se dogledati minimalno dvije druge tačke mreže;
- svaka karakteristična tačka na objektu treba se dogledati sa najmanje dvije tačke mreže;
- tačke mreže trebaju biti dovoljno blizu objekta/pojave koja se prati kako bi se postigla precizna mjerenja, a u isto vrijeme treba da bude dovoljno udaljeno kako bi se održala stabilnost tačaka.

Nakon što se definiše broj i raspored tačaka mreže prelazi se na sljedeću fazu projektovanja, to jeste izbor datuma mreže. Datum mreže se definiše kao minimalan broj parametara koji omogućava računanje koordinata. Kod vertikalnih mreža dovoljno je poznavati samo visinu jednog repera, dok se kod

dvodimenzionalnih mreža datum sastoji od tri parametra. Ako se parametri mreže definišu proizvoljno onda se takve mreže nazivaju slobodnim, a ako se parametri datuma dobijaju mjerenjem tada je riječ o neslobodnim mrežama.

Kao osnova za broj i vrstu mjerenih veličina u mreži koristi se globalna mjera unutrašnje pouzdanosti veća od 0,4 za 2D mreže, i veća od 0,2 za 1D mrežu. Vrsta i raspred merenih veličina se određuje na osnovu zahteva da je mreža homogeno-izotropna. Za mrežu se može reći da je homogeno-izotropna ako se u svakoj njenoj tački sustiče približno isti broj mjerenih veličina koji je ravnomjerno raspoređen po horizontu oko tačke. Minimalan broj mjerenja koji se sustiču u tački za 2D mrežu je tri, a za 1D dva [Frankić, 2016].

Na osnovu standardnog odstupanja položaja tačke definiše se tačnost mjerenih veličina u mreži. Računa se standardno odstupanje aritmetičke sredine udaljenosti između tačaka mreže na osnovu približnih koordinata na osnovu čega se dobija vrijednost standardnog odstupanja položaja tačke [Milovanović, 2016]. Kod mjerenih dužina standard mjerenja jednak je standardu položaja, dok standard pravca zavisi od dužine vizure i računa se na osnovu sljedećeg izraza:

$$\sigma_{\bar{\alpha}} = arctg\,\frac{\sigma_{POL}}{D_{ij}} \approx \frac{\sigma_{POL}}{D_{ij}} \cdot \rho'' \tag{1}$$

gdje su:

$\sigma_{\bar{\alpha}}$ – standard odstupanja pravca;

σ_{POL} – standard odstupanja položaja tačke;

D_{ij} – dužina vizure između dvije tačke.

Sljedeći korak u projektovanju mreže jeste proračunavanje kriterijuma kvaliteta mreže. Kriterijumi kvaliteta mreže računaju se na osnovu matrice dizajna, matrice težina i matrice datumskih uslova. Mjere kojima se ocjenjuje kvalitet projektovanih mreža dijele se na preciznost i pouzdanost. Preciznost predstavlja stepen međusobne bliskosti ponovljenih rezultata mjerenja iste veličine, tačnost stepen bliskosti rezultata mjerenja i istinite vrijednosti. Tačnost se odnosi na sve rezultate mjerenja, preciznost na slučajne greške, a pouzdanost na grube greške [Ašanin, 2003].

I kod preciznosti i kod pouzdanosti razlikujemo lokalne i globalne mjere. U lokalne mjere preciznosti spadaju:

- Standardna odstupanja po koordinatnim osama;
- Elipse grešaka;
- Standardno odstupanje po položaju;
- Lokalna mjera unutrašnje pouzdanosti – data je izrazom

$$r_{ii} = \hat{Q}_{v\,ii} P_{ii} \tag{2}$$

Lokalna mjera unutrašnje pouzdanosti (r_{ii}) predstavlja uticaj i-tog mjerenja na i-tu popravku. U slučaju da je r_{ii} =0.3 zaključuje se da je 30% greške zadržano u popravci mjerenja ii, dok je 70% „zagadilo“ popravke ostalih mjerenih veličina. Minimalna vrijednost lokalne mjere unutrašnje pouzdanosti je 0.3 ($0 \leq r_{ii} \leq 1$). Pouzdanost se povećava sa povećanjem vrijednosti lokalne mjere unutrašnje pouzdanosti;

- Globalna mjera unutrašnje pouzdanosti definiše se na osnovu broja mjerenih i nepoznatih veličina u mreži, i defekata mreže ; i
- Marginalna gruba greška predstavlja vrijednost grube greške koja se može „sigurno“ otkriti testom pod pretpostavkom da postoji samo jedna gruba greška.

Spoljašnja pouzdanost:

- Lokalna mjera spoljašnje pouzdanosti D_i predstavlja uticaj i-tog opažanja na ocjenu $\hat{x}$ - vektora. S povećanjem vrijednosti lokalne mjere spoljašnje pouzdanosti povećava se uticaj i-tog opažanja na ocijenu $\hat{x}$ - vektora.

- Globalna mjera spoljašnje pouzdanosti – pouzdanost mreže obrnuto je proporcijalna globalnoj mjeri spoljašnje pouzdanosti. Ako je globalna mjera spoljašnje pouzdanosti mala, pouzdanost mreže je velika.

Nakon ovog koraka vrši se validacija projekta mreže. Projektom geodetske mreže nastoji se pronaći optimalno rješenje koje će zadovoljiti unaprijed postavljene kriterijume. Dakle, dobro projektovana

geodetska mreža znači da je tačna, odnosno kvalitetna što opisuju preciznost i pouzdanost [Pelzer, 2008]; homogena, izotropna, učinkovita a uz to i ekonomično realizovana. Mreža je homogena ako su elipse grešaka za sve tačke međusobno jednake, a izotropna ako elipse grešaka prelaze u kružnice. Odnos velike i male poluose elipse grešaka ne smije prelaziti odnos 2:1. Projektom se obično definišu granice lokalne mjere unutrašnje pouzdanosti i marginalna vrijednost grube greške koja se „data-snooping“ testom može „sigurno“ otkriti. U slučaju da kvalitet mreže nije zadovoljen potrebno je da se projekat ispravi u smislu promjene jednog od gore navedenih koraka.

2. PROJEKTOVANJE KONTROLNE GEODETSKE MREŽE ZA OSMATRANJE MRATINJSKOG KLIZIŠTA

Proces klizanja predstavlja jedan od najznačajnijih geoloških procesa i uzroci njegovog nastanka su različiti. Prilikom opažanja klizišta potrebno je precizno i pažljivo prikupiti i analazirati mjerenja koristeći različite senzore, koji se raspoređuju po terenu [Sekulović i Regodić, 2015]. Senzori se dijele na geodetske, geotehničke i morfološke. Cilj opažanja jeste utvrđivanje praćenja pretpostavljenog deformacionog modela. Prilikom praćenja i opažanja potrebno je izvršiti usklađivanje svih navedenih metoda. Kroz ovaj rad prikazan je način projektovanja kontrolne mreže za geodetska praćenja koja će zadovoljiti odgovarajuću tačnost [Perović i dr., 2019].

Klizište na kojem je prikazan način isprvanog projektovanja kontrolne mreže locirano je u Crnoj Gori, u priobalju Pivskog jezera, s desne strane Mratinjskog potoka. Područje koje zahvata Mratinjsko klizište prikazano je na slici 2.

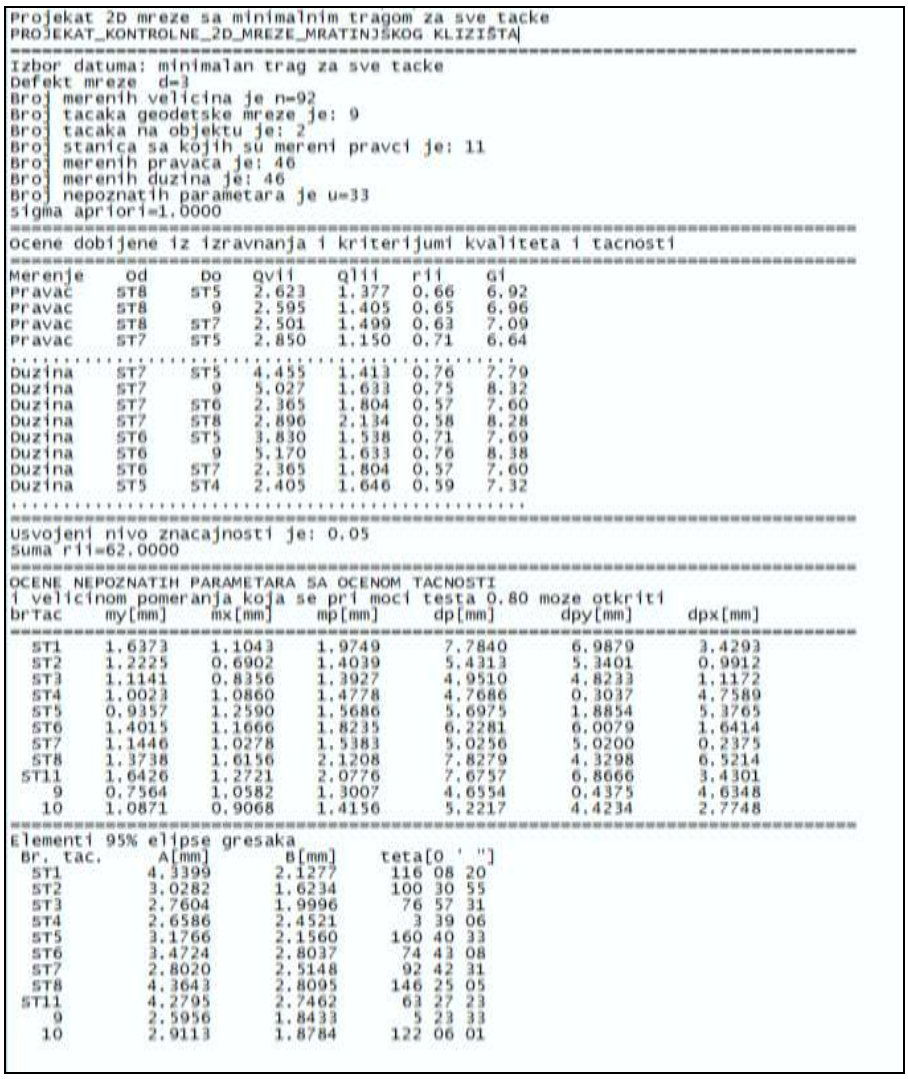
Slika 2: Prikaz Mratinjskog klizišta

Kontrolna mreža projektovana je za osmatranje klizišta uslovljena je karakteristikama klizišta, konfiguracijom terena i zahtjevanom tačnošću. Tačke mreže potrebno je stabilizovati na mjestima koja neće biti ugrožena u toku pomjeranja klizne ravni. Stabilizovane su na način da se sa njih mogu osmatrati najmanje dvije susjedne tačke kako bi se ostvarila prekobrojna mjerenja. Stabilzacija tačaka vršena je betonskim stubovima. Kontrolnu mrežu činilo je jedanaest stubova, od kojih se devet tačaka nalazilo van zone klizanja, a dvije tačke na klizištu. Na slici su prikazane planirane lokacije stubova koristeći programski paket Google Earth.

Slika 3: Prikaz tačaka Mratinjskog klizišta

Prilikom realizacije mjerenja mora se voditi računa o pridržavanju datih kriterijuma za praćenje i kontrolu mjerenja. Vršena je obrada rezultata mjerenja i njihovo testiranje na grube greške. Testiranjem rezultata mjerenja na prisustvo grubih grešaka potvrđeno je njihovo prisustvo, te su takvi rezultati odstranjeni iz rezultata mjerenja.

Mreža je izravnata kao slobodna, a za izravnanje je korištena metoda najmanjih kvadrata sa minimalnim tragom na svim tačkama mreže. Rezultati izravnanja prikazani su na slici 4.



Projekat 2D mreze sa minimalnim tragom za sve tacke
PROJEKAT_KONTROLNE_2D_MREZE_MRATINJSKOG KLIZIŠTA

Izbor datuma: minimalan trag za sve tacke
Defekt mreze d=3
Broj merenih velicina je n=92
Broj tacaka geodetske mreze je: 9
Broj tacaka na objektu je: 2
Broj stanica sa kojih su mereni pravci je: 11
Broj merenih pravaca je: 46
Broj merenih duzina je: 46
Broj nepoznatih parametara je u=33
sigma apriori=1.0000

Ocene dobijene iz izravnanja i kriterijumi kvaliteta i tacnosti

Merenje	Od	Do	Qvii	Qlii	rii	gi
Pravac	ST8	ST5	2.623	1.377	0.66	6.92
Pravac	ST8	9	2.595	1.405	0.65	6.96
Pravac	ST8	ST7	2.501	1.499	0.63	7.09
Pravac	ST7	ST5	2.850	1.150	0.71	6.64
.....						
Duzina	ST7	ST5	4.455	1.413	0.76	7.79
Duzina	ST7	9	5.027	1.633	0.75	8.32
Duzina	ST7	ST6	2.365	1.804	0.57	7.60
Duzina	ST7	ST8	2.896	2.134	0.58	8.28
Duzina	ST6	ST5	3.830	1.538	0.71	7.69
Duzina	ST6	9	5.170	1.633	0.76	8.38
Duzina	ST6	ST7	2.365	1.804	0.57	7.60
Duzina	ST5	ST4	2.405	1.646	0.59	7.32
.....						

Usvojeni nivo znacajnosti je: 0.05
Suma rii=62.0000

OCENE NEPOZNATIH PARAMETARA SA OCENOM TACNOSTI
i velicinom pomeranja koja se pri moci testa 0.80 moze otkriti

brTac	my[mm]	mx[mm]	mp[mm]	dp[mm]	dpy[mm]	dpx[mm]
ST1	1.6373	1.1043	1.9749	7.7840	6.9879	3.4293
ST2	1.2225	0.6902	1.4039	5.4313	5.3401	0.9912
ST3	1.1141	0.8356	1.3927	4.9510	4.8233	1.1172
ST4	1.0023	1.0860	1.4778	4.7686	0.3037	4.7589
ST5	0.9357	1.2590	1.5686	5.6975	1.8854	5.3765
ST6	1.4015	1.1666	1.8235	6.2281	6.0079	1.6414
ST7	1.1446	1.0278	1.5383	5.0256	5.0200	0.2375
ST8	1.3738	1.6156	2.1208	7.8279	4.3298	6.5214
ST11	1.6426	1.2721	2.0776	7.6757	6.8666	3.4301
9	0.7564	1.0582	1.3007	4.6554	0.4375	4.6348
10	1.0871	0.9068	1.4156	5.2217	4.4234	2.7748

Elementi 95% elipse gresaka

Br. tac.	A[mm]	B[mm]	teta[G ' "]
ST1	4.3399	2.1277	116 08 20
ST2	3.0282	1.6234	100 30 55
ST3	2.7604	1.9996	76 57 31
ST4	2.6586	2.4521	3 39 06
ST5	3.1766	2.1560	160 40 33
ST6	3.4724	2.8037	74 43 08
ST7	2.8020	2.5148	92 42 31
ST8	4.3643	2.8095	146 25 05
ST11	4.2795	2.7462	63 27 23
9	2.5956	1.8433	5 23 33
10	2.9113	1.8784	122 06 01

Slika 4: Prikaz proračuna tačnosti 2D mreže [Perović i dr., 2019].

5. ZAKLJUČAK

Prvi znaci potencijalnog klizišta su pojave na površini zemlje kao što su naborana površina, ispucali određeni dijelovi tla gornjim dijelovima kosine upravno na pravac kretanja mase tla. Ove pukotine mogu biti ispunjene vodom što znatno utiče na masu zemljišta i njenu stabilnost, i povećava horizontalnu silu koja utiče na kretanje kritične mase tla.

Da bi se projektovala kontrolna geodetska mreža za osmatranje klizišta, u konkretnom slučaju Mratinjskog, potrebno je dobro poznavanje svih praktično-naučnih aspekata ove problematike. Kako bi kontrolna mreža bila u isto vrijeme precizna, pouzdana i ekonomična važno je voditi računa da se ispoštuju definisani kriterijumi projektovanja. Na praktičnom primjeru projektovanja kontrolne mreže za Mratinjsko klizište vidljivo je da se pravilnim pristupom i strogim pridržavanjem definisanih uslova mogu zadovoljiti projektovani uslovi. Način na koji će projektant izvršiti formiranje kontrolne mreže ne može biti jedinstven za sva klizišta. Važno je da se pažljivim rekognosciranjem terena i stabilizacijom tačaka stvori dobra podloga za kasniju realizaciju mreže. Vodeći se osnovnim stavkama projekta, na projektantu je da vrši izmjene i dopune odgovarajućih stavki kako bi dobio optimalno rješenje.

LITERATURA

[1] Ašanin, S., (2003). Inženjerska geodezija, Unverzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd.

[2] Ašanin, S., Pandžić, S., Gospavić, Z., Milovanović, B., (2007): Zbirka izabranih zadataka iz inženjerske geodezije, Beograd.

[3] Frankić, K. (2011). Inženjerska geodezija, Geodetski odsjek Građevinskog fakulteta, Sarajevo. „Geodetic studies with sinificant contribution to landslide monitoring in south-western Romania – area with high risk potential," in Technical Gazette.

[4] Milovanović, B., (2016). "Designing the Control Networks for Hydrotechnical Objects for the Purpose of Geodetic Monitoring," in Internatinal Symposium on Engineering Geodesy - SIG2016, Varaždin.

[5] Milovanović, B., Gospavić, Z., Pejović, M. and Vasiljević, S. (2014). „Projekat osnovne mreže (Project of the Basic Network, Kopaonik)," in Proceedings of National Scientific Conference GEO2014, Kopaonik.

[6] Novaković, G. (2007): Inženjerska geodezija 1, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

[7] Pelzer, P.H. (1979). Some Criteria for the Accuracy and the Relibility of Networks, XVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Canberra, Australia, pp. 19.

[8] Perović, G., Skorup, D., Sekulović, D., (2019). OPTIMIZATION OF THE 2D CONTROL GEODETIC NETWORK OF THE LADSLIDE, In the Monography APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN MODELING OF NATURAL CATASTROPHE, Faculty of Information Technology and Engineering University "Union-Nikola Tesla", Belgrad, pp. 129-159.

[9] Shao-tang Liu, Zhi-wu Wang. (2008). „Choice of surveying methods for landslides monitoring," in Landslides and Engineered Slopes, London.

[10] Секуловић, Д., Регодић, М., (2015). Војна геологија, Медија центар „Одбрана", Београд.

[11] Vasiljević, S., Gospavić, Z., Amović, M., (2018). Geodetic determation of verical displacement of buildings during construction, STEPGRAD, Scientific conference with international participation „Contemporary theory and practice in construction XIII, Book of proceedings, „Banski dvor" Curtural center, Banja Luka, Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, pp. 272-282.

[12] Vilceanu, C., Herban, I.S. i Grecea, C. (2016). Geodetic studies with significant contribution to landslide monitoring in south-western Romania – area with high risk potential. Tehnički vjesnik, 23 (6), pp. 1623-1630.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MODEL ZA AUTOMATSKU GENERALIZACIJU SADRŽAJA SAOBRAĆAJNE KARTE U RAZMERI 1:500 000 NA OSNOVU TOPOGRAFSKE KARTE U RAZMERI 1:250 000

AUTOMATIC GENERALIZATION MODEL OF ROAD MAP AT SCALE 1:500 000 BASED ON TOPOGRAPHIC MAP AT SCALE 1:250 000

MARKO STOJANOVIĆ[1], SINIŠA DROBNJAK[1], ANA VUČIČEVIĆ[2]

[1]Vojnogeografski institut, Beograd, stojanovicm80@yahoo.com, sinisa.drobnjak@vs.rs
[2]JP Putevi Srbije, Beograd, vucicevic.ana@outlook.com

Rezime: *Predmet istraživanja ovog rada je kreiranje modela za automatsku generalizaciju saobraćajne mreže i drugog sadržaja sa topografske karte urazmeri 1:250000 radi izrade tematske saobraćajne karte u razmeri 1:500 000. Cilj istraživanja sadržan je u kreiranju modela za izradu saobraćajne karte, analizu stepena automatizacije i stepena ručne dorade uz optimazaciju postupka. Saobraćajna karta Republike Srbije dobijena postupcima automatske generalizacije sadržaja doprinosi razvoju i primeni metoda automatske generalizacije za druge namene i razmere, a u cilju prevazilaženja problema kompleksnosti kartografske generalizacije kao jedne od najvećih izazova koji donosi era digitalne kartografije.*

Ključne reči: *Saobraćajna karta, Topografska karta, Generalizacija, Vojnogeografski institut.*

Abstract: *The purpose of this paper's research is to create a model for the automatic generalization of the roadnetworkandothercontentfromatopographicalmaponascaleof1:250000inordertocreateathematic road map on a scale of 1: 500 000. The research objective is to create a model with process optimization for the development of a road map, automation and degree of manual finishing. The Republic of Serbia's road map obtained through automatic content generalization procedures contributes to the development and application of automatic generalization methods for other purposes and conditions, in order to overcome the complexity of cartographic generalization as one of the greatest challenges posed by the digital cartographic era.*

Keywords: *Road map, Topographic map, Generalization, Military Geographical Institute.*

1. UVOD

Karta predstavlja realan prostorni model geoprostora koji omogućava istraživanje predmeta, pojava i procesa, kao i odnose kartiranih elemenata tokom vremena. Model geoprostora „prešao“ je dug put, od primitivnog crteža do digitalnog 3D i 4D prikaza (Živković,2007). Digitalna tehnologija značajno je promenila način izrade, distribucije i upotrebu karata. Razvijena komunikaciona infrastruktura putem interneta omogućava korisnicima kreiranje, transformaciju i upotrebu geoprostornih modela (Jovanović,2017).

Saobraćajna karta je neophodan vodič za planiranje putovanja, jer direktno utiče naudobnost, trajanje i cenu putovanja. Ona je bitan faktor ekonomičnosti putovanja i transporta uopšte. Činjenica je da karakter i nivo razvijenosti saobraćaja predstavlja kriterijume prostorne povezanosti, uslovljene stepenom privrednog razvoja, strukturom i razmeštajem proizvodnih resursa (Sekulović & Drobnjak, 2013). Međutim, faktoru prostorasapodjednakimznačajemsepridružujeifaktorvremena,naročitouputničkomsaobraćaju.Zbogtoga,
stepen razvijenosti saobraćaja je u direktnoj zavisnosti od udaljenosti i brzine. Sva složenost saobraćajne problematike uslovljena je višestrukim preplitanjem prostornog i ekonomskog aspekta saobraćaja (Drobnjak *et al*, 2016).

Izradu saobraćajnih karata teritorije Republike Srbije za komercijalne potrebe obavljaju brojne kartografske agencije, dok specijalizovane saobraćajne karte za vojne potrebe isključivo izrađuje Vojnogeografski institut u Beogradu.

Saobraćajne karte, bilo da su namenjene za vojne ili civilne potrebe, prve su od tematskih karata izrađene u VGI i imaju dugu tradiciju. Nastajale su pod različitim imenima: saobraćajna karta,automobilska karta, karta automobilskih puteva, putna karta i slično, ali njihova koncepcijska rešenja nisu se bitnije razlikovala i bilasu u skladu sa dostignutim nivoom kartografsko-reprodukcijske tehnike i tehnologije.

2. SAOBRAĆAJNO - GEOGRAFSKAKARTA

Zadaci koji se postavljaju pri izradi specijalnih saobraćajno-geografskih karata daleko prevazilaze prikazivanje saobraćajne mreže, kao elementa sadržaja svake geografske karte ili topografske karte. Prilikom izrade saobraćajno-geografske karte mora se koristiti kartografski metod koji omogućava da se kvantitativno i kvalitativno predstavi obim, dinamika, struktura pravaca putnika i robnih tokova napojedinim komunikacijama, u saobraćajnim središtima i saobraćajnoj mreži u celini. Kako bi sadržina saobraćajno-geografske karte bila što potpunija i zadovoljila zahteve koji su uslovljeni njenom namenom, osnovni preduslov pri izradi, je postojanje kvalitetne kartografske podloge (Drobnjak,2016).

Glavni kriterijum za klasifikaciju saobraćajno–geografskih karata, pored razmere, stepena generalizacije njene sadržine, je i način izrade (analogne i digitalne). U odnosu na sadržaj saobraćajno-geografske karte se dele na opšte i specijalne. Opšte sadrže podatke o saobraćajnoj mreži u celini, dok se specijalne saobraćajno-geografske karte odnose na pojedine saobraćajne grane.

Značaj saobraćajno-geografskih karata ogleda se u korišćenju informacija koje one sadrže. U zavisnosti od razmere, specijalne namene, sadržine i načina izrade, koriste se za dobijanje osnovnih predstava o saobraćajnoj mreži i saobraćajnim centrima, kao navigacioni instrument u saobraćaju i za kvantitativne analize tokova putnika i roba, tj. za saobraćajno-geografska, kompleksno-geografska, regionalna, vojna i druga proučavanja i planiranja. Saobraćajno-geografska karta ima višestruki značaj, kako u praktičnom, tako i u teorijsko- metodološkom smislu (Stanković,2017).

2.1. Sadržaj digitalne vojne saobraćajne karte 1:500 000(DVSK500)

Elementi sadržaja koji se prikazuju na DVSK500 su: hidrografija, reljef, naseljena mesta, objekti, komunikacije, granice i geografski nazivi. Na prvi pogled, osim vegetacije koja se ne daje, svi ostali elementi sadržajana DVSK500 u potpunosti odgovaraju elementima na Digitalne topografske karte urazmeri 1:250000 (DTK250), međutim postoji značajna razlika i u njihovom predstavljanju.

Hirdografija se na DVSK500 predstavlja na isti način kao i na DTK250 s' tim da se vrši redukcija i pojednostavljenje tokova u odnosu na razmerukarte.

Reljef sena DVSK500 predstavlja hipsoskalom, senkama i visinskim tačkama. Redukcija visinskih tačaka se vrši prema kriterijumu prelaska nasitniju razmeru.

Naseljena mestase na DVSK500 prikazuju kao i na DTK250, prema broju stanovnika. Veća naseljena mesta se daju poligonima, dok se manja daju uslovnim, tačkastim simbolima.

Objekti se na DVSK500 predstavljaju sa naglašavanjem turističkih, kulturnih, privrednih, verskih i dr. objektata koji se redukuju prema važnosti. Na DVSK500 se daju: aerodromi, sidrišta-pristaništa, žičare-uspinjače, antenski stubovi, spomenici, zamkovi-dvorci, tvrđave, manastiri, arheološka nalazišta, pećine, planinarski domovi, nacionalni parkovi, banje, kampovi, hoteli, moteli i dr.

Komunikacije tj. objekti drumskog saobraćaja na DVSK500 spadaju u tematski sadržaj. Osim naglašene simbologije za predstavljanje pravca prostiranja saobraćajnica, na DVSK500 se daju: tematska klasifikacija puteva i pruga, indeksne oznake i brojke za razdaljine na putevima, oznake međunarodnih i magistralnih puteva, nagibi puteva, objektina komunikacijama (granični prelazi, benzinske stanice, servisne radionice, itd.).

Granice se na DVSK500 predstavljaju isto kao i na DTK250, s'tim da se daju državna, pokrajinska granica i granica nacionalnog parka. Uz graničnu liniju državne granice daju se međunarodne oznake država.

Geografski nazivi se na DVSK500 predstavljaju slično kao na DTK250. Redukuju se geografski nazivi koje ne podržava razmera 1:500 000.

Tabela 1: Prikaz elemenata sadržaja razvrstanih po tematici na DVSK500 (Stojanović, 2018)

IZGLED	NAZIV	IZGLED	NAZIV
KOMUNIKACIJE - PUTEVI		**KOMUNIKACIJE - PRUGE**	
	Autoput		Železnička pruga
	Glavni put		Železnička pruga - elektrifikovana
	Sporedni put		Železnička stanica

	Makadamski put		Most na železničkoj pruzi
	Kolski put		Tunel na železničkoj pruzi
	Most na putu	**KULTURNO-ISTORIJSKI I TURISTIČKI OBJEKTI**	
	Priključak na autoput		Spomenik
SAOBRAĆAJNI OBJEKTI			Manastir
	Aerodrom		Pećina
	Sportski aerodrom		Planinarski dom
	Antenski stub		Banja
	Benzinska stanica		Kamp
	Servisna radionica		Motel
PRIVREDNI I DRUGI OBJEKTI		**NASELjENA MESTA**	
	Rudnik		Naselja predstavljena arealom
	Brana		Naselja od 10.000 do 25.000 stanovnika
HIDROGRAFIJA			Naselja od 5.000 do 10.000 stanovnika
	Reka širine preko 100 metara		Naselja od 2.000 do 5.000 stanovnika
	Reka širine od 30 do 100 metara		Naselja do 2.000 stanovnika
	Reka širine do 30 metara	**RELjEF HIPSOSKALA**	
RELjEF VISINSKE TAČKE		**GRANICE**	
	Visinska tačka (kota)		Državna granica
	Planinski prevoj (sedlo)		Pokrajinska granica

3. AUTOMATSKA GENERALIZACIJA SADRŽAJA DTK250 ZA POTREBE IZRADEDVSK500

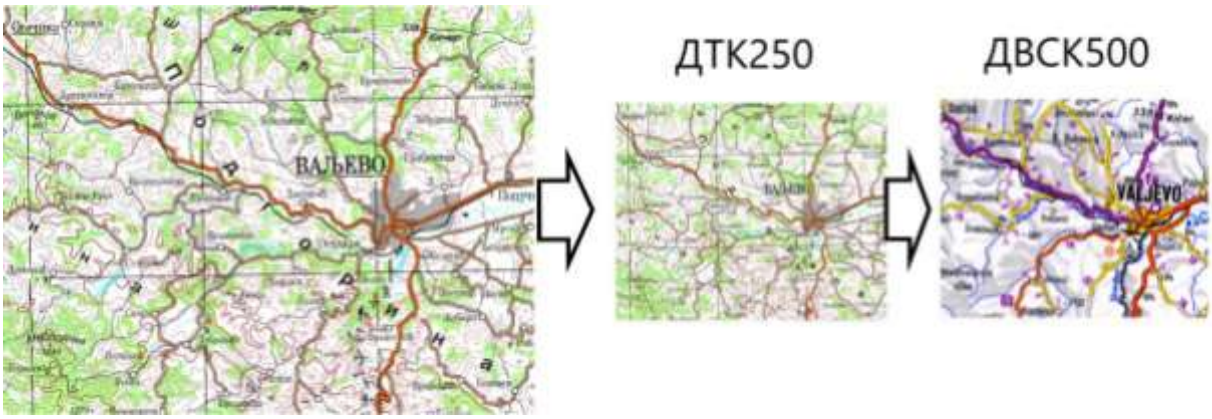
Kartografska generalizacija se izvodi na osnovuu napred razrađenih kriterijuma. Oni se formiraju prilikom projektovanja karte, na osnovu istraživanja pre početka izrade ali se u toku izrade mogu minimalno korigovati. To je uslov da karta bude ujednačene vrednosti i standardnog kvaliteta na celoj teritoriji kartiranja. Potreba za sve većim asortimanom karata, i to ne samo po razmeru i sadržaju nego i po obliku i načinu predstavljanja, obavezuje kartografa da nađe realne kriterijume kartografske generalizacije za svaku

kartu pojedinačno. Uspeh u tome je jedan od kljunih faktora stvaranja dobre i svrsishodne karte (Peterca *el al,*1974).

Digitalna tehnologija, primenom kartografske generalizacije, omogućava prezentaciju realnih i kompleksnih situacija, prikaz sadržaja iz drugih perspektiva, u različitim kontekstima i na više nivoa apstrakcije. Takođe, onaomogućava, dodatne informacije o prostoru i potpuniji pogled na stvarnost.Vrednost digitalne tehnologije u procesu kartografske generalizacije je u njenim izražajnim mogućnostima da se atraktivnije, kroz simboliku kartografskog jezika, posredovane činjenice efikasnije prezentuju korisniku (Jovanović,2017).

Osnovni izvor podataka za potrebe izrade DVSK500 je postojeća DTK250 izrađena u VGI-u. Izbor ovog kartografskog izvora ima određene prednosti u odnosu naostale izvore podataka (rasterske karte, ortofoto snimciidr.).Elementi sadržaja se nalaze u bazi podataka i potrebno ih je samo prilagoditi u odnosu na razmer karte. Kao i kod DTK250 osnovni preduslov izrade DVSK500 je definisanje baze podataka i u okviru nje izrada modela podataka, simbologije i definisanje modela generalizacije sadržaja. Korišćenje DTK250 kao izvora podataka za izradu DVSK500 ima i svoje nedostatke koji se ogledaju u većoj količini podataka (veći memorijski zahvat), povećanoj tačnosti podataka.

Za razliku od atributskih podataka koji su prisutni samo u bazi podataka, simbologija i vizuelno prisutni elementi direktno preuzeti sa razmere 1:250000 mogu do te mere da opterete kartu sitnije razmere da postane praktično neupotrebljiva sa aspekta štamparske forme. Stoga je neophodna generalizacija, odnosno redukcija sadržaja kako bi štamparska forma, kao i vizuelni prikaz na monitoru imali odgovarajuću upotrebnu vrednost. Na slici 1. prikazano je fotografsko umanjenje dela sadržaja DTK250 na razmeru 1:500000 i prikazan je isti sadržaj prilagođen tj. generalizovan za DVSK500.



Slika 1: Deo sadržaja DTK250 (levo) fotografski umanjen za razmeru 1:500 000 (u sredini) i DVSK500 dobijenu kartografskom generalizacijom (desno)

3.1. Izrada modela automatskegeneralizacije

Trend istraživanja u oblasti geoprostornih podataka u svetu, prethodnih godina, je na automatizaciji proizvodnih procesa geotopografskih materijala. Gotovo sve zemlje sa kojima je VGI ostvario kontakt rade na definisanju proizvodnog procesa i načinima generalizacije sadržaja iz podataka jedne razmere u drugu, sa manje ili više uspeha. Do sada, niko u svetu nije uspeo da potpuno automatizuje proces dobijanja lista karte sitnijeg razmera od podataka prikazanih u krupnijem razmeru (Sekulović & Drobnjak, 2012).

Definisanje pravila za generalizaciju predstavlja prvi korak pri sastavljanju sadržaja karte. Cilj generalizacije predstavlja dobijanje DVSK500 direktno iz baze podataka za DTK250 (Stojanović, 2018).

Pravila za generalizaciju koja su korišćenja u klasičnoj kartografiji važe i u ovom slučaju sa tim da kod automatske generalizacije ta pravila moraju biti prevedena u oblik razumljiv korišćenom softveru. Kod definisanja ovih pravila veliku ulogu ima logički model podataka tj. upoređivanje sadržaja elemenata koji se prikazuju na ovim kartama. Izrada modela automatske generalizacije biće objašnjen za svaki elemenat posebno.

- **Hidrografija:** Najpre se vrši redukcija svih povremenih tokova i tačkastih hidrografskih objektata. Tokovi koji su u prirodi širi od 100 m ostaju poligoni zato što je ista granična vrednost za obe razmere. Redukuju se svi ostali poligoni elementi koji nakon umanjenja razmere imaju površinu manju odgranične vrednosti. Prekategorizacija elemenata se vrši promenom šifre i datog elementa i dodelom odgovarajuće simbologije.

- **Reljef:** Vrši se eliminacija svih izohipsi (ne prikazuju se na DVSK500) i delimična redukcija visinskih tačaka, tako što ostaju tačke na planinskim vrhovima i prevojima. Na osnovu digitalnog modela terena se generiše hipsoskala isenke.
- **Vegetacija:** Vrši se potpuna eliminacija ili isključivanje tematskog sloja vegetacije (ne prikazuje se na DVSK500).
- **Objekti:**Vrši se selekcija objekata koji će se prikazivati na DVSK500 (važniji turistički, kulturni, privredni, verski objekti i dr.). Ovim objektima dodeljuje se simbologija koja u značajnoj meri naglašava ovaj elemenat. Ostali objekti se redukuju kako ne bi opterećivali sadržaj buduće karte.
- **Komunikacije:** Ovaj elemenat je najznačajniji nabudućoj karti i redukuje se selektivno. U naseljenim mestima, zbog opterećenosti sadržajem, ostaju samo značajnije saobraćajnice, dok će se u ruralnim predelima prikazivati kolski putevi. Simbologija za sve objekte komunikacija je naglašena zbog značaja i preglednosti. Na DVSK500 se daju razdaljine naputevima, međunarodne oznake i nagibi puteva koji se automatski generišu izbaze.
- **Granice:** Na DVSK500 se ne prikazuje granica okruga, te se vrši redukcija samo te šifre i pojednostavljenje oblika graničnih linija.
- **Geografski nazivi:** Redukcija ovog elementa se vrši prema značaju i podjedanko je zastupljena kod naziva za sve geografske elemente sadržaja uz koje se daju nazivi. Automatizacija generalizacije ovog elementa je najmanje zastupljena.

3.2. Dorada automatski generalisanog sadržaja

Automatskom generalizacijom nije moguće u potpunosti rešiti sve elemente sadržaja pri prelasku sa DTK250 na DVSK500, odnosno nailazi se na problem neisplativosti pravljenja modela i skripti. Neki od takvih modela bi bili isuviše komplikovani, a skoro da je nemoguće unapred predvideti sve varijante međusobnih odnosa elemenata koji se prikazuju, ako je potrebno generalizovati. Na osnovu navedenog, potrebno je naći kompromis tj. napraviti jasnu granicu između elemenata koji se automatski ili ručno generalizuju (Stojanović, 2018).

Elementi prilikom čije generalizacije je neophodno uzeti u obzir više kriterijuma uglavnom zahtevaju ručnu proveru i doradu. Najbolji primer za to su geografski nazivi. Mogu se automatski eliminisati nazivi koje ne podržava razmera i namena buduće karte. Takođe, moguća je selekcija prema značaju, ali prilikom zastupljenosti naziva istog značaja u određenom području se mora uzeti u obzir pravac prostiranja. Automatskom generalizacijom bi neki od ovih naziva bili eliminisani, iako je možda potrebno samo izmeštanje. Nakon izvršene automatske generalizacije neopho je izvršiti proveru generalisanog saržaja i međusobno usklađivanje elemenata.

4. ZAKLJUČAK

Planiranje saobraćaja i transporta ljudi i sredstava ne može se zamisliti bez ažurnih saobraćajnih karata, odnosno baza podataka o putnoj mreži i pratećoj infrastrukturi. U savremenom društvu, sa naglim razvojem informacionih i komunikacionih tehnologija i primenom geografskih-informacionih sistema (GIS), izrada raznih tematskih karata sa ekonomskom tematikom je mnogo lakša i brža.

Primenom savremene informaciono-komunikacione tehnologije i multimedija omogućila je dobijanje i distribuciju raznovrsnih kvalitetnih geoprostornih informacija u realnom vremenu, što u velikoj meri omogućava brže analize ekonomskih pojava i procesa (Jovanović,2014). Na osnovu stečenih iskustava u radu i analize dobijenih rezultata, mogu se izneti značajna zapažanja: ubrazana izrada karte, smanjena mogućnost ljudske greške u generisanju podataka i njihovom grafičkom prikazivanju, smanjena cena izrade, poboljšanje kvaliteta karata, smanjena mogućnost proizvoljnosti i nedoslednosti u radu, lakše i brže prilagođavanje zahtevima korisnika i sl. Akcenat se stavlja na unifikaciji softvera i standardizaciji hardvera, radi postizanja boljih performansi proizvodnog procesa. Među najznačajnijim prednostima ističe se to da je primenom novih tehnoloških rešenja u procesu izrade DVSK500, omogućeno i njeno publikovanje, klasične štampane forme i baze podataka, kao WEB servisa, koji omogućava ON-LINE primenu karte i njenoažuriranje.

Ovim radom definisane su standardi, procedure i potreban nivo dorade za razvoj baze geoprostornih podataka i publikaciju DVSK500 dobijene od postojeće DTK250. Baza podataka DVSK500 je projektovana kao otvoren sistem, tako da mogućnosti njenog proširenja ili redukcije nisu ograničene. Dodavanje novih tematskih slojeva, tabela i atributa u tabelama, generisanje novih iz već postojećih ili pak oduzimanje nepotrebnih, jesu stvar potreba i zahteva budućih korisnika.

LITERATURA

[1] Drobnjak, S. (2016). Ocena kvaliteta digitalnih topografskih karata. Doktorska disertacija. Beograd: Građevinski fakultet.

[2] Drobnjak, S., Sekulović, D., Amović, M., Gigović, Lj. & Regodić, M. (2016). Central geospatial database analysis of the quality of road infrastructure data, *Geodetski vestnik*, ISSN 0351-0271, EISSN 1581-1328, DOI:10.15292/geodetski-vestnik.2016.02.270-285, Volume 2, pg. 270-285, Ljubljana, Slovenia.

[3] Živković,D.(2007). Grafikacija-komunikacioni kanal kartografije. Zbornik radova Prvikongressrpskih geografa“, knj. 3, Beograd, str.1081-1087.

[4] Jovanović, M. J. (2014). Multimedijalna tehnologija u kartografiji. U: Zbornik radova sa naučnog skupa sa međunarodnim učešćem povodom 120 godina Geografskog fakulteta„Geografsko obrazovanje, nauka i praksa: razvoj, stanje i perspektive“, str. 541-546, Beograd: Geografski fakultet.

[5] Jovanović, M. J. (2017). Kartografija i internet. U: *Zbornik radova, str. 289-295*. Banja Luka: Prirodno-matematički fakultet.

[6] Peterca, M., Radošević, N., Milisavljević, S. & Racetin, F. (1974). Kartografija. Beograd: Vojnogeografski institut.

[7] Sekulović, D. & Drobnjak, S. (2012). Analiza automatske kartografske generalizacije u digitalnom kartiranju, Glasnik – HERALD Geografsko društvo Republike Srpske, Banja Luka, Republika Srpska , Vol. 16, str. 91-101, ISSN 2232-8610 (printed), ISSN 2232-8629 (on line), UDC 912:004.065, DOI 10.7251/HRLD1316091S.

[8] Sekulović, D., Drobnjak, S. (2013). Sastavljanje i reprodukcija karata. Banja Luka: Arhitektonsko-građevinski fakultet.

[9] Stanković, S. (2017). Produkcija digitalne vojne saobraćajne karte 1:500 000. Master rad. Beograd: Geografski fakultet.

[10] Stojanović, M. (2018). Kartografska generalizacija pri izradi digitalnih topografskih karata. Master rad. Beograd: Geografski fakultet.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

KARTIRANJE LOKACIJA OSETLJIVIH NA KLIZIŠTA PRIMENOM METODA MAŠINSKOG UČENJA

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING USING MACHINE LEARNING METHODS

SINIŠA DROBNJAK[1], LJUBOMIR GIGOVIĆ[2], SAŠA BAKRAČ[1]

[1] Vojnogeografski institut, Beograd, sinisa.drobnjak@vs.rs, sasa.bakrac@vs.rs
[2] Vojna akademija, Beograd, ljgigovic@gmail.com

Rezime: *Osnovni cilj rada je da korišćenjem GIS tehnologije, preklapanjem različitih prostornih podataka, odrede potencijalno ugrožene oblasti u kojima se mogu pojaviti klizišta. Kod razvoja GIS modela određivanja oblasti osetljivih na pojavu klizišta korišćeni su sledeći prostorni podaci: nagib zamljišta, ekspozicija reljefa, geološka građa terena, indeks vlažnosti tla i srednja godišnja količina padavina, kao prirodni činioci koji utiču na pojavu klizišta, kao što su korištenje zemljišta (landuse) i udaljenost od komunikacija, koji predstavljaju antropogene činioce koji utiču na pojavu klizišta na nekom području. U radu su korišćene dve metode mašinskog učenja za analizu osetljivosti područja na pojavu klizišta: metoda potpornih vektora i metoda statičke neuronske RBF mreže. Analizom dobijenih rezultata potvrđeno je da obe metode mašinskog učenja daju veoma tačne rezultate.*

Ključne reči: *Klizišta, Kartiranje osetljivosi, Metoda potpornih vektora, Metoda statičke neuronske RBF mreže.*

Abstract: *The article's main objective is to use GIS technology to identify potentially susceptible areas where landslides may occur by overlapping different spatial data. The following spatial data were used in the development of the GIS model of landslide susceptible areas: the slope, the aspect, the geological structure of the terrain, the topographical wethness index and the mean annual precipitation, as natural factors affecting the occurrence of landslides, such as land use, and the distance from roads, which are anthropogenic factors that affect landslides in certain areas. Two machine learning methods have been used to analyze the area's susceptibility to landslide appearance: support vector machine method and static neural RBF network method. The analysis of the results obtained confirmed that both machine learning methods yield very precise results.*

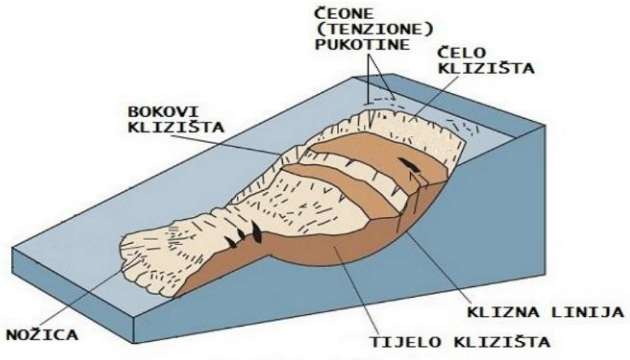
Keywords: *Landslides, Susceptibility mapping, Support vector machine method, Statistical neural RBF network method.*

1. UVOD

Klizišta su savremene egzogene pojave koje utiču na geomorfološko oblikovanje površine terena, manje u meri na površinu koju zahvataju, a više po posledicama koje nastaju (Yao *et al*, 2008).

Klizišta nastaju kao uzrok nestabilnosti velikih masa na nagnutim terenima. Proces klizanja predstavlja jedan od najznačajnijih geoloških procesa jer se javlja u toku morfogeološkog oblikovanja prirodnih padina u litološkim heterogenim sredinama sa složenim mehanizmom gravitacionog premeštanja stenskih masa. Uzroci nastanka klizišta su različiti, osnovna podela je na ljudski faktor i prirodni faktor (Yao *et al*, 2008). Prirodni uzroci dele se na geološke i morfološke. Geološki uzroci vezuju se za mineralni sastav stena, smer pružanja i nagib plitkih slojeva tla, kao i njihove geotehničke osobine. Morfološki uzroci odnose se na promenu reljefa koja je nastala delovanjem endogenih i egzogenih sila. Ljudski faktor, takođe, ima veliku ulogu prilikom nastanka klizišta. Klizišta su uvek posledica nestabilnosti unutar tla jer ona, u suštini, predstavljaju napor tla da se vrati u stanje ravnoteže. Pojavi klizišta obično prethode velike kiše ili nagla otapanja snega (Pham *et al*, 2016).

Klizište se, po pravilu, sastoji od sledećih elemenata: čelo, nožice, klizna površ, bokovi, telo, širina, površina, zapremina, podloga, klizne pukotine, gravitaciona osnova klizanja i dubina klizanja. U zavisnosti od vrste klizišta, vrste terena na kojem se klizanje javlja određeni delovi mogu biti nepotpuno izraženi ili delom nevidljivi. Na slici 1 prikazan je izgled osnovnh elemanata klizišta (Lee *et al*, 2017).

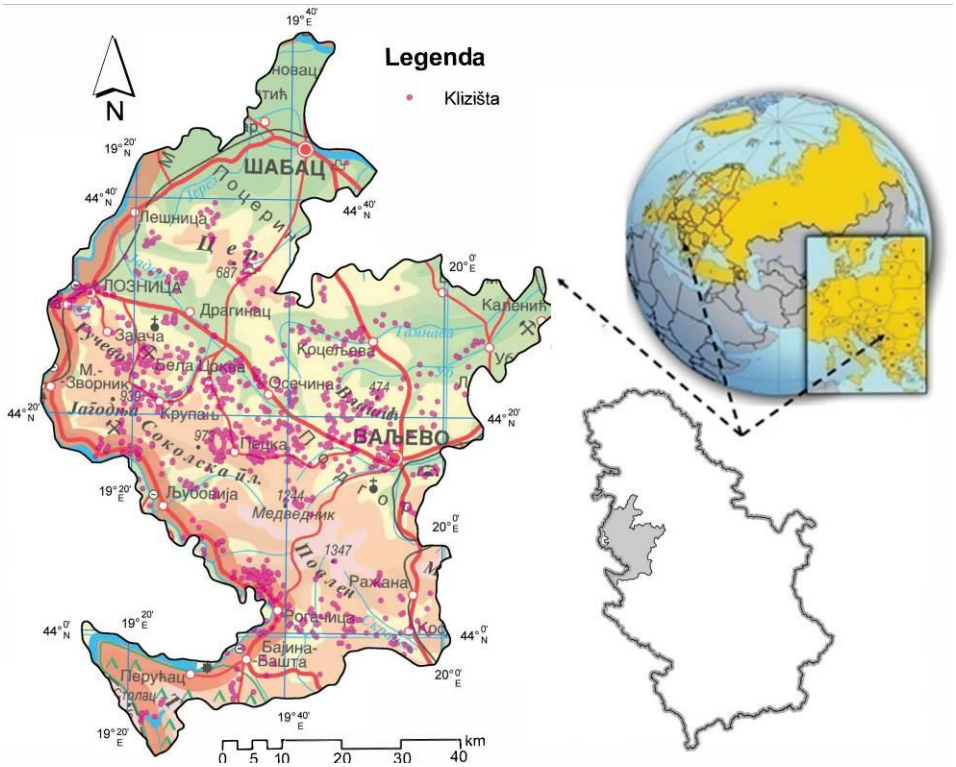


Slika 1: Osnovni elementi klizišta

Prema stanju aktivnosti procesa klizanja klizišta se mogu podeliti na aktivna i pasivna. Aktivna klizišta prikazuju vidljive tragove kretanja zemljanih masa i razlikujemo nagla, brza i spora klizanja. Pasivna klizišta ne pokazuju nikakvu uočljivu aktivnost i dele se na umerena i fosilna. Način otkrivanja i prepoznavanja klizišta, danas je u žiži naučnih zanimanja geotehničke i geofizičke nauke (Pourghasemi *et al*, 2013). Upotrebom raznih tehnoloških dostignuća moguće je potencijalno prepoznavanje opasnosti klizišta. Na osnovu merenja korišćenjem odgovarajućih GIS aplikacija moguć je prikaz područja i izrada karata sa procenom verovatnoće pojave (Gigović *et al*, 2019).

2. TEST PODRUČJE I KORIŠĆENI PODACI

Test područje na kojem je analizirana osetljivost na pojavu klizišta pokriva površinu oko 5067 km^2, između 43°46′26” i 44°56′10” severne geografske širine, i od 19°06′46” do 20°14′56” istočne geografske dužine, i nalazi se u zapadnom delu Republike Srbije (Slika 2). Test područje obuhvata Mačvanski i Kolubarski region i deo Nacionalnog parka Tara. Nadmorske visine u delu test područja kreću se od 180 do 1586 metara.



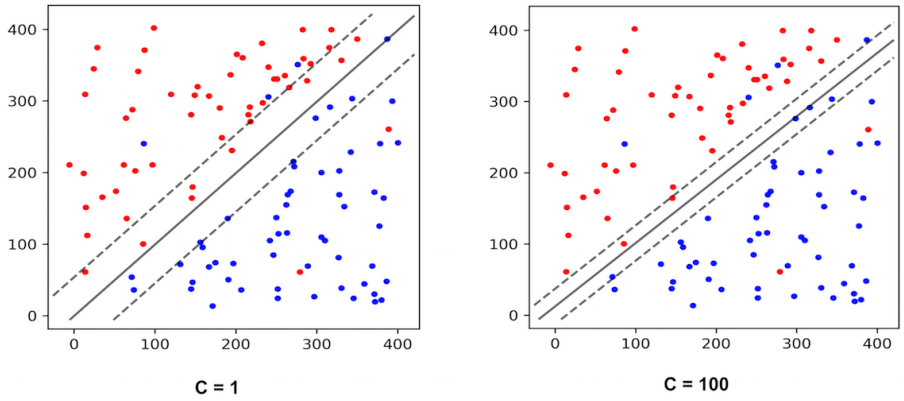
Slika 2: Prikaz test područja

Kod razvoja GIS modela određivanja oblasti osetljivih na pojavu klizišta korišćeni su sledeći prostorni podaci: nagib zamljišta, ekspozicija reljefa, geološka građa terena, indeks vlažnosti tla i srednja godišnja količina padavina, kao prirodni činioci koji utiču na pojavu klizišta, kao što su korištenje zemljišta (landuse) i udaljenost od komunikacija, koji predstavljaju antropogene činioce koji utiču na pojavu klizišta na nekom području (Gigović *et al*, 2019).

3. METODA POTPORNIH VEKTORA

Metoda potpornih vektora (eng. Support Vector Machine - SVM) je binarni klasifikator koji konstrukcijom hiper-ravni u visoko-dimenzionalnom prostoru stvara model koji predviđa kojoj od dve klase pripada nova instanca. Ova metoda je razvijena od strane Vapnik-a i saradnika 1995. godine i uživa veliku popularnost zbog veoma dobrih rezultata koji se dobijaju (Vapnik, 1995).

U mašinskom učenju, metoda potpornih vektora je popularna zbog svojih dobrih performansi. Kao nadzirana metoda koja analizira podatke i prepoznaje obrasce, ona je strogo utemeljena na statističkim teorijama učenja i istovremeno smanjuje trening i test greške (Marjanović *et al*, 2011). Osnovna ideja ove metode je da se u vektorskom prostoru u kome su podaci predstavljeni, nađe razdvajajuća hiper-ravan tako da su svi podaci iz date klase sa iste strane ravni (Pourghasemi *et al*, 2013), što je prikazano na slici 3.

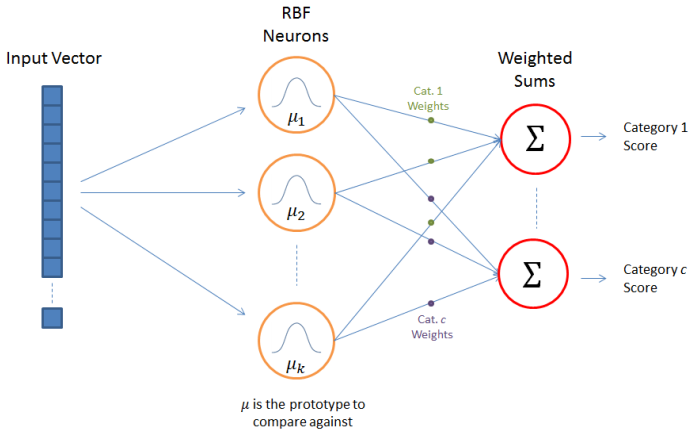


Slika 3: Izbor optimalne hiper-ravni za paramentar C

4. METODA RBF NEURONSKE MREŽE

RBF (eng. Radial Basis Function) neuronske mreže su dvoslojne statičke neuronske mreže, gde nulti (ulazni) sloj prosleđuje ulaze u mrežu na ulaz prvog sloja sačinjenog od neurona sa aktivacijskim funkcijama sa kružnom osnovicom i predstavlja njeno tzv. receptivno polje (Novaković, 2013).

Drugi sloj je sloj mreže, koji je ujedno i njen izlazni sloj, i sastoji se od perceptrona sa linearnom aktivacijskom funkcijom jediničnog aktivacijskog pojačanja.



Slika 4: Metoda RBF neuronske mreže

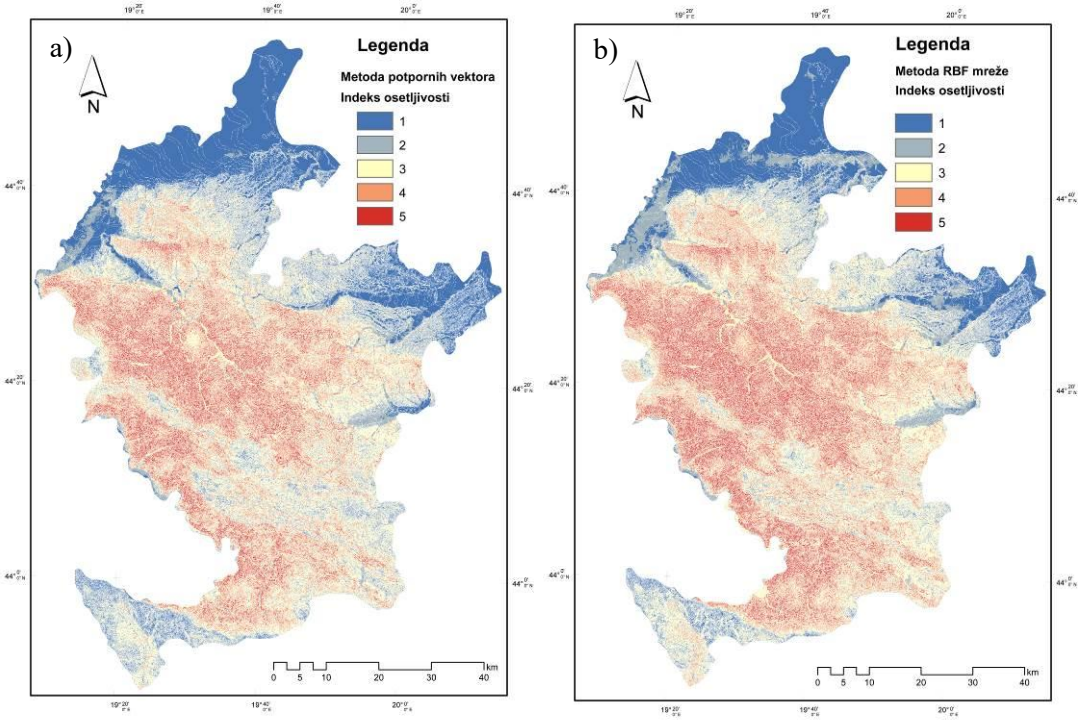
RBF mreža ima sposobnost aproksimacije proizvoljne kontinuirane nelinearne funkcije, i njena aproksimaciona sposobnost određena je položajem središta RBF neurona, varijacijom aktivacijskih funkcija, kao i iznosima težinskih koeficijenata izlaznog sloja mreže. Algoritmima učenja se izračunavaju odgovarajuće vrednosti ovih parametara RBF mreže. RBF neuronske mreže se posebno koriste u slučaju aproksimacija jednostavnih i vremenski malo promenljivih nelinearnosti kada je moguće unapred na odgovarajući način rasporediti središta i odrediti iznose varijanse RBF neurona, a učenje mreže se može svesti samo na podešavanja težinskih koeficijenata izlaznog sloja. Ponašanje RBF neuronskih meža, u ovom slučaju, postaje linearno zavisno o parametrima (Novaković, 2013).

Svojstva RBF mreže značajno određuje raspored središta RBF neurona. RBF funkcije se tradicionalno koriste za interpolaciju nelinearnih više varijabilnih funkcija, pri čemu je broj središta jednak broju podataka, tako da se u svaki ulazni podatak postavlja po jedno središte. Aproksimaciju proizvoljne nelinearne kontinuirane funkcije moguće je postići i sa manjim brojem dobro raspoređenih središta (Novaković, 2013).

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Predviđanja dobijena kroz modeliranje i simulaciju danas se smatraju važnim delom istraživanja prirodnih resursa, jer potvrđuju da je donošenje odluka od strane planera i inženjera dobro i pravilno. Iz tog razloga, ovaj proces je neophodan da bude što precizniji.

Koristeći alat za reklasifikaciju u softveru ArcGis 10.4, svaka ćelija konačne karte se klasifikuje u pet kategorija i dobija novu vrednost od jedan do pet, i predstavlja indeks osetljivosti na klizišta (Gigović *et al*, 2019). Rezultati ocene osetljivosti područja na klizišta koristeći metodu potpornih vektora i metode RBF neuronske mreže dati su na kartama prikazanim na slici 5. rednost 1 je područje s najmanjom verovatnoćom pojave klizišta, dok vrednost 5 predstavlja područja s najvećom verovatnoćom pojave klizišta.



Slika 5: Rezulteti istraživanja: a) Metoda potpornih vektora; b) Metoda RBF neuronske mreže

6. ZAKLJUČAK

Metode mašinskog učenja su veoma koristan alat za kartiranje područja koja su osetljiva na pojavu klizišta na regionalnom nivou. Istraživanje je urađeno na test primeru zapadnog dela Srbije.

Karte osetljivosti na klizišta mogu da pomognu u sprovođenju postupaka za planiranje masovne evakuacije stanovnika u slučaju klizišta, kao i da spreče ili smanje štetne uticaje prirodne katastrofe klizišta na celokupnu zajednicu. Očekuje se da će se kartiranje područja osetljivih na klizišta lako primeniti na druga područja, čime će se dobiti sveobuhvatan i koristan model analize. Posebno kada se razmatra praktičnija upotreba upravljanja klizištima, mora se izvršiti analiza opasnosti od klizišta i analiza rizika (Zare *et al*, 2013).

Kao krajnji zaključak, rezultati ovog članka mogu biti korisno za donošenje odluka i planiranje korišćenja zemljišta u područjima sklonim klizištima.

LITERATURA

[1] Gigović, L., Pourghasemi, H. R., Drobnjak, S., & Bai, S. (2019). Testing a New Ensemble Model Based on SVM and Random Forest in Forest Fire Susceptibility Assessment and Its Mapping in Serbia's Tara National Park. Forests, 10(5), 408.

[2] Gigović, L., Drobnjak, S., & Pamučar, D. (2019). The Application of the Hybrid GIS Spatial Multi-Criteria Decision Analysis Best–Worst Methodology for Landslide Susceptibility Mapping. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(2), 79.

[3] Lee, S., Hong, S. M. & Jung, H. S. (2017). A Support Vector Machine for Landslide Susceptibility Mapping in Gangwon Province, Korea. Sustainability, 9(1), 48.

[4] Marjanović, M., Kovačević, M., Bajat, B., & oženílek, . (2011). Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm. Engineering Geology, 123(3), 225-234.

[5] Novaković, J. (2013). Rešavanje klasifikacionih problema mašinskog učenja.

[6] Pham, B. T., Pradhan, B., Bui, D. T., Prakash, I., & Dholakia, M. B. (2016). A comparative study of different machine learning methods for landslide susceptibility assessment: a case study of Uttarakhand area (India). Environmental Modelling & Software, 84, 240-250.Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., & Lupton, R.A. (2010). The art of writing a scientific article. Journal of Scientific Communications, 163, 51–59.

[7] Pourghasemi, H. R., Jirandeh, A. G., Pradhan, B., Xu, C., & Gokceoglu, C. (2013). Landslide susceptibility mapping using support vector machine and GIS at the Golestan Province, Iran. Journal of Earth System Science, 122(2), 349-369.

[8] Vapnik, V. N. The nature of statistical learning theory [M]; Springer: New York; 1995.

[9] Yao, X., Tham, L. G., & Dai, F. C. (2008). Landslide susceptibility mapping based on support vector machine: a case study on natural slopes of Hong Kong, China. Geomorphology, 101(4), 572-582.

[10] Zare, M., Pourghasemi, H. R., Vafakhah, M., & Pradhan, B. (2013). Landslide susceptibility mapping at Vaz Watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multilayer perceptron (MLP) and radial basic function (RBF) algorithms. Arabian Journal of Geosciences, 6(8), 2873-2888.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ГЕОДЕТСКЕ ПОДЛОГЕ У ПРОСТОРНОМ ПЛАНИРАЊУ

GEODETIC PLANS IN AREA PLANNING

[1]СЛАВИША ТАТОМИРОВИЋ, ДРАГАНА СКОРУП[2], СЛАВКО ВАСИЉЕВИЋ[3]

[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, Србија, slavisa.tatomirovic@sbb.rs
[2] Angermeier, d.o.o., Сарајево, Босна и Херцеговина, draganaskorup@gmail.com
[3] Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Универзитет у Бањој Луци, Република Српска, slavko.vasiljevic@aggf.unibl.org

Резиме: *Геодетске подлоге представљају основ за пројектовање и просторно уређење. У раду ће бити приказани проблеми који се појављују приликом коришћења актуелних геодетских подлога у Републици Српској, са практичним примјером у граду Зворнику.*

Кључне речи: *Просторно планирање, геодетске подлоге, тачност геодетских подлога.*

Abstract: *Geodetic plans are foundation for designing and area planning. In this paper we will show problems which can appear when using active geodetic plans for Republic of Serbs, with practical example in the city of Zvornik.*

Keywords: *Area planning, geodetic plans, accuracy of the geodetic plans.*

1. УВОД

Паметна будућност и паметни градови представљају достигнућа којима човјек двадесетпрвог вијека тежи. Да би развој градова у Србији и Републици Српској пратио свјетске трендове потребно је да се изврши планско уређење простора. Планско управљање и уређење простора осигурава се спровођењем планске документације засноване на приступу одрживог развоја и планирања [4] и [5]. Улога катастра огледа се у припреми геодетских подлога и неохподних података за израду просторно-планске документације и реализацију архитектонских и грађевинских пројеката.

У Србији, као и у Републици Српској геодетске подлоге које се користе за израду просторно-планске документације недовољно су тачне и ажурне. У раду су приказани недостаци који се појављују на геодетским подлогама, а који отежавају процесе планирања и напретка у смислу израде урбанистичких, регулационих и осталих стратешких и спроведбених докумената просторног уређења.

2. ПРОСТОРНО ПЛАНИРАЊЕ

Простор је скуп природних и изграђених структура на површини, изнад или испод земље и воде, докле допиру непосредни утицаји људске дјелатности. Планирани размјештај дјелатности и објеката у простору представља просторно планирање [9].

Појам просторно планирање представља научну област и вјештину која обухвата концепт одрживог развоја средине, односно, њену природу, друштво и привреду [3]. Поступак предвиђања будућности у сврху чињења живота квалитетнијим и једноставнијим назива се просторно планирање. Како би се усмјерио начин развоја насеља и реализовале потребе људи, а самим тим избјегли проблеми и несагласности између простора и објеката на њему важно је постојање просторно-планске документације.

Развој просторног планирања везује се за почетак 20. вијека, а његов интензивни развој започео је након Другог свјетског рата. Најприје је вршено планирање на нивоима градова а касније и ширих територија, региона и националних територија. Главни разлози за то су то што је развој градова зависио од ширег подручја, а и све више људи и дјелатности било је смјештено у подручјима ван града. Градови су јако брзо расли, обухватајући урбанизацијом околна села и претварајући их у конурбације и индрустријска насеља [8].

Први закон који је одредио да градови морају имати планове свог развоја донијет је у Шведској, 1874. године. Развој европских стратегија просторног планирања и развоја одвијао се у складу са активностима Савјета Европе и Европске Уније. Један од најзначајних догађаја за просторни развој

јесте Европска конференција министара надлежних за просторно планирање (CEMAT), одржана 1970. године у Бону. Од стране наведене организације усвојен је документ Европска повеља о регионалном/просторном планирању, 1983. године.

Европска унија је политике просторног развоја и планирања почела да развија тек деведесетих година. Европске стратегије и политике просторног развоја се не спроводе директно, већ посредством бројних мјера и инструмената у оквиру програма Европске територијалне сарадње. Неки од најважнијих и новијих европских докумената просторног планирања су:

- Територијална агенда Европске уније до 2020. године и стање перспективе простора Европске уније – текст ажуриран 2011. године,
- Водећи принципи за одрживи просторни развој Европског континента,
- Перспектива просторног развоја Европске уније,
- Европа 2020. – Стратегија паметног, одрживог и инклузивног раста,
- Стратегија одрживог развоја Европске уније и
- Конвенција о предјелу.

У Републици Србији област просторног планирања уређена је Законом о планирању и изградњи („Службени гласник Р. Србије“ бр. 72/09, 81/09 са исправкама 64/10, 24/11, 121/12, 42/13, 50/13, 98/13, 123/14, 145/14, 83/18 и 31/19). Просторни план Републике Србије дефинисан је Законом о просторном плану Р. Србије („Службени гласник Р. Србије“ бр. 88/10).

3. ПРОСТОРНО ПЛАНИРАЊЕ НА ПРОСТОРУ РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ

Планирање и уређење простора у Босни и Херцеговини је дефинисано на ентитеским нивоима Федерације и Републике Српске. У Федерацији Босне и Херцеговини планирање и уређење простора дефинисано је Законом о просторном уређењу и кориштењу земљишта ФБиХ („Службени гласник ФБиХ“ бр. 2/06), а у Републици Српској Законом о уређењу простора и грађењу („Службени гласник Републике Српске“ бр. 55/10).

У складу са принципима Европске Уније, законска регулатива Босне и Херцеговине пружа могућност даљег напредовања и развоја у том погледу али се јавља недостатак финансијских анализа и средстава.

На нивоу општина у Босни и Херцеговини израда просторно-планске документације је на јако лошем нивоу. Према подацима у 50% општина не постоје обновљени урбанистички планови док планови зонирања још увијек нису реализовани. У Републици Српској, у непосредном послијератном периоду, основни проблем првих закона просторног уређења огледао се у њиховој непотпуности као основа за планирање па су регулациони планови били предмет честих измјена. На подручју Републике Српске процес припреме планова је поједностављен и укинута је обавеза усклађености планова са свим нивоима власти. Овакав начин угрозио је могућност стварања усклађене стратегије планирања између ентитета Република Српска и локалних нивоа, што представља први корак у успостављању система усклађеног планирања на подручју државе. Република Српска усвојила је План просторног уређења Републике Српске 2007. године.

У јануару 2012. године Министарско просторног уређења Републике Српске започело је сарадњу са Министарством локалне самоуправе како би се извршила измјена Просторног плана и како би се узеле у обзир потребе општина. Законом о просторном уређењу и грађењу Републике Српске дефинисана су стратешка и спроведбена докумената просторног уређења.

Приликом планирања, пројектовања и грађења нових зграда, као и приликом већих реконструкција постојећих зграда морају се примјењивати дугорочне мјере, као минимални захтјеви који се односе на смањење коришћења енергије и прелажење на коришћење енергије из обновљивих извора чиме се стварају услови за енергетски ефикасно коришћење зграда, смањење лоших утицаја на животну средину и заштиту исте.

Израду докумената просторног уређења, ревизију и нострификацију техничке документације, грађење и надзор над грађењем објеката и вршење енергетског прегледа зграда могу, под условима прописаним законом, обављати физичка и правна лица само ако за то имају одговарајућу лиценцу.

4. ГЕОДЕТСКИ ПЛАНОВИ КАО ПОДЛОГЕ ЗА ПРОСТОРНО ПЛАНИРАЊЕ

Катастарски план садржи податке о катастарским парцелама и објектима на њима [2]. Подаци којима се може располагати са датих планова потпуно задовољава потребе катастра и земљишне књиге, иако се може рећи да је врло сиромашан и хоризонталним и вертикалним садржајем. Међутим, геодетски планови су потребни и многим другим дјелатностима, а са њиховим садржајем њихова примјена

знатно је ограничена и непотпуна. За израду просторних планова и уређења простора као и за било које урбанистичко-архитектонско рјешење неопходне су добре и поуздане геодетске подлоге.

У зависности од подручја на којем се врши планирање и уређење користе се геодетске подлоге, карте или планови, ситнијег или крупније размјера. Подаци о топографији терена и о власничким односима над некретнинама које се на њему налазе су основни подаци и параметри од којих се креће код просторног планирања, пројектовања и изградње различитих грађевинских објеката. За израду просторних планова потребан је велики број података о земљишту и постојећим објектима, као и подаци о носиоцима права. За планирање грађевинских подручја и насеља на подлогама је потребно приказивати различите топографске садржаје у складу са топографским знацима као што су: цркве, школе, болнице, паркинг мјеста, гробља, споменици и слично. Такође, за планирање је потребно познавати конфигурацију самог терена што подразумијева и хоризонталу и вертикалну представу. За разлику од катастарских планова, катастарско-топографски планови имају знатно богатији садржај који испуњава захтјеве просторног планирања. Такође, један од извора података јесу и ортофото скице. Ортофото скице представљају једну или више снимака јединствене размјере са нанесеном правоуглом мрежом, одговарајућим картографским знацима и додатним ваноквирним подацима.[6] Међусобним координисањем између геодетске струке и одјељења просторног планирања омогућава се преглед просторних података из других извора релевантних за просторно планирање и праћење стања у простору, олакшава се добијање информација о могућем начину кориштења простора и убрзава се поступак издавања дозвола за градњу.

Подаци катастра и одјељења за просторо уређење представљају дио једне инфраструктуре, доступне грађанима. Веза геодетских података и података просторног уређења указује на то да се подаци производе и одржавају на једном мјесту и међусобно размјењују за различите потребе, као и то да су доступни заинтересованим странама укључујући широку јавност гдје је то могуће. На захтјев Министарства или јединице локалне самоуправе, орган Републичке управе надлежне за послове премјера и катастра доставља ажурне подлоге, овјерене копије топографског и катастарског плана са подацима о посједу и власништву, дигиталне записе, катастар подземних инсталација као и ортофото снимке. Због мале тачности и лошег стања катастарских планова, приликом уређења одређених простора врши се премјер истог као и израда нових, савремених и дигиталних катастарских планова, узимајући у обзир тачност данашњих метода за мјерење.

За квалитетно планирање и уређење неопходно је поправити стање геодетских подлога што се може постићи континуираним ажурирањем и новим премјером одређених подручја. Допунски премјер омогућава утврђивање фактичког стања на терену и податке који су актуелни у наведеном тренутку. За геодетске стручњаке, на представља проблем прикупити на терену, осим захтјеваних, и одређени дио додатних података који ће употпунити захтјеве одјељења за просторно уређење градова. Познавајући методе премјера и начине прикупљања просторних података може се претпоставити да се уз одређене напоре може прикупити довољан број просторних података за израду катастарско-топографских планова. Као такви, омогућавају лакше кориштење, већу детаљност и поузданост података при изради стратешке и спроведбене просторно-планске документације.

6. ИЗРАДА ГЕОДЕТСКИХ ПОДЛОГА ЗА УРБАНИСТИЧКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ У ГРАДУ ЗВОРНИКУ

У граду Зворнику постоји двадесетшест катастарских општа. У њима су израђени планови у размјерама 1:5000, 1:2500 и 1:1000. У размјери 1:1000 израђен је план уже урбане зоне и градског подручја, за катастарску општину. У размјери 1:2500 израђена је зона ширег урбаног подручја и важне индустријске зоне, док су планови који обухватају сеоска насеља, насеља са малом густином насељености и слабо развијеном индустријом израђени у размјери 1:5000. Од укупно 26 катастарских општина, за 14 аналогни планови су у размјери 1:2500, за 11 у размјери 1:5000 и за катастарску општину Зворник град кориштена је размјера 1:1000.

Геодетске подлоге кориштене за израду Урбанистичког плана града Зворника су катастарски планови размјере 1:1000, израђени за подручје катастарске општине Зворник град. Такође, за наведено подручје у употреби је и дигитални геодетски план настао скенирањем аналогних планова. За катастарску општину Зворник град, као подручје од највишег значаја у погледу развоја градске привреде и економије, израђени су катастарски планови у размјери 1:1000, што омогућава олакшице при изради просторно-планске документације.

На израду просторно-планске документације утичу следећи фактори [10]:

- Тачност државне геодетске основе;

Тачност државне геодетске основе у складу је са тадашњим условима тачности и поузданости, којима је била ограничена при самом пројектовању. Као таква, има велики утицај на израду аналогних планова гдје се и јавља највећи проблем при просторном планирању.

- Тачност снимања детаља првобитног премјера;
  Приликом мјерења углова и дужина у првобитном премјеру настао је велики број грешака, нарочито грубих грешака које су производ људске непажње и недостатка довољно обученог стручног кадра.
- Тачност одржавања премјера;
  Основни проблем је узурпација, тј. незаконско премјештање међа, као и недовољно вођење рачуна о тачном положају граница, посебно у случајевима снимања гдје се оператер ослањао на теренске податке у одржавању премјера умјесто на тачне податке претходно евидентиране у катастру. Такође, поједина мјерења нису опажана са тачака геодетских мрежа, већ са тачака са недовољно прецизно одређеним координатама, што је у великој мјери утицало на неслагање фактичког и катастарског стања.
- Грешке картирања и израде аналогних катастарских планова
  Податке добијене теренским мјерењима потребно је представити на одговарајућим подлогама. Поједини подаци прикупљени теренским мјерењима нису преношени на аналогне планове одговарајућим справама (поларни и ортогонални координатограф), и чак и мање грешке су доводиле до разлика између фактичког и катастарског стања. Такође, при пребацивању картираних података у планове друге размјере дошло је до великих разлика на које је утицало и то што су се тачни теренски подаци морали уклапати и модификовати у недовољно тачне претходно унесене податке на подлогама да би се уклопили у већ прихваћено стварно стање, што је резултирало само проширивањем грешака на веће подручје плана.
- Грешке превођења аналогних у дигиталне планове.
  Дигитализовање аналогних планова изведено је углавном коришћењем графичких података, тј. скенирањем старих аналогних планова, који су већ сами по себи били обухваћени великим бројем грешака. У само ријетким случајевима коришћени су и нумерички подаци из елабората премјера, и то тамо гдје су били дјелимично или у потпуности уништени аналогни планови.

7. ПРИМЈЕР УПОТРЕБЕ ГЕОДЕТСКЕ ПОДЛОГЕ ЗА ИЗРАДУ СПРОВЕДБЕНИХ ДОКУМЕНАТА ПРОСТОРНОГ УРЕЂЕЊА У ГРАДУ ЗВОРНИКУ

Спроведбена документа просторног уређења су регулациони план, зонинг план, урбанистички пројекат и план парцелације.

Регулациони план који се израђује за град Зворник усаглашен је са важећим Урбанистичким планом „Зворник 2020“[1]. На слици број 1 приказан је Регулациони план за ужи дио урбаног подручја града на ком су вршене измјене у сагласности са Урбанистичким планом „Зворник 2020“.

Слика 1: Регулациони план дијела града

Детаљном анализом наведеног плана може се закључити да је његова израда била базирана на свеобухватне развојне могућности града Зворника.

1 Урбанистичким планом „Зворник2020“ просторно се дефинишу и разрађују опредјељења, смјернице и опције из Просторног плана града Зворника. [10] Наведеним планом дефинише се урбано подручје, границе грађевинског, пољопривредно и водног земљишта, а све у складу са анализом природних, економских и социјалних капацитета и ограничења града Зворника.

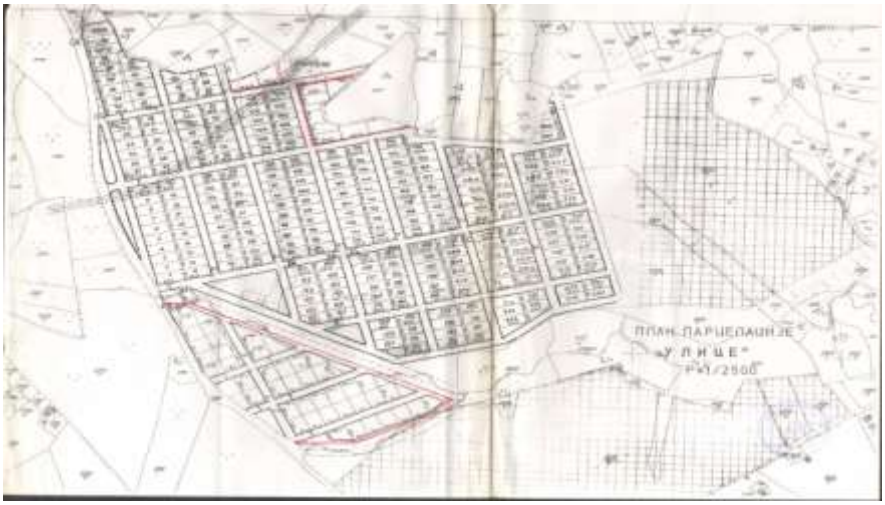
Овај плански документа има квалитетну основу, даје детаљну слику предности и ограничења будућег развоја града, описује имовинске статусе земљишта и проблеме који се јављају у поступку парцелације. Један од највећих проблема који се јављају из важећег регулационог плана јесте план парцелације. Анализирањем коришћених геодетских подлога и плана парцелације у регулационом плану може се уочити да често једну грађевинску парцелу чине дијелови више катастарских парцела, односно, да није вођено рачуна о границама катастарских парцела, што је приказано на слици 2.

Слика 2: Несагласности са планом парцелације

Реализација пројекта парцелације за насеље Улице је, са почетком од 2000. године, била доста отежана са становишта припреме самог пројекта на геодетским подлогама. Подручна јединица Зворник, за ово подручје, посједовала је само аналогне планове у размјери 1:2500. Израда идејних рјешења од стране Одјељења за просторно уређење вршена је на таквим подлогама које су преузете од надлежних служби за катастар.

Те подлоге су углавном подразмијевале ручно нацртане копије катастарских планова или копиране дијелове аналогних планова. Као такви, нису били у потпуности адекватни за израду пројекта парцелације. Међутим, на основу неких усвојених рјешења и претпоставки, извршено је пројектовање овог приградског насеља без нових геодетских снимања ситуације. На основу рјешења Одјељења за просторно уређење и задатих димензија, надлежна служба за геодетске послове извршила је обиљежавање парцела на лицу мјеста.

На слици број 3. приказан је изглед копије катастарског плана са приједлогом плана парцелације за један дио насеља, односно, приказана је геодетска подлога за реализацију пројекта парцелације. Иако су коришћене неадекватне подлоге тада, данас се не јавља много проблема приликом поређења фактичког и катастарског стања. По извршеном обиљежавању извршено је и геодетско снимање свих детаљних тачака, те је исто похрањено, а касније изршен пренос на дигитални план који је у службеној употреби а извршена је и похрана нумеричких података.



Слика 3: Копија аналогног плана са предлогом парцелације насеља Улице

Општи урбанистичко-технички услови за изградњу објеката дефинисани су у сагласности са планом парцелације, нивелације и изградње. Дефинисане су зоне за максималну изградњу објеката унутар парцела, како би се створили карактеристични простори намјењени огранизовању површине под објектом и површине дворишта. Простор је детаљно дефинисан кроз аналитичко-геодетске

елементе и урбанистичке показатеље. На слици број 4 приказан је изглед простора обухваћеног планом парцелације [11].

Слика 4: План парцелације насеља Улице

6. ЗАКЉУЧАК

Добре и поуздане геодетске подлоге представљају основ за квалитетну реализацију архитектонских рјешења. Непостојање таквих подлога угрожава јавне интересе, поспјешује изградњу нелегалних објеката и регресивно утиче на развој привреде. Најчешће се јављају проблеми везани за разлике између фактичког и евидентираног стања како на геодетским плановима, тако и у катастарском операту. Одређени недостаци рјешавају се у поступку усаглашавања катастра земљишта и земљишне књиге, то јесте поступком формирања катастра некретнина. Поступак уређења у Републици Српској одвија се према одређеном плану, међутим због недостатка финансијских средстава, политичке и економске ситуације реализује се споро.

Велики проблем у цијелој Републици Српској јесте и мали број дигитализованих геодетских подлога. Сходно томе у наредном периоду потребно је применом ГИС технологије и савремених метода геодетског премера приступити изради нових геодетских подлога ослонцем на постојећу катастарску документацију. У изради планске документације потребно је комбиновано коришћење ажурних дигиталних катастарских планова и дигиталних ортофото подлога. Тродимензионална визуелизација простора ослоњена на ажурне дигиталне моделе терена, дала би значајан допринос у области просторног планирања и урбанистичког уређења простора.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Закон о одржању премера и катастра земљишта („Службени гласник Републике Српске“ број 19/96 и 15/10).

[2] Закон о премеру и катастру Републике Српске („Службени гласник Републике Српске“ број 36/06, 110/08 и 15/10).

[3] Закон о просторном планирању и кориштењу земљишта на нивоу Федерације Босне и Херцеговине („Службене новине Федерације БиХ“ број 2/06).

[4] Закон о уређењу простора и грађењу („Службени гласник Републике Српске“ број 55/10).

[5] Закон о планирању и изградњи Републике Србије („Сл. Гласник РС, бр. 81/2009 – испр. 64/2010).

[6] Закон о уређењу простора и изградњи ("Сл. гласник РС", број 40/13).

[7] Миладиновић, М.: Геодетски планови, Универзитет у Београду, Грађевински факултет 2005;

[8] Преузето са: http://www.rgurs.org/lat/ (приступ 26.05.2019.).

[9] Преузето са: http://www.sogfbih.ba/uploaded/DOKUMENTI/Urbanizam/PRIRU%C4%8CNIK%20iz%20prostornog%20planiranja.pdf (приступ 26.05.2019.);

[10] Просторни план Републике Српске; http://nasprostor.org/dokumenti-2/prostorni-plan-republike-srpske/ (приступ 27.05.2019).

[11] Урбанистички план „Зворник 2020“.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

KOMBINOVANA PRIMENA GIS-A I VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA U PROGNOZIRANJU ŠUMSKOG POŽARA

COMBINED GIS APPLICATION AND MULTICRITERIA DECISION MAKING IN THE FORECAST OF FOREST FIRE

LJUBOMIR GIGOVIĆ[1], SINIŠA DROBNJAK[2], DARKO LUKIĆ[1]

[1] Vojna akademija, Beograd, gigoviclj@gmail.com
[2] Vojnogeografski institut sdrobnjak82@gmail.com

Rezime: *U radu je izvršen izbor lokacija za instalaciju kamera za praćenje pojave šumskih požara sa ciljem njihovog ranog detektovanja i smanjenja materijalne i ekološke štete koje izazivaju. Predloženi model se zasniva na kombinovanoj primeni Geografskih informacionih sistema (GIS) i višekriterijumskog odlučivanja (MCDM) korišćenjem fazi logike i analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) na studiji oblasti Severnokučajskog šumskog gazdinstva. Postupak je razvijen uz pomoć 8 kriterijuma. U prvoj fazi primenom GIS-Fuzzy AHP izrađena je karta hazarda od požara FHI, dok je u drugoj izvršena selekcija raspoloživih antenskih stubova za postavljanje kamera. Predložena metoda i rezultati ovog rada mogu se koristiti za sistem prognoziranja opasnosti od požara na svim nivoima državne uprave.*

Ključne reči: *GIS, hazard,šumski požari,višekriterijumska analiza.*

Abstract: *In this paper a selection locations for fire monitoring cameras were performed with the aim of their detection and reduction environmental damage they cause. The proposed model is based on the combined application of Geographic Information Systems (GIS) and Multi-criteria Decision Making (MCDM) using fuzzy logic and the Analytical Hierarchical Process (AHP) phase of a study in the forest area Severnokučajska. The process was developed with the help of 8 criteria. In the first phase using GIS-Fuzzy AHP, a map of the FHI fire hazard index was made, while in the second, a selection of available antenna pillars for camera set-up was made. The proposed method and the results of this paper can be used for the system of prediction of fire hazards at all levels of state administration..*

Keywords: *GIS, hazard, forest fire, multicriteria analysis.*

1. UVOD

Šumski požari predstavljaju najdestruktivniji vid devastacije šumskih ekosistema. U vrlo kratkom vremenskom periodu mogu da nestanu velike površine pod šumom sa katastrofalnim posledicama po životnu sredinu (Eskandari *et al*. 2001, Gigovic *et al*. 2018). Pored direkntih šteta usled uništene drvne mase, bivaju narušene i sve ostale funkcije šume pa se ukupna šteta mnogostruko uvećava. Smanjenje površina pod šumom povećava opasnost od bujičnih tokova u brdskim predelima i poplava u nizijama.

Statistički podaci pokazuju da se učestalost požara, kao i ukupna opožarena površina, povećava iz godine u godinu. S obzirom na klimatske scenarije, koji predviđaju rast prosečnih temperatura, smanjenje ukupne količine padavina i njihovu neravnomernu distribuciju tokom godine sa dugim periodima suše tokom leta, može se očekivati dodatno povećanje učestalosti požara i i povećanje opožarenih površina na području Srbije. S obzirom da u Srbiji ne postoji sistem prognoziranja opasnosti od požara, izgradnja jednog ovakvog sistema se nameće kao imperativ.

Rad ima za cilj izradu karata zona hazarda od pojave šumskih požara. Zone hazarda od pojave šumskih požara su lokacije gde je verovatno da će se zapaliti vatra i odakle se lako može proširiti i na druge susedne oblasti. Njihovom identifikacijom ukazuje se na područja povećane verovatnoće od nastanka i razvoja požara, što predstavlja osnovu za planove prognoziranja opasnosti (Chuviecio *et al*. 1989). Time se stvaraju povoljni uslovi za minimiziranje broja požara i za uklanjanje uslova za njihovo nastajanje.

Geografski informacioni sistemi (GIS), u kombinaciji sa drugim oblicima tehnologije, kao što su daljinska detekcija i kompjutersko modeliranje, se sve više koriste u svim aspektima upravljanja rizika od požara. Multikriterijumsko odlučivanje (MCDM) u kombinaciji sa GIS-om je najčešće korišćeni način u procesu kartografskog modeliranja zona hazarda od požara (Adab *et al*. 2011, Gigovic *et al*. 2019). U ovom istraživanju predstavljen je GIS-AHP model izrade karte hazarda šumskih požara sa ciljem identifikacije i klasifikacije osetljivijih zona na pojavu požara za područje Severnokučajskog šumskog gazdinstva. Izrada mape rizika od šumskih hazarda može značajno umanjti rizik od požara i poboljšati preventivne aktivnosti.

2. METOD I PRIMENA

2.1 Primenjena metodologija

Metodološko model u ovom radu zasnovan je na prostornoj GIS-MCDM strukturi [5]. Sa metodološke tačke gledišta, predloženi GIS-AHP MCDM model definisanja kriznih zona za požare obuhvata sledeće korake (Slika 1). Oblast primene navedene metodologije je Severnokučajskog šumsko gazdinstvo koje se nalazi u zapadnom delu Srbije. Smešteno je između 21º02' i 22º11' istočne geografske dužine i 44º05' i 44º50' severne geografske širine. Od ukupne površine od 6.930 km^2, 42% je pod šumama.

Višekriterijumski GIS-AHP model odlučivanja realizuje se kroz tri faze: (1) određivanje težinskih koeficijenata kriterijuma evaluacije za izbor lokacija za postavljanje kamera, (2) izrada mape hazarda od šumskih požara i (3) evaluaciju i odabir RATEL lokacija za postavljanje kamera.

Pravilan izbor kriterijuma od kojih zavisi nastanak šumskih požara predstavlja važnu fazu u prevenciji njihovog nastanka. U istraživanju je učestvovalo šest eksperata sa bogatim iskustvom u oblasti upravljanja rizicima i životne sredine. Tokom intervijuisanja eksperata prikupljeni podaci su obrađeni i izvršena je agregacija njihovih mišljenja. Postupak je razvijen uz pomoć sledećih kriterijuma evaluacije (Gigovic *et al.* 2018): korišćenje zemljišta (C1); ekspozicija reljefa (C2); nagib reljefa (C3); nadmorska visina (C4); temperatura vazduha (C5); padavine (C6); distanca od komunikacija (C7); distanca od naseljenih mesta (C8).

2.2 Prikupljanje podataka i unos u GIS

Prikupljanje podataka: Digital Elevation Model (DEM EU) 25x25m, CORINE CLC2018 i metapodaci pokrivenosti šumom korišćeni su High Resolution Layer: Tree Cover Density (TCD) 2015 rezolucije 20x20 metara, izvora European Environment Agency - copernicus@eea.europa.eu. Pristup podacima zasnovan je na principu punog, otvorenog i slobodnog pristupa koji je utvrđen Uredbom (EU) br. 1159/2013 o Kopernikusu i informacijama od 12. jula 2013. godine.

GIS baza RATEL (Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge).

Setovi metpodataka o komunikacijama, naseljima, telekomunikacionim i električnim mrežama preuzeti su iz vektorske baze Digitalne pregledne TK (DTKP 300), izdanja Vojnogeografskog instituta (VGI)

Postupak modelovanja metapodataka u GIS i generisanje mapa kriterijuma urađen je u okviru ArcGIS Desktop 10.6 softverskog paketa firme ESRI. Karte prostorne distribucije temperature i padavina dobijene su korišćenjem Kriging interpolacione metode na osnovu georeferencirane mreže od 5 meteoroloških stanica sa unetim klimatskim vrednostima za referentni period od 35 godina. Za generisanje mapa distanca korišćen je Buffer Analysis Tools na osnovu vektorskog sadržaja naselja i komunikacija preuzetih iz DTKP 300. U generisanju Topografskih elemenata korišćen je Digitalni Model Terena (DMT 25x25m), visinske tačnosti od 2-5 metara. Iz ovog rasterskog sloja koji sadrži podatke o nadmorskoj visini svakog piksela, primenom odgovarajućih GIS alata (Slope, Aspect i Focal Statistics), kreirani su rasteri nagiba, ekspozicije i vertikalne raščlanjenosti reljefa.

2.3 GIS-MCDM

S obzirom da su podaci prikupljeni na različite načine i različitog su formata, sledeći korak jeste da svi skupovi podataka budu standardizovani i u jedinicama koje se mogu uporediti. Skupovi podataka su standardizovani primenom fuzzy koncepta na kontinuiranoj skali u zavisnosti od izabrane funkcije pripadnosti. Operativna podloga je raster rezolucije 25x25m. Za vrednovanje podobnost atributa korišćena je kontiunirana skala u opsegu od 0 do 1, gde je 0 isključiva, a 1 najverovatnija vrednost atributa u odnosu na verovatnoću nastanka požara.

Korišćene su metode diskretne i kontiuinirane fuzzy standardizacije. Diskretna standardizacija, u kojoj eksperti neposredno dodeljuju vrednosti atributa na definisanoj skali pripadnosti, je korišćena za fuzzy standardizaciju kategoričnog kriterijuma – land use. U standardizaciji ostalih skupova podataka, kod kojih se

vrednosti atributa postepeno menjaju sa jedne lokacije na drugu, primenjena je kontinuirana standardizacija. Za standardizaciju korišćen je algoritam Fuzzy Membership Spatial Analyst Tools u odnosu na izabranu funkciju članstva za svaki kriterijum prema Tabeli 1.

Tabela 1. Fuzzy standardizacija kriterijuma

Kriterijum	Oblik fuzzy funkcije članstva	Kontrolne tačke	Opis fuzzy članstva
C1	Diskretna	(511,512,331) jednako 0, (112,121,131,332) jednako 0.2, (211,242,243) jednako 0.4, (231,321) jednako 0.6, (311,324) jednako 0.8 i (312,313) jednako 1	
C2	Gausova	a= 22,5º c= 202,5º b= 157,5º d= 337,5º	Sever (337,5-22,5º) jednako 0, 22,5-157,5º između 0-1, jug (157,5-202,5º) jednako 1, 202,5-337,5º između 1-0
C3	Linearna rastuća	a= 2 % b= 35 %	0-2% jednako 0, 2- 35% između 0-1, preko 35% jednako to 1
C4	Linearna opadajuća	c= 50m d= 1000m	0-50 m jednako 1, 50- 1000m između 1-0, preko 1000m jednako 0
C5	Linearna rastuća	a= 9 Cº b= 13 Cº	ispod 9 Cº jednako 0, 9-13 Cº između 0-1, preko 13 Cº jednako 1
C6	Linearna opadajuća	c= 500m d= 1000m	0-500 m jednako 1, 500- 1000m između 1-0, preko 1000m jednako 0
C7	Linearna opadajuća	c= 200m d= 2000m	0-200 m jednako 1, 200- 2000m između 1-0, preko 2000m jednako 0
C8	Linearna opadajuća	c= 300m d= 5000m	0-300 m jednako 1, 100- 5000m između 1-0, preko 5000m jednako 0

* Treći nivo CORINE nomenklature [8]
a = članstvo raste iznad 0; b = članstvo postaje 1; c = članstvo padne ispod 1; d = članstvo postaje 0

3.4 Određivanje težine kriterijuma (AHP)

Za izračunavanje normalizovanih težina kriterijuma iskorišćena je višekriterijumska tehnika u vidu AHP (Saaty, 1980). Metodološki posmatrano, AHP je višekriterijumska tehnika koja se zasniva na međusobnom poređenju elemenata na datom hijerarhijskom nivou u odnosu na elemente na višem nivou. Na vrhu je cilj, ispod su kriterijumi (podkriterijumi) i na dnu su alternative. AHP zahteva da se prvo međusobno porede kriterijumi i izračunaju njihove relativne težine u odnosu na cilj. Alternative se zatim porede u parovima u odnosu na svaki kriterijum i analognim postupkom određuju se njihove relativne težine u odnosu na kriterijume.

Posmatrajući definisani cilj za svaki par kriterijuma su unešene vrednosti značaja jednog u odnosu na drugi. Na taj način polja po dijagonali matrice iznose 1. Nakon unošenja vrednosti iz Satijeve skale (Saaty, 1980) u matricu poređenja, izračunavaju se težinske vrednosti kriterijuma (w_i). Matrica poređenja na nivou klastera prikazana je u Tabeli 2.

Tabela 2. Matrica poređenja i težine kriterijuma

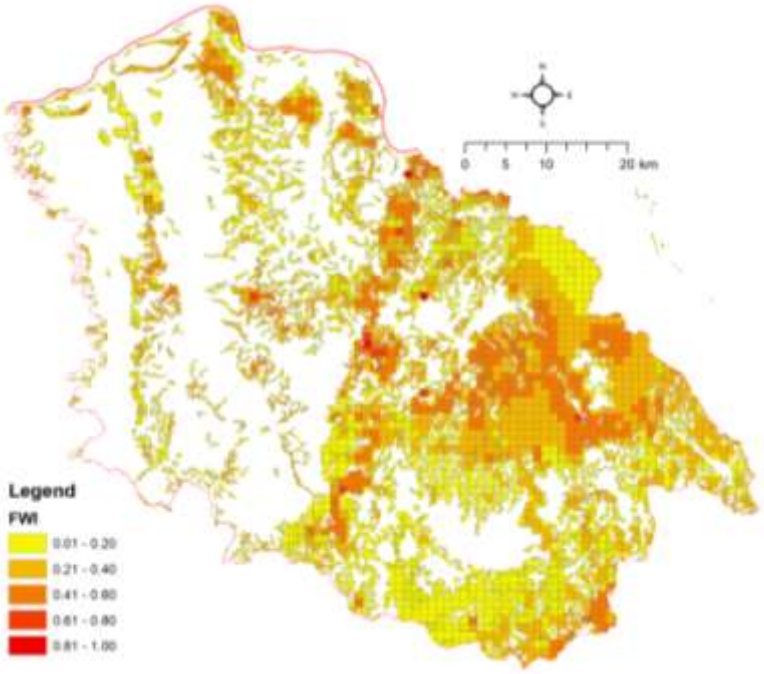
Klaster	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	w_i
C1 Korišćenje zemljišta	1	3	4	5	6	5	2	2	0.291
C2 Ekspozicija	1/3	1	2	1/2	2	2	1/3	1/3	0.082
C3 Nagib	1/4	1/2	1	2	1/2	1/2	1/4	1/5	0.050
C4 Visina	1/5	2	1/2	1	1/2	1/2	1/4	1/4	0.054
C5 Temperatura	1/6	1/2	2	2	1	1/2	1/3	1/4	0.059
C6 Padavine	1/5	1/2	2	2	2	1	1/3	1/3	0.073
C7 Udaljenost od puta	1/2	3	4	4	3	3	1	2	0.205
C8 Udaljenost od naselja	1/2	3	5	4	4	3	1/2	1	0.185

λ_{max}=8.6285 CI= 0.0898 CR= 0.0637

3.4 Izrada mape hazarda (FHI)

U postupku agregacije konačne mape hazarda koristi se Weighted Linear Combination (WLC) integrisana u Spatial analyst tools. Na taj način, množe se težine kriterijuma, dobijenih kao rezultat AHP-a, sa fuzzy skorom ćelija svakog kriterijuma i kao rezultat se generiše konačna mapa hazarda od požara. Na

bazi usvojenih kriterijuma, dobijena je konačna mapa, koja je predstavljena FHI indeksom u vrednosnom opsegu od 0 do 1. Veće vrednosti ćelija karakterišu prostor koji je više povoljan sa stanovišta pojave požara (Slika 1).



Slika 1. Mapa hazarda od šumskog požara (FHI)

3.4 Određivanje lokacija za kamere

Sledeća faza podrazumeva korišćenje mreže antenskih stubova iz GIS baze RATEL (Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge), sa pretpostavkom da će se isti koristiti za postavljanje kamera. U daljem postupku, vrši se preklapanje preuzetih RATEL georeferenciranih lokacija antenskih stubova sa rasterom hazarda šumskih požara pri čemu je svakoj lokaciji pridruživan podatak (Extract Values to Points). Na ovaj način tabela lokacija je dobila atribut indeksa klase pogodnosti (FHI). Za konačnu lokaciju mesta kamere izdvojene su lokacije RATEL antenskih stubova sa najvišim vrednostima FHI u izolovanim područjima poluprečnika od 10 do 30 km. U području Severnokučajskog ŠG indetifikovano je 21 optimalnih RATEL lokacija za postavljanje kamere.
U posebnoj geobazi podataka eksportovan je sloj 21 tačkastih lokacija antenskih stubova, sa tabelom atributa sledeće strukture datoj u Tabeli 2.

Tabela 2. Tabela atributa

Naziv atributa	Opis atributa
FID	Redni broj u tabeli
SHAPE	Oblik geometrije (Point)
OBJECTID	Redni broj objekta
VISINA	Visina antenskog stuba
X	X koordinata lokacije
Y	Y koordinata lokacije
LATITUDE	Decimalni zapis koordinate geografske širine
LONGITUDE	Decimalni zapis koordinate geografske dužine
OFFSETA	Visina pozicije kamere u odnosu na tlo
OFFSETB	Visina osmatranih tačaka u odnosu na tlo
AZIMUTH1	Početni azimut osmatranja kamere
AZIMUTH1	Krajnji azimut osmatranja kamere
VERT1	Maksimalni verikalni ugao osmatranja kamere
VERT2	Minimalni verikalni ugao osmatranja kamere
RADIUS1	Minimalni radijus osmatranja kamere
RADIUS2	Maksimalni radijus osmatranja kamere

3.4 Analiza zona vidljivosti kamera

U sledećem koraku, određuju se zone vidljivosti područja sa 21 izdvojenih lokacija antenskih stubova na osnovu Digitalnog Modela Terena (DMT).

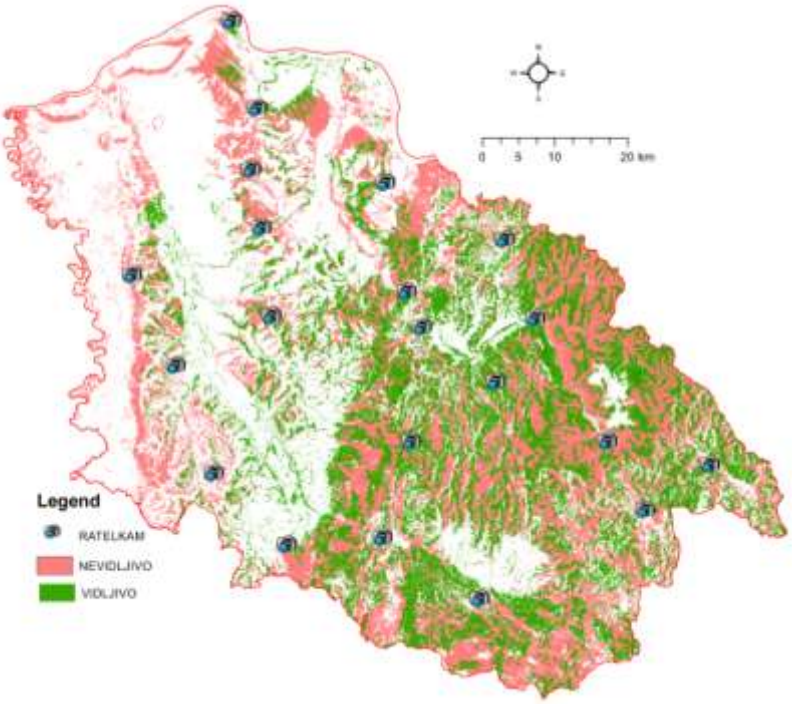
U analizi zona vidljivosti su usvojena sledeća topografska i tehnička ograničena kamere:

- Visina pozicije kamere u odnosu na tlo je definisana visinom RATEL antenskih stubova;
- Visina osmatranih tačaka u odnosu na tlo je 0 m;
- Radijus osmatranja: minimalno 0 m, maksimalni 20 km;
- Zona horizontalnog osmatranja je 360º;
- Zona vertikalnog osmatranja je od -90º do 90º.

Napomena: U detaljnoj analizi moguće je za svaku kameru uneti posebne topografsko-tehničke uslove snimanja.

Daljom primenom integrisanog algoritma Visibility, Spatial Analyst Tools, generisan je raster za operativno područje Severnokučajskog ŠG rezolucije 25x25 metara sa ćelijama vrednosti od 0 do 7. Vrednosti ćelije rastera koje imaju vrednost 0, predstavljaju ćelije rastera koje nisu vidljive ni sa jedne lokacije kamere, dok vrednost od 1 do 7 označava ukupan broj kamera sa kojih se vidi data ćelija rastera.

Ekstrakcijom rastera šumskih područja sa rasterom vidljivosti (Extract Mask) generiše se raster vidljivosti šumskog područja sa lokacija izdvojenih antenskih stubova (Slika 2). Geostatističkom analizom rastera, sa 21 izdvojenih lokacija za postavljanje kamera vidljivo je 1.868 km2 (41%) šumskog područja.



Slika 2. Mapa vidljivosti šuma i lokacija kamera

5. ZAKLJUČAK

Učestalost pojave šumskih požara, uspeh gašenja, i veličina pričinjenih šteta u mnogom zavisi od detaljno proučenih i razrađenih preventivih mera. Zaštita šuma od požara koncipirana je preko procene rizika od požara. U radu je prikazan GIS-AHP MCDM model s ciljem evaluacije zona rizika od pojave požara sa izborom lokacija za postavljanje kamer. Predviđanje šumskih požara izvršeno je na osnovu 8 kriterijuma. Standardizacija kriterijuma je primenom fuzzy logike. U postupku određivanja odnosa između kriterijuma i klastera korišćen je AHP višekriterijumski metod. Konačna mapa hazarda je dobijena primenom WLC metode. Lokacije mesta kamera su lokacije RATEL antenskih stubova sa najvišim vrednostima FHI u izolovanim područjima poluprečnika od 10 do 30 km. Ove informacije predstavljaju osnovu za prevenciju, upravljanje i minizaciju štete izazvanih šumskim požarima. Primenjenim modelom proširuje se teorijski okvir znanja iz oblasti upravljanja rizicima. Postojeću metodologiju moguće je primeniti na područja sa sličnim geografskim karakteristikama. Takođe, prikazani model je moguće unaprediti sa novim i modifikovanim kriterijumima koji u dosadašnjim modelima nisu razmatrani, a koji su od značaja za ovu problematiku.

LITERATURA

[1] Adab H., Kanniah K.D., Solaaimani K. (2011). GIS-based Probability Assessment of Fire Risk in Grassland and Forested Landscapes of Golastan Province, Iran, IPCBEE, 19.

[2] Chuvieco E., R. G. Congalton. (1989). Application of Remote Sensing and geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. Remote sensing of Environment.

[3] Eskandari S., Ghadikolaei J.O., Jalilvand H., Saradjian M.R. (2013). Forest risk modeling and predoction in district three of Neka-Zalemroud forest, using Geographical Information System. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(14), 203.

[4] European Environment Agency: Corina Land Cover. http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-1 (2006).

[5] Gigović L., Jakovljević G., Sekulović D., Regodić M. (2018).GIS multi-criteria analysis for identifying and mapping forest fire hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina Tehnicki Vjesnik, 25 (3), 891-897.

[6] Gigović L., Pourghasemi H.R., Drobnjak S., Bai S. (2019). Testing a New Ensemble Model Based on SVM and Random Forest in Forest Fire Susceptibility Assessment and Its Mapping in Serbia's Tara National Park, Forests, MDPI, 10, 408, 1999-4907.

[7] Gigović L., Veličković Z., Jocić N. (2018). Primena GIS-frequency ratio modela u izradi mape hazarda od šumskih požara, Energija, ekonomija, ekologija, 20, 1-2, 180 - 185.

[8] Saaty T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York, 287.

[9] https://www.eea.europa.eu/about-us/who/copernicus-1.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

INTERAKTIVNO ORIJENTISANI INFORMACIONI SISTEM ZA PREDVIĐANJE POPLAVA

INTERACTIVE ORIENTED INFORMATION SYSTEM FOR FLOOD FORECASTING

DRAGOLJUB SEKULOVIĆ[1], MLADEN AMOVIĆ[2], PREDRAG KOVAČEVIĆ[3]

[1]Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Univerzitet „Union - Nikola Tesla“, Beograd, Srbija, dragoljub.sekulovic@fpsp.edu.rs
[2] Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, Bosna i Hercegovina, mladen.amovic@aggf.unibl.prg
[3]Fakultet za poslovne studije i pravo, Univerzitet „Union - Nikola Tesla“, Beograd, Srbija, predrag.kovacevic@fpsp.edu.rs

Rezime: *Razvoj modernih informacionih tehnologija obezbjedio je da se upotrebom geoinformacionih softvera postižu odlični rezultati u kartografskom prikazu geoprostornih podataka. Ovi softveri omogućavaju multimedijalnu prezentaciju i kreiranje web kartografskih aplikacija koje uz malo znanja, korisnik može sam razviti. U radu je prikazano rješenje bazirano na web aplikaciji koja obezbjeđuje vizuelizaciju korisničkih podataka u kombinaciji sa besplatnim kartografskim servisima uz osnovne analize. Praktično rješenje je postignuto upotrebom alata otvorenog koda za predviđanje poplava.*

Ključne reči: *Geoprostorni podaci, geoportal, alati otvorenog koda.*

Abstract: *The development of modern information technologies has ensured that the use of geoinformation software achieves excellent results in the mapping of geospatial data. These software allow for multimedia presentation and creation of web-based cartographic applications, which, with little knowledge, can be developed by the user himself. The paper presents a web application based solution that provides visualization of user data in combination with free cartographic services with basic analysis. A practical solution was achieved using an open flood prediction tool.*

Keywords: *Geospatial data, geoportal, open source tools.esigning.*

1. UVOD

Većina ljudskih djelatnosti vezanih uz geoprostor teško je ostvariva bez odgovarajućih kartografskih prikaza. Na primer prostorno planiranje, prognoza vremena, zaštita od prirodnih katastrofa, evidencija vlasništva nad zemljištem, izgradnja puteva, hitne službe, navigacija, upravljanje šumama, iskorišćavanje mineralnih sirovina i slično. Praktično, razvoj web-a nemoguće je odvojiti od razvoja Web kartografije. Sve više je aktuelan i interesantan globalni geografski informacioni sistem (GIS). Kartografski prikazi postaju multimedijalni odnosno elektronski, gdje se pored grafike, teksta, fotografije, audio ili video zapisa, podaci modeluju i opisuju nekim od metajezika.

Poplave kao hidrološke pojave narušavaju prirodno stanje u ekosistemu. Zbog njegovog očuvanja i prirodne ravnoteže veoma je važno raditi studije i analize prethodnih slučajeva da bi se dobila što pouzdanija predviđanja mogućih opasnosti od poplava. Postoje brojne metodologije kojima se može doći do pouzdanih rezultata, ali i pored tačnosti koje rezultati pružaju, bitna je razlika u ekonomskom aspektu. Stoga je za planiranje vrlo važno razviti analize koji daju jednostavan i brz pregled mogućih situacija, kao i simulacije različitih slučajeva uzimajući u obzir više parametara, kao što su riječna korita, okolna naselja, postojeća infrastruktura i drugo.

2. DEFINISANJE PROBLEMA I CILJ STUDIJE

Iz različitih razloga postojeći hidrološki informacioni sistemi veoma često ne ispunjavaju potrebe koje očekuju stručnjaci za poplave. Neki sadrže karte i dijagrame koje se generišu koristeći podatke koji su u

prosjeku bili određeni za neki vremenski period, poput analognih i digitalnih hidroloških atlasa i srodnih sistemima vizuelizacije (Spreafico and Weingartner 1992-2010, Fuhrmann 2000). Ovakav tip vizuelizacije u potpunosti odgovaraju kartografskim standardima, ali, pošto nije namijenjeno da hidrološki atlasi podrže upravljanje poplavama u realnom vremenu, podaci u realnom vremenu nisu uključeni u generisanje karata. Ostali sistemi uključuju razne druge informacije, u realnom vremenu kao i prognoze, ali informacije nisu primarno vizualizirane karte, već grafikoni i dijagrami (Zappa *et al*. 2008, Jia *et al*. 2009). S druge strane, ostali sistemi koriste karte kao primarni interfejs za podatke, ali vizuelizacija i interaktivnost su ograničeni zbog malog broja parametara, opisujući protočne i podzemne vode samo uslovno (Soh et al., 2006). Stoga, nisu svi identifikovani ključni parametri integrisani. Ostali sistemi fokusiraju se na istorijski opis događaja i ne uključuju prostorne podatke (Black and Law 2004), ili na hidrografiju u realnom vremenu, tabele i grafikone (Cheng *et al*. 2004). Postoje i sistemi koji se rukuju hidrološkim podaci za druge svrhe osim upozorenja o poplavama, kao što su procena za uspostavljanje raznih mjera politike upravljanja teriotrijom ili promjene upotrebe zemljišta (Engel *et al*. 2003, De Kort and Booij 2007). Međutim, bar jedna od sledećih karakteristike nedostaju u svakoj od navedenih aplikacija. Kao posljedica toga, naš cilj je da uključimo svaku od ovih karakteristika u sistemu ovde predstavljeno:

- dostupnost podataka u realnom vremenu,
- prostorno referenciranje i vizuelizacija podataka u karte,
- visoki kartografski kvalitet (npr. raspored mapa, čitljivost, dizajn boje),
- interaktivne metode za prilagođavanje sadržaja karte i rasporeda, i
- integracija više varijabli relevantnih za poplave.

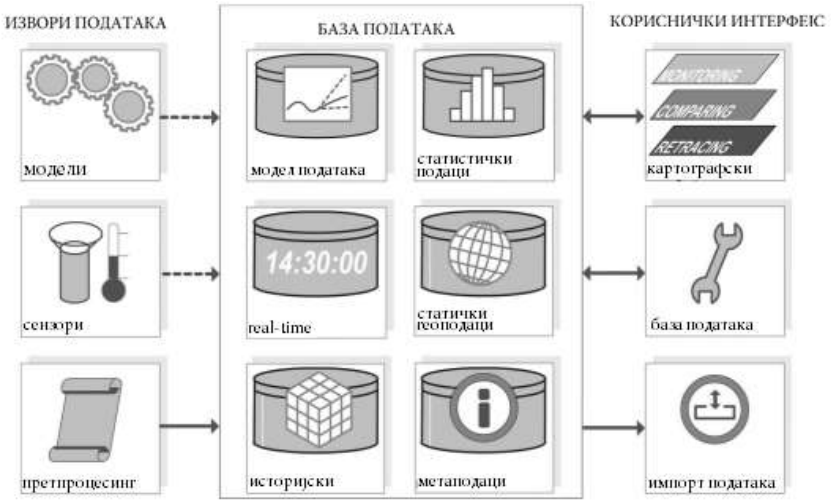
Dostupnost GIS-a preko Web-a postaje stvarnost u mnogim oblastima. Mnogi ne-GIS stručnjaci počinju da koriste Web GIS i mnoge druge glavne institucije prenose GIS proizvode i podatke na Web. Prikupljanje podataka u realnom vremenu postaje sve važnije u mnogim oblastima, posebno u hidrologiji (Al-Sabhan *et al*. 2003). Baze podataka i hidrološki modeli obavljaju se na serveru i rezultatima se distribuiraju preko Interneta na različite radne površine računara (Longlei *et al*. 2005, Holz *et al*. 2006). Složeni računari u modeliranju životne sredine, uključujući hidrologiju, prenose se na nekoliko servera gde se podaci obrađuju na stepen način. In takva distribuirana tehnička okruženja, korisnici mogu kontrolne modele procesa preko geo-portala gde su mape, međutim, samo sporedni proizvod analize procedure. Time se obrađuju izvorni podaci i rezultati se prenose kao osnovni parametri za druge servere pre nego što budu vraćeni na radnu površinu korisnika računari preko Interneta (Horak *et al*. 2008, Granell *et al*. 2010). Uprkos nekim tehničkim ograničenjima (vidi dole), uloga Interneta za distribuciju, razmenu i komunikaciju informacija je široko prepoznat kao sredstvo za smanjenje negativnih uticaja efekti poplava i drugih prirodnih opasnosti (Anderson 2003). U našem informacionom sistemu mape, interaktivne mape deluje kao centralni uređaj za komuniciranje sa baza podataka. Korisnici se ne moraju baviti osnovnim modelima ili korake obrade, ali samo koristiti u potpunosti kartografski obrađeni izlaz sistema. Prostorni podaci vizualizacija je bila rudimentarna i vizuelna podrška je uveden prvenstveno za kontrolu kvaliteta podataka (Longlei *et al*. 2005). Zahvaljujući povoljnoj topološko-tematskoj strukturi geografskog porekla informacionih sistema (GIS) baze podataka, karte se sve više proizvode na osnovu takvih prostornih baza podataka (Hurni 2008). Sadašnje web karte su obezbeđene u web pregledačima na desktop računarima. Te vizuelizacije su pripremljene na serveru, često direktno iz baza podataka i distribuira se na računare korisnika u web-kompatibilnim formatima slike. Pomoću računarskog miša i tastatura, interakcija sa baze podataka i udaljeni programi odvijaju se putem web karata (Peterson 2008).

3. ARHITEKTURA SISTEMA

Uzimajući u obzir izjave stručnjaka za poplave, sistemu je potrebna integrisana modularna osnova da obavlja sledeće funkcije: (a) omogućava obradu velikih vremenskih, prostornih i atributivnih podataka; (b) potrebno je uskladiti i strukturirati podatke iz različitih izvora; (c) kombinovanje podataka u odabranim regionima i vremenskim periodima; (d) omogućava korisnicima laku dostupnost podacima; i (e) proširiti sistem sa novim podacima prikupljenim u realnom vremenu.

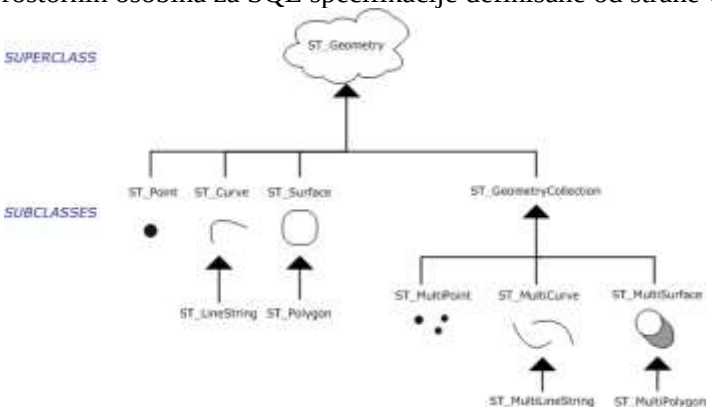
Dizajn sistema koji treba da pruži mogućnosti navedene u prethodnom poglavlju prikazan je kao konceptualna shema na slici 1. Shema se sastoji od tri glavna bloka: izvora podataka, baze podataka i korisničkih interfejsa. Izvori podataka mogu biti oni čija se akvizicija vrši u realnom vremenu, hidrološki podaci o modelu i vremenskoj prognozi, podaci sa razniih senzora, kao i unapred obrađeni podaci (uključujući istorijske vremenske serije, statističke podatke, statičke geografske podatke i metapodatke). Baza podataka može biti segmentirana tako da sadrži dijelove koji se sastoje od podataka prikupljenih u realnom vremenu, prognoza i istorijskih podataka (vremenske pregrade), statičkih geografskih podataka

(prostornih particija) i statističkih podataka, kao i metapodataka (atributivnih particija). Na raspolaganju su tri korisnička interfejsa za bazu podataka. Prvi i najvažniji je kartografski korisnički interfejs ugrađen je u veb pretraživač i obezbeđuje interaktivni veb-bazirani pristup podacima svim participijama te povratnu bazu podataka. Interakcija je ostvarena kroz WFS-T servis. Druga je interfejs za korisnike (administratora) koji omogućava inicijalizuju celokupne prostorno-vremenske baze podataka i proširivanje sa novim sistemima za mjerenje u realnom vremenu. Ovaj dio podrazumjeva i izmjenu postojećeg konceptualnog modela podataka. Treći korisnički interfejs ima za cilj da olakša uvoz prečišćenih podatke i vizuelizaciju kroz geoservise iz bilo koje od šest particija baze podataka (npr. vremenske serije ili neke metapodataka) kao i vršenje analiza nad njima.



Slika 1: Konceptualna shema informacionog sistema u realnom vremenu

Strukturni upitni jezik (Structured Query Language – SQL) predstavlja programski jezik namijenjen za upravljanje podacima u relacionim bazama podataka. SQL obuhvata unos podataka, upite, ažuriranje i brisanje, kreiranje i mijenjanje šema, kao i podatke za kontrolu pristupa. Kao DBMS korišćen je PostgreSQL koji je objektno-relacioni sistem za upravljanje bazama podataka. Za rad sa geometrijskim podacima korišćen je PostGIS koji je slobodan program koji daje podršku PostgreSQL sistemu za upravljanje bazama podataka, za geografske objekte (Slika 2). To je dodatak za prostornu bazu podataka koji služi za skladištenje, upravljanje i analizu prostornih objekata. U njoj su definisani posebni tipovi podataka za geometrijske objekte koji omogućavaju skladištenje geometrijskih podataka u uobičajenim tabelama. Tu su ispraćene specifikacije prostornih osobina za SQL specifikacije definisane od strane OGC.



Slika 2: Hijerarhija geometrija u PostGIS-u

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U prethodnom poglavlju je obrazložena procedura kreiranja aplikacione šeme baze podataka i geoprostorniih podataka koji su pohranjeni u njoj sa svim pratećim atributima (Slika 3). Razmjena je omogućena kroz WFS servis. Za stilizaciju pomenutih podataka prethodno su definisani SLD fajlovi zasnovani na sintaksi XML sheme. Oni su kreirani unutar interfejsa GeoServera.

```
import Map from 'ol/Map.js'
import View from 'ol/Vиew.js';
import GeoJSON from 'ol/format/GeoJSON.js'
import {Tile as TиleLayer, Vector as VectorLayer} from 'ol/layer.js'
import {fromLonLat} from 'ol/proj.js';
import OSM from 'ol/source/OSM.js';
import VectorSource from 'ol/source/Vector.js'
import LinearRиng from 'ol/geom/LиnearRиng.js';
import {Point, LineString, Polygon, Multi Point, MultiLineString, MultiPolygon} from 'ol/geom.js';
 var source = new VectorSource();
fetch('data/geojson/roads-gradiska.geojson').then(function(response) {
return response.json()
}).then(function(json)
var format = new GeoJSON();
var features = format.readFeatures(json, {featureProjection: 'EPSG:3857'});
```

Slika 3: JS sa uveženim lejerima iz kreirane baze podataka

Vizuezlizacija geoportala je omogućena u OpenLayers biblioteci. U okviru aplikativnog rješenja omogućeno je učitavanje različitih slojeva, čije pozivanje podataka o prostoru sa pratećim atributima je definisano kao WFS захтијев. Za definisanje lejera koji se prikazaju posredstvom WFS-a, prvo je definisana varijabla u geoJSON formatu za definisanje vektora, a potom putanja sa GeoServera koja omogućava update podataka u realnom vremenu (Slika 4).

```
// WFS LAYER
// format used to parse WFS GetFeature responses
var geojsonFormat = new ol.format.GeoJSON();
var vectorSource = new ol.source.Vector({
loader: functиon(extent, resolutиon, projectиon) {
var url = 'http://localhost:8080/geoserver/gradиska/ows?serвисe=WFS&вersиon=1.0.0' +
'&request=GetFeature&typeName=gradиska:roads_3857&&outputFormat=text/javascrиpt' +
'&format_optиons=callback:loadFeatures&srsname=EPSG:3857&bbox=' + extent.joин(',') + ',EPSG:3857';
$.ajax({url: url, dataType: 'jsonp'});
 }
 });
```

Slika 4: Varijabla WFS lejera

Nakon definisane veze podataka koji su smješteni u bazi i openlayers karte, definisana je opcija popup koji predstavlja prozor koji se pojavljuje s atributom objekta kada se klikne na njega. Upotrebom metoda getElementById, definisanom kontejneru se pristupa kroz *popup*. Takođe, potrebno je definisati popup kao element koji se prikazuje preko karte (overlay) i koji je biti pridružen određenoj lokaciji na karti. U ovom primjeru atributi o putevima prikazuju se u vidu popup-a. Zatim, definisana je opcije GetFeatureInfo, kako bi korisnik dobio povratne informacije o objektu (Slika 5).

```
// GETFEATUREINFO
map.addEventLиstener('click', onMapClick);
function onMapClick(e){
document.getElementById('info').innerHTML = '';
var viewResolution = (map.getView().getResolution());
var url_1 = ECU_parcels.getSource().getGetFeatureInfoUrl(e.coordinate, viewResolution, 'EPSG:3857',
{'INFO_FORMAT': 'text/html'});
var url_2 = ECU_street.getSource().getGetFeatureInfoUrl(e.coordinate, viewResolution, 'EPSG:3857',
{'INFO_FORMAT': 'text/html'});
иf (url_1)
document.getElementById('info').innerHTML = '<iframe seamless src="' + url_1 + '"></iframe>';
if (url_2) document.getElementById('info').innerHTML += '<iframe seamless
src="' + url_2 + '"></iframe>'; }
```

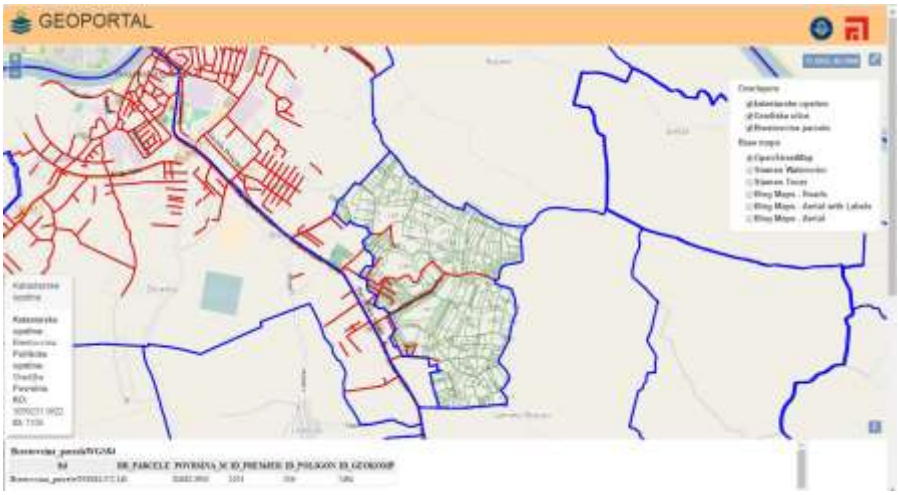
Slika 5: GETFEATUREINFO funkcija

Kao alat koji omogućava analizu i procjenu ugroženosti urbanog područja u kome figurišu prostorne jedinice, putna infrastruktura i vektori riječnih korita sa pratećim atributima kreirana je buffer funkcija koja pruža mogućnost procjenjenog područja koje je pod opasnosti od potencijalnih poplava (Slika 6).

```
var parser = new jsts.io.OL3Parser();
parser.inject(Point, LineString, LinearRing, Polygon, MultiPoint, MultiLineString, MultiPolygon);
for (var i = 0; i < features.length; i++) {
var feature = features[i];
// convert the OpenLayers geometry to a JSTS geometry
var jstsGeom = parser.read(feature.getGeometry());
// create a buffer of 40 meters around each line
var buffered = jstsGeom.buffer(40);
// convert back from JSTS and replace the geometry on the feature
feature.setGeometry(parser.write(buffered));}
source.addFeatures(features);});
var vectorLayer = new VectorLayer({
source: source})
var rasterLayer = new TileLayer({
source: new OSM()});
```

Slika 6: Buffer analitička funkcija za procjenu zone plavljenja

Prikazano rješenje u potpunosti daje okvir za kvalitetno procesiranje podataka o vodotocima uzimajući u obzir i ostale faktore kao što je putna infrastruktura, naseljena mjesta i slično. Na slici 7 prikazano je rješenje sa *buffer* funkcijom.



Slika 7: Geoportal za procjenu zone plavljenja

5. ZAKLJUČAK

Trenutno, GIS sistemi, a u sklopu njih i multimedijalna kartografija, svakodnevno razvijaju proizvode koji pomažu ljudima u raznim oblastima radi pristupa i korišćenja prostornih podataka. Ideja ovog istraživanja je bila da se kreira *Web* aplikacija u vidu geoportala koja bi korisnicima omogućila vizuelizaciju podataka na multimedijalan način. Jedna od najvećih prednosti ove aplikacije jeste ta da korisnik aplikaciju pokreće u internet pretraživaču što znači da nema potrebe za preuzimanjem dodatnih softvera te da ima odgovor manipulacije nad podacima iz Baze podataka u realnom vremenu. Struktura aplikacije je zasnovana na servisno orijentisanoj arhitekturi, ali sa naglaskom na programiranje aplikativnog interfejsa pomoću OpenLayers biblioteke koja omogućava integraciju slobodnih kartografskih servisa. Osim kartografskog prikaza i mogućnosti OpenLayers biblioteke, pažnja je usmjerena ka web serveru, korišćenim GeoServer, i OpenGIS servisima koji omogućuju rješavanja upita i dostavljanja informacija korisniku aplikacije.

Na osnovu izrađene tematske karte plavnog područja Opštine Gradiška za zonu plavljenja rijeke Save u širini od 40 m možemo vidjeti da potencijalna opasnost prijeti u 2 katastarske opštine. Na zapadnom dijelu Opštine Gradiška ugroženi su sjeverni dijelovi opštine uz rijeku Savu, što nam govori da ponuđeno aplikativno rješenje odgovara zahtijevima procesiranja podataka u realnom vremenu.

LITERATURA

[1] Al-Sabhan, W., Mulligan, M. & Blackburn, G. A. (2003). A rea-ltime hydrological model for flood prediction using GIS and the WWW. Computers, Environment and Urban Systems 27(1), 9-32.

[2] Anderson, P. S. (2003). Bringing early warning to the people: electronic technology: the role of the Internet. In: Early Warning Systems for Natural Disaster Reduction (J. Zschau & A. N.Küppers, eds), 85-87. Berlin: Springer.

[3] Black, A. R. & Law, F. M. (2004). Development and utilization of a national web-based chronology of hydrological events. Hydrol. Sci. J. 49(2), 237-246.

[4] Granell, C., Díaz, L. & Gould, M. (2010). Service-oriented applications for environmental models: reusable geospatial services. Environ. Model. Software 25(2), 182–198.

[5] De Kort, I. A. T. & Booij, M. J. (2007). Decision making under uncertaintyin a decision support system for the Red River. Environ. Model. Software 22(2), 128-136.

[6] Engel, B. A., Choi, J.-Y., Harbor, J. & Pandey, S. (2003). Web-basedDSS for hydrologic impact evaluation of small watershed landuse changes. Computers and Electronics in Agriculture 39(3), 241–249.

[7] Zappa, M., Rotach, M. W., Arpagaus, M., Dorninger, M., Hegg,C., Montani, A., Ranzi, R., Ament, F., Germann, U., Grossi, G., Jaun, S., Rossa, A., Vogt, S., Walser, A., Wehrhan, J. & Wunram, C. (2008). MAP D-PHASE: real-time demonstration of hydrological ensemble prediction systems. Atm. Sci. Lett. 9(2), 80-87.

[8] Jia, Y., Zhao, H., Niu, C., Jiang, Y., Gan, H., Xing, Z., Zhao, X. & Zhao, Z. (2009). A WebGIS-based system for rainfall–runoff prediction and real-time water resources assessment for Beijing. Comput. Geosci. 35(7), 1517–1528.

[9] Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. & Rhind, D. W. (2005). Geographical Information Systems and Science. Chichester: John Wiley & Sons.

[10] Peterson, M. (2008). An introduction. In: International Perspectives on Maps and the Internet (M. Peterson, ed.), 3-10. Heidelberg: Springer.

[11] Soh, L.-K., Zhang, J. & Samal, A. (2006). A task-based approach to user interface design for a web-based hydrologic information systems. Trans. GIS 10(3), 417-449.

[12] Spreafico, M. & Weingartner, R. (eds) (1992–2010). Hydrological Atlas of Switzerland HADES. Berne: Swiss Federal Office for the Environment.

[13] Fuhrmann, S. (2000). Designing a visualization system for hydrological data. Comput. Geosci. 26(1), 11-19.

[14] Holz, K.-P., Hildebrandt, G. & Weber, L. (2006). Concept for a web-based information system for flood management Natural Hazards 38, 121-140.

[15] Horak, J., Orlik, A. & Stromsky, J. (2008). Web services for distributed and interoperable hydro-information systems. Hydrol. Earth System Sci. 12(2), 635-644.

[16] Hurni, L. (2008). Multimedia atlas systems. In: Encyclopedia of GIS (S. Shekar & H. Xiong, eds), 759-763. Berlin: Springer.

[17] Cheng, C.-T., Chau, K. W., Li, X.-Y. & Li, G. (2004). Developing a Web-based flood forecasting system for reservoirs with J2EE. Hydrol. Sci. J. 49(6), 973-986.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

IZRADA MODELA PROSTORA PRIMENOM LIDAR TEHNOLOGIJE

SPACIAL MODEL CREATON BY USING LIDAR TECHNOLOGY

LJUBOMIR GIGOVIĆ[1], BILJANA ANTUNOVIĆ[2], MIODRAG REGODIĆ [2], IVANA JANKOVIĆ[2]

[1] Univerzitet odbrane, Vojna akademija Beograd, gigoviclj@gmail.com
[2]Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, biljana.antunovic@aggf.unibl.org, miodrag.regodic@aggf.unibl.org, ivasjankovic@gmail.com

Rezime: *Geoprostorni podaci se prikupljaju različitim terestričkim metodama, daljinskom detekcijom, fotogrametrijskim snimanjem ili drugim metodama. Snimanje fotogrametrijskom metodom predstavlja tehniku masovnog prikupljanja geopodataka iz koje se izdvaja klasična fotogrametrija i u poslednje vreme fotogrametrija iz pokreta (Structure from Motion – SfM). Najčešće korišćena metoda fotogrametrije iz pokreta je LiDAR (Light Detection and Ranging). Ovaj rad ističe prednosti i pozitivne efekte LiDAR tehnologije na sve nauke koje se bave izučavanjem prostora, prvenstveno geodezije, kao i izrada 3D modela prostora primenom ove tehnologije. Za obradu oblaka tačaka, dobijenog laserskim skeniranjem iz vazduha, odnosno LiDAR tehnologijom, biće korišteno softversko rešenje Bentley MicroStation8V uz prateći programski paket TerraSolid. Lokacija na kojoj je registrovan oblak tačaka odnosi se na blok objekata urbane zone.*

Ključne reči: *Snimak, Oblak tačaka, LiDAR, TerraSolid.*

Abstract: *Geospatial data is collected by using various terrestrial methods, remote detection, photogrammetry imaging as well as other methods. Imaging by using photogrammetry method is a mass geodata collection technique from which classic photogrammetry and, most recently, structure from motion, are being derived from. The most commonly used structure from motion method is LiDAR (Light Detection and Ranging). This paper points out advantages and positive impacts LiDAR has on all sciences that study various aspects of space, especially geodesy, as well as 3D modeling of space. In order to process the point clouds that result from LiDAR's aerial laser scanning, we are using Bentley MicroStation8V software package as well as the complementary software package TerraSolid. The location at which the point cloud is registered refers to an urban zone object block.*

Keywords: *Image, Point Cloud, LiDAR, TerraSolid*

1. UVOD

Geoprostorni podaci se prikupljaju različitim geodetskim metodama. Snimanje fotogrametrijskom metodom predstavlja tehniku masovnog prikupljanja geopodataka iz koje se izdvaja klasična fotogrametrija i u poslednje vreme fotogrametrija iz pokreta (Structure from Motion – SfM). Najčešće korišćena metoda fotogrametrije iz pokreta je LiDAR (Light Detection and Ranging) (Amović *et al*. 2016).

Od kraja devedesetih godina, LiDAR se koristi kao jedna od prihvaćenih geodetskih metoda koja služi kao dopuna klasičnim terestričkim geodetskim metodama. Predstavlja sve češći i sve važniji izvor informacija za generisanje visoko kvalitetnih digitalnih površinskih modela (Digital Surface Model - DMS).

Podaci koji su prikupljeni na ovaj način sadrže mnoštvo informacija o zgradama, vegetaciji, ulicama i drugim objektima urbane infrastrukture u digitalnom formatu. To ujedno omogućava njihovo direktno procesiranje i izradu, kako digitalnog modela visina visoke tačnosti, tako i mnogih drugih struktuiranih skupova podataka. Iz ovih podataka se mogu dobiti različiti skupovi prostornih podataka kao što su hidromorfološke karte, trodimenzionalni topografski snimci i drugi digitalni proizvodi (Nedeljković *et al*. 2011).

Ovim radom je predviđeno isticanje prednosti i pozitivnih efekata LiDAR tehnologije, na sve nauke koje se bave izučavanjem prostora, prvenstveno geodezije, kao i izrada 3D modela prostora primjenom ove tehnologije. Za obradu oblaka tačaka, dobijenog laserskim skeniranjem iz vazduha, odnosno LiDAR tehnologijom, biće korišteno softversko rešenje Bentley MicroStation8V uz prateći programski paket, TerraSolid.

Lasersko skeniranje terena predstavlja modernu tehnologiju koja se koristi za potrebe masovnog prikupljanja geoprostornih podataka (Rohrbach 2007). Tehnologija se bazira na prikupljanju tri različita seta podataka. Pozicija senzora se određuje primenom Globalnog navigacionog satelitskog sistema (GNSS), koristeći fazna merenja u režimu relativne kinematike (RTK). Orijentacija se određuje upotrebom inercijalne merne jedinice (IMU). Poslednja komponenta je laserski skener koji šalje infracrveni laserski zrak prema zemlji ili prema objektu kod terestričkih metoda i reflektuje se do senzora, čime se dobija rastojanje. Vreme proteklo od emitovanja do prijema signala uz poznavanje pozicije senzora i orijentacije, omogućava precizno računanje trodimenzionalnih koordinata na Zemlji.

2. IZRADA TERRASCAN PROJEKTA

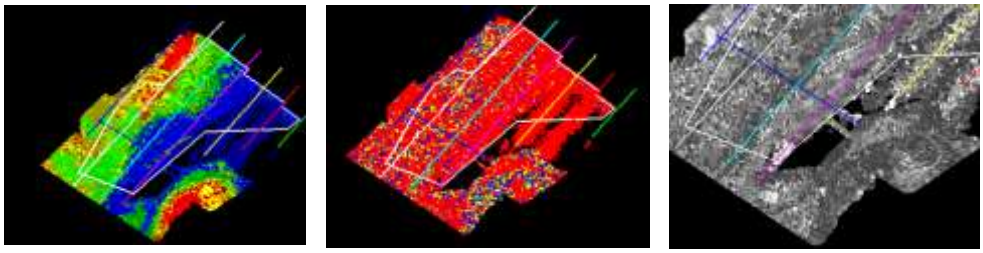
Zadatak je da se na osnovu oblaka tačaka, dobijenog uz pomoć vazdušnog laserskog skeniranja odnosno LiDAR tehnologije, dobije 3D model prostora. Snimano područje nalazi se u urbanom središnjem dijelu Republike Finske. Oblak tačaka, definisan u LAS formatu, učitan je u softversko rešenje MicroStation V8.

Nakon pokretanja MicroStation, potrebno je kreirati novi design file. Design file se kreira na osnovu seed file koji definišu projektnu površ uključujući odgovarajuće dimenzije, jedinice i koordinatni početak. Seed file su sačuvani u instalacionom direktorijumu. Uobičajeno je da se biraju 3D seed file za procesiranje podataka sa TerraSolid softverom. Nakon toga se pokreću TerraSolid aplikacije (TerraScan, TerraModeler i TerraPhoto).

Na samom početku projekta, potrebno je definisati koordinatni sistem radilišta. Budući da su sirovi podaci prikupljeni vazdušnim laserskim skeniranjem u WGS84 koordinatnom sistemu, neophodno je izvršiti transformaciju u Državni koordinatni sistem Finske, 26. zona Gauss - Kruger projekcije.

Nakon što je izvršena transformacija, vrši se učitavanje trajektorija plana leta. Na početku je potrebno definisati format trajektorije. Linijske trajektorije su isporučene u tekstualnom formatu, koji nije implementiran u TerraScan aplikaciji, što i jeste razlog podešavanja formata.

Kada je učitana putanja, potrebno je izvršiti učitavanje oblaka tačaka, snimljenog u sedam LAS fajlova. Ukupan broj tačaka koji je učitan iznosi 38 205 070. Tačke koje su učitane, moguće je klasifikovati prema: osnovnim klasama, udaljenosti, ehu, visini, intenzitetu, planu leta, senci itd. Na slici 1. prikazana je klasifikacija tačaka po visini, ehu i intenzitetu.



Slika 1: Tačke klasifikovane po visini (levo), ehu (u sredini) i po intenzitetu (desno)

Zbog lakše manipulacije oblakom tačaka, radilište se može podeliti na više blokova, gdje bi svaki od njih trebalo da ima približno jednak broj tačaka. Sledeći ovaj princip rada, na području radilišta kreirana su 2 bloka tačaka, gdje prvi blok sadrži 19 352 831, a drugi 18 852 239 tačaka. Za potrebe vizuelizacije, važno je napomenuti da je učitana svaka deseta tačka, pa broj tačaka po $1m^2$ iznosi 2 532.

Program sam definiše osam standardnih klasa u koje je moguće klasifikovati tačke (opšte, zemljište, niska vegetacija, srednja vegetacija, visoka vegetacija, objekti, niske tačke i model izolovanih tačaka). U ovom radu, postojeći model klasa proširen je za osam novih klasa.

U sklopu automatske klasifikacije, kreirane su određene funkcije tj, macroi, na osnovu kojih se izvršava automatska klasifikacija. Macroi se mogu primeniti direktno na trenutno učitanom oblaku tačaka ili sačuvati kao odvojeni fajl i primeniti kasnije na nekom drugom setu podataka. Ova mogućnost klasifikacije najčešće se primenjuje kada oblak tačaka sadrži nekoliko desetina miliona tačaka i kod projekata gdje su radilišta podeljena u nekoliko blokova. Jedan macro fajl se čuva u ekstenziji .mac i veličine je samo nekoliko kilobajta. U radu su kreirani sledeći:

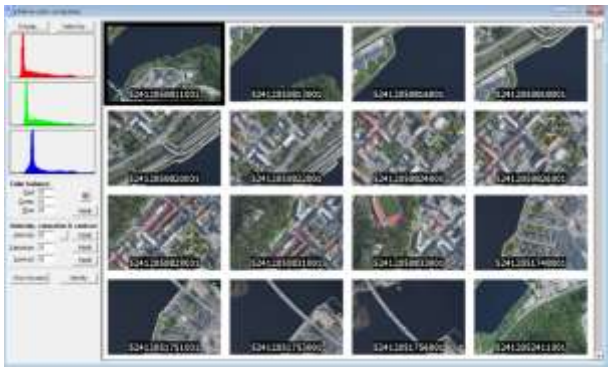
- macro za isecanje preklopa
- macro za klasifikaciju zemljišta,
- macro za klasifikaciju voda,
- macro za klasifikaciju vegetacije i krovova objekata i
- macro za klasifikaciju modela ključnih tačaka.

3. KREIRANJE MISIJE I UČITAVANJE PODATAKA U TERRAPHOTO

Bitan korak pri izradi fotorealističnog modela prostora, predstavlja izrada ortofoto mozaika. Za potrebu izrade ortofoto mozaika, neophodno je izvršiti kalibraciju kamere. Prvi korak pri izvršavanju kalibracije kamere predstavlja izbor orijentacije relativnog sistema u odnosu na plan leta. Takođe, vrši se podešavanje vertikalnih snimaka za potrebe izrade ortofoto i kosih snimaka za potrebe izrade tekstura zidova objekata.

Ostale vrednosti parametara kamere su konvertovane iz sistemskih specifičnih dokumenata kalibracije, u kojima se nalaze podaci o veličini piksela registrovanog CCD senzorom, uglovi neslaganja po koordinatnim osama, podaci o distorziji krila, kao i o radijalnoj distroziji.

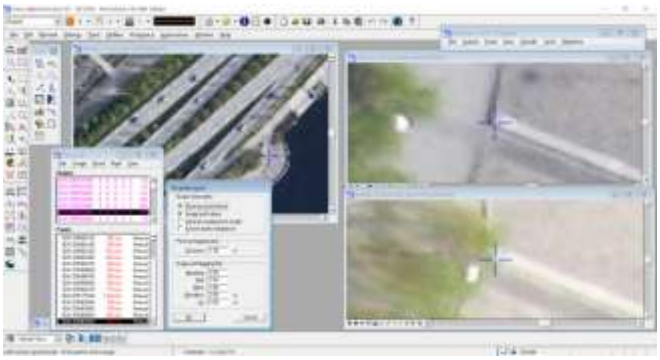
Modeli tekstura su kopije linijskih snimaka sa redukovanom rezolucijom. Koriste se za povećanje brzine renderovanja linijskih snimaka (slika 2).



Slika 2: Sistematska korekcija boja

Korekcija pozicije snimaka pomoću orijentacionih tačaka

Na početku postupka se učitava lista vertikalnih snimaka, nakon čega se pristupa ručnom postavljanju orijentacionih tačaka na zemljište (slika 3). Orijentaciona tačka se postavlja na svaki snimak kako bi se vidjela njena lokacija. Prilikom postavljanja orijentacione tačke, automatski se računa njena greška položaja. Orijentaciona tačka se ne postavlja na snimcima, na kojima je onemogućen prikaz lokacije tačke. Ovo rezultuje praznim pikselima za orijentacione tačke.



Slika 3: Sistematska korekcija boja

Za izradu ortofoto snimka kreira se lista tile, definisanih granicama radilišta. Tile su kreirani kao gridna struktura sa veličinom piksela od 10 cm, gdje svaki tile ima dimenziju 5000 x 5000 piksela, sa međusobnim preklopom od 2%.

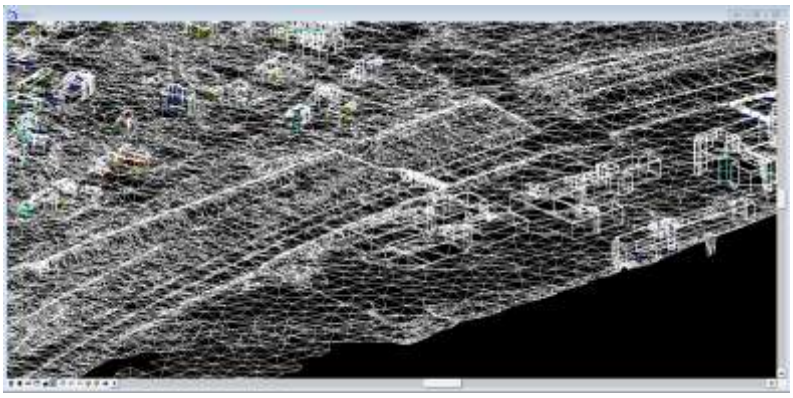
Na osnovu definisanih granica i tile, kreira se mozaik digitalnog ortofotoa, sa veličinom piksela od 10 cm. Mozaik je fiksiran u odnosu na model terena, vezujući raster za svaku ključnu tačku modela u radijusu od 50 m oko tile. Ortofoto je prikazan pomoću RGB skale, sa izvršenim sistematskim korekcijama boja, za dato radilište. Ortofoto je kompresovan u .ECW formatu sa stepenom kompresije 20. Svaka praznina reda veličine do tri piksela, popunjena je automatskim preklopom. Na ovakav način, kreiran je takozvani trueorthophoto (slika 4).

Slika 4: Trueorthophoto snimak

4. IZRADA MODELA PROSTORA

Nakon dobijenog trueorthophoto snimka, pristupa se kreiranju tekstura na zidovima objekata iz kosih snimaka. Računaju se mape dubina, koje se procesiraju nad svim snimcima u rezoluciji od 8 x 8 piksela, na minmimalnoj dubini rastojanja između kamere i objekta od 400 m, a maksimalnoj od 1 700 m. Mape dubina računate su nad sledećim klasama: zemljište, niska vegetacija, srednja vegetacija, visoka vegetacija, objekat i most.

Zatim se pristupa rektifikaciji rastera zidova. Rektifikacija se vrši nad svim snimcima, gdje se svaki poligon kreira iz samo jednog snimka, za minimalnu površinu objekta od 4 m2. Zahtijevani preklop između snimaka je 10%, a veličina piksela 10 cm. Teksture se čuvaju u TIFF formatu. Procesirano je 13 160 poligona. Digitalni model terena se kreira kao TIN model uz pomoć ključnih tačaka, sa prostornom rezolucijom od 20 cm (slika 5). Trueorthophoto koji referencira rastere, spušten je na površ zemlje i krovove objekata, čime se prikazuju teksture zidova objekata, kreiranog modela prostora (slika 6).



Slika 5: TIN model prostora

Slika 6: Kreirani model prostora

4. ZAKLJUČAK

Tehnologija vazdušnog laserskog skeniranja LiDAR, u svetu je prepoznata kao tehnologija koja ima izuzetne potencijale, naročito u smislu ostvarenja ekonomske efikasnosti. Podaci dobijeni LiDAR tehnologijom mogu da generišu ogromne količine 3D informacija o tematskim karakteristikama snimanog prostora.

S obzirom da LiDAR podaci najverodostojnije prikazuju snimljeni prostor, imaju veoma široku upotrebnu vrednost. Aplikacije za stvaranje virtuelne realnosti koje koriste LiDAR podatke imaju mogućnost prikazivanja mnogo više vizuelnih detalja i informacija o prostoru nego što je moguće sa podacima dobijenim iz drugih izvora i načina snimanja terena. Sposobnost da se informacije o prostoru predstave vizuelno i dinamički, daje LiDAR tehnologiji prednost u odnosu na sve druge metode i načine vizuelizacije prostora. Ipak, važno je da korisnik poznaje sve bitne faktore koji utiču na performanse LiDAR sistema.

U radu je prikazan proces izrade modela prostora jednog urbanog područja. Model prostora je dobijen na osnovu oblaka tačaka, registrovanog uz pomoć vazdušnog laserskog skeniranja odnosno LiDAR tehnologije. Oblak tačaka, definisan je u LAS formatu, i kao takav, učitan je u softversko rješenje MicroStation V8. Softver koji je korišćen pružao je nesmetan rad u procesima izrade 3D modela. Jedan od bitnih koraka u procesu izrade modela prostora, bila je klasifikacija tačaka. U procesu klasifikacije tačaka, korišćeni su različiti macroi, radi što veće automatizacije rada.

Svi rezultati automatskih funkcija korigovani su ručnim metodama klasifikacije. Ručna klasifikacija iziskuje mnogo više vremena, ali u kombinaciji sa automatskim i poluautomatskim metodama daje odlične rezultate. Finalni izgled modela korigovan je uz pomoć takozvanog trueorthophoto snimka.

Mogućnosti prikupljanja prostornih podataka tehnologijom laserskog skeniranja unapređuju se iz dana u dan, kao i sam razvoj softverskih rešenja. Veoma je važno poznavati oblast primene ovih podataka, jer ukoliko ona nije jasno definisana, njihovo prikupljanje i nagomilavanje samo može dovesti do ogromnih finansijskih gubitaka. Dobijeni model prostora, kao finalni rezultat može biti korišćen u skoro svim oblastima ljudskog delovanja.

LITERATURA

[1] Amović, M., Govedarica, M., Pajić, V. (2016). Primjena LiDAR podataka u izradi modela prostora. XII međunarodna naučno-stručna konferencija „Savremena teorija i praksa u graditeljstvu“, Banja Luka

[2] Brenner C., Vosselman, G., Sithole, G. (2016). Practical application of multiple pulse in air (mpia) LiDAR in largearea surveys. Areal Laser Scanning, ISPRS 2012.

[3] Gajski, D. (2015). Rasterbasierte Geländeoberflächeanalysen, Dissertation, Istitut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien

[4] Melzer, T. (2011). Extraction and Modeling of Power Lines from ALS Point Clouds' Vienna.

[5] Nedeljković, Ostojić, J., Govedarica, M., Ninkov, T. (2011). Analiza metode izmjere građevinskih objekata 3D laserskim skenerima. Geodetski List 03/2011; 65 (88)(1).

[6] Petrie, G., Toth, C.K. (2009). Airborne and Spaceborne Laser Profilers and Scanners. Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing, CRC Press, pp 29-85.

[7] Rohrbach, A. (2007). Basics of Airborne LIDAR Sensing Technology. LIDAR Workshop, ISPRS Commision 1, Ljubljana.

[8] Soininen, A. (2016). TerraScan User’s Guide

[9] Chang, J. C., Tsai, M. K., Findley, D. J., & Cunningham, C. M. (2012). Infrastructure investment protection with LiDAR. No. FHWA/NC/2012-15.

[10] URL: www.bentley.com, preuzeto oktobar 2018. godine.

[11] URL: www.terrasolid.com, preuzeto oktobar 2018. godine.

[12] URL: www.citygml.org, preuzeto oktobar 2018. godine.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PROMENA KONTRASTA NA RGB SNIMCIMA

CONTRAST CHANGE ON RGB IMAGES

NENAD GALJAK[1], MIODRAG REGODIĆ [2], IVAN STOKIĆ[2], DEJAN RONČEVIĆ[2]

[1] Univerzitet odbrane, Vojna akademija Beograd, galjaknenad@gmail.com
[2]Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, miodrag.regodic@aggf.unibl.org, malirambo72@yahoo.com, ddroncevic@gmail.com

---

Rezime: *Poboljšanje kontrasta je najčešći vid poboljšanja vizuelnog izgleda snimka, koji se ostvaruje povećanjem ili smanjenjem razlike tonskih vrednosti piksela. Odbacivanjem piksela sa rubnim vrednostima nivoa sivog tona, uzimanjem u razmatranje samo onih vrednosti koje reprezentuju elektromagnetni odraz snimljenog objekta, fenomena u užem smislu i širenjem broja postojećih nivoa razvlačenjem histograma povećava se kontrast i jasnoća. U radu je, u okviru radiometrijskog poboljšanja snimka, u programskom paketu MATLAB, realizovano je prevođenje inteziteta piksela i prikaz histograma kao i ujednačavanje histograma i poboljšanje kontrasta na RGB snimcima.*

Ključne reči: *Digitalni snimak, Kontrast, Histogram, MATLAB.*

Abstract: *Improving contrast is the most common mean of image visual enhancement. The enhancement is achieved by increasing or decreasing the difference of pixel tone values. By rejecting the pixels with marginal levels of gray tone, taking into consideration just the values that represent the electromagnetic reflection of the recorded object, phenomenon specifically, and broadening the number of existing levels by stretching the histogram, we are able to increase the contrast and clarity of the image. In the paper, under the scope of radiometric image enhancement in MATLAB, we managed to change the intensity of the pixels and histogram view as well as to perform histogram equalization and RGB images contrast enhancement.*

Keywords: *Digital Image, Contrast, Histogram, MATLAB*

1. UVOD

Registrovan snimak bez ikakve obrade je za geodetske potrebe neupotrebljiv. Postoji više postupaka digitalne obrade snimaka, kojima se dobija novi snimak, koji su prikladniji za korišćenje i za druge svrhe. Svaki snimak pre nego što postane upotrebljiv za naučne i tehničke svrhe, mora da prođe kroz sledeće faze: prethodna obrada, poboljšanje kvaliteta snimaka, klasifikacija i analiza snimka.

Poslije otklanjanja deformacija i uvođenja snimaka u željeni kordinatni sistem u daljoj obradi postupa se poboljšanju njegovog kvaliteta i isticanju podataka koje treba prikupiti. Pošto ljudsko oko razlikuje 20 do 30 jasno izdvojenih nivoa osvetljenja, potrebno je da se uradi izoštravanje, odnosno poboljšanje kvaliteta snimaka, kako bi se olakšalo razlikovanje vrednosti osvetljenja piksela, a samim tim i bolje isticanje objekata i pojava na terenu. Proces poboljšanja snimaka vrši se isticanjem finih, teško uočljivih elemenata snimka. Poboljšanje kvaliteta snimaka može biti prostorno, radiometrijsko i spektralno (Ćirović *et al*. 2014).

Kao primer uspešnog radiometrijskog poboljšanja kvaliteta digitalnog snimka za uspešnu analizu snimaka, u radu će biti predstavljeno poboljšanje pomoću operacija zasnovanih na histogramu (razvlačenje i ujednačavanje histograma) i promeni kontrasta boja na digitalnom snimku, kao i transformacija intenziteta piksela.

2. RADIOMETRIJSKO POBOLJŠANJE DALJINSKIH SNIMAKA

Pod radiometrijskom poboljšanjem kvaliteta snimka se podrazumeva poboljšanje tonskih vrednosti svakog piksela snimka bez uzimanja u obzir piksela u okruženju. Radiometrijska korekcija se bavi popravljanjem radiometrijskog kvaliteta, reflektovane sunčeve energije, unutrašnje emitovanje energije ili povratnog signala nekog aktivnog senzora.

Poboljšanje kontrasta je najčešći vid poboljšanja vizuelnog izgleda snimka, koji se ostvaruje povećanjem ili smanjenjem razlike tonskih vrednosti piksela. Odbacivanjem piksela sa rubnim vrednostima nivoa sivog

tona, uzimanjem u razmatranje samo onih vrednosti koje reprezentuju elektromagnetni odraz snimljenog objekta, fenomena u užem smislu i širenjem broja postojećih nivoa razvlačenjem histograma - povećava se kontrast i jasnoća.

Ujednačavanjem histograma vizuelno može da rezultira efektima kao i gruba klasifikacija. Pikseli se grupišu u karakteristične grupe i zauzimaju nekoliko izlaznih vrednosti u okviru radiometrijskog spektra nijansi sivog tona. Da bi se kontrasno poboljšali svi delovi snimaka u meri u kojoj je potrebno koriste se linearni, nelinearni i parcijalni modeli transformacije.

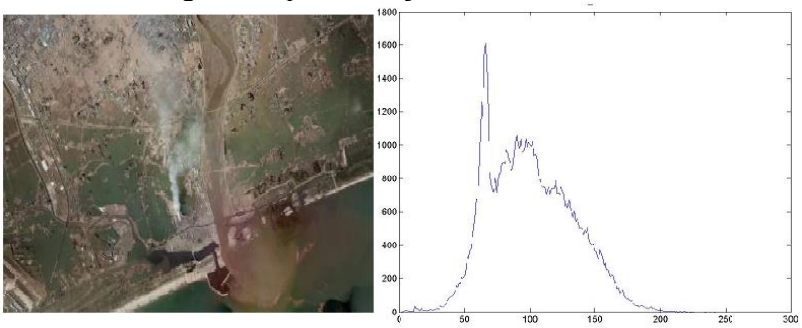
U okviru radiometrijskog poboljšanja slike u programskom paketu MATLAB su obrađeni: prevođenje inteziteta piksela i prikaz histograma kao i ujednačavanje histograma i poboljšanje kontrasta na RGB snimcima. U programskom paketu MATLAB je izvršeno radiometrijsko poboljšanje digitalnog snimka za prostor Triplia.

Funkcija imhist prikazuje histograme za slike. Broj mesta u histogramu je određen tipom slike. Ako je slika u crno-belim tonovima, funkcija koristi standardne vrednosti od 256 nivoa inteziteta. Ako je slika binarna, funkcija koristi dva nivoa inteziteta. Opšti oblik funkcije:

```
b=rgb2gray(a);
imhist(b);
figure,imshow(b).
```

Gdje je *a* ulazna slika.

Izlazna slika će imati n elemenata i u svakom elementu će biti broj piksela čiji intezitet se nalazi u određenom intervalu. Snimak sa histogramom prikazana je na slici 1.



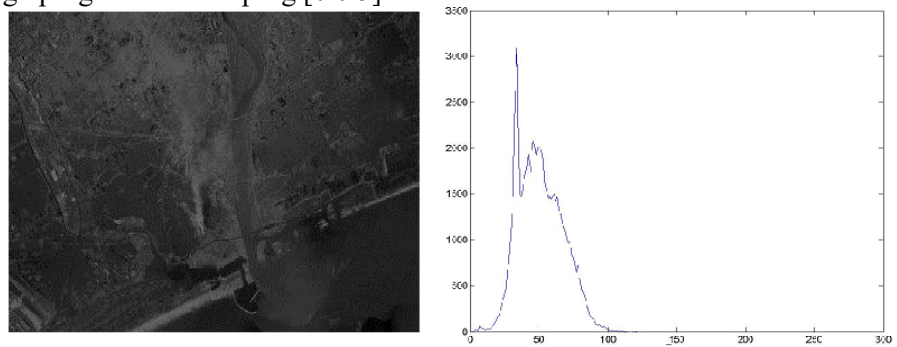
Slika 1: Prikaz snimka i histograma slike

U narednim primerima sledi dobijanje novih slika linearnim preslikavanjem u zadati interval preslikavanja, kao i nelinearnim preslikavanjem za datu vrijednost gama faktora. Nakon prikaza pojedinih funkcija i histograma, donosi se zaključak o uticajima parametara na izlaznu sliku i nastalim promenama.

Osnovna funkcija koja se koristi za transformaciju inteziteta piksela je imadjust. Linearno preslikavanje celog opsega snimaka u opsegu [0 0.5] izvršeno je na osnovu funkcije:

```
c= imadjust(b,[],[0 0.5]);
imhist(c);
figure,imshow(c);
```

gde [] označava preslikavanje celog opsega snimka. Na sledećoj slici prikazan je histogram za preslikavanje celog opsega snimka u opseg [0 0.5].

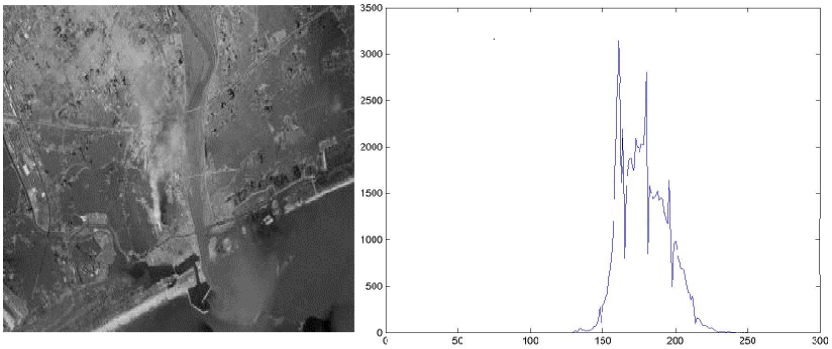


Slika 2: Prikaz snimka i histograma za interval [0 0.5]

Rezultat linearnog preslikavanja u zadati interval je tamnija slika. Linearno preslikavanje cijelog opsega snimka u opseg [0.5 1.0] izvršeno je na osnovu funkcije:

```
d=imadjust(b[],[0.5 1.0]);
imhist(d);
figure,imshow(d).
```

Na sledećoj slici je prikazan histogram za navedeni interval [0.5 1.0]



Slika 3: Prikaz snimka i histograma za interval [0.5 1.0]

Rezultat linearnog preslikavanja u zadati interval je svetlija slika. Kod nelinearnog preslikavanja, ako je gama manje od 1 veća težina se daje već izlaznim vrednostima inteziteta, a ako je gama veće od 1 veće težina se daje manjim vrednostima inteziteta.

Ekvilizacija histograma predstavlja njeno ujednačavanje. Vrši se pomoću funkcije histerq, na sledeći način:

```
j=histerq(b);
figure imshow(j),figure imhist(j)
```

Ekvalizacijom je izvršeno ujednačavanje crne i bele boje na slici. Nakon ekvalizacije dobijena slika je dopadljivija. U suštini, histogram je ujednačavanje nivoa inteziteta od 0-250, ali i to dosta zavisi od polazne slike, odnosno od njenog ulaznog histograma i intervala sivog tona.

TakoĆe, moguće je definisati interval koji je podeljena skala, i prikazati snimke i histograme snimaka za broj ćelija, a sa ciljem izbora najkvalitetnijeg snimka. Za taj korak poslužiće for petlja:

```
for n=20:20:240;
q=histeq(b,n);
figure,imshow(q),figure,imhist(q)
end.
```

3. PODEŠAVANJE KONTRASTA NA RGB SLIKAMA

Podešavanje kontrasta na RGB snimcima vrši se pomoću funkcije imadjust zadavanjem intervala prema komponentama snimka:

```
a1=imadjust(a[0.2 0.3 0;0.6 0.7 1],[]);
a2=imadjust(a[0.3 0.4 0;0.6 0.7 1],[]);
a3=imadjust(a[0.5 0.6 0;0.8 0.9 1],[]);
```

Za poboljšanje kontrasta koristi se parametarska funkcija koja sama odreĆuje te vrijednosti koje se kreću u intervalima [0.01 0.99]. Sintaksa za poboljšanje kontrasta je:

```
stretch2=imadjust(a,stretchlim(a),[0.2 0.8];
stretch4=imadjust(a,stretchlim(a),[0.2 0.6];
stretch3=imadjust(a,stretchlim(a),[0.4 0.6];
```

Na sledećim slikama su prikazani rezultati poboljšanja kontrasta za navedene intervale.

Slika 4: Poboljšanje kontrasta snimka za opseg [0.2 0.8]

Slika 5: Poboljšanje kontrasta snimka za opseg [0.2 0.6]

Slika 6: Poboljšanje kontrasta snimka za opseg [0.4 0.6]

4. ZAKLJUČAK

U radu je obraĊivan digitalni snimak korištenjem postupaka za radiometrijsku korekcija digitalnih snimaka, kroz postupke promene kontrasta i ujednaĉavanja histograma. U okviru eksperimenta uspešno je primenjen programski paket Matlab, pri ĉemu su dobijeni vrlo kvalitetni i jasni slikovni prikazi.

Kroz postupke ujednaĉavanja histograma i promene intenziteta piksela na originalnom snimku, pri radiometrijskom poboljšanju kvaliteta snimka u okviru realizovanog eksperimenta, lako se, u odnosu na izgled histograma, uoĉavaju i razlikuju snimci sa jasnim, preciznim i izražajnim slikovnim prikazom, a to su snimci ĉiji su histogrami najviše ujednaĉeni.

Poboljšanje kvaliteta snimka korištenjem histograma je vrlo dobar naĉin, jer se može zadati mnogo intervala na koje je podeljena skala intenziteta sive boje snimka, pri ĉemu se dobija isto toliko razliĉitih snimaka sa svojim histogramima. Izborom histograma sa najboljim izgledom i karakteristikama, jednostavno se dolazi do izbora najkvalitetnijeg snimka, neophodnog za dalju analizu i interpretaciju snimka.

U oviru procesa poboljšanja kvaliteta digitalnih snimaka u boji, koji prethodi obradi i analizi snimaka, vrlo važnu ulogu ima postupak poboljšanja kontrasta snimaka. ObraĊivan je kvalitetni digitalni snimak, što je omogućilo uspešnu primenu programskog paketa Matlab.

TakoĊe, predstavljene procedure i rezultati u okviru ovog rada, pokazuju mogućnost uspešne primene programskog paketa Matlab u oblasti obrade digitalnih snimaka, iako je navedeni program prvenstveno koncipiran za rešavanje zadataka iz oblasti matematike. MeĊutim, zbog matematiĉke prirode digitalnih zapisa ovaj programski paket se može koristiti kod obrade svih digitalnih snimaka.

Postupci poboljšanja kvaliteta snimaka zasnivaju na primeni skupa matematiĉkih operacija u okviru programskih paketa i softvera koje imaju za cilj poboljšanje uoĉljivosti objekata na snimcima, delova snimaka ili njegove cele površine, povećavanje ili smanjivanje kontrasta, geometrijsku korekciju, kombinovanje snimaka dobijenih razliĉitim senzorima, i sl.

Predstavljeni rezultati u okviru ovog rada, pokazuju mogućnost uspešne primene programskog paketa MATLAB u oblasti obrade digitalnih snimaka.

LITERATURA

[1] Canada centre for remote sensing (2002). Fundamentals of Remote Sensing, Natural Resources Canada.

[2] Ćirović G., Regodić M., Sekulović D., Tadić V., Gigović, Lj. (2014). Worldview-1 satellite image processing for topographic maps content update. Tehnički vjesnik 21, 2, 333-339

[3] http://www.mathworks.com/help/images/

[4] http://meteoplaneta.rs/2012/04/01/meteoroloski-sateliti/

[5] http://www.intelligence-airbusds.com/en/5750-image-gallery-search-results?world=1184

[6] http://www.sk.rs/2012/04/skpr01.html

[7] Oluić, M. (2001). Snimanje i istraživanje Zemlje iz svemira, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Geosat, Zagreb.

[8] Pavlović, R., Ĉupković T., Marković M. (2001). Daljinska detekcija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.

[9] Regodić, M. (2008). Remote Sensing as a method of collecting space date. Military Tehnical Courier; 1: 91-112.

GRAPHS AND NETWORKS

GRAFOVI I MREŽE

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

FURTHER RESULTS ON THE COSPECTRALITY OF SMITH GRAPHS

DRAGOŠ CVETKOVIĆ[1], IRENA JOVANOVIĆ[2], VESNA TODORČEVIĆ[3]

[1] Mathematical Institute SANU, Belgrade, ecvetkod@etf.rs

[2] School of computing, Union University, Belgrade, irenaire@gmail.com

[3] Faculty of Organizational Sciences, and Mathematical Institute SANU, Belgrade, vesnat@fon.bg.ac.rs

Abstract: *The technical details related to the computation of the spectra of Smith graphs of the small order are given. The technique based on solving linear Diofantine equations is used for the determination of the graphs that are cospectral with the graph $Z_n + W_n$, and it is indicated how the same results may be obtained by use of the so called G-transformations.*

Keywords: *Smith graphs, adjacency matrix, spectrum, cospectral graphs, cospectral equivalence class.*

1. INTRODUCTION

The problem of the spectral characterization of graphs is one of the oldest problems in the spectral graph theory. We may distinguish between the two main research tasks on this subject: identification of all graphs that are characterized by its spectrum, and determination of all graphs that are not isomorphic to a given graph, but that are cospectral with it. In this paper, we will consider the both tasks for certain Smith graph by solving a corresponding system of linear Diophantine equations. In that sense, this paper is a continuation of the research initiated in [3], and further refreshed in [5]. Some related results on spectral characterization of Smith graphs can be found in the papers [2], [11], [12] and [13].

Smith graphs with respect to the adjacency matrix A will be considered. The *spectrum* of a graph G will be denoted by $\widehat{G}$. The *disjoint union* of graphs G_1 and G_2 will be denoted by $G_1 + G_2$, while for the union of their spectra (i.e. the spectrum of $G_1 + G_2$) we will use the following mark $\widehat{G}_1 + \widehat{G}_2$. In the similar manner, kG ($k\widehat{G}$) stands for the union of k copies of G (the spectrum of kG). We say that two graphs G_1 and G_2 are *cospectral*, denoted by $G_1 \sim G_2$, if they have the same spectra (i.e. $\widehat{G}_1 = \widehat{G}_2$). It is obvious that $\sim$ is an equivalence relation on the set of all graphs. A graph G is said to be *determined by its spectrum* if it is a unique graph having that spectrum. As in [8] or [13], we use mark *DS-graph* (or *non-DS graph*) to indicate that some graph is determined (or non-determined) by its spectrum.

Smith graphs are graphs whose the largest eigenvalue is at most 2. Precisely, the connected Smith graphs are: a path P_n on n vertices, a cycle C_n of order n, an n-vertex *snake graph* Z_n, an n-vertex *double snake graph* W_n, and the so called *Smith graphs of the small order* T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 and T_6 (see [3] or [5]). The set of all Smith graphs will be denoted by $\mathfrak{S}^*$, while the set of those that are bipartite (so odd cycles are excluded) by $\mathfrak{S}$. In this paper, we will consider graphs from the set $\mathfrak{S}$. The eigenvalues of the connected Smith graphs with respect to the adjacency matrix are given in [1] and [3]. In [3], it has been pointed that all the eigenvalues of the Smith graphs are of the form $2\cos\frac{p}{q}\pi$, where p, q are integers and $q \neq 0$. Knowing the spectra of graphs from the set $\mathfrak{S}^*$ allowed the construction of the following pairs of cospectral non-isomorphic graphs in [3]:

$$\begin{aligned}
&\widehat{W}_n = \widehat{C}_4 + \widehat{P}_n; \quad \widehat{Z}_n + \widehat{P}_n = \widehat{P}_{2n+1} + \widehat{P}_1; \quad \widehat{C}_{2n} + 2\widehat{P}_1 = \widehat{C}_4 + 2\widehat{P}_{n-1}; \quad \widehat{T}_1 + \widehat{P}_5 + \widehat{P}_3 = \widehat{P}_{11} + \widehat{P}_2 + \widehat{P}_1; \\
&\widehat{T}_2 + \widehat{P}_8 + \widehat{P}_5 = \widehat{P}_{17} + \widehat{P}_2 + \widehat{P}_1; \quad \widehat{T}_3 + \widehat{P}_{14} + \widehat{P}_9 + \widehat{P}_5 = \widehat{P}_{29} + \widehat{P}_4 + \widehat{P}_2 + \widehat{P}_1; \quad \widehat{T}_4 + \widehat{P}_1 = \widehat{C}_4 + 2\widehat{P}_2; \\
&\widehat{T}_5 + \widehat{P}_1 = \widehat{C}_4 + \widehat{P}_3 + \widehat{P}_2; \quad \widehat{T}_6 + \widehat{P}_1 = \widehat{C}_4 + \widehat{P}_4 + \widehat{P}_2.
\end{aligned} \tag{1}$$

Given relations enable the construction of all pairs of cospectral non-isomorphic graphs in the set $\mathfrak{S}$.

The rest of the paper is organized as follows. In Section 2 the technical details related to the computation of the spectra of Smith graphs of the small order are given. In Section 3 we are updating the reader about the technique based on solving linear Diofantine equations by which one may decide if a given graph is a DS-graph. In Section 4 these technique is used for the determination of the graphs that are cospectral with the graph $Z_n + W_n$. Also, it is demonstrated how the same results may be obtained by use of the so called G-transformations.

2. SPECTRA OF SMITH GRAPHS OF THE SMALL ORDER

The adjacency spectra of Smith graphs are well known. In that way, the spectra of P_n and C_n are given in [1], while the spectra of Z_n and W_n can be found in [4] and [10]. The spectra of Smith graphs of the small order $T_1 - T_6$ are exposed in [3] but without the technical details related to the calculation. In [9] the authors consider the characteristic polynomials and spectra of Smith graphs with respect to the Kronecker's theorem, but they omit the related computational data. Therefore, we give the computational performance related to the spectra of Smith graphs of the small order. Recall that we use the notation from [3].

By applying Theorem 2.2.1 from [6] on the proper vertex of Smith graphs of the small order (in graphs T_1, T_2, T_3, T_5 and T_6 it is the vertex of degree 3, while in T_4 it is the vertex of degree 2), and by using the relation for the characteristic polynomial $P_{P_n}(x)$ of the n-vertex path P_n (see page 47. in [6]), we found that the characteristic polynomials of these six graphs are:

$$\begin{aligned}
&P_{T_1}(x) = xP_{P_5}(x) - P_{P_2}^2(x) = (x^2-1)(x^4-4x^2+1);\\
&P_{T_2}(x) = xP_{P_6}(x) - P_{P_2}(x)P_{P_3}(x) = x\left(x^2(x^2-3)^2-3\right);\\
&P_{T_3}(x) = xP_{P_7}(x) - P_{P_2}(x)P_{P_4}(x) = x^8-7x^6+14x^4-8x^2+1;\\
&P_{T_4}(x) = xP_{T_1}(x) - P_{P_5}(x) = x(x^2-1)^2(x^2-4);\\
&P_{T_5}(x) = xP_{P_7}(x) - P_{P_3}^2(x) = x^2(x^2-1)(x^2-4)(x^2-2);\\
&P_{T_6}(x) = xP_{P_8}(x) - P_{P_2}(x)P_{P_5}(x) = x(x^2-1)(x^2-4)(x^4-3x^2+1).
\end{aligned} \tag{2}$$

We have that $P_{P_n}(x) = U_n(x/2)$, where $U_n(x)$ is the Chebyshev polynomial of the second kind. Having in mind that $U_0(x) = 1$, $U_1(x) = 2x$, and that $U_n(x) = xU_{n-1}(x) + T_n(x)$ holds, where $T_n(x)$ is the Chebyshev polynomial of the first kind defined by $T_n(\cos\theta) = \cos n\theta$, $\theta \in [0,\pi]$, we can introduce $t = \cos\theta$, and the relations (2) become:

$$P_{T_1}(2\cos\theta) = (4\cos^2\theta - 1)(16\cos^4\theta - 16\cos^2\theta + 1); \tag{3}$$

$$P_{T_2}(2\cos\theta) = 2\cos\theta\left(4\cos^2\theta(4\cos^2\theta-3)^2 - 3\right); \tag{4}$$

$$P_{T_3}(2\cos\theta) = 256\cos^8\theta - 448\cos^6\theta + 224\cos^4\theta - 32\cos^2\theta + 1; \tag{5}$$

$$P_{T_4}(2\cos\theta) = 8\cos\theta(\cos^2\theta - 1)(4\cos^2\theta - 1)^2; \tag{6}$$

$$P_{T_5}(2\cos\theta) = 4\cos^2\theta(2\cos\theta - 1)(2\cos\theta + 1)(2\cos\theta - 2)(2\cos\theta + 2)(4\cos^2\theta - 2); \tag{7}$$

$$P_{T_6}(2\cos\theta) = 2\cos\theta(4\cos^2\theta - 1)(4\cos^2\theta - 4)(16\cos^4\theta - 12\cos^2\theta + 1). \tag{8}$$

By solving the corresponding trigonometrical equations, and taking into account the multiplicity of certain factors, from the relations (6) and (7) we directly get $\theta \in \{0, \frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2}, \frac{2\pi}{3}, \pi, \frac{4\pi}{3}, \frac{5\pi}{3}\}$, and $\theta \in \{0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}, \pi, \frac{3\pi}{2}\}$, so the spectrum of T_4 is $2\cos\frac{2j\pi}{6}$, for $j = 1,2,3,4,5,6$ and $[0]$, while the spectrum of T_5 is $2\cos\frac{j\pi}{4}$, for $j = 1,2,3$ and $[2]$, $[1]$, $[0]$, $[-1]$, $[-2]$.

Since $16\cos^4\theta - 16\cos^2\theta + 1 = 4(4\cos^4\theta - 4\cos^2\theta + 1) - 3 = 4\cos^2 2\theta - 3$ holds, the relation (3) becomes: $P_{T_1}(2\cos\theta) = (4\cos^2\theta - 1)(4\cos^2 2\theta - 3)$, wherefrom we find that the spectrum of T_1 is $2\cos\frac{j\pi}{12}$, $j = 1,4,5,7,8,11$.

Since $\cos 3\theta = \cos\theta(4\cos^2\theta - 3)$ holds, the relation (4) has the following form:

$$P_{T_2}(2\cos\theta) = 2\cos\theta(4\cos^2 3\theta - 3) = 2\cos\theta\left(2(2\cos^2 3\theta - 1) - 1\right) = 2\cos\theta(2\cos 6\theta - 1),$$

so the spectrum of T_2 is $2\cos\frac{j\pi}{18}$, $j = 1,5,7,9,11,13,17$.

Since $T_{10}(\cos\theta) = \cos(10\theta) = -1 + 50\cos^2\theta - 400\cos^4\theta + 1120\cos^6\theta - 1280\cos^8\theta + 512\cos^{10}\theta$ holds, using the relation (5) we find that $P_{T_3}(2\cos\theta) = \frac{2T_{10}(\cos\theta)-1}{2T_2(\cos\theta)-1} = \frac{2\cos 10\theta - 1}{2\cos 2\theta - 1}$, wherefrom we get that the spectrum of T_3 is $2\cos\frac{j\pi}{30}$, $j = 1,7,11,13,17,19,23,29$.

Since $\cos\frac{\pi}{5} = \sin\frac{3\pi}{10}$, i.e. $\cos\frac{2\pi}{10} - \sin\frac{3\pi}{10} = 0$ holds, we have that $4\sin^3\frac{\pi}{10} - 2\sin^2\frac{\pi}{10} - 3\sin\frac{\pi}{10} + 1 = 0$, i.e. $4\left(\sin\frac{\pi}{10} - 1\right)\left(\sin\frac{\pi}{10} - \frac{\sqrt{5}-1}{4}\right)\left(\sin\frac{\pi}{10} + \frac{\sqrt{5}+1}{4}\right) = 0$, wherefrom we conclude that $\sin\frac{\pi}{10} = \frac{\sqrt{5}-1}{4}$. So, we have: $\arcsin\left(\frac{\sqrt{5}-1}{4}\right) = \frac{\pi}{10}$, and therefore $\arccos\left(\frac{\sqrt{5}-1}{4}\right) = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{\sqrt{5}-1}{4}\right) = \frac{2\pi}{5}$. Also, $\cos\frac{\pi}{5} = \cos\frac{2\pi}{10} = \frac{1+\sqrt{5}}{4}$, and therefore $\arccos\left(-\frac{\sqrt{5}+1}{4}\right) = \pi - \arccos\frac{1+\sqrt{5}}{4} = \frac{4\pi}{5}$. Now, from the first three factors in the relation (8) we find

$\theta \in \{0, \frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2}, \frac{2\pi}{3}, \pi\}$, while the last factor can be transformed in the following way: $16\cos^4\theta - 12\cos^2\theta + 1 = (16\cos^4\theta - 16\cos^2\theta + 4) + (4\cos^2\theta - 3) = 16\left(\cos^2\theta - \frac{1}{2}\right)^2 + (2\cos 2\theta - 1)$, wherefrom we get the following trigonometrical equation $4\cos^2 2\theta + 2\cos 2\theta - 1 = 0$, that is equivalent with $\cos 2\theta = \frac{\sqrt{5}-1}{4}$ or $\cos 2\theta = \frac{-\sqrt{5}-1}{4}$. So, we have $\theta \in \{\frac{\pi}{5}, \frac{2\pi}{5}, \frac{3\pi}{5}, \frac{4\pi}{5}\}$, i.e. the spectrum of T_6 is $2\cos\frac{j\pi}{5}$, for $j = 1,2,3,4$ and $[2]$, $[1]$, $[0]$, $[-1]$, $[-2]$.

3. THE EXISTING TECHNIQUE INVOLVING LINEAR DIOFANTINE EQUATIONS

In this section, we will briefly remind the reader on the technique, that is exposed in [3], and later refreshed in [5], for deciding whether a graph is a DS-graph. The technique is based on solving a system of linear Diofantine equations. In the case that the considered graph is not a DS-graph, by described technique one may determine all of its cospectral mates.

If $\widehat{S}_1, \widehat{S}_2, \ldots \widehat{S}_m$ are some systems of numbers and $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \ldots \sigma_m$ are integers such that the expression $\sigma_1\widehat{S}_1 + \sigma_2\widehat{S}_2 + \ldots + \sigma_m\widehat{S}_m$ can be calculated in at least one way by successive performing the quoted operations, then this expression defines a systems $\widehat{S}$ and we shall say that $\widehat{S}$ is a linear combination of $\widehat{S}_1, \widehat{S}_2, \ldots \widehat{S}_m$. The following theorem has been proved in [3]:

▶ **Theorem 1.** *The spectrum of $G \in \mathfrak{S}$ can be represented in a unique way as a following linear combination:*

$$\sigma_0\widehat{C}_4 + \sum_{i=1}^{m} \sigma_i\widehat{P}_i, \tag{9}$$

where the number m is bounded by a function of the number of vertices, while σ_0 is always non-negative and the non-vanishing coefficient σ_i with the greatest i is positive.

The representation (9), for all bipartite graphs from $\mathfrak{S}$, can be obtained by using the equalities (1).

In [3] an effective procedure which enables the determination of all graphs having the spectrum equal to a given system of numbers of the form $2\cos\frac{p}{q}\pi$ is exposed. These graphs can be obtained by solving a system of linear Diofantine equations as follows. Recall that we will consider only bipartite graphs.

Given a symmetric system $\widehat{S}$ of numbers of the form $2\cos\frac{p}{q}\pi$, we try to represent it as a linear combination of $\widehat{C}_4, \widehat{P}_1, \widehat{P}_2, \ldots$. If this is not possible, $\widehat{S}$ is not a spectrum of any graph. In the case such a representation is possible, the mentioned linear combination is unique. Let now $\widehat{S}$ be represented as:

$$\widehat{S} = \sigma_0\widehat{C}_4 + \sigma_1\widehat{P}_1 + \sigma_2\widehat{P}_2 + \cdots + \sigma_m\widehat{P}_m. \tag{10}$$

Suppose that $\widehat{S}$ is the spectrum of G. Presenting $\widehat{S}$ as a linear combination of spectra of the components we get:

$$\widehat{S} = p_1\widehat{P}_1 + p_2\widehat{P}_2 + p_3\widehat{P}_3 + \cdots + z_2\widehat{Z}_2 + z_3\widehat{Z}_3 + \cdots + w_1\widehat{W}_1 + w_2\widehat{W}_2 + \cdots c_2\widehat{C}_4 + c_3\widehat{C}_6 + \cdots + t_1\widehat{T}_1 + \cdots + t_6\widehat{T}_6 \tag{11}$$

for some non-negative integers (i.e. the parameters of G):

$$p_1, p_2, p_3, \ldots, z_2, z_3, \ldots, w_1, w_2, w_3, \ldots, c_2, c_3, \ldots, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6. \tag{12}$$

The number of terms in (11) is finite, and is bounded by a function of the number of vertices of a given graph G. Using (1) one can express (11) in the form:

$$\widehat{S} = F_0\widehat{C}_4 + F_1\widehat{P}_1 + F_2\widehat{P}_2 + \cdots, \tag{13}$$

where the coefficients F_i, $i = 0, 1, \ldots$ are the functions of the variables (12) (for more details see [3] or [5]). Comparing (10) and (13) we get the following system of linear algebraic equations in unknowns (12):

$$F_i = \sigma_i, \qquad i = 0, 1, 2, \ldots, m. \tag{14}$$

The equation $F_i = \sigma_i$ will be denoted by E_i, for any non-negative integer i. According to this, the following theorem is given in [3]:

▶ **Theorem 2.** *Let $\widehat{S}$ be a symmetric system of numbers of the form $2\cos\frac{p}{q}\pi$, where p, q are integers and $q \neq 0$. A necessary condition for $\widehat{S}$ to be a graph spectrum is that $\widehat{S}$ can be represented in the form (10). In this case, to every solution of the system of equations (14) in unknowns (12), these quantities being non-negative integers, a graph corresponds, the spectrum of which is $\widehat{S}$. All graphs having the spectrum equal to $\widehat{S}$ can be obtained in this way.*

As we pointed out in [5], the equality (10) can be formulated as $\widehat{S} = \sigma_0 \widehat{C}_4 + \sum_{i=1}^{+\infty} \sigma_i \widehat{P}_i$, with $\sigma_i = 0$ for $i > m$. Together with (14) we can consider the equalities $F_i = 0$ for $i > m$, and they are also fulfilled.

For the system of equations (14) we will say that it is the system *associated* to the considered graph G, and by solving it, we may distinguish between the two possible outcomes:

1. (14) has a unique solution of non-negative integers, which means that the considered graph G is DS-graph;
2. (14) has a non-unique solution over the set of non-negative integers, which means that G is not DS-graph. By finding all solutions of the system, one will determine the cospectral equivalence class of G.

4. THE COSPECTRAL EQUIVALENCE CLASS OF THE GRAPH $Z_n + W_n$

Using the technique described in the previous section, we will prove that the graph $Z_n + W_n$ is not DS-graph, and we will determine its cospectral equivalence class.

▶ **Theorem 3.** *The cospectral equivalence class of the graph $Z_n + W_n$, for $n \geq 2$, consists of the following graphs: $Z_n + W_n$, $P_1 + W_{2n+1}$, $P_{2n+1} + W_1$, $Z_n + P_n + C_4$, $P_1 + C_4 + P_{2n+1}$.*

Proof. Let us notice that in the proof we will use exactly the same notation and terminology as it is in [5]. Graph $Z_n + W_n$ has $2n+6$ vertices. According to (1) we have $\widehat{Z}_n + \widehat{W}_n = \widehat{C}_4 + \widehat{P}_1 + \widehat{P}_{2n+1}$, so just coefficients σ_0, σ_1 and σ_{2n+1} in (9) are equal to 1. The relevant variables of the associated system (14) are: $p_1, p_2, \ldots, p_{2n+6}$, $z_2, z_3 \ldots z_{2n+4}$, $w_1, w_2, \ldots, w_{2n+2}$, $c_2, c_3, \ldots, c_{n+3}$, and $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$.

The equation E_0 of the corresponding system of linear equations is of the following form:

$$F_0 = w_1 + w_2 + \cdots + w_{2n+2} + c_2 + c_3 + \cdots + c_{n+3} + t_4 + t_5 + t_6 = 1, \tag{15}$$

wherefrom we conclude that exactly one of the variables $w_1, w_2, \ldots, w_{2n+2}, c_2, c_3, \ldots, c_{n+3}, t_4, t_5, t_6$ is equal to one. Let us consider all possible cases. We can distinguish between the three main depending of whether the variable w_i, for exactly one $i \in \{1, 2, \ldots, 2n+2\}$, or the variable c_j, for exactly one $j \in \{2, 3, \ldots, n+3\}$ or the variable t_k, for exactly one $k \in \{4, 5, 6\}$ is equal to 1.

Case 1: exactly one of the variables w_i, $i \in \{1, 2, \ldots, 2n+2\}$ in (15) is equal to 1.
We can make the difference between the following two subcases.

Case 1.1: Let us suppose that $w_1 = 1$. From the equation E_1 it follows that $p_1 = 0$, $z_2 = z_3 = \cdots = z_{2n+4} = 0$, and $t_1 = t_2 = t_3 = 0$. From the equations E_i, for $i \in \{2, 3, \ldots, 2n+6\}$ we find that $p_{2n+1} = 1$ and $p_i = 0$, for each $i \neq 2n+1$. Therefore, we have $Z_n + W_n \sim W_1 + P_{2n+1}$.

Case 1.2: Let us suppose that $w_j = 1$, for exactly one $j \in \{2, 3 \ldots, 2n+2\}$. Then, from the equation E_1 it follows that exactly one of variables $p_1, z_2, z_3, \ldots, z_{2n+4}, t_1, t_2, t_3$ is equal to one.

If $t_1 = 1$ or $t_2 = 1$ or $t_3 = 1$, we find a contradiction in the equation E_2.

Let us suppose that $z_k = 1$, for exactly one $k \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$, and that $k = j$. Then from the equation E_{2j+1} we obtain $z_n = w_n = 1$ and $p_{2n+1} = 0$. The equations E_i, for $i \in \{2, 3, \ldots, 2n+6\}$ and $i \neq 2n+1$ are reducing to $F_i = p_i = 0$, and therefore $Z_n + W_n \sim Z_n + W_n$.

If $z_k = 1$, for exactly one $k \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$, and $k \neq j$, then from the equation E_j it follows that $w_{2n+1} = 1$, $p_{2n+1} = 0$ and $z_n = 0$. Now, the equation E_k is $F_k = p_k - 1 = 0$, i.e. $p_k = 1$, for $k \geq 2$. If we then take into account that $w_{2n+1} = 1$ and $z_k = 1$, we will see that the potential cospectral mate will have at least $2n+5+k+k+2 = 2n+2k+7 \geq 2n+11$ vertices, that is in the contradiction with the number of vertices of the graph $Z_n + W_n$.

If $p_1 = 1$ and $j = 2n+1$, then from the equations E_i, for $i \in \{2, 3, \ldots, 2n+6\}$ we obtain that $Z_n + W_n \sim P_1 + W_{2n+1}$.

If $p_1 = 1$ and $j \neq 2n+1$, then the equation E_j is: $F_j = p_j + 1 = 0$, which is a contradiction.

Case 2: exactly one of the variables c_i, $i \in \{2, 3, \ldots, n+3\}$ in (15) is equal to 1.

Case 2.1: Let us suppose that $c_2 = 1$. Then from the equation E_1 we conclude that exactly one of the variables $p_1, z_2, z_3, \ldots, z_{2n+4}, t_1, t_2, t_3$ is equal to one.

If $t_1 = 1$ or $t_2 = 1$ or $t_3 = 1$, from the equation E_2 we find that $p_2 = -1$, which is a contradiction.

Let $z_k = 1$, for exactly one $k \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$. Then from the equation E_{2k+1} we get $z_n = 1$ and $p_{2n+1} = 0$. Then, by analysing the equations E_i, for $i \in \{2, 3, \ldots, 2n+6\}$ and $i \neq 2n+1$, we find that $p_n = 1$ and $p_i = 0$, for each $i \neq n, 2n+1$. So, we have $Z_n + W_n \sim C_4 + P_n + Z_n$.

If $p_1 = 1$, from the equation E_{2n+1} we find $p_{2n+1} = 1$, while from the equations E_i, $i \in \{2, 3, \ldots, 2n+6\}$ and $i \neq 2n+1$, we get $p_i = 0$. So, it follows $Z_n + W_n \sim C_4 + P_1 + P_{2n+1}$.

Case 2.2: Let us suppose that $c_j = 1$, for exactly one $j \in \{3, 4, \ldots, n+3\}$. Then the equation E_1 is of the following form: $F_1 = p_1 + z_2 + z_3 + \cdots + z_{2n+4} + t_1 + t_2 + t_3 = 3$. Let us consider its non-negative solutions. We

can make the difference between 18 possible cases. Of course, when we suppose that some of the variables in the equation E_1 have positive values, this means that all of the others are equal to zero.

In the following cases: **Case 2.2.1** ($t_k = 3$, for exactly one $k \in \{1, 2, 3\}$), **Case 2.2.2** ($p_1 = 2$ and $t_k = 1$, for exactly one $k \in \{1, 2, 3\}$), **Case 2.2.3** ($p_1 = 1$ and $t_k = 2$, for exactly one $k \in \{1, 2, 3\}$), **Case 2.2.4** ($t_k = 2$, for exactly one $k \in \{1, 2, 3\}$ and $z_l = 1$, for exactly one $l \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$), **Case 2.2.5** ($t_k = 2$ and $t_l = 1$, for $k \neq l$ and $k, l \in \{1, 2, 3\}$), **Case 2.2.6** ($p_1 = 1$ and $t_k = t_l = 1$, for $k < l$ and $k, l \in \{1, 2, 3\}$), and **Case 2.2.7** ($t_k = t_l = 1$, for $k < l$ and $k, l \in \{1, 2, 3\}$ and $z_s = 1$, for exactly one $s \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$) and **Case 2.2.8** ($t_1 = t_2 = t_3 = 1$) we find a contradiction in the equation E_2.

In the cases: **Case 2.2.9** ($z_k = 3$, for exactly one $k \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$) and **Case 2.2.10** ($p_1 = 1$ and $z_k = 2$, for exactly one $k \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$) we find a contradiction in the equation E_{2k+1}.

Case 2.2.11: If $p_1 = 3$, then from the equation E_{j-1}, we obtain that $p_{j-1} = -2$, which is a contradiction.

Case 2.2.12: Let us suppose that $p_1 = 2$ and $z_k = 1$, for exactly one $k \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$. From the equation E_{2k+1} we conclude that $z_n = 1$ and $p_{2n+1} = 0$. Now, the equation E_n means that $p_n + 2c_{n+1} = 1$, wherefrom we get that $p_n = 1$ and $c_{n+1} = 0$. This means that a potential cospectral mate has at least $2(n + j + 2)$ vertices, and since this number could not be greater than $2n+6$, we conclude that $j \leq 1$, that is impossible since $j \geq 3$.

Case 2.2.13: If $z_k = 2$ and $z_l = 1$, for $k < l$ and $k, l \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$, then from the equation E_{2k+1} we conclude that $z_n = 2$ and $z_{2n+1} = 1$. This means that a potential cospectral mate has at least $4n + 2j + 7 \geq 4n + 13$ vertices, which is a contradiction.

Case 2.2.14: Let us suppose that $z_k = 2$, for exactly one $k \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$, and $t_l = 1$, for exactly one $l \in \{1, 2, 3\}$. Then if $k = 2$ and $n \neq 2$, from the equation E_5 we get $p_5 + 2c_6 = -1$, which is a contradiction. If $k = 2$ and $n = 2$, we find that a potential cospectral mate has more vertices than the graph $Z_2 + W_2$. If $k \neq 2$, from the equation E_2 we obtain $p_2 + 2c_3 = -1$, which is a contradiction.

Case 2.2.15: Let $p_1 = 1$, $z_k = 1$, for exactly one $k \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$ and $t_l = 1$, for exactly one $l \in \{1, 2, 3\}$.

If $k \neq 2$, from the equation E_2 we find $p_2 + 2c_3 = -1$, which is a contradiction.

If $k = 2$ and $t_1 = 1$, then from the equation E_{11}, if $n \neq 5$ we obviously have a contradiction, while if $n = 5$, a potential cospectral mate has at least $11 + 2j \geq 17$ vertices that is greater than the number of vertices of the graph $Z_5 + W_5$.

If $k = 2$ and $t_2 = 1$, then from the equation E_{17}, if $n \neq 8$, a contradiction is obvious, while if $n = 8$, a potential cospectral mate has at least $12 + 2j$ vertices, and since graph $Z_8 + W_8$ has 22 vertices, it follows that $j \leq 5$. Therefore, if $c_q = 1$, for $q \in \{3, 4, 5\}$, then from the equation E_{q-1} we find that $p_{q-1} = -2$, that is a contradiction.

And finally, if $k = 2$ and $t_3 = 1$, from the equation E_4 we get $p_4 + 2c_5 = -1$, which is a contradiction.

Case 2.2.16: Let us suppose that $z_k = z_l = z_s = 1$, for $k < l < s$ and $k, l, s \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$, and let us consider the equations E_i, for $i \in \{2, 3, \ldots, n+2\}$. They are of the form: $F_i = p_i + (z_{\frac{i-1}{2}}) - z_i + 2c_{i+1} = 0$. According to the assumptions, we may distinguish the following combinations of possible values of the variables $z_{\frac{i-1}{2}}$ and z_i, i.e. $\left(z_{\frac{i-1}{2}}, z_i\right) \in \{(0,0), (0,1), (1,0), (1,1)\}$. In all of these cases we find a contradiction or that $c_{i+1} = 1$, for every i, which is a contradiction again, since we suppose that exactly one c_j should be equal to one.

Case 2.2.17: Let $p_1 = 1$ and $z_k = z_l = 1$, for $k < l$ and $k, l \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$. By analysing the equations E_i, for $i \in \{2, 3, \ldots, n+2\}$ in the same way as in the **Case 2.2.16**, we find a contradiction.

Case 2.2.18: Let us suppose that $z_k = z_l = 1$, for $k < l$ and $k, l \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$, and that $t_s = 1$, for exactly one $s \in \{1, 2, 3\}$.

If we suppose that $k \neq 2$, i.e. $z_2 = 0$, from the equation E_2 we obtain that $p_2 + 2c_3 = -1$, which is a contradiction. Therefore, $k = 2$, i.e. $z_2 = 1$.

Now, let us analyse all possible values of the index s.

If $s = 1$, i.e. $t_1 = 1$, from the equation E_{11}, if $n \neq 5$, then it is $(z_5, z_{11}) = (0, 1)$, while if $n = 5$, we have two possibilities: $(z_5, z_{11}) = (0, 0)$ or $(z_5, z_{11}) = (0, 1)$.

If $(z_5, z_{11}) = (0, 0)$ and $n = 5$, the number of vertices of a potential cospectral mate is at least $10 + 2j + 2l$ that is greater than the number of vertices of $Z_5 + W_5$.

If $z_{11} = 1$, a potential cospectral mate has at least $23 + 2j$ vertices. If $n = 5$, this number is greater than the number of vertices of $Z_5 + W_5$. If $n \neq 5$, from the equation E_{23} it follows that $n = 11$. Therefore, since the number of vertices of $Z_{11} + W_{11}$ is 28, it follows $2j \leq 5$, that is a contradiction since $j \geq 3$.

If $s = 2$, i.e. $t_2 = 1$, from the equation E_{17}, like in the previous case, we conclude that $(z_8, z_{17}) = (0, 0)$ and $n = 8$ is impossible. So, for $z_{17} = 1$ and $z_8 = 0$ a potential cospectral mate has at least $30 + 2j$ vertices. So, if $n = 8$, this number is greater than the number of vertices of $Z_8 + W_8$, while in the contrary, i.e. if $n \neq 8$, from the equation E_{35} we conclude that $n = 17$. In that case, since graph $Z_{17} + W_{17}$ has 40 vertices, it follows that $j \leq 5$. So, from the equations E_i, for $i \in \{2, 3, 4\}$ we get $p_i = -2$, which is a contradiction.

And, finally, let us suppose that $s = 3$, i.e. $t_3 = 1$. If $l \neq 4$, i.e. $z_4 = 0$, we find a contradiction from the equation E_4. Therefore, $z_4 = 1$. From the equation E_{29} it follows that $n = 14$, so the number of vertices of $Z_{14} + W_{14}$ is equal to 34. Since the number of vertices of a potential cospectral mate is at least $18 + 2j$, we get that $j \leq 8$. But, than from the equations E_i, for $i \in \{2, 3, \ldots, 7\}$ it follows that $p_i = -2$, which is a contradiction.

Case 3: exactly one of the variables t_i, $i \in \{4, 5, 6\}$ in (15) is equal to 1.

Under this circumstances, the equation E_1 is $F_1 = p_1 + z_2 + z_3 + \cdots + z_{2n+4} + t_1 + t_2 + t_3 = 2$.

In the **Case 3.1** ($p_1 = 2$), **Case 3.2** ($t_j = 2$, for exactly one $j \in \{1, 2, 3\}$,), **Case 3.3** ($p_1 = 1$ and $t_j = 1$, for exactly one $j \in \{1, 2, 3\}$), **Case 3.4** ($z_j = 1$, for exactly one $j \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$ and $t_k = 1$, for exactly one $k \in \{1, 2, 3\}$), and **Case 3.5** ($t_j = t_k = 1$, for $j \neq k$, and $j, k \in \{1, 2, 3\}$), we find a contradiction in the equation E_2.

Case 3.6: Let us suppose that $z_j = 2$, for exactly one $j \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$. If $j \neq 2$, then from the equation E_2 we find that $p_2 < 0$, which is a contradiction. In contrary, if $z_2 = 2$, we find a contradiction in E_5.

Case 3.7: Let us suppose that $p_1 = 1$ and $z_j = 1$, for exactly one $j \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$. Then, if $j \neq 2$, we have $F_2 = p_2 < 0$, which is a contradiction. In contrary, if $j = 2$, we find a contradiction in E_5.

Case 3.8: Let us suppose that $z_j = z_k = 1$, for $j < k$ and $j, k \in \{2, 3, \ldots, 2n+4\}$. If $j \neq 2$, from the equation E_2 we find that $p_2 < 0$. So, it must be $z_2 = 1$. If $k = 5$, i.e. $z_5 = 1$, we find a contradiction in the equation E_{11}. Therefore, $k \neq 5$, but then we have a contradiction in the equation E_5. ◀

In [7] the so called *G-transformations* are considered. *G-transformation* means that in a graph one group of its components is replaced with another group of components. These transformations may be of the two directions: $\rightarrow$ and $\leftarrow$. Those of the direction $\rightarrow$ are denoted by γ_i, while those of the form $\leftarrow$ are denoted by δ_i, $i = 1, \ldots 9$, and they correspond to the graph spectra given in (1). Application of any *G*-transformation does not change the spectrum of the corresponding graph. By use of the related ideas exposed in [7], one can prove Theorem 3 in the following way:

Another proof of Theorem 3. The only *G-transformation* applicable to $Z_n + W_n$ is γ_1 and, in this way, we obtain the graph $Z_n + C_4 + P_n$. Now, δ_1 goes back while γ_2 leads to $C_4 + P_1 + P_{2n+1}$. The only new graphs we obtain by δ_1 transformation: δ_1^1 yields the graph $W_1 + P_{2n+1}$, while δ_1^{2n+1} yields $W_{2n+1} + P_1$. No other *G-transformations* are possible. ◀

Acknowledgement. This work is supported by the Serbian Ministry for Education, Science and Technological Development, Grants ON174033, ON174024, III45003 and F-159.

REFERENCES

[**1**] Collatz L., Sinogowitz U., Spektren endlicher Graphen, Abh. Math. Sem. Univ. Hamburg, **21** (1957), 63–77.

[**2**] Cvetković D., Spectral theory of Smith graphs, Bull. Acad. Serbe Sci. Arts, Cl. Sci. Math. Natur., Sci. Math., **150** (2017), No. 42, 19–40.

[**3**] Cvetković D., Gutman I., On spectral structure of graphs having the maximal eigenvalue not greater than two, Publ. Inst. Math. (Belgrade), **18 (32)** (1975), 39–45.

[**4**] Cvetković D., Gutman I., Trinajstić N.,Conjugated molecules having integral graph spectra, Chem. Phys. Letters, **29** (1974), 65–68.

[**5**] Cvetković D., Jovanović I.M., Constructing graphs with given spectrum and the spectral radius at most 2, Linear Algebra and its Applications, **515** (2017), 255–274.

[**6**] Cvetković D., Rowlinson P., Simić S., An introduction to the theory of graph spectra, Cambrige University Press, 2010.

[**7**] Cvetković D., Todorčević V., Cospectrality graphs of Smith graphs, Filomat, to appear.

[**8**] Dam E.R. van , Haemers W.H., Which graphs are determined by its spectrum?, Linear Algebra Appl. **373**(2003), 241–272.

[**9**] Dokuchaev M. A., Gubareni N. M., Futorny V. M., Khibina M. A., Kirichenko V. V., Dynkin diagrams and spectra of graphs, S̃ao Paulo Journal of Mathematical Sciences **7**, 1 (2013), 83–104.

[**10**] Gutman I., Trinajstić N., Violation of the Dewar-Longuet-Higgins Conjecture, Z. Naturforsch. **29 a** (1974), 1238.

[**11**] Omidi G.R., The spectral characterization of graphs of index less than 2 with no path as a component, Linear Algebra Appl. **428**(2008), 1696–1705.

[**12**] Shen X., Hou Y., Zhang Y., Graph Z_n and some graphs related to Z_n are determined by their spectrum, Linear Algebra Appl. **404** (2005), 58–68.

[**13**] Wang J., Huang Q., Liu Y., Liu R., Ye C. The cospectral equivalence classes of graphs having an isolated vertex, Comput. Math. Appl., **57**(2009), 1638–1644.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

A VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH APPROACH TO THE P-MEDIAN PROBLEM WITH BALANCED CONSTRAINTS

KRISTINA KOSTIĆ[1], ZORICA STANIMIROVIĆ[2]

[1] Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Studentski trg 16, Belgrade, Serbia, kristina_kostic@matf.bg.ac.rs

[2] Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Studentski trg 16, Belgrade, Serbia, zoricast@matf.bg.ac.rs

Abstract: *This study considers p-median problem with balanced constraints (p-MBC) that represents a variant of the well-known p-median problem. The goal of p-MBC is to choose p medians from the given set of nodes and to assign each node to exactly one median, such that the total distance between the nodes and the corresponding medians is minimized. In addition, it is required that the allocations of nodes to medians must be balanced with respect to some measures of activity. In this study, a Variable Neighborhood Search (VNS) is proposed as a metaheuristic approach to p-MBC. The VNS method is evaluated on small and medium size problem instances from the literature and on the set of newly generated large size instances. The obtained computational results show that proposed VNS quickly reaches all known optimal solutions and provides high quality solutions on large size problem instances unsolved to optimality by exact solver.*

Keywords: *p-median, Balanced constraints, Variable Neighborhood Search, Metaheuristics*

1. INTRODUCTION

The p-median is one of basic problems in facility location theory, introduced by Hakimi in the middle 1960s. The first studies on p-median investigate the minimum weighted distance location of p facilities on a given network of n demand nodes [4, 5]. The problem is proved to be NP-hard by Kariv and Hakimi [11]. Up to now, many extensions of the classical p-median problem have been proposed in the literature, as well as numerous heuristics and exact solution approaches. The p-median problem and its variants are used to model many real life situations, for example, locating industrial plants, warehouses, and public facilities. It can also be observed as a problem in cluster analysis (locations of users are replaced by points in an n-dimensional space). For a detailed survey of p-median and its variants, applications, and solution methods, we refer to [14, 15, 16, 17].

This study considers a variant of p-median problem that addresses practical situations where it is necessary to provide load balance of each facility in respect to some activity measure. Given the set of customer nodes and the set of activities, it is required to locate p facilities and allocate customers to them, such that the total assignment cost (time, distance) is minimized and load balance constraints are satisfied for each activity. The problem is introduced in the literature by Diaz and Luna in [2] and denoted as p-median problem with balance constraints (p-MBC). The considered problem can also be observed as a territorial design problem [10], i.e., the goal is to divide a set of territory units to p clusters in such a way that balance criteria in terms of different activities are met. Therefore, p-MBC may be used to obtain compact territories by imposing balance constraints that model different equity measures, such as population equality, impartiality, workload balance, revenue balance, number of customers in the districts, etc.

Diaz and Luna in [2] use Lagrangean relaxation and a primal heuristic to obtain lower and upper bounds for p-MBC. The results of computational experiments presented in [2] show that Lagrangean relaxation provides lower bounds of much higher quality than those obtained by a linear programming relaxation. The primal heuristic from [2] leaded to feasible solutions close to the optimal ones. This heuristic uses the set of p medians selected by the Lagrangean relaxation to solve the demand allocation subproblem.

The purpose of this paper is to apply a metaheuristic approach to p-MBC. More precisely, we propose a Variable Neighborhood Search (VNS) as a metaheuristic method for solving p-MBC. The choice of VNS metaheuristic was motivated by its previous successful applications to p-median problem and its variants, see [1, 3, 6, 7, 12], etc. The performance of the proposed VNS for p-MBC is evaluated on the set of problem instances used in [2] and the obtained VNS results are analyzed and compared with the optimal or best known ones provided by exact solver.

The rest of the paper is organized as follows. In Section 2, mathematical formulation of p-MBC is presented. The structure and elements of the proposed VNS metaheuristic are described in Section 3. The results of computational experiments are given in Section 4. Finally, Section 5 provides some concluding remarks and future work directions.

2. MATHEMATICAL FORMULATION

Let $G = (V, E)$ be a complete graph with the set of nodes $V = \{1, \ldots, n\}$ and the set of edges $E = \{(i, j) : i, j \in V,\ i \neq j\}$. Each node $i \in V$ corresponds to a customer location and the potential location of median at the same time. Each edge $(i, j) \in E$ has assigned weight c_{ij} that represents the service costs of customer j by a median located at i. As in [2], it is assumed that the value of c_{ij} is equal to the distance between nodes i and j. Let K be a set of activity measures (for example, population, demand, area, etc) and let w_{k_j} denote the weight associated to activity $k \in K$ at node $j \in J$. The lower and upper bounds for each activity $k \in K$ are set to $c_{k_{min}}$ and $c_{k_{max}}$, respectively.

Mathematical formulation of p-MBC uses the set of binary variables x_{ij}, $i, j \in V$ for both location and allocation decisions. If a median is established at location $i \in V$, the value of x_{ii} is equal to 1, and 0 otherwise. If a customer at location j is assigned to a median at i, the value of x_{ij} is set to 1, and 0 otherwise.

By using the above notation, p-MBC problem can be formulated as a Integer Linear Program presented in [2]:

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ij} \tag{1}$$

such that

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in V \tag{2}$$

$$c_{k_{min}} x_{ii} \leq \sum_{j \in V} w_{k_j} x_{ij} \leq c_{k_{max}} x_{ii}, \quad \forall i \in V,\ \forall k \in K \tag{3}$$

$$\sum_{i \in V} x_{ii} = p \tag{4}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in V \tag{5}$$

The objective (1) of p-MBC is to minimize the sum of the distances between each node and the location of its median. Each customer is allocated to exactly one median, which is ensured by constraints (2). Constraints (3) impose lower and upper bounds for the size of each cluster with respect to each activity. Exactly p medians are chosen among the given set of nodes, which is provided by constraint (4). Finally, constraints (5) define the type of decision variables. Note that p-MBC represents an NP-hard optimization problem. If $c_{k_{min}} = 0$ for each activity $k \in K$ and $c_{k_{max}} = \infty$ for all but one $k \in K$, the p-MBC reduces to a capacitated p-median, which is NP-hard as a generalization of the classical p-median problem.

3. VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR P-MBC

Variable neighborhood search (VNS) is a metaheuristic method proposed by Mladenović and Hansen in [13]. It is based on systematic neighborhood change while exploring the solution space of an optimization problem. Neighborhood structures are defined in accordance with characteristics of the problem under consideration and they are used in pre-defined order within two main VNS steps: Shaking and Local Search. The purpose of the Shaking phase is to drive away the search from the incumbent solution in a stochastic manner. The solution obtained in Shaking phase is passed to Local search, which explores series of neighborhoods in a deterministic manner looking for improvements. These two phases are repeated together with neighborhood change step until a stopping criterion is satisfied. The described VNS concept is known as Basic Variable Neighborhood Search, but other VNS variants are also proposed in the literature, such as Variable Neighborhood Descent, Reduced VNS, Skewed VNS, General VNS, Variable Neighborhood Decomposition Search, etc. A detailed review of VNS variants and their applications to combinatorial and global optimization problems can be found in [8, 9].

The proposed VNS for p-MBC uses a binary matrix $X = [x_{ij}]$ of size $n \times n$ for solution representation. The element x_{ij} is equal to 1 if customer j is assigned to median i and 0 otherwise. The value of elements x_{ii} indicate the locations of established medians. Solution X is feasible if constraints (2)-(4) are satisfied. From the solution matrix X, the locations of medians and allocations of customers are easily obtained, and the objective function value is simply calculated as $f(X) = \sum_{i,j} c_{ij} x_{ij}$.

Three neighborhood structures are used, defined by the following moves: (i) Close a median at on e location and open a median at location that belongs to the cluster of the closed median; (ii) Change allocation of a customer to another median; (iii) Exchange allocations of two customers. Neighborhoods $N_r(X)$, $L_r(X)$, and $K_r(X)$ are obtained from the solution X by repeating r times moves (i), (ii), and (iii), respectively.

Algorithm 1 The structure of VNS for p-MBC

```
function VNS(problem_data, iter_vns)
    X', f' ← Constructive_algorithm(problem_data)
    X ← X', f ← f'
    r ← 1, r_max ← ⌈p/2⌉
    for i = 0 to iter_vns do
        while r ≤ r_max do
            X_r, f_r ← Shaking(X, f, N_r)
            X_l, f_l ← Local_search(X_r, f_r, L_1)
            X_k, f_k ← Local_search(X_l, f_l, K_1)
            X*, f* ← Local_search(X_k, f_k, N_1)
            if f* < f then
                X ← X*, f ← f*, r ← 1
            else
                r ← r + 1
            end if
        end while
        r ← 1
    end for
    return X, f
end function
```

The structure of the proposed VNS for p-MBC is outlined in Algorithm 1. The algorithm starts with generating an initial solution X' by using the constructive algorithm and calculating the corresponding objective function value $f' = f(X')$. Initially, the current best solution X and its objective function value f are equal to X' and f', respectively. The counter of the neighborhood size r is set to 1, while its maximum r_{max} is set to $\lceil p/2 \rceil$. In Shaking phase, a solution X_r is randomly chosen from the neighborhood $N_r(X)$. The solution X_r is further subject to Local search phase that tries to find improvements in the neighborhoods L_1, K_1, and N_1, which are explored in the given order, following the best improvement strategy. Let X^* be the obtained local optimum and f^* its objective function value. If $f^* < f$ holds, the algorithm replaces the current best solution X with X^*, resets the counter r to 1, and the algorithm proceeds to the Shaking step in neighborhood N_1. Otherwise, the counter r is increased by 1, and the search continues in N_{r+1} of the current best solution X. In case that r exceeds r_{max}, its value is reset to 1. The described steps are repeated until the maximal number of VNS iterations *iter_vns* is reached (stopping criterion).

Algorithm 2 Generating initial solution

```
function CONSTRUCTIVE_ALGORITHM(problem_data)
    V ← {1, 2, ..., n}, S ← ∅
    X ← null, f ← ∞
    randomly choose a node from V and add it to S
    X ← create a solution by assigning all nodes to median from S
    f ← f(X)
    while |S| ≠ p do
        V' ← V \ S
        for each element k ∈ V' do
            S' ← S ∪ k
            X_new ← create a solution by assigning all nodes to the nearest median from S'
            f_new ← calculate objective function for X_new
            if f_new < f then
                X ← X_new, f ← f_new, med ← k
            end if
        end for
        S ← S ∪ med
    end while
    if the solution X is not feasible then
        X', f' ← correction_procedure(X, f, problem_data)
    else
        X' ← X, f' ← f
    end if
    return X', f'
end function
```

The procedure for generating initial solution is presented in Algorithm 2. The constructive algorithm starts from the empty set of medians S and iteratively adds one by one median until $|S| = p$. At each stage of constructing initial solution, each node from $V \setminus S$ is assigned to its nearest median from S. A new median to be included in S is chosen based on the objective function value of the resulting partial solution. The solution X generated in this way may not be feasible, as the balancing constraint (3) may be violated. If this the the case, it is necessary to apply a corrective procedure to X that produces a feasible solution X' with the lowest possible objective function value.

4. COMPUTATIONAL RESULTS

All computational experiments were conducted on an *AMD Ryzen 7 1700* and 16GB RAM. The proposed VNS method was implemented in *C++* programming language and tested on the small and medium size problem instances from [2], and on the new large scale instances generated in the same manner as in [2]. On each instance, VNS metaheuristic was run 10 times. The value of stopping criterion parameter $iter_vns$ depends on the problem dimension: $iter_vns = 2000$ for small size instances, $4000 \leq iter_vns 5000$ for medium size instances, and $6000 \leq iter_vns 15000$ for large size test examples. The results obtained by VNS approach results are compared with optimal or best known solutions provided by *IBM ILOG CPLEX 12.7.1*. Time limit of 1 hour (3600 seconds) was imposed on CPLEX execution time.

The results of our computational study are presented in Tables 1–3 as follows. Instance's name, the number of nodes - n, and the number of medians - p are given in the first three columns. The next two columns present optimal/best known solution provided by CPLEX solver - $CPLEX_{sol}$ and the corresponding CPLEX running time - *t(s)*. The remaining columns are related to VNS and contain: the best VNS solution in all runs - VNS_{best}, the average gap of VNS solution from the optimal/best known one - *agap(%)*, standard deviation - *std(%)*, and the average time that VNS needed to reach its best solution - *t_best(s)*. For each tested instance, the average values are calculated over ten VNS runs on that instance. In case that the best VNS solution coincides with the optimal one, mark *opt* stands in the corresponding cell of the column VNS_{best}. The optimal/best known solutions are bolded throughout Tables 1–3. Upper bounds provided by CPLEX are marked with *, and the VNS improvements of these upper bounds are additionally underlined. The last row *Average* in Tables 1–3 contains average values calculated over the data in the corresponding columns

As it can be seen from Table 1, the proposed VNS almost instantly reaches all optimal solutions previously obtained by CPLEX solver on small size problem instances. The average time that VNS needed to reach its best solution was 0.036 seconds, compared to 0.711 seconds required by CPLEX (on average). Low values of average gap and standard deviation (0.008% and 0.018%, respectively) indicate excellent stability of the proposed VNS.

The results presented in Table 2 show similar performance of our VNS when solving medium size instances. Column VNS_{best} shows that the best VNS solutions coincide with the optimal ones provided by CPLEX solver. On average, VNS reached optimal solution in 7.6 times shorter CPU time compared to CPLEX on medium size test examples (see *t_best*= 2.829 and *t*=22.101 seconds in the last row *Average*). Again, average gap and standard deviation of the VNS solutions from the optimal ones were close to zero (0.080% and 0.112%, respectively).

The advantages of the proposed VNS are more obvious on the large size problem instances, which were not considered in the literature up to now (see Table 3). On these instances, CPLEX solver failed to provide optimal solutions on 3 out of 13 instances within the given time of 3600 seconds. The upper bounds obtained by CPLEX on these three instances (large_6, large_12, and large_13) were improved by the proposed VNS method (see the corresponding underlined values in column VNS_{best}). The average running time in which VNS reached its best solution was 51.802 seconds, while CPLEX required 992.996 seconds on average. In addition, VNS kept its stable performance on large size instances, as average gap and standard deviation values were far below 1% (0.236% and 0.277%, respectively).

Table 1: *Computational results of the proposed VNS on small size instances*

Instance	*n*	*p*	$CPLEX_{sol}$	*t(s)*	VNS_{best}	*agap(%)*	*std(%)*	*t_best(s)*
small_1	60	4	**5305.573**	0.34	**opt**	0.000	0.000	0.027
small_2	60	4	**5451.683**	0.37	**opt**	0.000	0.000	0.006
small_3	60	4	**5507.092**	0.36	**opt**	0.000	0.000	0.020
small_4	60	4	**5935.670**	0.15	**opt**	0.000	0.000	0.047
small_5	60	4	**5303.197**	0.14	**opt**	0.000	0.000	0.006
small_6	60	4	**5233.498**	0.33	**opt**	0.000	0.000	0.006
small_7	60	4	**5309.962**	0.17	**opt**	0.030	0.037	0.024
small_8	60	4	**5224.514**	0.14	**opt**	0.000	0.000	0.003
small_9	60	4	**5350.154**	0.15	**opt**	0.000	0.000	0.013
small_10	80	5	**6600.562**	3.22	**opt**	0.055	0.144	0.048
small_11	80	5	**6281.584**	1.48	**opt**	0.000	0.000	0.052
small_12	80	5	**6521.085**	1.10	**opt**	0.019	0.058	0.119
small_13	80	5	**6680.286**	1.29	**opt**	0.000	0.000	0.092
Average			5746.528	0.711	5746.528	0.008	0.018	0.036

Table 2: *Computational results of the proposed VNS on medium size instances*

Instance	*n*	*p*	$CPLEX_{sol}$	*t(s)*	VNS_{best}	*agap(%)*	*std(%)*	*t_best(s)*
medium_1	100	6	**7353.075**	3.67	**opt**	0.000	0.000	0.141
medium_2	100	6	**7522.669**	0.67	**opt**	0.000	0.000	0.281
medium_3	100	6	**7602.921**	5.35	**opt**	0.171	0.426	0.200
medium_4	150	8	**9395.173**	62.71	**opt**	0.111	0.107	0.852
medium_5	150	8	**9125.605**	4.96	**opt**	0.035	0.038	1.315
medium_6	150	8	**9477.539**	2.28	**opt**	0.000	0.000	1.552
medium_7	200	11	**10662.094**	41.70	**opt**	0.155	0.147	6.570
medium_8	200	11	**10853.582**	14.96	**opt**	0.220	0.205	6.370
medium_9	220	9	**16317.585**	58.86	**opt**	0.055	0.070	4.049
medium_10	220	9	**15415.077**	14.92	**opt**	0.049	0.071	3.578
medium_11	220	9	**15631.264**	11.23	**opt**	0.000	0.000	1.002
medium_12	220	10	**15334.852**	17.44	**opt**	0.095	0.150	5.778
medium_13	220	10	**14638.394**	48.56	**opt**	0.147	0.246	5.095
Average			11486.91	22.101	11486.91	0.080	0.112	2.829

Table 3: *Computational results of the proposed VNS on large size instances*

Instance	*n*	*p*	$CPLEX_{sol}$	*t(s)*	VNS_{best}	*agap(%)*	*std(%)*	*t_best(s)*
large_1	270	11	**18150.487**	30.16	**opt**	0.052	0.116	20.236
large_2	270	11	**17304.211**	100.55	**opt**	0.347	0.284	7.538
large_3	270	12	**16779.622**	55.99	**opt**	0.174	0.341	18.279
large_4	300	10	**20611.592**	60.42	**opt**	0.145	0.348	19.412
large_5	300	11	**19627.965**	59.34	**opt**	0.210	0.196	18.292
large_6	300	15	16933.801*	3600.00	**16855.390**	0.169	0.219	21.821
large_7	320	10	**22372.166**	155.461	**opt**	0.298	0.445	32.703
large_8	330	10	**22712.283**	112.53	**opt**	0.034	0.050	21.197
large_9	330	13	**19603.243**	76.40	**opt**	0.000	0.001	22.834
large_10	330	15	**18410.672**	265.34	**opt**	0.492	0.494	68.567
large_11	330	15	**18309.770**	1192.76	**opt**	0.213	0.221	55.565
large_12	380	15	20966.742*	3600.00	**20919.165**	0.439	0.335	155.068
large_13	400	20	19175.902*	3600.00	**18808.702**	0.492	0.550	211.918
Average			19304.497	992.996	19266.559	0.236	0.277	51.802

5. CONCLUSION

A variant of *p*-median problem that involves balance constraints (*p*-MBC) is considered in this study. In *p*-MBC, it is required to choose *p* medians and to allocate customers to exactly one median, such that the resulting *p* clusters are balanced with respect to some measures of activity. A Variable Neighborhood Search (VNS) method is designed as solution approach to *p*-MBC. Neighborhood structures and other constructive elements of VNS method are adapted to the considered problem. The proposed VNS is benchmarked on small and medium size test instances from the literature, as well as on the newly generated instances of large dimensions. The best VNS solutions are compared with the optimal or best known ones provided by exact CPLEX solver. The presented computational results show that the proposed VNS reaches all optimal or best-known solutions in

much shorter running time compared to CPLEX. On three large size instances, VNS improves upper bounds obtained by CPLEX. Having in mind excellent stability and short running times, the proposed VNS method can be considered as promising metaheuristic approach to p-MBC. Some directions for future work may be parallelization and hybridization of VNS with other heuristic or exact methods.

Acknowledgement

This research was partially supported by Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development under the grants nos. 174010 and 47017.

REFERENCES

[**1**] Crainic, T.G., Gendreau, M., Hansen, P., & Mladenović, N. (2004). Cooperative parallel variable neighborhood search for the p-median. Journal of Heuristics, 10(3), 293-314.

[**2**] Díaz, J.A., & Luna, D.E. (2017). Primal and dual bounds for the vertex p-median problem with balance constraints. Annals of Operations Research, 258(2), 613-638.

[**3**] Fleszar, K., & Hindi, K.S. (2008). An effective VNS for the capacitated p-median problem. European Journal of Operational Research, 191(3), 612-622.

[**4**] Hakimi, S.L. (1964). Optimal locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. Operations Research 12, 450–459.

[**5**] Hakimi, S.L. (1965). ptimal distribution of switching centers in a communication network and some related theoretic graph theoretic problems. Operations Research 13, 462–475.

[**6**] Hansen, P., & Mladenović, N. (1997). Variable neighborhood search for the p-median. Location Science, 5(4), 207-226

[**7**] Hansen, P., Brimberg, J., Urošević, D., & Mladenović, N. (2009). Solving large p-median clustering problems by primal–dual variable neighborhood search. Data Mining and Knowledge Discovery, 19(3), 351-375.

[**8**] Hansen, P., Mladenović, N., & Pérez, J.A. (2010). Variable neighbourhood search: methods and applications. Annals of Operations Research, 175(1), 367-407.

[**9**] Hansen, P., & Mladenović, N. (2014). Variable neighborhood search. In E.K. Burke, & R.D. Graham (Eds.), Search methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques (313-337). Springer-Verlag, New York.

[**10**] Kalcsics, J., Nickel, S., & Schröder, M. (2005). Towards a unified territory design approach—applications, algorithms and GIS integration. TOP, 13, 1–56.

[**11**] Kariv, O., & Hakimi, S.L. (1969). An Algorithmic Approach to Network Location Problems - Part 2. The p- Medians. SIAM Journal on Applied Mathematics, 37, 539–560.

[**12**] García-López, F., Melián-Batista, B., Moreno-Pérez, J.A., & Moreno-Vega, J.M. (2002). The parallel variable neighborhood search for the p-median problem. Journal of Heuristics, 8(3), 375-388.

[**13**] Mladenović, N.,& Hansen, P. (1997). Variable neighbourhood search. Computers and Operations Research, 24, 1097-1100.

[**14**] Mladenović, N., Brimberg, J., Hansen, P., & Moreno-Pérez, J.A. (2007). The p-median problem: A survey of metaheuristic approaches. European Journal of Operational Research, 179(3), 927-939.

[**15**] Reese, J. (2006). Solution methods for the p-median problem: An annotated bibliography. NETWORKS: An International Journal, 48(3), 125-142.

[**16**] ReVelle, C.S., & Eiselt, H.A. (2005). Location analysis: A synthesis and survey. European Journal of Operational Research, 165(1), 1–19.

[**17**] Tansel, B.C., Francis, R.L., & Lowe, T.J. (1983). State of the art—location on networks: a survey. Part I: the p-center and p-median problems. Management science, 29(4), 482-497.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

GENERAL VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR ASYMMETRIC VEHICLE ROUTING PROBLEM

LUKA MATIJEVIĆ[1], TATJANA DAVIDOVIIĆ[2], VLADIMIR ILIN[2], PANOS M. PARDALOS[3]

[1] Mathematical Institute of the Serbian Academy of Science and Arts, Belgrade, luka@mi.sanu.ac.rs
[2] Mathematical Institute of the Serbian Academy of Science and Arts, Belgrade, tanja@mi.sanu.ac.rs
[3] Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, v.ilin@uns.ac.rs
[4] Faculty of Engineering, University of Florida, Gainesville, pardalos@ufl.edu

Abstract: *The minimization of total distance in an asymmetric vehicle routing problem with a hard time window for serving all the customers is considered. This problem is used to model a real-life problem of delivering perishable and non-perishable goods to multiple customers. All the customers should be visited exactly ones with one among a limited number of homogeneous vehicles (with the same capacity and speed). Having in mind that the problem is NP-hard, we developed a General Variable Neighborhood Search (GVNS) approach and tested it on a set of available real-life instances. Our computational results show that the proposed GVNS is able to generate high quality solutions within reasonably short CPU time.*

Keywords: *Combinatorial optimization, Routing of homogeneous vehicles, Single depot, Minimization of total distance, Metaheuristics.*

1. INTRODUCTION

The problem addressed in this paper is how to organize delivery of perishable and nonperishable goods to multiple customers within urban and suburban areas. The problem is widely known in the optimization literature as the Vehicle Routing Problem (VRP) that arises in many everyday situations related to the transportation of goods [5, 16, 17]. In classical VRP, a fleet of v_{max} vehicles need to serve n customers. Each vehicle starts and ends at the depot and each customer must be served exactly once by only one vehicle. There are many variations of VRPs, and for further detailed explanations the readers are referred to [16, 17]. From practical perspective, delivering goods to customers is very complex task which requires holistic and interdisciplinary approach. There are, at least, three key phases that need to be planned and organized in detail. We briefly describe all of them here in order to highlight our specific case.

In the first phase, the information system for an on-line delivery needs to be implemented. Nowadays, electronic business (e-business) has been regularly used for many on-line activities. Electronic commerce (e-commerce) is the most significant portion of e-business due to the possibility to buy or sell goods on-line and make electronic payment as well. However, the final phase of all e-commerce activities is transportation of goods. There are two basic forms of e-commerce: Business-to-Business (B2B) and Business-to-Customer (B2C). The process of transportation planning is different for each of previously mentioned e-commerce forms. In the B2B environment the orders are planned in-advanced, repeated when needed and usually without breakdowns in initial transportation route. In the B2C environment the orders are of small size, instantaneous, and placed by numerous scattered customers [3]. The transportation routes are usually different for each day. In addition, less time is allowed to perform transportation planning in comparison with the B2B environment. In our case customers made orders through a web-site. They need to register, choose the desired goods and depict between two delivery time intervals (between 10AM and 2PM or between 4PM and 8PM) in one of the next four days.

In the next phase, the company needs to organize physical distribution of ordered goods to the customers. The company can own a fleet of vehicles for distribution or it can rent the vehicles for that purpose. Also, the company can own a warehouse for storage of goods or it can rent one. In our case, the company owns a warehouse (distribution center or depot) as well as a fleet of homogenous vehicles with the capacity of 5 tones.

After the on-line orders are made and fleet of vehicles is ready for distribution, the third phase may begin, i.e., transportation planning has to be performed for each day. It is necessary to define a concrete VRP with all required constraints, develop mathematical formulation of the problem, and propose solution methods that will provide optimal or near-optimal solutions. In our case, the classical VRP is extended by three important constraints related to transportation of goods: capacity of vehicles is presumed, one-way or temporarily closed directions within the city are taken into account, and the predetermined time window for delivery is set. The first constraint introduces static and deterministic basic version of the problem in which the demands are known in

advance and cannot be split, the vehicles are identical and are located at the single depot and only the capacity restrictions are imposed (this is marked by a prefix C to VRP). The second constraint introduces asymmetric cost matrix (adds prefix A to CVRP). The third constraint introduces a specific time window, a time period allowed for delivering goods to all the customers (it is denoted by a suffix TW to ACVRP). Therefore, with previously defined constraints we extend the classical VRP problem to Asymmetric Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Window (ACVRPTW).

The Mixed-Integer Linear Programming (MILP) formulation for the considered ACVRPTW was proposed in [10] and used within the framework of CPLEX 12.6 commercial solver to solve two real-life test instances. The developed MILP enables to solve to optimality smaller instance within the acceptable running time, while for the larger one the lack of memory problem occurs and a feasible solution with the gap of 18.77% is reported.

Therefore, the next step certainly involves the application of metaheuristics. We decided to use a variant of the well-known Variable Neighborhood Search (VNS) method as, according to the literature, it proved itself very successful for dealing with VRPs [1, 4, 7, 8, 11, 13, 15, 18]. We developed General VNS (GVNS) that explores three neighborhoods, two of them used for shaking and all three in variable neighborhood descent that substitutes the local search phase in GVNS.

The paper is organized as follows. Section 2. contains a brief description of the considered vehicle routing problem (ACVRPTW). Our implementation of GVNS is explained in Section 3., while in Section 4. the experimental evaluation related to the comparison of GVNS and CPLEX commercial solver is presented. Concluding remarks and directions for future work are given in the last section.

2. PROBLEM DESCRIPTION

An asymmetric vehicle routing problem (AVRP) is defined on a complete direct graph $G(N,A)$, where $N = \{0,1,2,\ldots,n,n+1\}$ is the set of vertices (locations, customers) and $A = \{(i,j)|i,j \in N, i \neq j\}$ denotes the set of arcs with weights $d_{i,j}$ representing distances between customers i and j. Vertices 0 and $n+1$ refer to unique location (depot), the origin and destination of each route. This notation is adopted due to the simplicity of formulation.

Each vehicle starts from location 0 (depot), serves a determined subset of customers and then it finishes at location $n+1$ (depot). Each vehicle can perform maximum one tour, while each customer should be served exactly once by only one vehicle. The demands of customers are denoted with c_i, $i = 1,2,\ldots,n$ and they represent the weights of goods to be delivered to each particular customer. The set V of v_{max} homogeneous vehicles (with same capacity Q and same speed s) is provided to serve all the customers' demands. Based on the vehicle speed, the travel time ($t_{i,j}$) between customers i and j can be calculated. The time to serve a customer (to unload goods, deliver them to a customer and collect money) is considered as parameter S_j whose values are given in advance. In order to make the distribution of customers among vehicles more even, the parameter C (representing the maximum number of customers per vehicle) is introduced. Finally, the distribution of goods must be completed during the working hours, and therefore, T denotes the maximum allowed time (time window) for serving customers. The main goal is to minimize the total distance traveled by all vehicles.

3. GVNS IMPLEMENTATION

Variable Neighborhood Search (VNS) is local search based metaheuristic method proposed in [12]. It explores systematic change of neighborhoods, as well as the distances within a single neighborhood, in both a local search phase and for escaping from local optima traps. Basic variant of VNS uses one or more neighborhood structures to explore the search space of a considered optimization problem. It consists of three main steps: Shaking, Local Search, and Move or Not. The role of Shaking step is to prevent an algorithm being trapped in a local optimum. It performs a random perturbation of the current best solution in the given neighborhood. Local Search step has to improve the current solution by examining its neighbors in one or more neighborhoods. After the Local Search phase, the algorithm performs Move or Not step, i.e., it checks the quality of the obtained local optimum and moves there if it is better than the current best one. Otherwise, it just changes the neighborhood for further search. The three main steps are repeated until a pre-specified stopping criterion is satisfied [7, 8].

Among various variants of VNS [6, 9], we implemented General VNS, the variant that explores several neighborhood structures within the Local Search step. Actually, instead of a simple Local Search, a deterministic search through several neighborhoods (referred to as Variable Neighborhood Descent, VND) is used. Our implementation is described in detail in the remainder of this section.

3.1. Solution representation

A solution of our ACVRPTW is represented by v_{max} (where v_{max} is the number of vehicles) doubly linked lists that contain indices of customers assigned to each vehicle in order they are supposed to be visited. We selected this structure because it enables to generate a neighbor of a given solution and to calculate its objective function value in constant number of steps.

3.2. Determination of the initial solution

For generating initial solution we adapted the Nearest Neighbor algorithm, based on [2, 14] in the following way. We start by selecting v_{max} customers closest to the depot and assigning them one to each vehicle. Among the remaining $n - v_{max}$ customers, we select the one that is the closest to the last customer already included in the partial route of one of the vehicles. This customer is appended to the end of the partial route of that vehicle. The process is repeated as long as there are unassigned customers. If the newly generated solution is infeasible, we correct it by some perturbations of customers among vehicles.

3.3. Neighborhood structures

Selecting adequate neighborhood structures is the most important part of the implementation of any VNS metaheuristic. After an extensive testing, we decided to use the following three neighborhood structures [2]:

1. **Insert(k)** ($N_1(k)$) This neighborhood consists of selecting k consecutive customers assigned to one vehicle and moving them to some other position within the route of that same vehicle;
2. **Relocate(k)** ($N_2(k)$) A neighbor in this neighborhood is obtained when k consecutive customers are moved from the currently assigned vehicle to some other vehicle;
3. **Exchange(k)** ($N_3(k)$) The idea here is to select a pair of k consecutive customers from different vehicles and exchange their positions.

Within VND all three neighborhoods are explored, while N_1 and N_2 are used in the shaking phase.

3.4. Shaking

The shaking phase of our GVNS consists of randomly selecting a neighbor at distance k, with respect to either $N_1(\kappa)$ or $N_2(\kappa)$, $\kappa \in \{2,3,4,5\}$ neighborhood, from the current best solution x. Here, k represents the index of the current distance and it changes its values in the range $\{k_{min}, k_{min}+1, \ldots, k_{max}\}$. Neighborhoods are used equally, i.e., each time it is randomly selected which one will be applied. The pseudo-code of the implemented shaking procedure is presented by Algorithm 1.

Algorithm 1 Shaking

```
1: procedure SHAKING
2:     Input: solution x, value of neighborhood index k
3:     i ← 0
4:     x' ← x
5:     while i < k do
6:         i ← i + 1
7:         Randomly select values p ∈ {0,1} and κ ∈ {2,3,4,5}
8:         if p = 0 then
9:             Find random neighbor in N1(κ) of x'
10:        else
11:            Find random neighbor in N2(κ) of x'
       return New solution x'
```

3.5. Variable Neighborhood Descent

Our VND procedure explores all three neighborhood structures of size 1. The order of neighborhoods is determined experimentally: $N_1(1)$, $N_3(1)$, and finally $N_2(1)$. All the neighborhoods are searched according to the First Improvement principle. Neighborhood $N_1(1)$ is explored as long as an improvement could be made. When local optimum according to $N_1(1)$ is reached, the search continues in $N_3(1)$. If an improvement is found

in $N_3(1)$, neighborhood $N_1(1)$ is applied to the newly obtained solution, otherwise, the search continues in $N_2(1)$. An improvement obtained in $N_2(1)$ will direct the search again to $N_1(1)$. On the other hand, if the current solution cannot be improved in $N_2(1)$, VND exits reporting the best obtained local optimum. The pseudo-code of the implemented VND is presented by Algorithm 2.

Algorithm 2 Variable Neighborhood Descent

```
1: procedure VND
2:     Input: solution x
3:     imp ← 1
4:     x' ← x
5:     while imp do
6:         imp ← LS(N1(1), x')
7:         if not imp then
8:             imp ← LS(N3(1), x')
9:         if not imp then
10:            imp ← LS(N2(1), x')
       return New solution x'
```

3.6. The structure of the proposed GVNS

Pseudo-code of the proposed GVNS is presented by Algorithm 3. After all input parameters are read, the initial solution x is determined using the adapted Nearest Neighbor algorithm. It represents also the first estimation of the optimal solution. GVNS then performs search in iterations until the stopping criterion (maximum allowed CPU time) is fulfilled. Within each iteration, k changes between k_{min} and k_{max} and the basic steps (Shaking, Local Search and Move or Not) are performed. Due to a lot of randomness that occurs in the Shaking step, it is hard to control the feasibility of the resulting solution. Therefore, this step is repeated until a feasible solution is obtained. On the other hand, local search examines only the feasible neighbors. At the end, the best obtained solution x is reported. We also measure the CPU time needed to find the best approximation of the optimal solution. It is saved in the variable t_{min} and reported at the end of GVNS execution.

Algorithm 3 GVNS-AVRP

```
1: procedure GVNS
2:     Input: Instance to be solved, k_min, k_min, runtime
3:     Initialization: Determine initial solution x
4:     while Time < runtime do
5:         k ← k_min
6:         while k < k_max do
7:             Shaking:
8:             repeat
9:                 x' ← SHAKING(x, k)
10:            until x' is feasible
11:            Local search: x'' ← VND(x')
12:            Move or Not:
13:            if f(x'') < f(x) then
14:                x ← x''
15:                k ← k_min
16:                t_min ← Time
17:            else
18:                k ← k + 1
       return The best obtained solution x and the CPU time t_min required to find it
```

4. COMPUTATIONAL RESULTS

Our GVNS is coded in C++ programming language and executed on Intel Xeon E5-2620 v3 on 2.40GHz with 31.4 GB RAM and 15 MB cache memory. CPLEX commercial solver is executed on the same platform.

The experimental evaluation is performed on several real-life examples provided by a hypermarket company from Novi Sad, Serbia. The obtained results are summarized in Table 1:. All vehicles have capacity of 5 tones and it is assumed that their average speed is 25 km/h. The stopping criterion for GVNS is set to half an hour, i.e., 1800 s, while CPLEX is allowed to run for 10 hours, i.e., 36000 s.

The structure of Table 1: is as follows. In the first three columns the data describing instances are provided: instance identification, the number of customers, and the number of vehicles. The next three columns are devoted to the results obtained by CPLEX, namely, the objective function value with the gap in the parentheses, the required CPU time, and the time needed to obtain the reported solution. In the case gap equals zero, the optimal solution is obtained. The remaining three columns contain the results provided by GVNS: the best obtained objective function value (with the gap in parentheses), the average objective function value over 10 executions (with the gap in parentheses), and the average required CPU time. As GVNS is a stochastic search method, we performed repetitions with different seed values in order to examine the stability of the proposed method. For every test example, our GVNS was executed 10 times, each time with different seed to initialize random number generator. The gaps are calculated with respect to the CPLEX lower bound. The smaller objective function values and the shorter running times are presented in bold in Table 1:.

Table 1: Comparison of the proposed GVNS and CPLEX

			CPLEX			GVNS		
Example	n	v_{max}	Obj. (% gap)	time [s]	t_{min}	Best obj. (% gap)	Av. obj. (% gap)	Av. time [s]
Ex1	26	2	**50.69(00.00)**	1925.968	300.25	**50.69(00.00)**	**50.69(00.00)**	**10.118**
Ex2	20	3	**20.48(00.00)**	86.121	84.713	**20.48(00.00)**	**20.48(00.00)**	**0.049**
Ex3	25	3	**43.03(00.00)**	5260.865	4312.364	**43.03(00.00)**	**43.03(00.00)**	**0.969**
Ex4	30	3	**46.53(00.00)**	16144.026	598.531	**46.53(00.00)**	**46.53(00.00)**	**23.348**
Ex5	35	3	48.06(3.29)	36000.00	2723.671	**48.04(3.25)**	**48.04(3.25)**	**31.791**
Ex6	45	3	61.18(20.11)	36000.00	35632.153	**59.19(16.20)**	**59.309(16.43)**	**302.063**

As can be seen from Table 1:, GVNS was able to find all optimal solutions provided by CPLEX within several orders of magnitude shorter running times. For the two largest instances, GVNS managed to improve solutions reported by CPLEX. Please note that the presented gaps are related to the CPLEX lower bound, and therefore, cannot guarantee that the solutions obtained by GVNS are not optimal. As can be seen from the times needed by CPLEX to obtain the reported solution (t_{min}), in most of the cases CPLEX was able to find these solutions quite quickly and then it spent a lot of time proving their optimality. Therefore, we can conclude that the proposed GVNS is able to provide high quality solutions within very short execution time which is of vital importance for providing adequate delivery service.

5. CONCLUSION

An asymmetric capacitated vehicle routing problem with time window is considered related to the city delivery service. As our previous results based on the application of CPLEX commercial solver to the developed MILP formulation show, the real-life examples cannot be solved to optimality within given time/memory limits. Therefore, we developed metaheuristic approach based on the variable neighborhood search (VNS) method. The conducted experimental evaluation revealed the superiority of the proposed General VNS (GVNS) over CPLEX with respect to the running time and solution quality for larger test examples. The future research may involve some additional modification of the proposed GVNS, its application to new instances of the considered problem, and the implementation of other metaheuristics.

Acknowledgement

This research was partially supported by Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development under the grants nos. OI-174026, OI-174033, and F-159.

REFERENCES

[**1**] de Armas, J. and Melián-Batista, B. Variable neighborhood search for a dynamic rich vehicle routing problem with time windows. *Computers & Industrial Engineering*, 85:120–131, 2015.

[**2**] A. Dhahri, A. Mjirda, K. Zidi, and K. Ghedira. A VNS-based heuristic for solving the vehicle routing problem with time windows and vehicle preventive maintenance constraints. *Procedia Computer Science*, 80:1212–1222, 2016.

[**3**] T. C. Du, E. Y. Li, and D. Chou. Dynamic vehicle routing for online B2C delivery. *Omega*, 33(1):33–45, 2005.

[**4**] H. S. Ferreira, E. T. Bogue, T. F. Noronha, S. Belhaiza, and C. Prins. Variable neighborhood search for vehicle routing problem with multiple time windows. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 66:207–214, 2018.

[**5**] B. L. Golden, S. Raghavan, and E. A. Wasil, editors. *The vehicle routing problem: latest advances and new challenges*, volume 43. Springer Science & Business Media, 2008.

[**6**] P. Hansen and N. Mladenović. Variable neighborhood search. In *Search methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*, pages 313–337. Springer-Verlag, New York, 2014.

[**7**] P. Hansen, N. Mladenović, J. Brimberg, and J. A. Moreno Pérez. Variable neighborhood search. In *Handbook of metaheuristics*, pages 57–97. Updated edition of a trailblazing volume, Springer, 2019.

[**8**] P. Hansen, N. Mladenović, and J. A. Moreno Pérez. Variable neighbourhood search: methods and applications. *Ann. Oper. Res.*, 175(1):367–407, 2010.

[**9**] P. Hansen, N. Mladenović, R. Todosijević, and S. Hanafi. Variable neighborhood search: basics and variants. *EURO Journal on Computational Optimization*, 5(3):423–454, 2017.

[**10**] V. Ilin, L. Matijević, T. Davidović, and P. M. Pardalos. Asymmetric capacitated vehicle routing problem with time window. In *Proc. XLV Symposium on Operations Research, SYM-OP-IS 2018*, pages 174–179, Zlatibor, Serbia, 2018.

[**11**] S.-C. Liu and A.-Z. Chen. Variable neighborhood search for the inventory routing and scheduling problem in a supply chain. *Expert Systems with Applications*, 39(4):4149–4159, 2012.

[**12**] N. Mladenović and P. Hansen. Variable neighborhood search. *Comput. & OR*, 24(11):1097–1100, 1997.

[**13**] M. Schneider, A. Stenger, and J. Hof. An adaptive vns algorithm for vehicle routing problems with intermediate stops. *OR Spectrum*, 37(2):353–387, 2015.

[**14**] M. M. Solomon. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations research*, 35(2):254–265, 1987.

[**15**] K. Sörensen, M. Sevaux, and P. Schittekat. "Multiple Neighbourhood" Search in Commercial VRP Packages: Evolving Towards Self-Adaptive Methods. In *Adaptive and multilevel metaheuristics*, pages 239–253. Springer, 2008.

[**16**] P. Toth and D. Vigo, editors. *The vehicle routing problem*. SIAM, 2002.

[**17**] P. Toth and D. Vigo, editors. *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*. MOS-SIAM Series on Optimization. SIAM, second edition edition, 2014.

[**18**] N. Wassan, N. Wassan, G. Nagy, and S. Salhi. The multiple trip vehicle routing problem with backhauls: Formulation and a two-level variable neighbourhood search. *Computers & Operations Research*, 78:454–467, 2017.

HEURISTICS

HEURISTIKE

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

REŠAVANJE PROBLEMA MINIMALNOG POGAĐANJA SKUPOVA POMOĆU KARUSEL HEURISTIKE

SOLVING MINIMAL HITTING SETS PROBLEM USING CAROUSEL GREEDY

DRAGANA MAKAJIĆ-NIKOLIĆ[1], PETAR PAVLOVIĆ[2], MIRKO VUJOŠEVIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, dragana.makajic-nikolic@fon.bg.ac.rs, mirko.vujosevic@fon.bg.ac.rs
[2] Visoka medicinska i poslovno-tehnološka škola strukovnih studija, Šabac, petar.pavlovic@vmpts.edu.rs

Rezime: *Problem minimalnog pogađanja skupova je NP-težak problem, ekvivalentan problemu pokrivanja skupova i rešavan je različitim pristupima. Predmet ovog rada je njegovo rešavanje pomoću Karusel heuristike, koja predstavlja poboljšanje proždrljivog (greedy) algoritma. Rezultati primene će biti ilustrovani na grupi uzornih primera različitih dimenzija.*

Ključne reči: *pogađanje skupova, Karusel, heuristika.*

Abstract: *Minimal hitting stets (MHS) problem is NP-hard problem equivalent to the set covering problem and is solved by different approaches. The subject of this paper is solution of MHS using Carousel greedy heuristics, which represents the enhanced greedy algorithm. The results of the implementation will be illustrated on a group of benchmarks of different dimensions.*

Keywords: *hitting sets, Carousel greedy, heuristics*

1. UVOD

Neka je data kolekcija C koja sadrži podskupove konačnog skupa S. Problem minimalnog pogađanja skupova (*Minimal hitting set* - MHS) se sastoji u određivanju minimalnog podskupa $S' \subseteq S$ takvog da S' sadrži bar jedan element svakog podskupa iz C (Ausiello, G. et al., 2012). Odnosno, MHS je problem određivanja minimalnog skupa S' takvog da je $S' \cap C' \neq \varnothing$ za svaki podskup $C' \in C$ (Gainer-Dewar & Vera-Licona, 2017).

Problem pogađanja skupova i njegove varijante imaju široku primenu u rešavanju realnih problema. Vazquez (2009) svodi problem određivanja optimalne kombinacije lekova na MHS. Na osnovu efekata pojedinačnih lekova na različite simptome, određuje se minimalna kombinacija lekova koja uspešno utiče na sve identifikovane simptome. Primena MHS u genetici je opisana u (Ruchkys & Song, 2002). Posmatra se logička (bulovska) genetska mreža koja opisuje uticaj ekspresije pojedinačnih gena na različite genske proizvode. Problem koji se rešava je određivanje minimalnog podskupa gena koji se odnose na genske proizvode koji se istražuju. MHS je korišćen u određivanju minimalnog broja popunjenih polja u igri sudoku da bi ona imala jedinstveno rešenje (McGuire, Tugemann & Civario, 2014). U (Abreu & Van Gemund, 2009) se problem dijagnostike otkaza svodi na MHS, tako što se od svih mogućih grešaka u sistemu izdvaja minimilan skup grešaka koje zajedno uzrokuju posmatrani otkaz. Slična primena u određivanju minimalnog broja elemenata za uspostavljanje dijagnoze otkaza je prikazana u (Nyberg, 2010). U oblasti informacionih sistema, problemi optimizacije dijagnostikovanja grešaka u softveru (Wotawa, 2010) i optimizacije broja upita u bazama podataka (Angel, Bampis & Gourvès, 2009) su formulisani i rešavani kao MHS problem.

Problem MHS je ekvivalentan problemu minimalnog pokrivanja skupova i pripada klasi NP-teških kombinatornih problema (Karp, 1972, Johnson & Garey, 1979). Za njegovo rešavanje korišćene su različite heurisitike: mravlji algoritmi (Cincotti, Cutello & Pappalardo, 2003), Bulovski pristup preko disjunktivne normalne forme, (Pill & Quaritsch, 2012), genetski algoritmi (Li, & Yunfei, 2002, Ćendić-Lazović, 2014), algoritam zasnovan na DNK (Shi & Chu, 2010) i više specijalnih heuristika.

U ovom radu će biti prikazano rešavanje problema MHS pomoću Karusel heuristike (*Carousel greedy* - CG), prvi put objavljene u (Cerrone, Cerulli & Golden, 2017). Kako sami autori navode, CG je unapređena proždrljiva (*greedy*) heuristika čija je osnovna karakteristika dobijanje dobrog rešenja na brz i jednostavan način. Do sada je CG heuristika primenjena u rešavanju manjeg broja problema. U (Cerrone, D'Ambrosio, & Raiconi, 2019) je korišćena u određivanju razapinjućeg stabla sa minimalnim brojem labela (*Minimum Label*

Spanning Tree Problem). U (Cerrone, Cerulli & Golden, 2017) je, pored prethodnog problema, CG heuristika ilustrovana na problemima minimalnog pokrivanja čvorova grafa (osnovna i težinska varijanta) i maksimalnog nezavisnog skupa čvorova grafa. Carrabs i drugi (2017) su primenili CG u rešavanju problema maksimizacije životnog veka mreže senzora; Cerrone i drugi (2018) u rešavanju problema distribucije u lancu snabdevanja sa više fabrika, više distributera i više kupaca, a Cerrone i drugi (2019a) u rešavanju problema *The Directed Rural Postman Problem* (DRPP).

Rad sadrži pet celina. Nakon uvodnog dela, u drugom delu će biti prikazana matematička formulacija problema minimalnog pogađanja skupova. U trećem delu će biti predstavljena osnovna ideja Karusel heuristike i algoritam za rešavanje MHS problema pomoću CG. Četvrti deo sadrži prikaz numeričkih rezultata. Peti deo rada se odnosi na zaključna razmatanja i pravce daljeg rada.

2. FORMULACIJA PROBLEMA MINIMALNOG POGAĐANJA SKUPOVA

U formulisanju problema MHS će se koristiti sledeća notacija:
$S = \{1, 2, \ldots, n\}$ - konačni skup elemenata,
C - podskup od $P(S)$, gde je $P(S)$ partitivni skup od S, $C_j \in C, \cup C_j = S$.

Potrebno je odrediti minimalan skup elemenata $S' \subseteq S$ tako da $S' \cap C_j \neq \varnothing$ za svako $C_j \in C$. Uvodi se binarna promenljiva x_i, $i \in S$, takva da je:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{ako } i \in S' \\ 0 & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

Matematički model MHS ima sledeći oblik:

$$\begin{aligned} &\min f = \sum_{i \in S} x_i \\ &\text{s.t.} \\ &\sum_{i \in C_j} x_i \geq 1, C_j \in C \\ &x_i \in \{0,1\}, i \in S \end{aligned} \tag{1}$$

Ograničenje obezbeđuje da svaki podskup C_j iz C bude pogođen. Funkcija cilja predstavlja ukupan broj elemenata skupa S kojima se pogađaju svi skupovi iz C, odnosno $|S'|$.

3. KARUSEL HEURISTIKA

Osnovna ideja algoritma Karusel heurisike se može opisati sledećim koracima (Cerrone, Cerulli & Golden, 2017):

1. odrediti parcijalno (nedopustivo) rešenje pomoću pohlepnog algoritma;
2. modifikovati, na deterministički način, parcijalno rešenje pomoću istog pohlepnog algoritma;
3. primeniti pohlepni algoritam za dobijanje dopustivog rešenja.

U prvom koraku se prvo, pomoću pohlepnog algoritma dobija dopustivo rešenje, a zatim se iz njega uklanja poslednjih nekoliko elemenata da bi se dobilo parcijalno rešenje. Broj, odnosno procenat elemenata koji se uklanja se zadaje parametrom β. Drugi korak je iterativan i u njemu se modifikuje parcijalno rešenje uklanjanjem najstarijeg izbora (elementa) i dodavanjem novog elementa pomoću istog pohlepnog algoritma. Broj iteracija se zadaje celobrojnim parametrom α koji predstavlja umnožak broja elemenata u početnom rešenju. Na ovaj način se obezbeđuje da svaki od elemenata početnog rešenja bude uklonjen i zamenjen novim. Nakon iterativnih koraka, primenjuje se pohlepni algoritam za dobijanje dopustivog rešenja.

CG generiše samo jedno dopustivo rešenje u poslednjem koraku algoritma, zbog čega se može smatrati i konstruktivnom heuristikom. Pored toga, u iteracijama algoritma se ne ispituje vrednost funkcije cilja. Sve ovo doprinosi brzini izvršavanja, koja je, po navodu autora, osnovna prednost CG heuristike. U (Cerrone, Cerulli & Golden, 2017) je pokazano da je složenost CG jednaka $(1 + \alpha + \beta)O(I)$, gde je $O(I)$ složenost pohlepnog algoritma koji se koristi. Kako je β manje od α ($\alpha \geq 1, \beta < 1$), složenost CG se može aproksimirati sa $(1 + \alpha)O(I)$, što znači da se može očekivati da je vreme izvršavanja slično vremenu izvršavanja pohlepnog algoritma ako α nije veliko.

U nastavku će biti opisana CG heuristika za rešavanje problema MHS. Pseudo-kod CG heuristike je prikazan Algoritmom 1, a pohlepni algoritam i iterativni koraci CG procedurama 1 i 2.

Pohlepni algoritam (Procedura 1) generiše početno rešenje na osnovu broja skupova iz *C* koji su pogođeni elementima skupa *S*. Elementi skupa *S* su sortirani, u opadajućem redosledu, na osnovu broja skupova iz *C* koje pogađaju (čiji su element). Prvih $|S'|$ elemenata pogađa sve skupovi iz *C*. Time se dobija početno rešenje, odnosno skup S'. Ovo početno rešenje je dopustivo jer zadovoljava ograničenje modela MHS (1). Iz njega se uklanja poslednjih $\beta \cdot |S'|$ elemenata (koraci 1-11 Algoritma 1). Time se dobija parcijalno rešenje, koje se dalje modifikuje kroz $\alpha \cdot |S'|$ iterativnih (karusel) koraka (Procedura 2).

U svakom od iterativnih koraka se iz rešenja uklanja najstariji izbor (element koji je prvi dodeljen skupu S') a umesto njega se, istim pohlepnim algoritmom koji je korišćen za dobijanje početnog rešenja, dodaje novi element skupu S'. Nakon $\alpha \cdot |S'|$ koraka se ponovo primenjuje pohlepni algortam dok se ne dobije dopustivo rešenje (korak 16 Algoritma 1), odnosno skupu S' se dodeljuju elementi sve dok nisu pogođeni svi skupovi iz *C*. Tek nakon ovog koraka se računa vrednost $|S'|$ koja predstavlja vrednost funkcije cilja modela MHS (1).

Algoritam 1. Karusel heuristika

```
INPUT: C[m][l], α, β
1       car_signal←0
2       if (car_signal=0) then
3           greedy()   // inicijalno rešenje S'[]
4           br_iter←α* |S'|
5           br_destruct←int (|S'| * β/100)
6           i←1
7           repeat
8                S'[|S'|-i-1] ←0
9               load C[|S'|-i-1][] from input_file
10              br_destruct← br_destruct-1
11          until br_destruct= 0
12          carousel()
13          car_signal←1
14          step 2
15      else:
16          greedy()  // dopuna do dopustivog rešenja
17    end if
OUTPUT: S'[], |S'|
```

Procedura 1. greedy (C[m][l])

```
1       end_signal←0
2       max←0
3       repeat
4               i←1
5               repeat
6                       j←1
7                       repeat
8                               if C[i][j]=0  then
9                                   end_signal←1
11                                  exit
12                              if C[i][l]=j then
13                                  appearanceNo[j] ← appearanceNo[j] + 1
14                              if appearanceNo[i]>max then
15                                  max← appearanceNo[i]
16                                  S'[] ←i
17                                  C[i][l] ←0
18                              j ←j+1
19                      until j=n
20                      i ←i+1
21              until i=m
22      until end_signal=1
```

Ulaz u Proceduru 1 je matrica *C[m][l]* kojom su predstavljeni svi podskupovi iz kolekcije *C*. Vrednost *m* predstavlja broj podskupova a *l* kardinalnost najvećeg podskupa. Ako neki od poskupova sadrži manje od *l* elemenata, ostatak do *l* se popunjava nulama kako bi matrica očuvala svoju strukturu. Procedura 1 sadrži brojač *i* kojim se prolazi kroz svih *m* podskupova, i brojač *j* kojim se prolazi kroz svih *n* elemenata skupa *S*. Za svaki od *n* elemenata se računa broj njegovih pojavljivanja u podskupovima, čime se formira niz *appearanceNo[]*. Indeksi ovog niza odgovaraju elementima *S*, dok su vrednosti niza brojevi pojavljivanja svakog pojedinačnog elementa u svim podskupovima iz kolekcije *C*. Element koji se pojavljuje u najvećem broju podskupova biva prvi odabran pohlepnim algoritmom, jer se njime pogađa najveći broj podskupova. Svih *l* elemenata svakog od pogođenih podskupova postaje nula. Ako su u trenutku poziva procedure prethodno već pogođeni svi podskupovi, iz procedure se izlazi i vraća se odgovarajući signal.

Procedura 2. carousel (S'[], br_iter)

```
1   i←1
2   repeat
3       S'[1]←0
4       j←1
5       repeat
6           S'[j] ← S'[j+1]
7           j←j+1
8       until j=|S'|-1
9       S'[|S'|]←greedy(C[m][l])        //jedan novi događaj
10      i←i+1
11  until i=br_iter
```

4. REZULTATI EKSPERIMENATA

Primena CG heuristike u rešavanju problema minimalnog pogađanja skupova će biti ilustrovana na test primerima prikazanim u Tabeli 1. Primeri su preuzeti sa (CLib, 2017) i predstavljaju dimenzije Stabala neispravnosti (Fault tree - FT), odnosno *C* je skup svih minipreseka datog FT a *S* skup primarnih događaja. Rešavanje MHS u ovom slučaju se svodi na određivanje minimalnog broja primarnih događaja koje treba onemogućiti da bi se eliminisali (pogodili) svi minipreseci (Pavlović, Makajić-Nikolić, Vujošević, 2017).

Tabela 1: Test primeri (CLib, 2017)

Rb	**$\|S\|$**	**$\|C\|$**	**raspon $\|C_i\|$**
1	32	4805	2-6
2	103	8060	2-6
3	32	5630	3-7
4	122	14217	2-7
5	61	46188	2-11
6	165	21308	1-8
7	532	14007	1-7
8	91	3434	2-8
9	80	24386	2-11
10	49	27778	1-11
11	152	305	1-3

U koloni $|S|$ je prikazan broj elemenata skupa *S* a u koloni $|C_i|$ broj podskupova skupa *S*, odnosno broj podskupova u kolekciji *C*. Podskupovi C_j su različite kardinalnosti a raspon broja elemenata u njima je prikazan u poslednjoj koloni Tabele 1. Za date test primere je prvo određeno optimalno rešenje problema MHS rešavanjem (1) pomoću solvera *GNU Linear Programming Kit*, u kome se za dobijanje optimalnog rešenja koristi metoda grananja i sečenja (GLPK; 2012). Optimalna rešenja su prikazana u kolonama "optimalno rešenje" u Tabeli 2. U koloni $|S'|$ je data vrednost funkcije cilja, tj. broj elemenata iz *S* kojima su pogođeni svi skupovi iz *C*, a u koloni *s* vreme izvršavanja u sekundama.

Zatim je rešenje dobijeno pomoću CG heuristike opisane u prethodnom poglavlju. Za svaki test primer, algoritam je rešavan za različite vrednosti parametara α i β. CG heuristika je pokretana za slučaj kada je

broj iterativnih karusel koraka (α) jednak $|S'|$ i $2\cdot|S'|$. Za svaki od ova dva slučaja je parcijalno rešenje dobijano uklanjanjem $0,3\cdot|S'|$, $0,6\cdot|S'|$ i $0,9\cdot|S'|$ poslednjih elemenata skupa $|S'|$, prethodno dobijenog pohlepnim algoritmom. Rezultati CG heuristike su prikazani u kolonama " CAROUSEL GREEDY " u Tabeli 2 sa istim značenjem vrednosti u kolonama $|S'|$ i *s*.

Tabela 2: Rezultati eksperimenata

Rb	optimalno rešenje		CAROUSEL GREEDY											
			α =1						α =2					
			β =30 %		β =60 %		β =90 %		β =30 %		β =60 %		β =90 %	
	$\|S'\|$	vreme	$\|S'\|$	vreme	$\|S'\|$	vreme	$\|S'\|$	vreme	$\|S'\|$	vreme	$\|S'\|$	vreme	$\|S'\|$	vreme
1	14	13,2	16	1,3	17	1,4	17	1,5	14	2,1	17	2,2	17	2,7
2	17	10,8	18	2,8	19	3,2	19	3,4	18	4,6	19	4,8	19	5,0
3	8	10,7	8	0,9	9	1,0	9	1,1	8	1,2	9	1,6	9	1,6
4	9	5,6	9	3,1	9	3,4	9	3,7	9	4,4	9	4,8	9	5,0
5	11	1700,9	13	18,8	14	20,8	14	22,5	13	29,0	14	31,0	14	32,5
6	40	81,4	42	20,5	57	39,9	61	43,5	42	20,5	57	62,6	61	63,8
7	268	43,5	278	215,9	280	214,7	285	215,0	278	349,7	280	323,3	285	308,3
8	17	1,6	19	1,7	19	1,8	21	2,1	19	2,8	19	2,7	21	3,4
9	17	301,8	21	17,8	23	18,4	23	20,7	21	27,8	23	28,9	23	31,1
10	8	411,3	8	6,8	8	7,1	8	7,9	8	10,1	8	10,6	8	11,2
11	79	0,0	83	1,0	83	0,6	83	0,6	83	1,1	83	1,2	83	1,0

Optimizacija i implementacija CG heuristike su pokretani na računaru Athlon X2 DualCore 4400, 2.3 GHz, 4 GB RAM. Optimalno rešenje je CG heuristikom dostignuto u četiri slučaja (rb: 1, 3, 4 i 10) i vreme izvršavanja je u svakom od njih bilo kraće od vremena potrebnog primenom egzaktnog algoritma, za primer 10 čak oko 48 puta kraće u proseku. Za primer 1 je optimalno rešenje dobijeno samo za $\alpha = 2$ i $\beta = 0,3$ a za primer 3 za $\beta = 0,3$ i obe vrednosti parametra α. Za ostala dva primera je optimalno rešenje dobijeno za sve vrednosti parametara α i β.

U ostalim primerima su uglavnom dobijana dovoljno dobra rešenja za vreme kraće od vremena potrebnog za optimizaciju pomoću solvera GLPK. U primerima 2 i 6 je dobijeno rešenje koje je oko 5% lošije od optimalnog za 2,5-3 puta kraće vreme. Značajno skraćenje vremena je postognuto u primerima 5 (oko 69 puta) i 9 (oko 13 puta), međutim kvalitet ovih rešenja je relativno loš. Vreme potrebno za dobijanje najboljeg rešenja pomoću CG je bilo neznatno duže od vremena potrebnog za dobijanje optimalnog rešenja u dva slučaja (rb: 8 i 11). Najlošije vreme je postignuto za primer broj 7, gde je vreme za dobijanje najboljeg rešenja pomoću CG bilo oko pet puta duže od vremena potrebnog za dobijanje optimalnog rešenja. Razlog za to je veliki broj elemenata skupa S', što je uticalo na veliki broj karusel iteracija.

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazano rešavanje problema minimalnog pogađanja skupova pomoću Karusel heuristike. Pokazalo se da je vreme potrebno za dobijanje dobrih rešenja uglavnom kratko ali ne uvek i kraće od vremena potrebnog za dobijanje optimalnog rešenja. Pored toga, za test primere koji su korišćeni u ovom radu, CG uglavnom nije nalazila optimalno rešenje. Zbog toga će se u budućem radu vršiti eksperimenti u kojima se elementi koji se uklanjaju iz početnog dopustivog rešenja neće određivati deterministički, već stohastički, kao i kombinovati CG sa nekom od drugih poznatih heuristika.

LITERATURA

[1] Abreu, R., & Van Gemund, A. J. (2009). A low-cost approximate minimal hitting set algorithm and its application to model-based diagnosis. Proceedings of the Eighth Symposium on Abstraction, Reformulation, and Approximation (SARA2009), https://www.aaai.org/ocs/index.php/SARA/SARA09/paper/viewPaper/834.

[2] Angel, E., Bampis, E., & Gourvès, L. (2009). On the minimum hitting set of bundles problem. Theoretical Computer Science, 410(45), 4534-4542.

[3] Ausiello, G., Crescenzi, P., Gambosi, G., Kann, V., Marchetti-Spaccamela, A., & Protasi, M. (2012). Complexity and approximation: Combinatorial optimization problems and their approximability properties. Springer Science & Business Media.

[4] Carrabs, F., Cerrone, C., D'Ambrosio, C., & Raiconi, A. (2017). Column generation embedding carousel greedy for the maximum network lifetime problem with interference constraints. In International Conference on Optimization and Decision Science. Springer, Cham. 151-159.

[5] Cerrone, C., Cerulli, R., & Golden, B. (2017). Carousel greedy: a generalized greedy algorithm with applications in optimization. Computers & Operations Research, 85, 97-112.

[6] Cerrone, C., D'Ambrosio, C., & Raiconi, A. (2019) Heuristics for the strong generalized minimum label spanning tree problem. Networks. https://doi.org/10.1002/net.21882

[7] Cerrone, C., Dussault, B., Wang, X., Golden, B., & Wasil, E. (2019a). A two-stage solution approach for the Directed Rural Postman Problem with Turn Penalties. European Journal of Operational Research, 272(2), 754-765.

[8] Cerrone, C., Gentili, M., D'Ambrosio, C., & Cerulli, R. (2018). An Efficient and Simple Approach to Solve a Distribution Problem. In New Trends in Emerging Complex Real Life Problems. Springer, Cham. 151-159.

[9] Cincotti, A., Cutello, V., & Pappalardo, F. (2003). An ant-algorithm for the weighted minimum hitting set problem. In Proceedings of the 2003 IEEE Swarm Intelligence Symposium. SIS'03 (Cat. No. 03EX706), IEEE, 1-5.

[10] CLib (2017). Configuration Benchmarks Library. https://www.itu.dk/research/cla/externals/clib/

[11] Ćendić-Lazović, B. (2014). A genetic algorithm for the minimum hitting set. Scientific Publications of the State University of Novi Pazar Series A: Applied Mathematics, Informatics and mechanics, 6(2), 107-117

[12] Gainer-Dewar, A., & Vera-Licona, P. (2017). The minimal hitting set generation problem: algorithms and computation. SIAM Journal on Discrete Mathematics, 31(1), 63-100.

[13] GLPK (2012) gnu.org. (n.d.). Retrieved from GNU: www.gnu.org/software/glpk

[14] Johnson, D. S., & Garey, M. R. (1979). Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness. WH Freeman.

[15] Karp, R. M. (1972). Reducibility among combinatorial problems. In Complexity of computer computations (pp. 85-103). Springer, Boston, MA.

[16] Li, L., & Yunfei, J. (2002). Computing minimal hitting sets with genetic algorithm. ZHONGSHAN (SUN YATSEN) UNIV (CHINA), https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/p012697.pdf

[17] McGuire, G., Tugemann, B., & Civario, G. (2014). There is no 16-clue Sudoku: solving the Sudoku minimum number of clues problem via hitting set enumeration. Experimental Mathematics, 23(2), 190-217.

[18] Nyberg, M. (2010). A generalized minimal hitting-set algorithm to handle diagnosis with behavioral modes. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 41(1), 137-148.

[19] Pavlović, P., Makajić-Nikolić, D. & Vujošević, M. (2017). A new approach for determining the most important system components and the budget-constrained system reliability improvement. Maintenance and Reliability - Eksploatacja i Niezawodnosc, 19(3), 413-419.

[20] Pill, I., & Quaritsch, T. (2012). Optimizations for the boolean approach to computing minimal hitting sets. In Proceedings of the 20th European Conference on Artificial Intelligence, IOS Press 648-653.

[21] Ruchkys, D. P., & Song, S. W. (2002). A parallel approximation hitting set algorithm for gene expression analysis. In 14th Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing, 2002. Proceedings. (pp. 75-81). IEEE.

[22] Shi, N. Y., & Chu, C. P. (2010). A molecular solution to the hitting-set problem in DNA-based supercomputing. Information Sciences, 180(6), 1010-1019.

[23] Vazquez, A. (2009). Optimal drug combinations and minimal hitting sets. BMC systems biology, 3(1), 81.

[24] Wotawa, F. (2010). Fault localization based on dynamic slicing and hitting-set computation. In 2010 10th International Conference on Quality Software, IEEE, 161-170.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

REŠAVANJE DIFERENCIJALNIH JEDNAČINA PRVOG REDA GENETSKIM ALGORITMIMA

SOLVING FIRST ORDER DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH GENETIC ALGORITHMS

ANDRIJA PETROVIĆ[1,2], SANDRO RADOVANOVIĆ[2], BORIS DELIBAŠIĆ[2], UGLJEŠA BUGARIĆ[1]

[1] Mašinski Fakultet, Beograd, aapetrovic@mas.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, sandro.radovanovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U radu su predstavljene dve metode za rešavanje Košijevog problema običnih diferencijalnih jednačina prvog reda. Metode su bazirane na rešavanju običnih diferencijalnih jednačina prvog reda korišćenjem genetskih algoritama (GA). Metode su međusobno upoređene sa različitim načinama sparivanja populacije. Pored toga data su poređenja GA sa najprostijim i najčešće primenjivanim metodama za rešavanje običnih diferencijalnih jednačina. Pokazuje se da GA daju zadovoljavajuće vrednosti rešenja diferencijalnih jednačina i da su efikasniji od određenih numeričkih metoda. Runge Kuta metod pokazuje najbolje vrednosti aproksimacije rešenja, dok Ojlerov metod sa korakom 0,1 pokazuje veće vrednosti relativnih grešaka aproksimativnih rešenja u odnosu na GA. Bez obzira na to primena GA je vrlo ograničena s obzirom na vreme izvršenja istih koje je nekoliko 1000 puta veće u odnosu na preostale metode.*

Ključne reči: *genetski algoritmi, diferencijalne jednačine, Runge Kuta, Ojlerova metoda.*

Abstract: *In this paper two different methods for solving Cauchy problem of first order differential equations are preseneted. Methods are based on implementation of genetic algorithms. Results of both methods are compared with the commonly used techniques for solving differential equations. It is shown that methods based on genetic algorithms achieved satisfactory results and better performances compared to Eulers method. 5th order Runge Kutta method obtained best approximation of real results, whereas Euler method with step 0,1 achieved the worst performances. Neverthless it is shown that application of genetic algorithms in solving first order differential equations is limited due to high computational costs.*

Keywords: *genetic algorithm, differential equations, Runge Kutta, Eulers method.*

1. UVOD

Veliki broj problema koji se tiču rešavanja običnih diferencijalnih jednačina obavlja se posredstvom različitih numeričkih metoda. Mnoge od njih nalaze rešenja Košijevog problema u relativno kratkom vremenskom periodu. Osnovni cilj numeričkog rešavanja običnih diferencijalnih jednačina zasniva se na rešavanju Košijevog problema sa što većom preciznošću u što kraćem intervalu vremena.

Runge Kuta metod kao i ostale visokokoračne linearne metode predstavljaju najčešće zastupljene metode koje se koriste za rešavanje običnih diferencijalnih jednačina i sistema diferencijalnih jednačina, [1; 4]. Konvergencija i tačnost datih metoda prikazana je u [2].

Postavkom odgovarajuće funkcije cilja, obične diferencijalne jednačine prvog i višeg reda mogu se rešiti optimizacionim algoritmima. Sadollah et.al [9] je pokazao mogućnost rešavanja Košijevog problema koristeći metaheuristike kao što su PSO (eng. „*Particle Swarm Optimization*“) i WCA (eng. „*Water Cycle Algorithm*“).

Algoritmi bazirani na evolutivnim optimizacionim algoritmima pokazuju se uspešnim u rešavanju diferencijalnih jendačina na diskretnim intervalima [5]. Mnoge modifikacije ovih algoritama tiču se korišćenja genetskih algoritama u kombinaciji sa drugim algoritmima za pretraživanje lokalnih ekstremuma. Jedan od takvih primera je korišćenje genetskih algoritama sa Nelder-Mead algoritmima u cilju bržeg dolaženja do približnog tačnog rešenja diferencijalnih jednačina, što je prikazano u [7]. Pokušaji prikazivanja rešenja diferencijalne jednačine interpolacionom metodom konačnih elemenata i potom rešavanje optimizacionog problema genetskim algoritmima prikazano je u [6].

U okviru ovog rada prikazane su dve metode za rešavanje linearnih i nelinearnih diferencijalnih jednačina prvog reda zasnovane na kontinualnim genetskim algoritmima. Različitim sparivanjem populacije (single

point sparivanje i metodom razmene gena) poređene su tri različite kombinacije genetskih algoritama sa rešenjima dobijenim metodom Runge Kuta reda 4, 5, kao i sa najprostijim Ojlerovim eksplicitnim i implicitnim metodama. Tačnost navedenih rešenja je zatim izražena srednjom relativnom greškom u odnosu na analitičko rešenje datog Košijevog problema.

2. REŠAVANJE KOŠIJEVOG PROBLEMA GENETSKIM ALGORITMIMA

U ovom radu korišćene su dve metode rešavanja Košijevog problema genetskim algoritmima. Prvi metod prikazan u radu [8], zasniva se na postavci funkcije cilja čija rešenja direktno daju vrednosti diferencijalne jednačine prvog reda u vrednostima *x* koje su unapred odabrane. S obzirom da metod ima preciznost koja odgovara Ojlerovom metodu za numeričku integraciju običnih diferencijalnih jednačina nije od nekog posebnog značaja, ali tumačenje metoda je vrlo jednostavno stoga je navedeni metod i izabran radi implementacije i prikaza u okviru ovog rada.

Drugi metod rešavanja običnih diferencijalnih jednačina prikazan je u radu [3]. U okviru navedenog rada metod se zasniva na prikazu rešenja u obliku polinoma sa nepoznatim koeficijentima uz veličinu *x*. Jedinku stoga čine geni koji ne predstavljaju vrednosti funkcije cilja u diskretizovanim vrednostima kao u prvom metodu, već koeficijente polinoma. U radu je odgovarajući metod primenjen na obične diferencijalne jednačine drugog reda, primenom evolutivnih algoritama. U odnosu na prethodni rad [3] u ovom radu je uvedena modifikacija korišćenja metoda za obične diferencijalne jednačine prvog reda posredstvom genetskog algoritma.

Košijev problem u teoriji diferencijalnih jednačina se definiše u sledećem obliku:

$$y' = f(x, \mathrm{y}), \quad y(x_0) = y_0 \tag{1}$$

Funkcija $y = y(x)$ predstavlja nepoznatu funkciju, odnosno rešenje zadatog Košijevog problema. Pored toga predstavljen je i početni uslov koji obezbeđuje jedinstveno rešenje Košijevog problema. U cilju rešavanja Košijevog problema potrebno je dokazati da odgovarajući problem zadovoljava uslove egzistencije rešenja date Lipšicovim uslovom.

Funkcija cilja prvog metoda

U cilju izražavanja funkcije cilja koristiće se ideja Ojlerovog metoda. Polazeći od razvoja u Tejlorov red u okolini koraka *h*, Košijev problem se može predstaviti na sledeći način kao:

$$y(x+h) = y(x) + y'(x)h + R_2 \tag{2}$$

Ukoliko smatramo da je korak dovoljno mali može se pretpostaviti da se jednačinom (2) Košijev problem može predstaviti kao:

$$y`(x) \approx \frac{y(x+h) - y(\mathrm{x})}{h} \tag{3}$$

$$\frac{y_{i+1} - y_i}{h} = f(x_i, y_i), i = 1...n-1 \tag{4}$$

U opštem slučaju gornji sistem je nelinearan, a korak sistema određen je brojem tačaka u kome tražimo vrednost nepoznate funkcije *y*. Korak sistema je određen kao:

$$h = \frac{b - x_0}{n} \tag{5}$$

Cilj je minimizovati kvadratnu vrednost razlike između vrednosti Košijevog problema i vrednosti funkcije *y* nađene u diskretizovanim vrednostima, izraženo kao:

$$F(\mathrm{y}) = \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h} - f(x_i, y_i) \right)^2 \tag{6}$$

Stoga se traži vektor $y = (y_1, y_2., .., y_n)$, koji predstavlja jednu jedinku populacije, a čije vrednosti koordinata predstavljaju geni to jest vrednosti funkcije *y(x)* u diskretizovanim vrednostima *x*, predstavljenim kao:

$$x_i = a + ih, i = 1,...,n \tag{7}$$

Ovaj vektor treba da bude takav da suma njegovih koordinata minimizuje funkciju predstavljenu jednačinom (6).

$$\min \sum_i \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h} - f(x_i, y_i) \right)^2, i = 1,...,n-1 \tag{8}$$

Kriterijum konvergencije odgovarajuće metode je zasnovan na funkciji (8) i zavisi od vrednosti greške koju unosi korisnik. Jednačinom (9) prikazan je kriterijum konvergencije odgovarajuće metode:

$$\sum_i \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h} - f(x_i, y_i) \right)^2 < e \tag{9}$$

Gde je $e>0$ gornja granica pri kojoj se algoritam zaustavlja.

Funkcija cilja drugog metoda

Za razliku od prvog metoda koji eksplicitno traži vrednosti *y* kao rešenja problema minimizacije funkcije cilja, drugi metod pretpostavlja da se funkcija $y=y(x)$ može prikazati kao polinomijalna funkcija prikazana kao:

$$y(\mathrm{x}) = \sum_{i=0}^{k} C_i x^i \tag{10}$$

Gde su C_i koeficijenti koji idu uz odgovarajuće članove polinoma x^i. Ukoliko se pronađe prvi izvod jednačine, dobija se rešenje u obliku:

$$y'(\mathrm{x}) = \sum_{i=1}^{k} iC_i x^{i-1} \tag{11}$$

U opštem slučaju obična diferencijalna jednačina zadata jednačinom (1) se može zapisati zamenom izraza (10) i (11) u sledećem obliku:

$$\sum_{i=1}^{k} iC_i x^{i-1} = f\left(x, \sum_{i=0}^{k} C_i x^i \right) \tag{12}$$

$$\sum_{i=0}^{k} C_i {x_o}^i = y_0 \tag{13}$$

Na osnovu prethodno zadatog uslova sledi da je potrebno odrediti takav polinom da je u svakoj tački zadovoljen uslov:

$$F_n = \sum_{i=1}^{k} iC_i {x_n}^{i-1} - f\left(x_n, \sum_{i=0}^{k} C_i {x_n}^i \right) = 0 \tag{14}$$

Navedenu pretpostavku nije moguće ostvariti u slučaju aproksimacije polinoma sa konačnim brojem elemenata: samim tim potrebno je izabrati takve koeficijente polinoma koji će minimizovati zbir vrednosti funkcije F_n u svim zadatim tačkama:

$$\min F = \sum_{n=1}^{N} {F_n}^2 \tag{15}$$

gde $N = \frac{b - x_0}{h}$ predstavlja broj tačaka zadat korakom *h*.

Iz navedenog se može zaključiti da populaciju čine jedinke čiji geni predstavljaju vrednosti koeficijenata uz polinome. Najbolja jedinka predstavlja jedinku čija je vrednost funkcije *F* minimalna odnosno čiji koeficijenti polinoma zadaju minimalnu vrednost funkcije *F*. Potrebno je napomenuti da od $k+1$ zadatih

polinoma jedinka sadrži *k* nezavisnih koeficijenata dok je jedan koeficijent polinoma određen ograničenjem (14). Kao i u prethodnom slučaju kriterijum konvergencije datog metoda zadat je kao:

$$\sum_{n=1}^{N} F_n^{\,2} < e \tag{16}$$

3. EKSPERIMENTI

Implementacijom navedenih metoda posredstvom izrađenog softvera kontinualnih genetskih algoritama za rešavanje Košijevog problema običnih diferencijalnih jednačina prvog reda, izvršeno je poređenje navedene dve metode sa sparivanjem jedinki prostom razmenom gena (1) i sparivanjem rangiranjem (2). Rezultati su zatim poređeni sa dobijenim rezultatima numeričkih metoda, izrađenim softverom za rešavanje obične diferencijalne jednačine eksplicitnim i modifikovanim implicitnim Ojlerovim metodom [2] sa rešavanjem nelinearnih jednačina metodom polovljenja intervala. Pored toga korišćen je i Runge Kuta metod reda 5 sa mogućnošću promene vrednosti koraka. Numerički eksperiment je izvršen u softveru Matlab. Pozivanjem funkcije „*ode45*“ [10], pozivan je solver za rešavanje diferencijalne jednačine Runge Kuta metodom reda 4, 5.
Prvi Košijev problem koji je rešavan predstavljen je u sledećem obliku:

$$y'(x) = 2 \cdot x^3 \cdot y^3 - 2 \cdot x \cdot y, \quad y(1) = \frac{1}{2} \tag{17}$$

Analitičko rešenje ovog Košijevog problema je:

$$y = \frac{1}{x(\ln x + 2)} \tag{18}$$

Drugi Košijev problem koji je rešavan zadat je kao:

$$y'(\mathrm{x}) = 2 \cdot (\mathrm{x}^3 - \mathrm{x}^2), \quad y(1) = 0 \tag{19}$$

Analitičko rešenje ovog Košijevog problema je:

$$y = \frac{x^4}{2} - \frac{2 \cdot x^3}{3} + \frac{1}{6} \tag{20}$$

U oba Košijeva problema rešenja se traže na intervalu *x* od $[1,\ 2]$. Vrednosti funkcije *y* se nalazi u sledećim tačkama:

$$x_i = 1 + i \cdot 0{,}1 \qquad i = 1, 2, ..., 10 \tag{21}$$

Parametri GA za prvi metod rešavanja u oba slučaja sparivanja su:

- Broj jedinki u populaciji je 51; Broj gena u jedinki je 10;
- Mutacioni faktor je 20%; Procenat populacije koji se odstranjuje je 50%;
- Granice u kojima se traži rešenje su [0,3].

Parametri GA za drugi metod rešavanja i drugi metod sparivanja su:

- Broj jedinki u populaciji je 20 (za slučaj *k*=6 uzet je 51); Broj gena u jedinki je *k*=4,5,6;
- Mutacioni faktor je 20%; Procenat populacije koji se odstranjuje je 50%;
- Granice u kojima se traže koeficijenti polinoma su [-1,1].

Nakon obavljenih eksperimenata GA, prvi metod od 10 slučajeva zaustavljen je 4 puta kriterijumom konvergencije, koji se odnosi na tačnost rešenja, metodom sparivanja 1, dok je 5 od 10 puta zaustavljen istim kriterijumom konvergencije metodom sparivanja 2. Za razliku od prvog tipa GA, drugi tip je kriterijumom konvergencije, koji se odnosi na tačnost rešenja od 10 puta iskonvergirao 10 i 8 puta za polinome reda 4 i 5, dok je za *k*=6 iskonvergirao 6 puta, pri čemu je uzeta populacija od 51 jedinke. Sva izračunavanja su vršena na računaru sa CPU Intel Core i7-4710HQ procesorom. Prosečna vremena trajanja algoritma do zadovoljenja kriterijuma konvergencije koji se odnosi na tačnost rešenja prvog Košijevog problema data su u tabeli 1. U tabeli 2 i 3 prikazane su diskretizovane vrednosti funkcija koje se odnose na svaku od metode pojedinačno

Tabela 1. Vreme trajanja eksperimenta prvog Košijevog problema

Tabela 1. Vreme trajanja eksperimenta prvog Košijevog problema

	GA prva metoda - 1	GA prva Metoda - 2	GA druga metoda – sparivanje 2			Ojlerov metod		Implicitni Ojlerov metod		Runge Kutta 4,5
			k=4	k =5	k =6	h=0.1	h =0.01	h =0.1	h =0.01	
Vreme [sek]	43,512	57,984	34,56	109,66	201,88	0,001	0,011	0,003	0,009	0,002

Tabela 2. Vrednosti izračunatih funkcija prvog Košijevog problema

X	GA prva metoda		GA druga metoda -			Ojlerov metod		Implicitni Ojlerov metod		Runge Kuta 4, 5	Analitičko rešenje
	1	2	k=4	k =5	k =6	h =0,1	h =0,01	h =0,1	h =0,01		
1	0,413	0,401	0,429	0,446	0,426	0,425	0,426	0,428	0.426	0,426	0,426
1.1	0,336	0,329	0,364	0,359	0,355	0,374	0,354	0,384	0,355	0,354	0,354
1.2	0,271	0,256	0,292	0,297	0,287	0,283	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287
1.3	0,224	0,205	0,228	0,230	0,227	0,219	0,226	0,221	0,226	0,226	0,226
1.4	0,182	0,174	0,178	0,174	0,174	0,163	0,173	0,168	0,173	0,174	0,174
1.5	0,134	0,131	0,133	0,138	0,130	0,117	0,128	0,121	0,129	0,129	0,129
1.6	0,100	0,100	0,096	0,101	0,094	0,081	0,093	0,083	0,093	0,094	0,094
1.7	0,063	0,047	0,071	0,076	0,067	0,054	0,066	0,058	0,066	0,067	0,067
1.8	0,032	0,037	0,055	0,046	0,047	0,035	0,045	0,043	0,045	0,046	0,046
1.9	0,017	0,030	0,037	0,040	0,032	0,022	0,030	0,027	0,031	0,031	0,031
2	0,413	0,401	0,429	0,446	0,426	0,425	0,426	0,428	0,426	0,426	0,426

Tabela 3. Vrednosti izračunatih funkcija drugog Košijevog problema

X	GA prva metoda		GA druga metoda -			Ojlerov metod		Implicitni Ojlerov metod		Runge Kuta 4, 5	Analitičko rešenje
	1	2	k=4	k =5	k =6	h =0.1	h =0.01	h =0.1	h =0.01		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.1	0,011	0,016	0,009	0,015	0,015	0	0,010	0,024	0,012	0,011	0,011
1.2	0,046	0,058	0,048	0,058	0,056	0,024	0,048	0,081	0,054	0,051	0,051
1.3	0,088	0,124	0,128	0,138	0,131	0,081	0,125	0,183	0,135	0,130	0,130
1.4	0,173	0,234	0,259	0,265	0,265	0,183	0,250	0,340	0,266	0,258	0,258
1.5	0,331	0,391	0,452	0,452	0,449	0,340	0,436	0,564	0,459	0,447	0,447
1.6	0,555	0,616	0,721	0,714	0,711	0,564	0,697	0,872	0,728	0,712	0,712
1.7	0,859	0,913	1,078	1,065	1,063	0,872	1,047	1,276	1,087	1,067	1,067
1.8	1,251	1,306	1,539	1,523	1,521	1,276	1,501	1,795	1,553	1,527	1,527
1.9	1,772	1,824	2,121	2,104	2,103	1,795	2,077	2,444	2,142	2,110	2,110
2	2,420	2,471	2,840	2,830	2,828	2,444	2,793	2,999	2,873	2,833	2,833

U tabeli 4 i 5 prikazane su prosečne vrednosti relativnih grešaka za svaku od navedenih metoda u poređenju sa analitičkim rešenjem.

Tabela 4. Relativne greške pri rešavanju prvog Košijevog problema

	GA prva metoda		GA druga metoda			Ojlerov Metod		Implicitni Ojlerov metod		Runge Kuta 4, 5
Rel Greška %	1	2	k=4	k =5	k =6	h=0.1	h =0.01	h=0.1	h =0.01	
	11,08%	9,49%	5,37%	6,77%	0,52%	11,47%	1,05%	6,76%	0,57%	0

Tabela 5. Relativne greške pri rešavanju drugog Košijevog problema

	GA prva metoda		GA druga metoda			Ojlerov Metod		Implicitni Ojlerov metod		Runge Kuta 4, 5
Rel Greška %	1	2	k=4	k =5	k =6	h=0.1	h =0.01	h=0.1	h =0.01	
	19,82%	15,78%	3,11%	6,55%	5,05%	32,73%	3,42%	35,15%	3,47%	0

Može se zaključiti da je Runge Kuta najbolja numerička metoda za određivanje rešenja obične diferencijalne jednačine. Najlosiju tačnost rešenja daju Ojlerove metode metod za korak 0,1. GA prvog tipa pokazuje veće vrednosti grešaka u odnosu na GA drugog tipa. Sparivanjem 1 dobijaju se nepreciznija rešenja u odnosu na sparivanjem 2 pri korišćenju GA prvog tipa. GA drugog tipa pokazuje najmanju grešku pri konstrukciji polinoma 6 reda. Primećuje se da povećanje reda polinoma ne garantuje da će do smanjenja vrednosti relativne greške, nego se i produžava prosečno vreme izračunavanja usled povećanja populacije čime se ne garantuje konvergencija metode. Metoda GA drugog tipa pokazuje podjednaku vrednost greške kao pri korišćenju Ojlerove metode i implicitne Ojlerove metode sa korakom 0,01. Prosečno vreme izračunavanja GA prvog tipa je veće u odnosu na GA drugog tipa za k=4. GA pokazuju potrebu za mnogo dužim prosečnim vremenom izračunavanja u odnosu na ostale numeričke metode čime oni praktično postaju neupotrebljivi. Veliki udeo u vremenu izračunavanja GA se tiče početnog izbora populacije, stoga da bi se dobila rešenja sa većom preciznošću kod GA prvog tipa preporučuje se određivanje jedinke populacije Ojlerovim metodom, a zatim nastavljanje pretrage na način koji je opisan u tekstu.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu izložene teorije i izvršenih eksperimenata može se izvesti nekoliko bitnih zaključaka:

- Primenom GA prvog tipa i drugog tipa mogu se dobiti zadovoljavajuća rešenja diferencijalnih jednačina. Pored toga GA drugog tipa daje manje vrednosti relativnih grešaka aproksimativnog rešenja u odnosu na GA prvog tipa.
- GA drugog tipa pokazuju bolje vrednosti aproksimacije od Ojlerovog metoda za vrednosti koraka 0,1, i slične greške aproksimacija za vrednost koraka 0,01.
- Bez obzira na vrednost greške GA se pokazuju kao vrlo neefikasan aparat u rešavanju običnih diferencijalnih jednačina prvog reda usled dugačkog vremena izvršavanja.

LITERATURA

[1] Butcher, J. C. (1987). *The numerical analysis of ordinary differential equations: Runge-Kutta and general linear methods*: Wiley-Interscience.

[2] Cvetković, A., & Spalević, M. (2013). *Numeričke metode*: Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.

[3] Fatimah, B. O., Senapon, W. A., & Adebowale, A. M. (2015). Solving Ordinary Differential Equations with Evolutionary Algorithms. *Open Journal of Optimization, 4*(03), 69.

[4] Ixaru, L. G. (2013). *Runge-Kutta methods of special form.* Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.

[5] Mastorakis, N. E. (1996). Solving differential equations via genetic algorithms. *Proceedings of the Circuits, Systems and Computers, 96*, 15-17.

[6] Mastorakis, N. E. (2005). Numerical solution of non-linear ordinary differential equations via collocation method(finite elements) and genetic algorithms. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications, 2*(5), 467-473.

[7] Mastorakis, N. E. (2006). Unstable ordinary differential equations: solution via genetic algorithms and the method of Nelder-Mead. *WSEAS Transactions on Mathematics, 5*(12), 1276.

[8] Mateescu, G. D. (2006). On the application of genetic algorithms to differential equations. *Romanian Journal of Economic Forecasting, 7*(2).

[9] Sadollah, A., & Kim, J. H. (2016). Imprecise Solutions of Ordinary Differential Equations for Boundary Value Problems Using Metaheuristic Algorithms. *Handbook of Research on Modern Optimization Algorithms and Applications in Engineering and Economics*, 401.

[10] Yang, W. Y., Cao, W., Chung, T.-S., & Morris, J. (2005). *Applied numerical methods using MATLAB*: John Wiley & Sons.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PROFINJENJE INICIJALNE PODJELE U PROBLEMIMA OPTIMIZACIJE NA GRAFOVIMA PONUDE/POTRAŽNJE

REFINEMENTS INITIAL DIVISION IN OPTIMIZATION PROBLEMS ON GRAPHS SUPPLY/DEMAND

RAVA FILIPOVIĆ[1],

[1] Orao a.d., Bijeljina, filipovicrava@yahoo.com

Rezime: *U ovom radu je opisana inicijalna podjela i profinjenje početnog rješenja, za potrebe rješavanja problema maksimalne podjele grafa ponude/potražnje (MPGSD). Postoji sve veće interesovanje za MPGSD zbog njegove bliske veze sa problemima koji se javljaju u oblasti električnih distributivnih sistema, a vezano za optimizaciju obnovljivih energetskih izvora. Za particionisanje grafa, ovog optimizacionog problema, predloženi su pohlepni algoritmi. Cilj je bio da se dobije kvalitetnije inicijalno rješenje.*

Ključne reči: *Operaciona istraživanja, Optimizacija grafa, Particionisanje grafa, Heuristike.*

Abstract: *This paper describes the initial division and refinement of the initial solution, for the needs of problem solving maximum division graph supply/demand (MPGSD). There is a growing interest in MPGSD because of his close ties with the problems that occur in electrical distribution systems, in relation to the optimization of renewable energy sources. For graph partition, the optimization problem, the proposed algorithms are greedy. The goal was to get better initial solution.*

Keywords: *Operational Research, Graph Optimization, Partitioning Graphs, Heuristics.*

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

POSTUPAK PRETRESA I LOKALNO OBNAVLJANJE DOPUSTIVOSTI U PROBLEMIMA OPTIMIZACIJE NA GRAFOVIMA PONUDE/POTRAŽNJE

PROCEDURE FOR SHAKING AND RENEWAL LOCAL ADMISSIBILITY OPTIMIZATION PROBLEMS ON GRAPHS SUPPLY/DEMAND

RAVA FILIPOVIĆ[1]

[1] Orao a.d., Bijeljina, filipovicrava@yahoo.com

Rezime: *U ovom radu je opisan postupak pretresa tehnikama Insert, Swap i Remove, kroz narušavanje dopustivosti i proces lokalnog obnavljanja dopustivosti, za potrebe rješavanja problema maksimalne podjele grafa ponude/potražnje (MPGSD), pomoću kojih će pretraživanje usmjeriti pretragu ka novim, neistraženim regionima prostora rješenja. Sve u cilju da se izbjegnu lokalni optimumi i poveća šansa nalaženja globalnog optimuma. Nakon primjene implementiranih postupaka desiće se pomjeranje do rješenja, koje se nalazi relativno daleko od trenutnog lokalnog optimuma. Ovim se postiže sistematično pretraživanje prostora rješenja i sprečava konvergencija ka lošijem lokalnom optimumu.*

Ključne reči: *Operaciona istraživanja, Optimizacija grafa, Particionisanje grafa, Heuristike.*

Abstract: *This paper describes the process of the search by Insert, Swap and Remove techniques, through pernicious deterioration and the process of local renewal of permissibility, for the purpose of solving the problem of maximum division of the supply/demand graph (MPGSD), by which the search will direct the search to new unexplored regions of the solution space . All in order to avoid local optimums and increase the chance of finding a global optimum. After applying the procedures implemented there will be a move to a solution that is relatively far from the current local optimum. This achieves a systematic search for space solutions and prevents convergence towards a worse local optimum.*

Keywords: *Operational Research, Graph Optimization, Partitioning Graphs, Heuristics.*

INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

INFORMACIONI SISTEMI I TEHNOLOGIJE

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

A SIMPLE RESPONSIVE WEB DESIGN SIMULATOR FOR ROUND SCREEN DEVICES BUILT IN JAVASCRIPT

TANJA KRUNIĆ[1], DUŠAN KRSTIĆ[2]

[1] The Higher Technical Education School of Professional Studies in Novi Sad, Serbia, krunic@vtsns.edu.rs

[2] Institute of Public Health of Vojvodina - Department of IT, Novi Sad, Serbia, dusan.krstic@symappsys.com

Abstract: *Nowadays, the sale of smartwatches is growing worldwide. Consequently, smartwatch manufacturers are developing models with an increasing number of possibilities. One of the novelties is that smartwatches can be used for surfing the web. Herein we present a round screen simulator designed with the purpose to help web designers to adapt the layout of websites for smart watches with round screens.*

Keywords: *Responsive web design, smartwatch, round screen, responsive design simulator.*

1. INTRODUCTION

Due to the continuos development of technology, trends in web design are changing continually. One can see how rapid the trends and technologies in web design have changed at the web design timeline (web design museum, 2019): Starting from the first HTML page in 1991, the first web browser in 1994, CSS1 and Flash in 1996, the CMS system Wordpress in 2003, the CSS preprocessor SASS in 2006, the first iPhone browser and the CSS grid system in 2007, flat design trend in 2009, responsive web design in 2010, Bootstrap in 2011, CSS media queries in 2012, material design and HTML 5 in 2014 and the termination of Flash in 2017. Consequently, in order to stay in the web design business, web designers are to follow all these trends. This means lifelong learning for web designers.

The latest novelty in this area is the ability of smartwatches to browse the web, (Sawh 2014, Clover 2018, Freeman 2018, WatchaWearing 2018, Linder 2014). Smartwatches have very small screen dimensions and are available even with round screens. This is not only a special challenge for web designers, but also a big challenge in the field of responsive web design. The W3C (The World Wide Web Consortium) is currently working on the development of CSS media queries and other rules for round screens. But smartwatches are not the only round screen devices with the ability to browse the web: some kinds of smart displays can also be used for this purpose. This was a motivation for us to create a round screen simulator for the purpose of responsive web design education.

This paper is organized as follows. Section 2 is devoted to smart watches and other round screen devices, whereas the CSS 3 extensions for adapting web content layout to round screens is presented in Section 3. Finally, in Section 4 we present the round screen simulator created for educational purpose.

2. ROUND SCREEN DEVICES

Figure 1: (a) Fitness tracking smartwatch (b) standalone smartwatch

Smartwatches are portable devices to be worn on a wrist, (Silbert 2019). Before the 2010-ties, digital watches had only the ability to measure time and could be used as calculators. The evolution of smartwatches started in the last decade. At the first stage, smartwatches had only such applications as event notifications, fitness tracking Fig 1.(a), and GPS. But nowadys, smartwacthes have almost the same abilities as smartphones Fig 1.(b). Although the first smartwatches had to be connected to smartphones to access the internet, there is a growing number of stanalone smartwatches on the market now, (Simkin 2018). Standalone smartwatches have all the functionalities as smartphones: they have a SIM card, can connect to

be achieved without the need to be paired with smartphones, (Kenney, 2017). Anyway, due to small dimensions of smartwatch screens, surfing the web can be quite unconfortable, (Sathe, 2014).

According to (Prescient & Strategic intelligence, 2017) the global smartwatch market reached $10,223.9 million in 2017. The same source predicts a sales growth of smartwatch devices of 22.7% during the perod of 2018 – 2023. A very similar forecast of the growing global smartwatch market can be found in (Market research store, 2016): Their forecast claims that the global smartwatch market will reach 21 million units in 2021. The main reason for this growth are claimed to be the new features of smartwatches. Considering the growing market of smartwatches, its is definitely worth adapting web layout to smartwatches inspite of the fact that browsing the web with small screens is not comfortable. Smartwatches can be designed both with rectangle, Fig. 2 (a) and round screens, Fig. 2 (b). From a web designer's point of view, besides small screen dimensions, adapting web content to round screens is another difficult issue.

Figure 2: web browsing with **(a)** rectangle smartwatch **(b)** round screen smartwatch

Smart displays are voice assistants – smart speakers with touchscreens. They can be used to control other smart devices in the house, add something to your shopping list and check you calendar. But lately some models can also be used for video chats, web searches, etc, (Gebhart, 2018). On Fig 3 (a) we can see a rectangle smart display with the ability of browsing the web. Fig. 3 (b) shows a round screen smart display currently without a web browser, but according to (Looper, 2019), these devices are getting smarter in the future, so we can expect this functionality very soon. As one can conclude, adapting web content to round screens will become an important task. On the other hand, responsive web design will be a big challenge for web designers in the future.

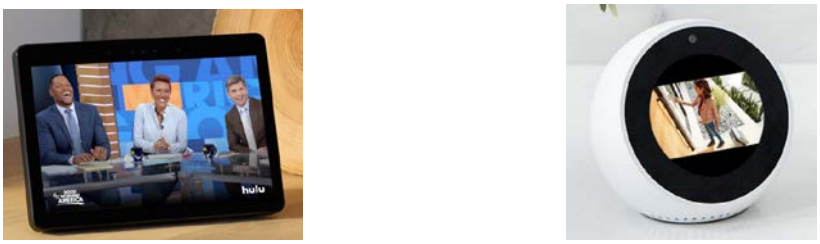


Fig 3: (a) rectangle smart display **(b)** round screen smart display

3. RESPONSIVE WEB DESIGN AND ROUND SCREENS

Responsive web design is by definition a process of using HTML and CSS to automatically resize, hide, shrink or enlarge a website in order to be correctly displayed on various devices such as desktops, tablets, and mobile phones, (w3schools, 2019). A responsive layout of a web page is achieved by using CSS media querries which allow us to use different styles for specific predefined breakpoints. Breakpoints are taken to be common screen widths of desktops, tablets and mobile phones. The most common ones are: 320px, 480px, 640px, 768px and 1024px, (Media queries for common device breakpoints, 2017). Now responsive web design has to be extended to smartwatches and other smart display devices. When talking about smartwatches, according to (Kol 2015, Thomas 2014) the minimalistic design trend will continue due to small screen dimensions. The range of screen sizes for smartwatches is commonly from 1.2 to 1.5 inches, (Shanklin, 2017), and typical screen resolutions are 128×128px, 144×168px, 220×176px, 272×340px, 312×390px, 320×290px, and 320×320px, (Kol 2015, Rosini 2014). A special issue will be adapting web content to round screens. In that sense, Figure 4. (Ackermann, 2018) presents an illustration devoted to devices for which web content is to be adapted. There are many similar illustrations available on the web, but the novelty of this one is the presence of square and round screen smartwatches.

Figure 4: Responsive web issues illustration, (Ackermann, 2018)

For the above mentioned reasons, the CSS working group defined new media queries for recognizing round screens. Their role is to enable the use of different styles for devices with different shapes of displays. They are still in the working draft (CSS current work and how to participate, 2019). This is the first step for new CSS rules on the way to be recommended. Fig. 5 shows the suggested media queries for round and rectangle screens, (CSS round display level 1, 2018). As we can see on Fig 6., for the same purpose, there is also a new value 'shape:round/rect' for the media attribute of the HTML link tag.

```
@viewport{
Viewport-fit:cover;/*or contain*/
}
@media (shape:round){
/*styles for the round design*/
}
@media (shape:rect){
/*styles for the rectangular design */
}
```

Fig 5: New CSS media queries for recognizing the shape of devices

```
<head>
   <link media="screen and (shape: rect)" rel="stylesheet" href="rectangle.css" />
   <link media="screen and (shape: round)" rel="stylesheet" href="round.css" />
</head>
```

Fig 6: New 'shape' value for the HTML link media attribute

Besides, (CSS round display level 1, 2018) suggest some other CSS rules for adapting web content to round displays. One of them is the viewport-fit rule with values 'cover' or 'contain', see fig Fig. 5. If the value of this rule is set to 'cover' then the viewport is set to the circumscribed rectangle of the device screen, whereas the value 'contain' sets the viewport to the largest rectangle inscribed in the display of the device. In the first case, the area of the viewport bounding box is larger than the area of the display, so a part of the content gets clipped. This rule can be used if the readability of the page is important. In the second case a gap between the viewport rectangle and the area of the display arises. If this rule is used, there is no clipped content, (CSS round display level 1, 2018). A very useful suggested CSS rule is also the 'shape-inside: display' rule which enables content to be aligned within the display edge. If we place all the web content in one main container with the aforementioned feature, than the content can be aligned within the display edge automatically without using media queries.

4. THE ROUND SCREEN SIMULATOR

There are many responsive web design simulators available on the web. Web designers use them to check the layout of their web pages for various screen dimensions. However, none of them has the possibility to check page layouts on round screens. This is due to the fact that CSS round display level 1 rules still are in the working draft. This was a motivation for us to create a simple responsive web design simulator to enable testing of web page lauouts on round screens for educational purpose.

The responsive web design simulator for round screen displays is created in JavaScript and is available at http://symappsys.com/simulator.php. As we can see at Fig. 7, after inputing the URL of a web page, JavaScript catches the address and loads the page in two iframes at the same time: one rectangular and the other round shaped. The right hand side iframe is rounded with CSS rules. In addition, there is a menue for choosing the width and height of both rectangular and iframe. The dimensions of the screen are then corrected by dynamic styles, i.e. bymanipulating CSS using JavaScript. Let us see how it works below.

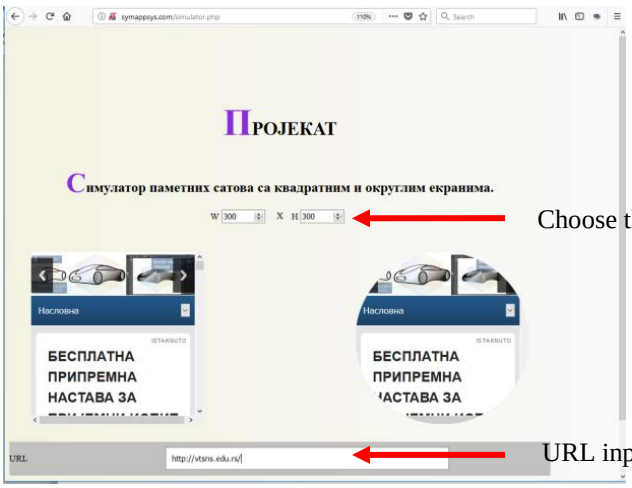


Fig 7: The round screen simulator, http://symappsys.com/simulator.php

After inputing the URL of the web site and choosing the dimensions of the screen, one can see the layout of the page on both rectangle and round shaped screens, of the same dimensions. The next step is to turn on *Inspect element* by right clicking on the desired element of the web page Fig.8, in order to find a style which fits both types of screens, Fig. 9. This is due to the fact that CSS round shape level 1 rules are still in the working draft, which means that they do not have browser support yet. In other words, we are still not able to import styles special written only for round screens, and finding a style that fits both screen shapes is the only way for styling pages for smartwatches for now.

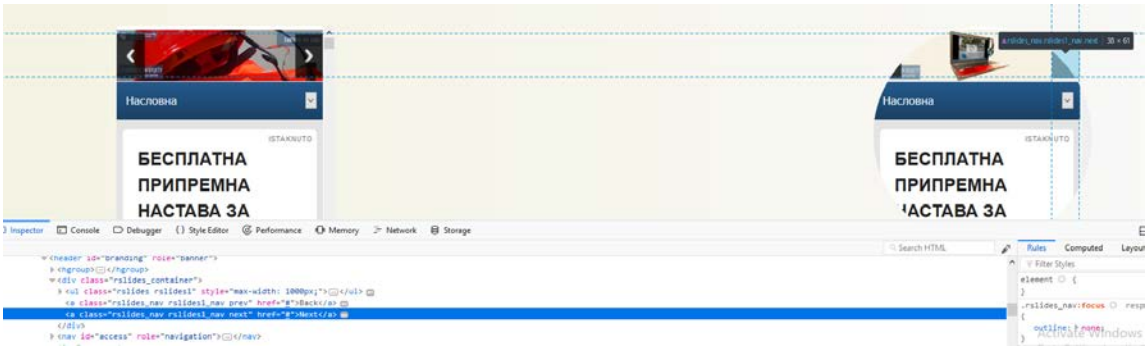


Fig 8: Using *Inspect element* to find an appropriate element style

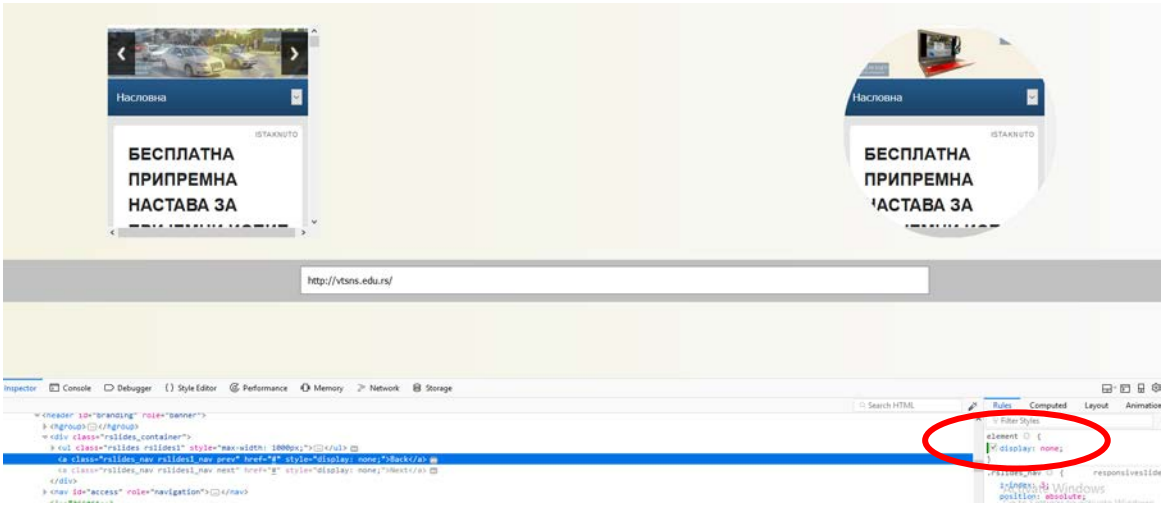


Fig 9: Hiding the *next* and *previous* buttons on the round screen display

Fig 10: Finding the *next* and *previous* buttons on the rectangular screen

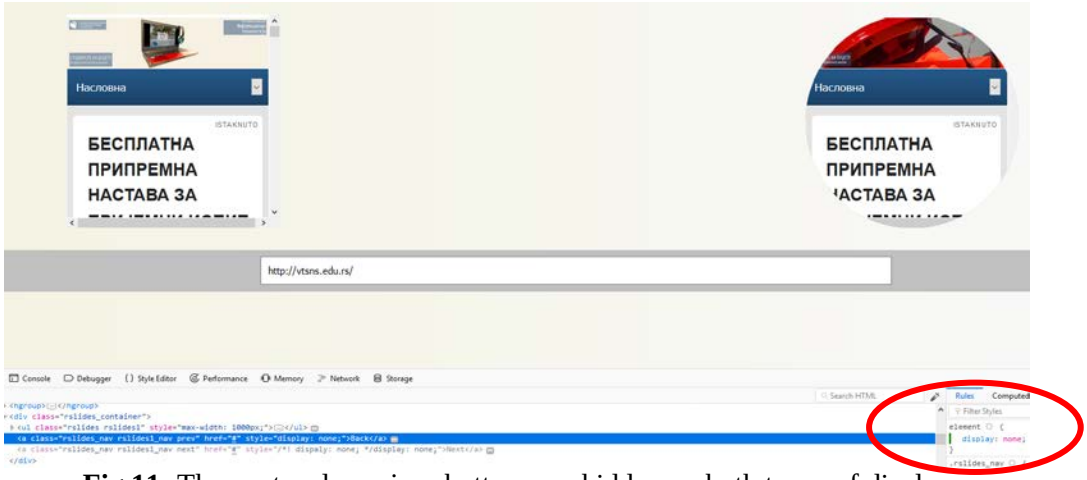


Fig 11: The *next* and *previous* buttons are hidden on both types of display

The same can be done within the iframe with a rectangular display, Fig. 10, 11. So, one can conclude that this peace of code suits well for smartwatches with both rectangular and round screens.Another issue one could fix is to align the text of the heading to center and to enlarge the font-size, Fig. 12. As one can see, the suggested change of the style works fine for types of screens.

Fig 12: Centering and enlarging a heading for both rectangular and round displays

5. CONCLUSION

In the aim to be step by step with the rapid development of devices which can be used for web browsing, we have created a responsive web design simulator for round screens. CSS round display level 1 is still in the working draft. This means that CSS styles written for round displays still do not work. We hope that CSS round display level 1 will get browser support soon, but in the meantime, using the responsive web design simulator for round screens has the following benefit: Since the simulator enables both ckecking round and square dispalys, one can have an overview of the lacks of the layout of a web page when viewed on a round screen device, and to try to correct the style so that is overcomes those lacks and still works fine on standard devices with rectangular screens.

REFERENCES

[1] Ackermann N., Vector icon set for responsive app development and web development on mobile devices such as smart phone, smart watch, (2018), https://www.dreamstime.com/stock-illustration-vector-icon-set-responsive-app-development-web-development-mobile-devices-such-as-smart-phone-smart-watch-wearables-image55549743

[2] Clover J., How to browse the internet on Apple watch Through watchOS 5's WebKit Integration, (2018), https://www.macrumors.com/how-to/browse-the-internet-watchos-5/

[3] CSS current work and how to participate, W3C, (2019), https://www.w3.org/Style/CSS/current-work

[4] CSS round display level 1, Editors Draft, (2018), https://drafts.csswg.org/css-round-display/

[5] Freeman, K., How to view web pages on Apple watch in watch OS 5, (2018), https://www.imore.com/how-view-web-pages-apple-watch-watchos-5

[6] Gebhart A., What is a smart display and do you need one?, (2018), https://www.cnet.com/news/what-is-a-smart-display-and-do-you-need-one/

[7] How to surf the internet on your Android wear smartwacth, (2017), Watcha wearing, https://whatchawearing.com/internet-browser-android-smartwatch/

[8] Kenney B., The best standalone smartwatch options to shed your phone, (2017), https://smartwatches.org/learn/best-standalone-smartwatch-options/

[9] Kol J., How to design for smartwatches and wearables to enghnace real-life expirience, Smashing magazine, (2015), https://www.smashingmagazine.com/2015/02/designing-for-smartwatches-wearables/

[10] Linder B., Now there is a web browser for Android smartwatches, (2014), https://liliputing.com/2014/07/now-theres-web-browser-android-wear-smartwatches.html

[11] Looper, C., The best smart display you can buy, (2019), https://www.businessinsider.com/best-smart-display

[12] Market research store, (2016), https://www.marketresearchstore.com/news/global-smartwatches-market-246

[13] Media queries for common device breakpoints, (2017), https://responsivedesign.is/develop/browser-feature-support/media-queries-for-common-device-breakpoints/

[14] Prescient & Strategic intelligence, Smartwatch market overview, (2017), https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/smartwatch-market

[15] Rosgani, (2014), https://www.gizmochina.com/2013/11/26/smartwatch-comparison-that-already-in-the-market-today/

[16] Sathe G, Web browsing on your wrist: is that what a smartwatch is for? (2014), https://gadgets.ndtv.com/wearables/features/web-browsing-on-your-wrist-603683

[17] Sawh M., Best Android wear apps: LG G watch and Samsung live essentials - Wear Internet browser, (2014), https://www.trustedreviews.com/guide/best-android-wear-apps-wear-internet-browser

[18] Shanklin W, A smartwatch comparison guide, (2017), https://newatlas.com/smartwatch-comparison-2017-specs/49553/

[19] Silbert S., What is a smartwatch?, (2019), https://www.lifewire.com/an-introduction-to-smart-watches-3441381

[20] Simkin M., Top 10 stanalone smartwatches 2018, (2018), http://www.smartwatches4u.com/news/Top-Standalone-Smartwatches

[21] Thomas J., How wearable technology will impact web design, (2014), https://webdesignledger.com/how-wearable-technology-will-impact-web-design/#767a50701c

[22] Web design history timeline, Web design museum, (2019), https://www.webdesignmuseum.org/web-design-history

[23] What is responsive web design?, w3scools, (2019), https://www.w3schools.com/html/html_responsive.asp

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

POBOLJŠANJE BEZBJEDNOSTI UPOTREBOM SISTEMA ZA PRAĆANJE POKRETA OKA

IMPROVING SAFETY USING EYE TACKING SYSTEMS

ŽELJKO GAVRIĆ[1], MIROSLAV MINOVIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, zeljko.gavric@fon.bg.rs.ac
[2] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, miroslav.minovic@ fon.bg.rs.ac

Rezime: *Sistemi za praćenje pokreta oka primjenjuju se u raznim oblastima. Njihova primjena je moguća u svrhu povećanja bezbjednosti na radnom mjestu, u automobilu, ali i prilikom obavljanja uobičajenih aktivnosti. Područje istraživanja pokreta oka je interdisciplinarno i zahtijeva uključivanjae stručnjaka iz raznih oblasti,kako bi se na efikasan način doprinijelo bezbjednosti. U ovom radu opisana je primjena sistema za praćenje pokreta oka za povećanje bezbjednosti u realnom vremenu, sa mogućnošću preduzimanja realnih aktivnosti u cilju sprječavanja nesreće. U radu je takođe prikazan sistem za snimanje pokreta oka tokom izvršavanja radnih aktvnosti. Nakon snimanja u realnom okruženju, podaci se analiziraju i uočavaju se aktivnosti koje je potrebno preduzeti u cilju poboljšanja bezbjednosti.*

Ključne reči: *Praćenje pokreta oka, Bezbjednost na radnom mjestu, Bezbjednost u automobilu.*

Abstract: *Eye tracking systems are applied in various fields. Their application is possible for workplace safety improvement, driving safety, but also while performing mundane activities. The field of eye tracking research is interdisciplinary and requires an assistance of experts from various aspects to improve the safety efficiently. This paper describes the application of eye tracking system for the purpose of safety improvement in real time environment, with the possibility of taking real activities that can prevent accidents. The paper also shows eye tracking system that records the position of the eyes and the movements they make during work activities. After recording in real time environment, the analyzed data give an insight into activities that must be taken in order to improve the safety.*

Key words: *Eye tracking system, workplace safety, driving safety.*

1. UVOD

Praćenje pokreta oka je poslednjih godina doživjelo ekspanziju, prvobitno zbog razvoja i dostupnosti tehnologije, ali i zbog mogućnosti korištenja bez uticaja na osobu koja izvršava određene aktivnosti, a čiji pokret oka se prati.

Praćenje pokreta oka može se primijeniti u raznim oblastima i za razne namjene. Jedna od namjena je korištenje praćenja pokreta oka za poboljšanje bezbjednosti. Poboljšanje bezbjednosti potrebno je u raznim poljima, kako na poslu, tako i u obavljanju svakodnevnih aktivnosti. Osnovna za postizanje veće bezbjednosti je zadržavanje pažnje. Većina nesreća se događa usljed smanjenje pažnje prilikom obavljanja radnih ili svakodnevnih aktivnosti. Postoje dva pristupa ovom problemu. Prvi pristup zahtijeva korištenje sistema za praćenje pokreta oka kako bi direktno spriječio nesreću. Ovakav pristup zahtijeva algoritam koji u realnom vremenu može da odluči, te da pomoću određenih elektronskih kola prekine rad uređaja ili dijela uređaja koji je potencijalno opasan. Kod ovih sistema zahtijeva se stalno korištenje sistema za praćenje pokreta oka. Drugi pristup povećanju bezbjednosti zahtijeva korištenje sistema za praćenje pokreta oka određen vremenski period, nakon čega se vrši analiza podataka i uočavaju se nepravilnosti u obavljanju radnih ili svakodnevnih poslova koje mogu dovesti do narušavanja bezbjednosti po osobu čiji se pokret oka prati, ali i po okolinu.

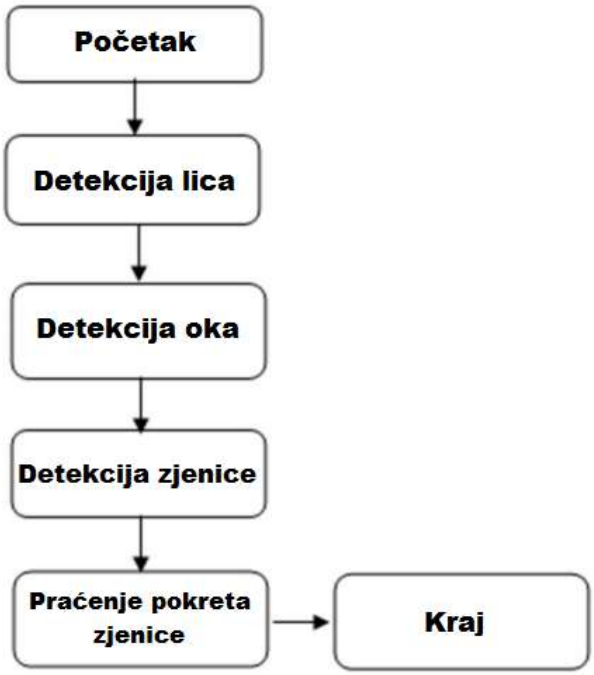
2. KONCEPTI PRAĆENJA POKRETA OKA

Praćenje pokreta oka (eng. eye tracking) je pojam koji opisuje proces utvrđivanja položaja oka u odnosu na položaj glave (Drewes, 2010). Prva upotreba sistema za praćenje pokreta oka je bila u svrhu pomoći

osobama sa invaliditetom da komuniciraju sa svojom okolinom (Hutchinson *et al.* 1989). Ovakav sistem je zamišljen da omogući unos teksta korištenjem pokreta oka. Korisnik treba da fokusira pogled na slovo koje želi da unese, a sistem taj pogled detektuje kao izbor određenog slova. Ovakvi sistemi su omogućili korisnicima da komuniciraju sa okolinom te da obavljaju uobičajene aktivnosti korištenja računara kao što su pretraživanje interneta ili igranje igara (Mehrubeoglu *et al.* 2011). Proces praćenja pokreta oka može se podijeliti u 4 faze (Bhoyar *et al.* 2015):

1. Detekcija područja lica. Detekcija područja lica predstavlja najvažniji dio procesa praćenja pokreta oka. Postoje dvije vrste metoda za detekciju lica, a to su metode zasnovane na karakteristikama i metode zasnovane na izgledu.
2. Detekcija očiju. Za detekciju područja očiju najčešće se koristi Viola-Jones algoritam koji omogućava efikasno detektovanje očiju.
3. Detekcija zjenice. Detekcija zjenice oka predstavlja fazu u kojoj se na području oka detektuje zjenica. Koristi se algoritam kao što je Hough Circle Transform koji se zasniva na pronalaženju krugova na slici.
4. Praćenje pokreta čiju. Predstavlja poslednju fazu u ovom procesu. Najčešće se koristi tehnika osvjetljavanja zjenice koja dovodi do pojave odsjaja jakog intenziteta na zjenici, kojeg je moguće pronaći prilikom obrade slike.

Na slici 1 je prikazan tipičan model sistema za praćenj pokreta oka.



Slika 1: Tipičan model sistema za praćenje pokreta oka (Bhoyar *et al.* 2015)

3. PRAĆENJE POKRETA OKA U REALNOM VREMENU

Praćenje pokreta oka predstavlja pojam koji obuhvata praćenje kretanja očiju u odnosu na glavu, a u određenim kontekstima i praćenje pogleda očiju. Pored praćenja pokreta i pogledan oka važan parametar za bezbjednost je i treptaj oka (Polatsek, 2013).

Sistemi za praćenje pokreta oka koji rade u realnom vremenu primjenjuju se za uočavanje opasnosti koja se manifestuje neočekivanim pokretom oka. Takvi sistemi se mogu koristiti u automobilima, na radnim mjestima, ali i pri obavljanju različitih uobičajenih poslova. Najčešća radna mjesta kod kojih je potrebna primjena sistema za praćenje pokreta oka su industrijska radna mjesta. Prema podacima Bureau of Labor Statistics u Sjedinjenim Američkim Državama je tokom 2017. godine 5147 radnika smrtno stradalo na poslu (Bureau of Labor Statistics, 2018). Ljudska greška je odgovorna za oko 80% ovih nesreća. Pored smrtnog ishoda, veoma veliki broj radnika svakodnevno doživi nesreću na poslu. Dio tih nesreća bi se mogao spriječiti korištenjem sistema za praćenje pokreta oka u realnom vremenu.

3.1. Praćenje pokreta oka u industrijskom okruženju

Najveći broj radnika u svijetu zaposlen je u industrijskoj i proizvodnoj djelatnosti. Industrijsko radno mjesto uglavnom zahtijeva od radnika korištenje opasnih mašina koje u dijelu sekunde zbog nepažnje mogu usmrtiti ili povrijediti radnika. Glavni uzrok nesreća na radu je nedostatak pažnje, usljed raznih okolnosti, kao što je umor, pospanost i slično.

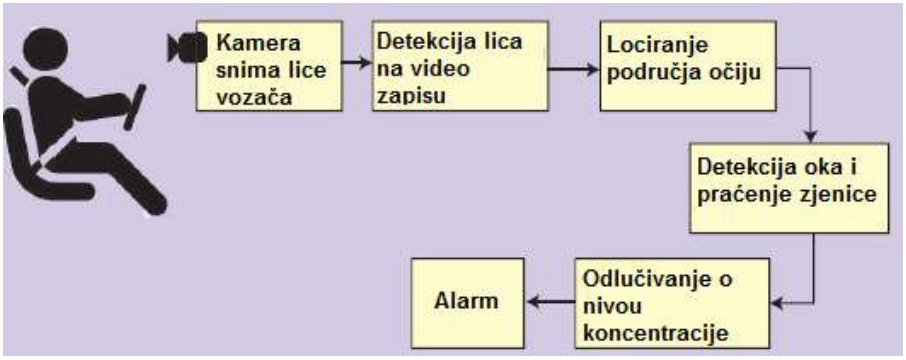
Sistemi za praćenje pokreta oka mogu pratiti pokret oka radnika na radnom mjestu i detektovati pojave koje mogu dovesti do neželjenih efekata. Ovi sistemi mogu da detektuju skretanje pogleda radnika tokom obavljanja operacija gdje je potrebno da pogled bude usmjeren ka predmetu rada, te da na efikasan način upozore radnika ili onemoguće izvršavanje potencijalno opasne operacije. Sistemi za praćenje pokreta oka su sposobni da detektuju treptaj oka. Ako radnik u toku rada trepne više puta od očekivanog u toku posmatranog perioda ili treptaj traje duže od očekivanog sistem treba da na pravi način upozori radnika da treba da se fokusira na predmet rada. Upozorenje može biti svjetlosno, zvučno ili vibraciono, a u određenim slučajevima moguće je i automatsko zaustavljanje mašine. Na slici 2 prikazan je prijedlog opšteg modela za detekciju nepažnje na industrijskom radnom mjestu.

Slika 2: Prijedlog opšteg modela za povećanje bezbjednosti na industrijskom radnom mjestu korištenjem sistema za praćenje pokreta oka u realnom vremenu

3.2. Praćenje pokreta oka u automobilu

Automobilska industrija ulaže velike sume novca u cilju povećanja bezbjednosti. Od nastanka prvih automobila mnogo toga se unaprijedilo u cilju povećanja bezbjednosti za vozača i putnike. Uglavnom su to ranije bili uređaji koji umanjuju štetu od saobraćajnih nesreća, kao što su razne vrste zračnih jastuka, samozatežućih pojaseva, ojačanja dijelova automobila gdje se najčešće dešavaju udari i dr. Danas se teži povećanju bezbjednosti kroz primjene raznih tehnologija za izbjegavanje saobraćajnih nesreća. Najveći razlog saobraćajnih nesreća je ljudska greška. Veliki dio tih nesreća se dešava zbog nepažnje vozača, tj. loše koncentracije prilikom vožnje. Sistemi za praćenje pokreta oka mogu se primijeniti u svrhu praćenja pažnje vozača prilikom upravljanja vozilom. Ovakvi sistemi imaju zadatak da otkriju pospanost i drugi vid nepažnje kod vozača, te upozore vozača na uočene nepravilnosti. U radu (Jo *et al.* 2011) opisan je jedan takav sistem.

Na slici 3 dat je šematski prikaz za praćenje koncentracije vozača u automobilu.



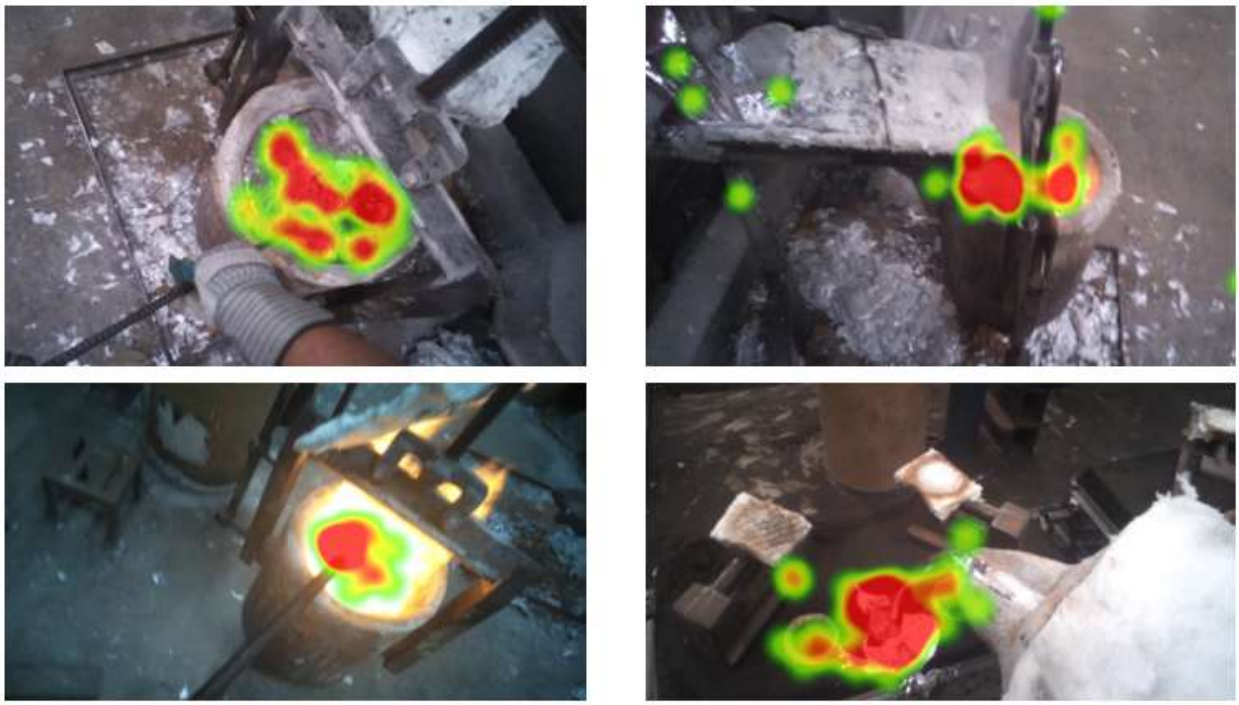
Slika 3: Šematski prikaz za praćenje koncentracije vozača u automobilu (Bazrafkan *et al.* 2015)

4. PRAĆENJE POKRETA OKA ZA POTREBE ANALIZE PODATAKA

Praćenje pokreta oka tokom određenog vremenskog perioda u vrijeme izvršavanja radnih zadataka na industrijskom radnom mjestu može znatno doprinijeti uočavanju grešaka koje mogu dovesti do nesreće na radnom mjestu. Pored otkrivanja potencijalnih opasnih radnji ovakvi sistemi pomažu efikasnijem pristupu radnom zadatku, te omogućavaju poslodavcu da iskoristi prikupljene podatke u svrhu boljeg obučavanja radnika.

Tobii Pro, vodeća firma koja se bavi proizvodnjom sistema za praćenje pokreta oka sprovela je istraživanje "Vizuelne performanse u livnici". Šest radnika livnice nosilo je naočare Tobii Pro Glasses 2 koje neupadljivo prikupljaju precizne i objektivne podatke dok radnici izvršavaju uobičajene radne aktivnosti. Svaki radnik je nakon odrađene kalibracije uređaja za praćenje pokreta oka vršio isti niz aktivnosti tokom perioda 15 do 30 minuta. Nakon izvođenja eksperimenta vršena je obrada rezultata, koji su pokazali da su pogledi radnika tokom izvršavanja radnih zadataka fokusirani na predmet rada, uz vrlo kratke poglede van predmeta rada. Rezultati su predstavljeni toplotnim mapama koje prikazuju smjer pogleda radnika tokom izvršavanja zadatka. (Tobii Pro, 2016)

Na slici 4 prikazane su toplotne mape koje prikazuju da je pogled radnika tokom eksperimenta bio usmjeren na predmet posmatranja, sa sporadičnim gubljenjima pažnje, kada je pogled bio usmjeren na okolinu. Crveni dijelovi na mapa prikazuju područja u koja je pogled najveći dio vrememena bio usmjeren. Žuta i zelena boja respektivno pokazuju mjesta na kojima se pogled manje zadržavao u odnosu na predmet rada.



Slika 4: Toplotne mape prilikom eksperimenta praćenj apogleda oka u livnici (Tobii Pro, 2016)

5. ZAKLJUČAK

Primjena sistema za praćenje pokteta oka moguća je u raznim oblastima i u razne namjene. Jedna od bitnih namjena je u svrhu povećanja bezbjednosti na radnom mjestu, u vozilu ili u svakondenvnom životu. Pojavom novih uređaja, razvojem kamera i algoritama, javljaju se razna potencijalna područja primjene, kao što je industrijsko radno mjesto. Prilikom obavljanja poslova na industrijskom radnom mjestu radnici su izloženi svakodnevnim opasnostima od povređivanja, koji se uz adekvatnu upotrebu sistema za praćenje pokreta oka, tj. pogleda oka mogu minimizovati.

U radu je prikazan tipičan model praćenja pokreta oka, kao i način na koje je moguće povećati bezbjednost korištenjem ovih sistema. Dat je i opšti model za praćenje pokreta oka na industrijskom radnom mjestu sa mogućnošću upozoravanja radnika ili zaustavljajnju mašine u svrhu povećanja bezbjednosti radnika. Pored industrijskog radnog mjesta dat je šematski prikaz sistema za praćenje koncentracije vozača.

Osim sistema koji rade u relanom vremenu, u radu je opisano istraživanje Tobii Pro firme koje je realizovano u livnici sa ciljem praćenja pažnje radnika na opasnom radnom mjestu. Kao rezultat istraživanja dobijene su toplotne mape koje pokazuju kuda je usmjeren pogled radnika tokom izvršenja radnih zadataka, a sami rezultati se mogu primijeniti u svrhu efikasnijeg rada, bolje obuke i povećanja bezbjednosti na radnom mjestu.

Obzirom na ogroman broj ljudi koji stradaju u saobraćaju ili na radnom mjestu prvenstveno zbog nepažnje, potrebno je više uključiti tehnologiju praćenja pokreta oka u automobile i na radna mjesta, jer primjena ove tehnologije može dovesti do smanjenja nesreća.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je dio projekta Primena multimodalne biometrije u menadžmentu identiteta, finansiranog od strane Ministarstva Prosvete i Nauke Republike Srbije, pod zavodnim brojem TR-32013.

LITERATURA

[1] Bazrafkan, S., Kar, A., & Costache, C. (2015). Eye Gaze for Consumer Electronics: Controlling and commanding intelligent systems. IEEE Consumer Electronics Magazine, 4(4), 65-71.

[2] Bhoyar, A., Sahu, S., & Padwekar, P. (2015). Eye tracking mouse: people with severe disabilities. In Proceedings of the 20th IRF International Conference, Pune.

[3] Bureau of Labor Statistics, On-the-job deaths down slightly in 2017, Dostupno na:

[4] Drewes, H. (2010). Eye gaze tracking for human computer interaction (Doctoral dissertation, lmu).

https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/17901-bls-on-the-job-deaths-down-slightly-in-2017
(pristupano 01.06.2019)

[5] Hutchinson, T. E., White, K. P., Martin, W. N., Reichert, K. C., & Frey, L. A. (1989). Human-computer interaction using eye-gaze input. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, 19(6), 1527-1534.

[6] Jo, J., Lee, S. J., Kim, J., Jung, H. G., & Park, K. R. (2011). Vision-based method for detecting driver drowsiness and distraction in driver monitoring system. Optical Engineering, 50(12), 127202.

[7] Mehrubeoglu, M., Pham, L. M., Le, H. T., Muddu, R., & Ryu, D. (2011, October). Real-time eye tracking using a smart camera. In 2011 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR) (pp. 1-7). IEEE.

[8] Polatsek, P. (2013). Eye Blink Detection. Slovak University of Technology in Bratislava. Faculty of Informatics and Information Technologies. IIT. SRC, 18.

[9] Tobii Pro Insight eye tracking study, Visual Performance in the Foundry. Dostupno na: https://www.tobiipro.com/siteassets/tobii-pro/tobii-pro-insight-visual-performance-in-the-foundry.pdf (pristupano 10.06.2019)

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MEHANIZMI KOMUNIKACIJE U MIKROSERVISNOJ ARHITEKTURI

COMMUNICATION MECHANISMS IN MICROSERVICES SOFTWARE ARCHITECTURE

TATJANA STOJANOVIĆ[1], SAŠA LAZAREVIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, tatjana.stojanovic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, sasa.lazarevic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Mehanizmi komunikacije mikroservisa mogu imati veliki uticaj na performanse sistema sa takvom arhitekturom. Komunikacija između mikroservisa može biti sinhrona i asinhrona. Najčešći izbor pri razvoju sistema sa mikroservisnom arhitekturom je sinhroni način komunikacije. U ovom radu biće predstavljene prednosti i mane oba mehanizma, gde će biti istaknuto koje sve prednosti može doneti primena asinhronog mehanizma komunikacije u odnosu na sinhroni. Asinhroni način komunikacije primenjen u mikroservisnoj arhitekturi čini sistem efikasnijim, mikroservisi su slabo povezani, tako da se mogu razvijati potpuno nezavisno, a sistem je otporniji na otkaze.*

Ključne reči: *mehanizmi komunikacije, sinhroni i asinhroni protokoli, mikroservisna arhitektura*

Abstract*: Mechanisms of communication between microservices can have a major impact on system performance with such architecture. Communication between microservices can be synchronous and asynchronous. The most common choice when developing a system with microservice architecture is synchronous communication. In this paper, the advantages and disadvantages of both mechanisms will be presented, where it will be highlighted which advantages can asynchronous communication mechanism bring in relation to the synchronous. The asynchronous mechanism of communication applied in microservices architecture makes the system more efficient, microservices are loosely coupled, so they can develop completely independently and system is more robust.*

Keywords: *communication mechanisms, synchronous and asynchronous protocol, microservices*

1. UVOD

Mikroservisna arhitektura je pristup koji podrazumeva podelu sistema na skup malih servisa koji komuniciraju uz pomoć *lightweight* protokola (Lewis & Fowler, Microservices: a definition of this new architectural term, 2014). Mikroservisi su visoko kohezivni, a međusobno slabo povezani, što omogućava njihov nezavisan razvoj. Svaki od mikroservisa može koristiti različite implementacione tehnologije i skladišta podataka.

Iako su nezavisni, mikroservisi moraju da sarađuju zajedno, jer su deo jednog sistema. Stoga, pri projektovanju ovakve arhitekture, projektanti se posebno moraju osvrnuti na mehanizme njihove saradnje. Projektovanje saradnje mikroservisa obuhvata učestalost, način i format poruka koje se razmenjuju. Izbor mehanizma komunikacije može značajno uticati na arhitekturu sistema, ali i na njegove karakteristike koje se odnose na performanse, skalabilnost, složenost sistema, otpornost na greške i dr. U ovom radu biće razmatrana primena sinhronih i asinhronih protokola u mikroservisnoj arhitekturi, s posebnim osvrtom na prednosti upotrebe asinhrone komunikacije.

2. KOMUNIKACIJA IZMEĐU MIKROSERVISA

Kada je neophodna razmena informacija između mikroservisa, onda oni moraju da komuniciraju isključivo preko izloženog API-a, što znači da mikroservis ne mora (i ne sme) da zna način implementacije drugog. API treba da bude platformski nezavisan, što omogućava da različiti delovi sistema, odnosno mikroservisi budu implementirani korišćenjem različitih tehnologija.

Jedan od problema koje se javljaju u ovakvim aplikacijama su distribuirane transakcije. Najčešći način za rešavanje problema transakcija u distribuiranim sistemima bio je dvofazni protokol zaključavanja, ali on više

na može da ispuni današnje potrebe sistema za velikom brzinom obrade zahteva. Dok dvofazni protokol zaključavanja osigurava ACID (*Atomicity, Consistency, Isolation, Durability*) osobine transakcije, danas se sistemi orijentišu ka obezbeđivanju BASE (*Basically Available, Soft state, Eventual consistency*) osobina distribuiranih transakcija, koje ne insistiraju na trenutnoj konzistentnosti sistema, već se oslanjaju na eventualnu konzistentnost.

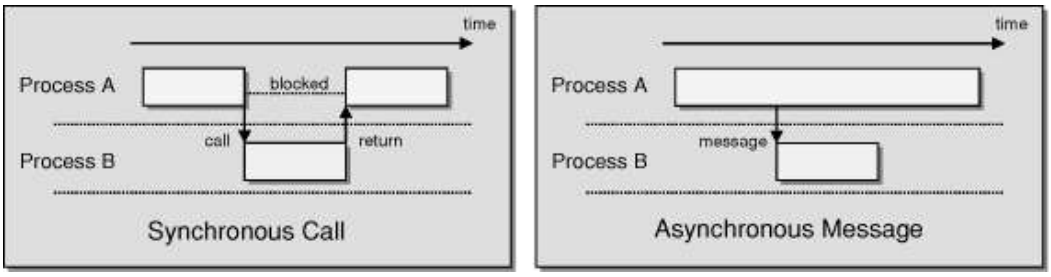
U distribuiranim sistemima, kao što su sistemi sa mikroservisnom arhitekturom postoji rizik od parcijalnog otkaza. Parcijalni otkazi sistema nastaju tako što neki (jedan ili više) od mikroservisa nije dostupan – ne radi, ne može na vreme da obradi zahtev i sl. Mikroservisi koji nisu povezani sa nedostupnim mikroservisom mogu da nastave sa radom, dok ostali, odnosno oni koji su povezani, ne mogu nastaviti sa radom i moraju da sačekaju dok taj mikroservis ponovo ne postane dostupan. Prema tome, što su mikroservisi slabije povezani, to je celokupni sistem robusniji u slučajevima parcijalnih otkaza.

Mikroservisi treba da primenjuju princip *smart endpoints and dumb pipes* (Lewis & Fowler, 2016). Ovaj princip podrazumeva da u komunikacionom mehanizmu nema poslovne logike. Svu logiku obavlja sam mikroservis (*smart endpoint*), dok mehanizam komunikacije treba da služi samo za transport poruka (*dumb pipes*). Odabir mehanizma komunikacije, odnosno načina na koji će mikroservis da izloži API (A*pplication programming interface*) značajno će uticati na načine integracije svih delova sistema. Takođe, u velikoj meri utiče i na projektovanje samog mikroservisa i njegovih metoda. Osim arhitekture, utiče i na skalabilnost i performanse sistema.

Dve osnovne grupe načina komunikacije su sinhrona i asinhrona komunikacija.

Sinhrona komunikacija podrazumeva da pozivalac i pozivani istovremeno budu aktivni, pozivalac šalje zahtev i čeka odgovor. Najpoznatiji protokoli su HTTP, SOAP, RMI i dr. Ovakva komunikacija je blokirajuća, u smislu da pozivalac ne može da nastavi sa radom sve dok ne dobije odgovor (Slika 1 – levo). (Hophe & Woolf, 2003) Najočigledniji primer ovakve komunikacije je telefonski poziv, gde obe strane moraju da budu za telefonom u vreme razgovora.

Asinhrona komunikacija može da se realizuje preko redova poruka uz korišćenje asinhronog protokola kao što je AMQ. Kod ovakvog načina komunikacije pozivalac i pozivani ne moraju da budu istovremeno aktivni. Pozivalac šalje poruku ili zahtev i odmah može da nastavi sa radom, ne mora da čeka na odgovor (Slika 1 – desno) (Hophe & Woolf, 2003). Svima poznat primer ovakve komunikacije je razmena elektronskih poruka. Obe strane ne moraju da budu prisutne kada razmenjuju elektronsku poštu – jedna strana pošalje mejl, a druga će ga preuzeti kada bude to želela.



Slika 1: Sinhrona i asinhrona komunikacija (Hophe & Woolf, 2003)

3. SINHRONA KOMUNIKACIJA

Sinhrona komunikacija podrazumeva slanje odgovara, čekanje da se proces izvrši i dobije odgovor. Neki od sinhronnih protokola za komunikaciju su HTTP, HTTPS, SOAP, RPC i dr. Komunikacija različitih aplikacija na internetu se najčešće odvija uz pomoć HTTP i HTTPS (*HyperText Transfer Protocol*) protokola. HTTP je protokol aplikativnog sloja koji radi tako što pozivalac šalje zahtev i čeka odgovor koji sadrži signal o uspešnosti izvršavanja operacije i, ukoliko je potrebno, podatke.

Veliki broj sistema sa mikroservisnom arhitekturom implementiran je tako što mikroservisi izlažu REST API, koji načešće radi sa HTTP-om.

REST (*Representational State Transfer*) je stil arhitekture za razvoj distribuiranih hipermedijalnih sistema koji je opisao Roj Tomas Filding (engl. *Roy Thomas Fielding*) u svojoj doktorskoj tezi. REST primenjuje principe koje koristi WWW na distribuirane aplikacije. Ovi servisi zasnivaju se na reprezentaciji resursa. Resursi su izvori podataka koji sadrže funkcionalnosti i aplikaciono stanje sistema, na primer objekat, dokument i dr. (Felipe, 2010). Reprezentacija resursa može biti u XML, JSON, YAML ili bilo kom drugom formatu, a nalazi se u telu HTTP poruke.

Osnovni principi koje koristi REST su (Fielding, 2000):

- jedinstveno adresiranje resursa,
- uniformni interfejs,
- komunikacija bez čuvanja stanja i
- korišćenje hipermedija.

S obzirom da je zasnovana na radu interneta, REST arhitektura je namenjena za rad sa HTTP-om (ali ga ne podrazumeva). REST ne koristi HTTP kao transportni protokol, već kao aplikativni, s obzirom da za komunikaciju koristi njegove metapodatke i semantičke elemente, kao što su HTTP operacije, signal odgovora i dr. REST arhitektura je čest odabir za implementaciju mikroservisa, zbog toga što je dobro poznata i široko se primenjuje, omogućava jednostavnu integraciju sa drugim aplikacijama i koristi brz, pouzdan i siguran protokol.

Međutim, korišćenje sinhronih protokola u mikroservisnom sistemu može dovesti do neiskorišćenosti mogućih prednosti ove arhitekture. S obzirom da je protokol sinhroni, pozivanje jednog mikroservisa iz drugog ne donosi nikakvu prednost u odnosu na izvršavanje metode u monolitnoj aplikaciji, pri čemu, treba i dodati negativne osobine komunikacije preko mreže.

Komunikacijom mikroservisa na ovaj način oni postaju jako povezani, zato što mikroservis koji poziva mora znati tačnu adresu pozivajućeg mikroservisa i on mora biti u tom trenutku aktivan, kako bi mogao da obradi zahtev. Ukoliko je pozivani mikroservis nedostupan, onda su nedostupni i mikroservisi koji ga pozivaju, što može dovesti do otkaza većeg dela ili čak celog sistema.

4. ASINHRONA KOMUNIKACIJA

Asinhrona komunikacija ne podrazumeva da pozivalac mora da čeka odgovor pozivanog mikroservisa, što ima za posledicu da obe strane ni ne moraju biti istovremeno aktivne.

Za implementaciju ovakvog načina komunikacije koristi se sistem poruka (engl. *messaging system*), koji je zadužen za prenos podataka između aplikacija. Aplikacije se povezuju preko kanala poruka (engl. *messaging channel*), koji vrši prenos i rutiranje poruka od pošiljaoca do primaoca (Hophe & Woolf, 2003). Kada primalac čita poruke sa nekog kanala, on zna kog su tipa i kako treba da ih obradi. Aplikacija koja šalje poruku naziva se *producer*, odnosno *publisher*, dok je aplikacija koja prihvata poruku *consumer*, odnosno *subscriber*. Na jedan kanal može bilo koji broj aplikacija da šalje poruke, ali i poruke sa kanala može da obradi bilo koji broj aplikacija, što omogućava jednostavniju distribuciju poruka ka više primalaca istovremeno.

Jedna od implementacija *message-oriented middleware*-a podrazumeva da se između dve aplikacije uvodi treća strana koja ih povezuje – broker poruka. Broker poruka koji je zadužen da prihvata poruke od jedne aplikacije, rutira i dostavlja drugoj aplikaciji.

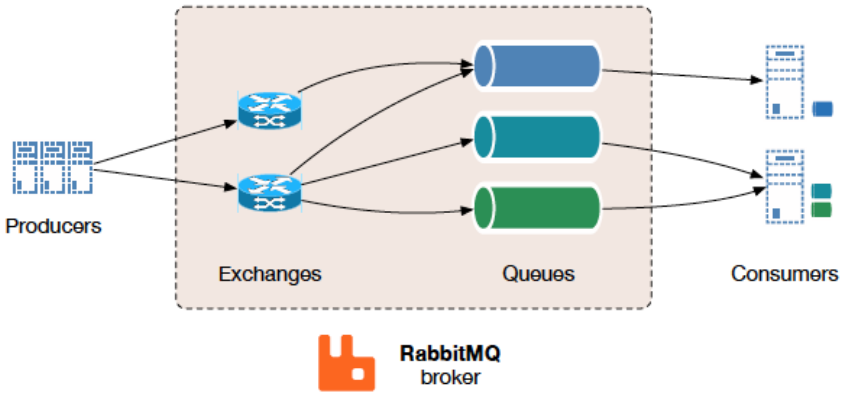
Pošiljalac šalje poruku brokeru, što znači da ne mora da čeka da druga aplikacija obradi poruku i pošalje odgovor, već je dovoljno da dobije potvrdu da li je broker uspešno prihvatio poruku. Za dalju obrade poruke zadužena je aplikacija primalac i broker, dok pošiljalac nastavlja sa svojim radom. Kada broker prihvati poruku, na osnovu podataka o poruci određuje kojoj aplikaciji treba da je dostavi. Dok pošiljalac ne zna koja aplikacija je obradila poruku, primalac ne zna od koje aplikacije je poruka došla. Na ovaj način obezbeđena je međusobna nezavisnost, jer aplikacije šalju i preuzimaju poruke od posrednika, a ne direktno jedna od druge. Broker ne izvršava nikakvu poslovnu logiku, već samo distribuira poruke.

Arhitekturu sistema treba projektovati tako da mikroservisi komuniciraju preko domenskih događaja (engl. *Domain event*), kako bi se iskoristile prednosti asinhrone komunikacije. Domenski događaj predstavlja bilo koja promena u sistemu, a koja ima poslovno značenje (Vernon, 2016). Aplikacija objavljuje događaj koji mogu da obrade svi zainteresovani korisnici. Domenski događaj sadrži one podatke koji su neophodni zainteresovanim korisnicima kako bi uspešno obradili događaj. Na ovaj način, aplikacija u kojoj se desio neki domenski događaj zadužena je samo za njegovo objavljivanje, dok su oni koji osluškuju taj događaj zaduženi za obradu. Po objavljivanju događaja aplikacija nastavlja sa radom. Ukoliko neki od mikroservisa koji treba da obradi događaj nije dostupan, broker je zadužen da čuva poruku sve dok mikroservis ne postane dostupan. U slučajevima kada se ne čeka odgovor nedostupnost jednog ne dovodi do nedostupnosti drugih mikroservisa, što znači da je sistem robusniji kada su u pitanju parcijalni otkazi.

Međutim, nekada je neophodno da dve aplikacije komuniciraju po principu zahtev-odgovor, zbog čega sistemi poruka implementiraju i ovakav vid komunikacije. U ovom slučaju pošiljalac šalje zahtev na odgovarajući kanal poruka, a sa zahtevom šalje i adresu kanala poruka na koju treba poslati odgovor (Hophe & Woolf, 2003). Na ovaj način, aplikacije ostaju slabo povezane, jer poruke šalju i prihvataju preko brokera poruka.

Sistemi poruka koriste asinhrone protokole, a gde je među najkorišćenijim AMQP. AMQP (*Advanced Message Queuing Protocol*) je aplikacioni protokol koji omogućava razmenu poruka među sistemima. AMQ model se sastoji iz tri glavne komponente (AMQP: Advanced Message Queuing Protocol, Version 0-9-1, 2008):

- *exchange* – prihvata poruku i rutira je u redove poruka (obično uz pomoć meta podataka ili sadržaja poruka),
- *message queue* – čuva poruke dok ne budu obrađene od strane čitaoca poruke,
- *binding* – povezuje *message queue* i *exchange* i pruža informacije potrebne za rutiranje.



Slika 2: RabbitMQ implementacija AMQ protokola (RabbitMQ, 2018)

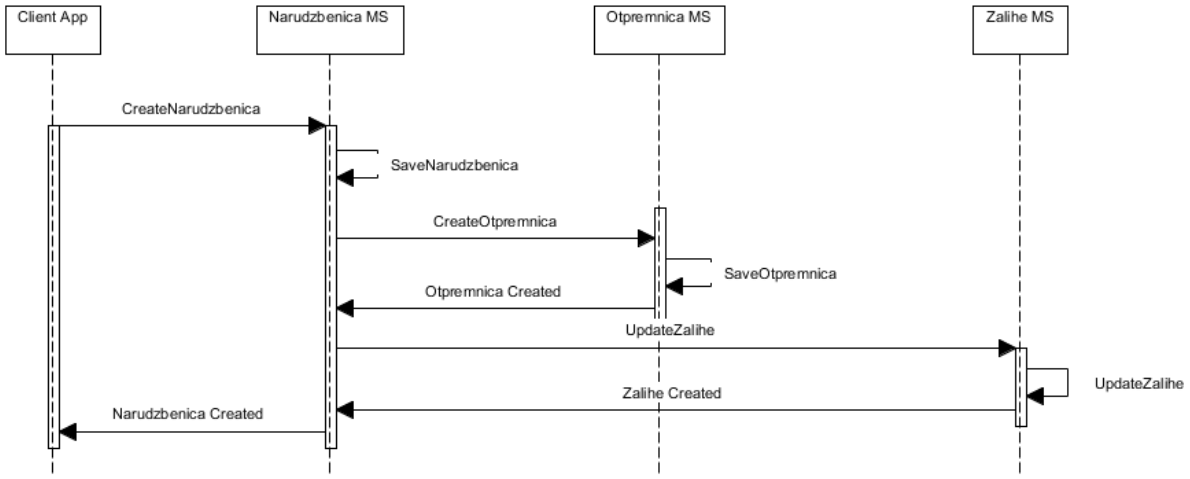
Razdvajanje aplikacija postiže se tako što aplikacije poruku šalju na tačno određeni *exchange*, a aplikacije koje obrađuju poruke osluškuju ih na redovima poruka. Uloga brokera je da rutira poruke od *exchange*-a do odgovarajućih (jednog ili više) redova poruka. Maksimizacija pozitivnih strana ove vrste komunikacije u velikoj meri zavisi od arhitekture. Ukoliko je komunikacija zahtev-odgovor česta, ona može biti neefikasnija od REST. Mnogi brokeri implementiraju AMQ protokol, a jedan od najpopularnijih je RabbitMQ. RabbitMQ je *open-source* broker poruka koji implementira AMQP 0-9-1. Podržava rad sa velikim brojem jezika: Java, .NET, Ruby, Python, PHP, JavaScript i dr.

5. PRIKAZ SINHRONE I ASINHRONE KOMUNIKACIJE NA PRIMERU KREIRANJA NARUDŽBENICE

Razlike pri projektovanju mikroservisne arhiktekture sa sinhronom i asinhronom komunikacijom pokazane su na primeru kreiranja narudžbenice. Kreiranje narudžbenice podrazumeva čuvanje narudžbenice u nekom skladištu podataka, nakon čega treba ažurirati stanje zaliha i kreirati otpremnicu. Kreirana su tri mikroservisa: Narudžbenica, Otpremnica i Zalihe. Niže su dati dijagrami sekvenci koji prikazuju saradnju mikroservisa koji koriste sinhronu komunikaciju i koji koriste asinhronu komunikaciju.

Sinhrona komunikacija

Na Slici 2 prikazana je implementacija procesa čuvanja narudžbenice korišćenjem sinhrone komunikacije među mikroservisima.



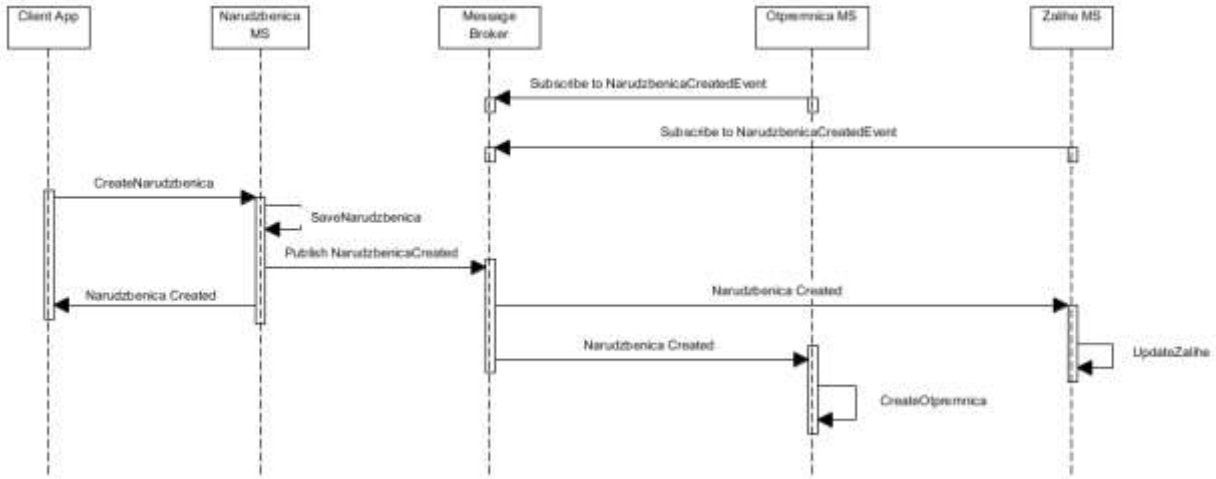
Slika 2: Dijagram sekvenci u slučaju sinhrone komunikacije

Postoje četiri učesnika: *ClientApp* – klijentska aplikacija koja pokreće proces čuvanja narudžbenice slanjem zahteva Narudžbenica mikroservisu i prethodno navedena tri mikroservisa. Mikroservis Narudžbenica čuva narudžbenicu na odgovarajući način, a zatim šalje zahtev za kreiranje otpremnice mikroservisu Otpremnica i zahtev za ažuriranje zaliha mikroservisu Zalihe. Trajanje procesa čuvanja narudžbenice od dobijanja zahteva do slanja odgovora odgovara sledećem:
Ukupno = Čuvanje + Kreiranje Otpremnice + Ažuriranje Zaliha
Kreiranje Otpremnice = Slanje Zahteva + Čuvanje Otpremnice + Slanje Odgovora
Ažuriranje Zaliha = Slanje Zahteva + Ažuriranje Zaliha + Slanje Odgovora.

Ukoliko mikroservis Otpremnica ili Zalihe ne mogu trenutno da obrade zahtev, onda ni mikroservis narudžbenica ne može nastaviti sa radom.

Asinhrona komunikacija

Kada mikroservisi komuniciraju asinhrono, uz pomoć posrednika kao što je *message broker*, onda oni razmenjuju informacije uz pomoć događaja. Saradnja između mikroservisa u ovom slučaju prikazana je na Slici 3.



Slika 3: Dijagram sekvenci u slučaju asinhrone komunikacije

Kod asinhrone saradnje mikroservisa vreme potrebno za izvršavanje čuvanja narudžbenice je:
Ukupno = Čuvanje Narudžbenice + Objavljivanje Događaja

U ovom slučaju Narudžbenica mikroservis odgovaran je za izvršavanje svog dela poslovne logike (čuvanje narudžbenice u skladištu podataka) i objavljivanje događaja, koje podrazumeva slanje poruke o nastalom događaju brokeru poruka. Mikroservisu Narudžbenica je dovoljna potvrda da je poruka stigla do brokera, a broker je taj koji nastali događaj šalje na odgovarajuće redove poruka mikroservisima koji treba da obrade taj zahtev. Ovi mikroservisi se prvo prijavljuju da osluškuju navedeni događaj. Kada poruka o nastalom događaju bude nastala, broker će svakoj prijavljenoj aplikaciji proslediti poruku događaja, koju će mikroservisi obraditi na odgovarajući način – OtpremnicaMS će kreirati otpremnicu, a Zalihe MS će ažurirati stanje zaliha. Na brokeru je odgovornost da poruka pouzdano stigne na destinaciju kao i da je čuva dok je mikroservis ne obradi, što znači da iako Otpremnica i Zalihe nisu trenutno dostupne poruka o događaju će biti sačuvana u redu poruka dok je mikroservis ne obradi. U međuvremenu, Narudžbenica MS je po objavljivanju događaja nastavlja sa radom.

Naravno, može se desiti da je neophodno izvršiti ovakav proces pod transakcijom. Ovakvi sistemi se najčešće oslanjaju na BASE transakcije. BASE transakcije mogu se implementirati korišćenjem Saga paterna. U ovom slučaju pod-transakcije (ažuriraj zalihe, kreiraj otpremnicu) izvršavaju se kao lokalne ACID transakcije. Ukoliko dođe do greške prilikom izvršavanja neke od pod-transakcija, za one koje su se uspešno izvršile pokreću se kompenzujuće aktivnosti koje poništavaju izvršenu transakciju dovođenjem sistema u stanje jednako prehodnom.

6. ZAKLJUČAK

Mehanizmi komunikacije između mikroservisa mogu u velikoj meri uticati na efikasnost i pouzdanost celog sistema. Dok je veliki broj mikroservisa implementiran korišćenjem REST-a, sistemi poruka postaju sve češći način projektovanja integracije mikroservisa.

Primenom REST arhitekture mikroservisi se usko povezuju čime se narušava jedno od pravila mikroservisne arhitekture. Mikroservisi koji učestvuju u komunikaciji moraju biti aktivni da bi se metoda

uspešno izvršila. Bez obzira na tip zahteva koji se šalje drugom mikroservisu u ovoj vrsti komunikacije mora da se sačeka obrada tog zahteva i odgovor, dok u asinhronoj komunikaciji mikroservis šalje poruku brokeru koji je dalje zadužen za njenu obradu. Međutim, nekada je neophodno sačekati rezultat izvršavanja neke metode, u tim situacijama asinhrona komunikacija može biti sporija od direktne komunikacije, zbog još jednog učesnika – brokera.

Komunikacija preko mreže je, u određenoj meri, nepouzdana. Kod REST arhitekture obrada grešaka tokom rada je na samom mikroservisu, tako da on mora da preduzme mere u slučaju greške, dok kod sistema poruka broker je zadužen za obradu grešaka koje mogu nastati prilikom preuzimanja, dostavljanja i rutiranja poruka, tako da se u mikroservisu izvršava samo poslovna logika.

Arhitektura sistema zasnovana na događajima, kakva je kod slabo povezanih mikroservisa, može biti teška za razumevanje. Veze između mikroservisa nije jednostavno uočiti, što čini proces otkrivanja greške dužim. Nasuprot tome, kod jako povezanih sistema tačno je poznato koji mikroservis izvršava zahtev, što čini arhitekturu jednostavnijom za razumevanje. U sistemima sa sinhronom komunikacijom, za svaki zahtev dobija se informacija o uspešnosti obrade zahteva, što može omogućiti brže otkrivanje mesta, odnosno mikroservisa u kom je nastala greška.

U slučajevima parcijalnih otkaza mikroservisi sa asinhronom komunikacijom su robusniji u odnosu na sistema sa sinhronom komunikacijom. Kod asinhrone komunikacije, mikroservis može da šalje poruke iako je mikroservis kome se šalje poruka trenutno ne radi. Poruke će biti sačuvane u redu poruka tako da ih mikroservis može obraditi kada se ponovo pokrene. Ovo važi u slučajevima kada mikroservis ne očekuje odgovor od pozivanog mikroservisa. U slučajevima kada je korišćena sinhrona komunikacija, ukoliko pozivani mikroservis ne radi, onda ni mikroservis koji šalje zahtev ne radi. Kod korišćenja asinhronog protokola, kao što je AMQP, mikroservisi nisu međusobno direktno povezani, što čini ovaj sistem veoma otpornim kada su u pitanju parcijalni otkazi. Korišćenje asinhronih protokola ima kao manu i povećanu kompleksnost sistema i veću infrastrukturu, a kao problem se javlja i slabo poznavanje ovakvih protokola od strane programera.

Predstavljeni mehanizmi komunikacije nastali su iz različitih potreba. Oba načina komunikacije našla su primenu u mikroservisnim sistemima. Iako je REST najviše korišćen u današnjim veb aplikacijama, sistemi poruka sve češće se primenjuju i predlažu kao bolji način integracije ovakvog sistema. Kada su mikroservisi namenjeni za korišćenje od strane drugih klijenata, onda može biti neophodno izložiti njegov API uz pomoć dobro poznatog i podržanog protokola kao što je HTTP i REST arhitekture. Sa druge strane, sistemi poruka su bolji izbor za sisteme koji se suočavaju sa velikim brojem zahteva i gde treba insistirati na efikasnosti i robusnosti sistema.

Na kraju, izbor mehanizma komunikacije zavisi, pre svega, od potreba sistema. Stoga je neophodno dobro poznavati osobine oba načina komunikacije, kako bi se maksimizirali pozitivni efekti mikroservisne arhitekture. U ovom radu, prikazane su prednosti i mane oba načina komunikacije, kao i najčešće korišćenih protokola u oba slučaja. Sinhrona komunikacija umanjuje prednosti mikroservisne arhitekture, jako povezuje mikroservise, te nije robusna kada su u pitanju parcijalni otkazi, što znači da sinhrone pozive između mikroservisa treba izbegavati, jer se mogu odraziti nepovoljno na pouzdanost i efikasnost sistema. Korišćenje asinhrone komunikacije i arhitekture zasnovane na događajima omogućava ispunjavanje osnovnih karakteristika mikroservisne arhiktekture, kao što su slaba međusobna povezanost i njihova nezavisnost i može značajno poboljšati njegove performanse.

LITERATURA

[1] (2018). Retrieved from RabbitMQ: www.rabbitmq.com

[2] AMQP: Advanced Message Queuing Protocol, Version 0-9-1. (2008, November 13). *Version 0-9-1*. AMQP working group protocol specification.

[3] Felipe, L. O. (2010). *Design and development of a REST-based: Web service platform for applications integration.* Barcelona: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.

[4] Fielding, R. T. (2000). *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures.* University of California.

[5] Hophe, G., & Woolf, G. (2003). *Enterprise Integration Patterns.* Addison-Wesley Professional.

[6] Lewis, J., & Fowler, M. (2014, 3 25). *Microservices: a definition of this new architectural term*. Retrieved from https://martinfowler.com/articles/microservices.html

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PRIMENA HOUGH-OVE TRANSFORMACIJE I RAZLIČITIH TEHNIKA POVEZIVANJA DETEKTOVANIH IVICA PRILIKOM IZDVAJANJA REGISTARSKIH TABLICA U DIGITALNOJ SLICI

AN IMPLEMENTATION OF THE HOUGH TRANSFORM AND EDGE LINKING TECHNIQUES IN NUMBER PLATE RECOGNITION ALGORITHM

HANA STEFANOVIĆ[1], RADOSAV VESELINOVIĆ[2], GORAN BJELOBABA[3], ANA SAVIĆ[4]

[1] Visoka škola strukovnih studija za IT, Beograd, hana.stefanovic@its.edu.rs
[2] Ekonomski fakultet, Beograd, veselinovic.ceda@gmail.com
[3] Narodna banka Srbije, Beograd, goran.bjelobaba@nbs.rs
[4] Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd, ana.savic@viser.edu.rs

Rezime: *U ovom radu primenjena je Hafova (Hough) transformacija i različite tehnike spajanja detektovanih ivica prilikom selekcije regiona registarske tablice u digitalnoj slici, u cilju identifikacije vozila. Predloženi algoritam, realizovan u MATLAB programskom okruženju, obuhvata lokalizaciju i segmentaciju tablice, kao i izdvajanje očitanih karaktera, a nakon manjih modifikacija mogao bi se koristiti u okviru sistema za automatsko prepoznavanje registarskih tablica (ANPR – Automatic Number Plate Recognition). Predobrada digitalne slike, uklanjanje šuma, korekcija senke i odsjaja, dodatno filtriranje u slučaju magle ili drugih uzroka koji otežavaju detekciju, takođe su implementirani u MATLAB programskom okruženju.*

Ključne reči: *Hafova (Hough) transformacija, detekcija ivica, tehnike spajanja ivica.*

Abstract: *This paper provides an optimization of a simple MATLAB-based technique for Automatic Number Plate Recognition (ANPR) using Hough transform in order to detect lines in a digital image. Digital image segmentation, after resizing image and removing noise, is applied, while some edge detection algorithms and some morphological techniques are used. Additional spatial filtering and Hough transformation are applied to compensate the variables that can affect the ANPR's ability to produce an accurate read, such as time of day, weather and angles between the cameras and the license plates.*

Keywords: *Hough transform, edge detection, edge linking techniques.*

1. UVOD

Sistemi za automatsko prepoznavanje registarskih tablica (ANPR – *Automatic Number Plate Recognition*) se koriste u cilju kontrole saobraćaja, kontrole pristupa privatnim i poslovnim objektima, u policijskom sektoru, kao i u javnoj sigurnosti i transportu na carinama, parkinzima i naplatnim rampama (Patel *et al*. 2013), ali su takođe veoma značajni i u cilju identifikacije ukradenih ili neregistrovanih vozila, zatim u cilju regulisanja kontrole pristupa obezbeđenim objektima, a imaju primenu i kao deo sistema za praćenje, kontrolu i upravljanje saobraćajem, kao i za nadgledanje korporacijskih vozila, uključujući i kontrolu odvijanja javnog i privatno-komercijalnog saobraćaja kompanija (Saha *et al*. 2009). ANPR tehnologija uglavnom koristi visokokvalitetne megapikselne kamere, kao i odgovarajući softver za prepoznavanje i klasifikaciju registarskih tablica, ali i interpretaciju znakova sa tablica i prikaz alfanumeričkog niza koji predstavlja sadržaj tablice (OCR – *Optical Character Recognition*), koji uključuje uglavnom i menadžment baze podataka.

Algoritmi koji se koriste u ANPR sistemima uključuju detekciju područja registarske tablice i segmentaciju selektovanog područja, a u cilju izdvajanja i prepoznavanja znakova na tablici veliki značaj svakako ima i primena algoritama za detekciju ivice u digitalnoj slici (Chong *et al*. 2013, Lalimi *et al.* 2013). U cilju smanjenja uticaja uslova osvetljenja, kao i uticaja vremenskih uslova na pouzdanost ANPR algoritama, poželjno je koristiti visokospecijalizovane kamere, mada u okviru ovog rada nisu korišćene profesionalne visokokvalitetne kamere (Stefanovic and Veselinovic 2017). Ulazne slike na koje je primenjen predloženi algoritam snimljene su u uslovima dnevne svetlosti, kao i noću, pod pretpostavkom da se vozilo ne kreće ili se kreće malom brzinom. Fotografije su snimljene kamerom mobilnog telefona od 13 megapixel,

sa Carl Zeiss optikom, dok je u noćnim uslovima korišćen dupli LED blic. Algoritam prikazan u ovom radu prilagođen je identifikaciji obležja registarskih tablica sa područja Republike Srbije, koje su dimenzija 520,5×112,9 mm, sa međunarodnom oznakom Republike Srbije - "SRB" u plavom polju na levoj strani, zatim dvoslovnom latiničnom oznakom registracionog područja, grbom Republike Srbije - crvenim štitom sa četiri ocila, ispod kojeg se nalazi manja ćirilična oznaka registarskog područja, nakon čega sledi registarski broj. Registarski broj vozila sastoji se od kombinacije tri ili četiri cifre (od "0" do "9") i kombinacije dva slova između kojih je horizontalna crtica. Slova registarskog broja su sva slova latiničnog pisma, sa dodatkom slova "X", "Y" i "W". Osim laserski ugraviranog broja i holograma visoke sigurnosti, na tablici se nalazi i folija sa sigurnosnim žigom. Poslednjim izmenama i dopunama Pravilnika o registraciji motornih i priključnih vozila, izbacuju se slova Č, Ć, Š, Đ i Ž, kao i slova Y i W alfabeta, dok slovo X ostaje. U radu su zadržane fotografije sa starim tablicama (BG 304-ĆĆ), iz razloga poređenja sa tačnošću algoritma prikazanog u (Stefanović *et al*. 2017).

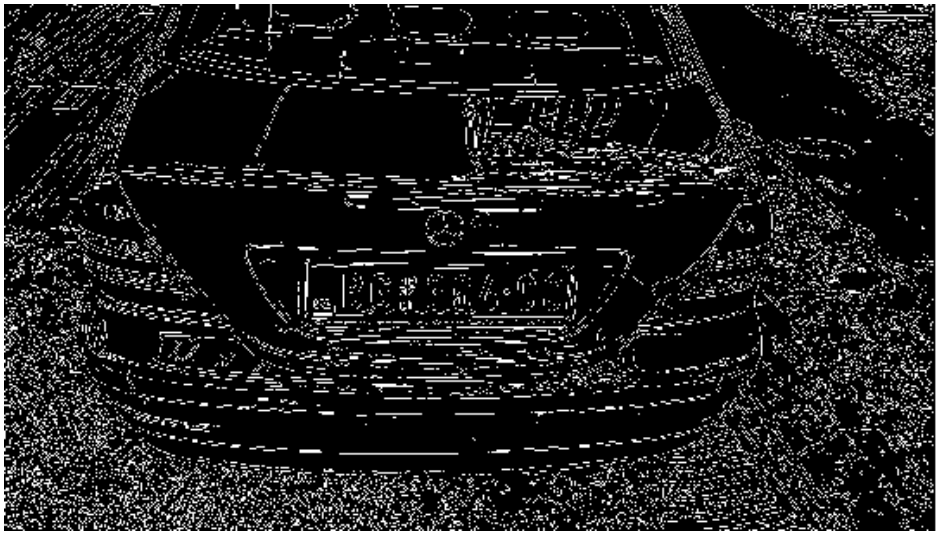
Algoritam izdvajanja obeležja registarskih tablica implementiran u ovom radu, obuhvata lokalizaciju i segmentaciju tablice, primenu Hafove transformacije (*Hough transform*) u cilju detekcije pravih linija (Duda and Hart 1972) i različite tehnike spajanja ivica (*edge linkning*), realizovan je u MATLAB programskom okruženju. Nakon odgovarajuće predobrade i obrade slike, dobijeni segmentirani karakteri mogu biti interpretirani i prikazani u formatu koji bira korisnik, upotrebom besplatnih OCR alata za prepoznavanje teksta sa slike, kao što su Free Image OCR, Free Easy OCR, OnlineOCR, Recognita i drugi (https://www.onlineocr.net/).

2. OPIS ALGORITMA

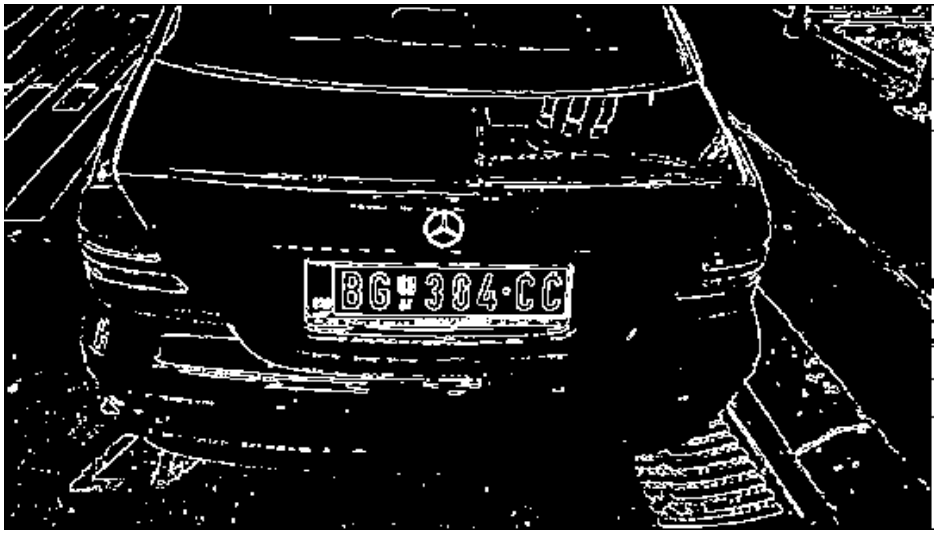
Niskofrekvencijsko filtriranje digitalne slike se primenjuje u cilju potiskivanja šuma i irelevantnih sitnih detalja. Detekcija ivičnih tačaka bazira se na pronalaženju tačaka u čijoj okolini postoji značajna promena intenziteta, a nagle promene intenziteta u slici se uobičajeno detektuju diferencijalnim operatorima prvog i drugog reda. Nakon izdvajanja tačaka koje potencijalno pripadaju ivici, vrši se izbor kandidata za ivične piksele, odnosno selekcija kandidata koji najverovatnije pripadaju ivici, što predstavlja postupak lokalizacije ivice. U ovom radu korišćen je Kanijev (Canny) detektor (Gonzalez *et al.* 2009), koji ima vrlo mali procenat lažnih detekcija, dobru lokalizaciju i jedinični odziv na ivicu (sve ivice su širine jedan piksel), a koristi tehniku potiskivanja lokalnih ne-maksimuma, uz dodatnu mogućnost histerezisnog poređenja sa pragom. Neke od ovih tehnika autori su izložili u (Stefanović *et al.* 2015). U ovom radu je primenjena i Hafova transformacija (https://www.mathworks.com/help/images/ref/hough.html), u cilju detekcije pravih linija u digitalnoj slici, da bi se dodatno optimizovao postupak izdvajanja tabličnog regiona.

Na ulaznoj slici, prikazanoj na Sl.1, izvršeno je uklanjanje šuma Median filtrom (Gonzalez *et al.* 2009) i izvršena je detekcija ivica Kanijevim detektorom (Wang 2009), što je ilustovano na Sl.2., dok je rezultat nakon povezivanja ivica prikazan na Sl.3. dobijen u MATLAB programskom okruženju (https://www.mathworks.com/discovery/edge-detection.html). Uticaj izbora vrste detektora ivica u digitalnoj slici analiziran je u (Stefanović *et al.* 2015), dok su raličiti postupci segmentacije i izdvajanja regiona (Gonzalez *et al.* 2009) takođe implementirani, a neki od rezultata izloženi u (Stefanović *et al*. 2018).

Slika 1: Originalna slika snimljena u uslovima dnevne svetlosti



Slika 2: Primena Kanijevog detektora ivica



Slika 3: Povezivanje detektovanih ivica

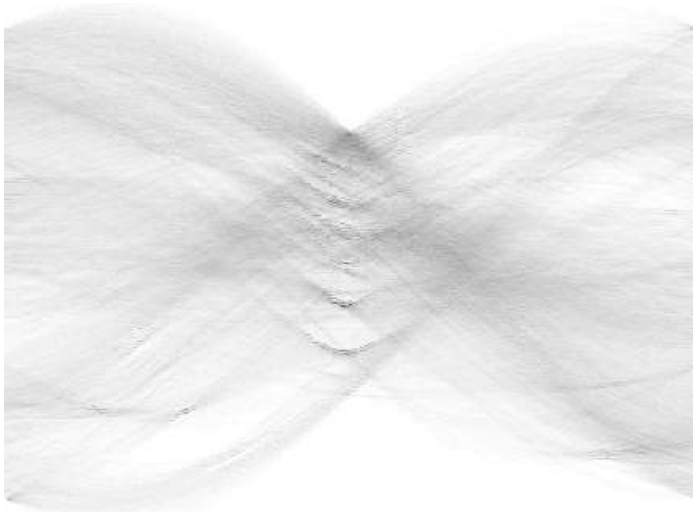
3. PRIMENA HAFOVE TRANSFORMACIJE

Hafova transformacija se oslanja na činjenicu da svaka tačka iz prostornog domena $x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta = \rho$ predstavlja sinusoidalnu funkciju u parametarskom domenu (θ, ρ), odnosno svaka prava u prostornom domenu predstavlja tačku u parametarskom domenu. Ako se tri ili više sinusoidalnih krivih seku u istoj tački u parametarskom domenu, to znači da su odgovarajuće tačke kolinearne u prostornom domenu. Osnovna ideja primene Hafove transformacije je pronalaženje tačaka nagomilavanja (sa najviše preseka) u parametarskom domenu, što je prikazano na Sl.4.

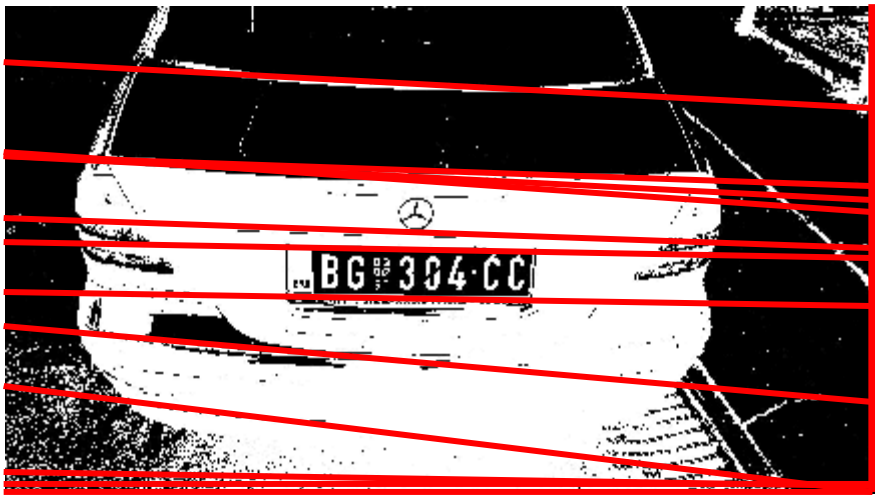
Primenom Hafove transformacije, vrši se detekcija grupa kolinearnih ili skoro kolinearnih tačaka, a problem traženja kolinearnih tačaka zamenjen je ekvivalentnim problemom traženja konkurentnih pravih, pri čemu je svaka tačka transformisana u liniju u parametarskom prostoru (Duda and Hart 1972). Detektovane prave linije prikazane su na Sl.5, crvenom bojom, dok je izdvajanje tabličnog regiona prikazano na Sl.6., koristeći algoritam prezentovan u (Stefanović *et al.* 2015). Može se zaključiti da je izdvajanje tabličnog regiona izvršeno sa većom tačnošću nego primenom algoritma izloženog u (Stefanović *et al.* 2018).

Neki od nedostataka Hafove transformacije su svakako posledica toga što je Hafov prostor parametara diskretan, pa detektovanje debljine linije može biti problematično. S obzirom da se vrhovi koji odgovaraju krivim u prostoru slike raspoređuju između nekoliko binova u Hafovom prostoru ("bin-splitting" problem), detekcija debljine linije može biti problematična. Problemi vezani za brzinu i potrebnu memoriju, mogu se umanjiti primenom brze Hafove transformacije (FHT – Fast Hough Transform), zasnovane na podeli

parametarskog prostora na hiperkocke. Eksponencijalni rast broja hiperkocki se izbegava izborom onih sa najviše preseka, čime se može značajno smanjiti vreme izračunavanja.



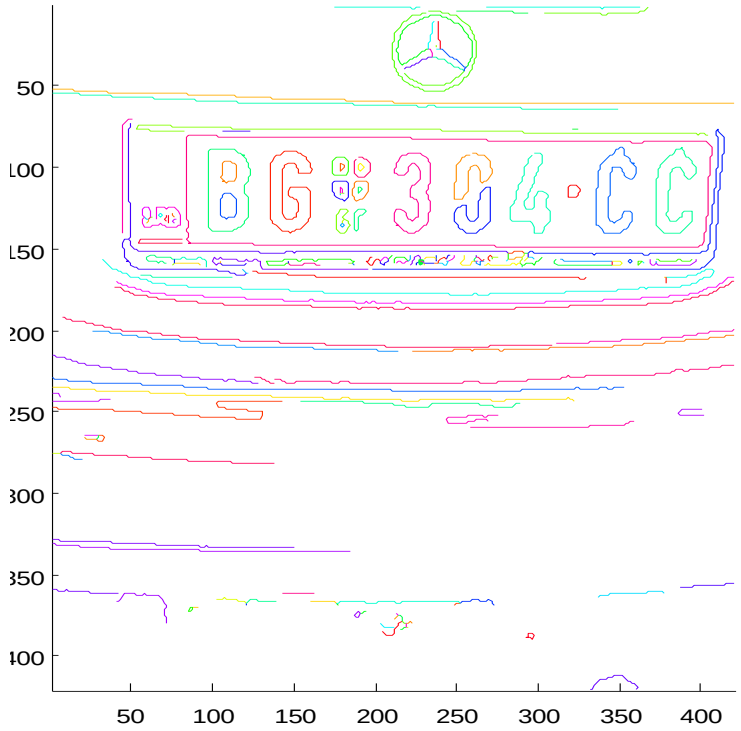
Slika 4: Prikaz tačaka nagomilavanja (sa najviše preseka) u parametarskom domenu



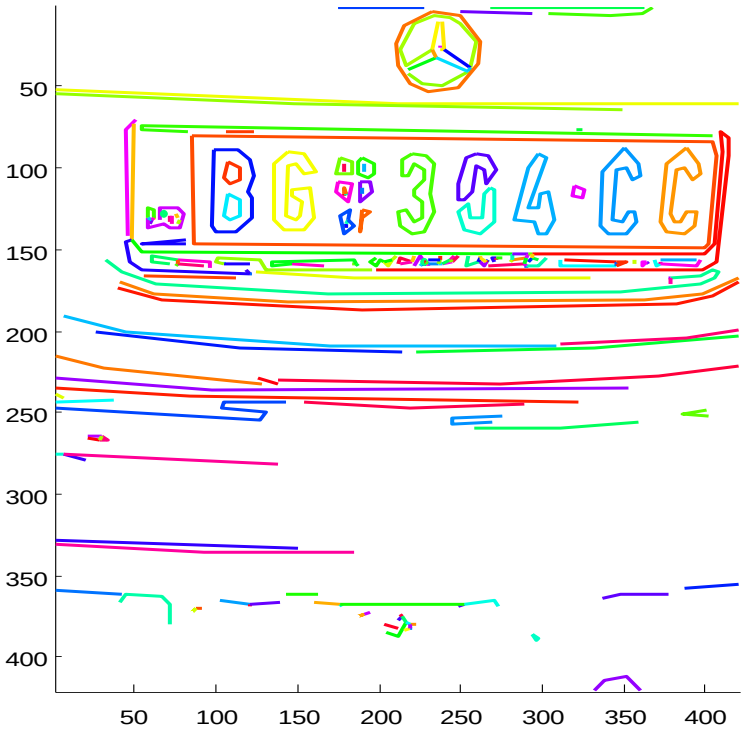
Slika 5: Prikaz pravih linija detektovanih Hafovom transformacijom

Slika 6: Izdvajanje tabličnog regiona na osnovu dobijenih rezultata

Nakon ispitivanja relacija između piksela i analize udaljenosti piksela u odnosu na zadati prag, izvršeno je njihovo povezivanje, što je ilustrovano na Sl.7 i Sl.8, za različite vrednosti praga.



Slika 7: Povezivanje i fitovanje segmenata u zoni registarske tablice sa maksimalnom devijacijom u odnosu na original u vrednosti 2 piksela



Slika 8: Povezivanje i fitovanje segmenata u zoni registarske tablice sa maksimalnom devijacijom u odnosu na original u vrednosti 3 piksela

Prilikom povezivanja ivica ilustrovanog na Sl.7 i Sl.8, segmenti dužine manje od 10 piksela nisu uzimani u obzir. Nakon toga je vršeno spajanje ivica fitovanjem krivih, u cilju rekonstrukcije nedostajućih segmenata. U literaturi je opisano dosta različitih algoritama fitovanja, kao što je fitovanje Bezier-ovim polinomima ili splajnovima, zatim iterativni metodi fitovanja pravolinijskim segmentima, a predloženi su i različiti heuristički načini spajanja ivica. U primerima ilustrovanom na Sl.7 i Sl.8 segmenti su fitovani sa maksimalnom devijacijom u odnosu na original u vrednosti 2 i 3 piksela, a nakon fitovanja su svi segmenti prikazani različitim bojama, pri čemu je izbor boje za prikazivanje slučajnog karaktera.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu izloženi su rezultati primene Hafove transformacije u cilju izdvajanja tabličnog regiona sa što većom tačnošću, u slučaju digitalne slike snimljene kamerom mobilnog telefona. Primena različitih algoritama povezivanja ivica unutar regiona, dodatno povećava uspešnost detekcije i očitavanja karaktera, čak i u slučaju da je digitalna slika snimljena bez upotrebe profesionalne opreme visokog kvaliteta.

LITERATURA

[1] Patel, C., Shah, D., & Patel, A. (2013). Automatic Number Plate Recognition System (ANPR): A Survey. International Journal of Computer Applications, vol.69, 9, 21-33.

[2] Saha, S., Basu, S., Nasipuri, M., & Basu, D.K. (2009). License Plate localization from vehicle images: An edge based multi-stage approach. Int. J. of Recent Trends in Engineering, vol.1, 1, 284-288.

[3] Chong, J., Tianhua, C., & Linhao, J. (2013). License Plate Recognition Based on Edge Detection Algorithm. Int. Conf. on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 395-398.

[4] Lalimi, M.A., Ghofrani, S., & McLernon, D. (2013). A vehicle license plate detection method using region and edge based methods. Computers & Electrical Engineering, vol.39, 3, 834-845.

[5] Stefanović, H., & Veselinović, R. (2017). Optimizacija algoritma za segmentaciju registarskih tablica u uslovima otežane detekcije. Int. Symp. On Operations Research (SYM-OP-IS 2017), Zlatibor, Serbia, 170–175.

[6] Stefanovic**,** H., Veslinović, R., Bjelobaba G. & Savić, A. (2017). Optimizacija algoritmskih rešenja za izdvajanje obeležja registarskih tablica u uslovima otežane detekcije. Info M 64/2017, 33-37.

[7] Duda, R.O., & Hart, P.E. (1972). Use of the Hough transform to detect lines and curves in pictures. Commun. Ass. Comput. Mach., vol. 15, 11-15.

[8] https://www.onlineocr.net/

[9] Gonzalez, R.C., Woods, R.E., & Eddins, S.L. (2009). Digital Image Processing Using MATLAB. Knoxville, TN: Gatesmark Publishing.

[10] https://www.mathworks.com/discovery/edge-detection.html

[11] Stefanović**,** H., Štrbac-Savić, S. & Milić. D. (2015). Poređenje performansi različitih metoda detekcije ivice u digitalnoj slici. Int. Scientific Conf. of IT and Business-Related Research (Synthesis 2015), Belgrade, Serbia, 123-128.

[12] Stefanovic**,** H., Strbac-Savic, S. & Milic, D. (2015). Detection of straight-line segments in digital image using the Hough Transform in MATLAB. Int. Conf. Science and Higher Education in Function of Sustainable Development (SED 2015), Uzice, Serbia, 2-1–2-6.

[13] https://www.mathworks.com/help/images/ref/hough.html

[14] Wang, W. (2009). Reach on Sobel Operator for Vehicle Recognition. International Joint Conf. on Artificial Intelligence, California, USA, 448-451.

[15] Stefanovic**,** H., Veslinović, R., Bjelobaba G. & Savić, A. (2018). An adaptive car number plate image segmentation using K-means clustering. Int. Scientific Conf. on Information Technology and Data Related Research (SINTEZA 2018), Belgrade, Serbia, 74-78.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

PRIMENA POSLOVNIH PRAVILA U PROCESNO-ORIJENTISANIM APLIKACIJAMA

APPLICATION OF BUSINESS RULES IN PROCESS-ORIENTED APPLICATIONS

ŽELJANA MILOŠEVIĆ[1], IVAN RAKIĆ[2], SLAĐAN BABAROGIĆ[3], NENAD ANIČIĆ[4]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, zeljana.milosevic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, ivan.rakic@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, sladjan.babarogic@fon.bg.ac.rs
[4] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, nenad.anicic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu biće obrađen aspekt primene poslovnih pravila u razvoju procesno-orijentisanih aplikacija. Nakon što budu opisani osnovni koncepti koji su neophodni za razumevanje procesno-orijentisanih aplikacija i za primenu poslovnih pravila u njima, biće reči o tome šta je poslovni proces, na koji način je moguće upravljati poslovnim procesima, šta predstavljaju poslovna pravila i koje vrste poslovnih pravila postoje. Zatim će u jednoj od najčešće korišćenih platformi za razvoj procesno-orijetisanih aplikacija biti prikazan primer primene poslovnih pravila u okviru određenog poslovnog procesa. I na samom kraju, biće dat kritički osvrt na prednosti i nedostatke ovog načina unapređenja poslovnih procesa.*

Ključne reči: *Procesno-orijentisane aplikacije, Upravljanje poslovnim procesima, Poslovna pravila, Tabela odlučivanja*

Abstract: *In this paper will be analyzed aspect of business rules utilization in process-oriented applications. First, key terms necessary for understanding process-oriented applications will be described, as well as ways to implement business rules in them. After that, terms such as business process, business rules and types of business rules, together with means to manage business processes will be described. Afterwards will be presented an example of application of business rules within business process in one of the most used platforms for development of process-oriented applications. In the end, a critical overview of the advantages and disadvantages of this way of business process enhancement will be given.*

Keywords: *Process-oriented applications, Business Process Management - BPM, Business rules, Decision table*

1. UVOD

Kada se u nekoj organizaciji pojavi potreba za razvojem nove aplikacije koja bi služila za rešavanje nastalog poslovnog problema, zaposleni kojima je poveren taj zadatak imaju za cilj da razviju aplikaciju visokog kvaliteta uz minimalan napor i troškove.

S obzirom da su današnje tradicionalne organizacije uglavnom funkcionalno organizovane i da su podeljene u takozvane organizacione silose koji nemaju dovoljnu, a često i nikakvu međusobnu saradnju, aplikacije koje se razvijaju u takvim organizacijama moraju na neki način da obuhvate sve poslovne funkcije koje se obrađuju u tim silosima. (Jaško, Čudanov, Jevtić, & Krivokapić, 2013)

Kao najčešće rešenje ovog problema nameću se funkcionalno-orijentisane aplikacije, poznatije kao ERP sistemi koji vrše koordinaciju između pojedinačnih poslovnih funkcija. Glavni nedostatak ovog tipa aplikacija je što njihov korisnik uglavnom ne zna šta se dešava od početka do kraja u poslovnom procesu koji se prožima kroz definisane poslovne funkcije, već ima samo uvid u neki njegov deo u kom direktno učestvuje.

Iz tog razloga, kao adekvatnije rešenje ovog problema, umesto ERP sistema, predlažu se procesno-orijentisane aplikacije koje se zasnivaju na **upravljanju poslovnim procesima** (eng. *Business Process Management - BPM*), odnosno vođene su od strane određenog toka rada (eng. *workflow*). Korišćenjem ovih aplikacija korisnik je upoznat sa celokupnim poslovnim procesom koji kao krajnji cilj ima ostvarenje nekog poslovnog interesa organizacije. (Kolban, 2014)

U ovom radu glavni akcenat će biti na delu razvoja procesno-orijentisanih aplikacija koji se odnosi na korišćenje poslovnih pravila koja služe za definisanje nekih ključnih odluka i politika poslovanja u

organizaciji. Pomoću poslovnih pravila se omogućava upravljanje tokom odvijanja poslovnog procesa, tako da se pored osnovnog scenarija odvijanja tog poslovnog procesa, može dobiti i više njegovih alternativnih scenarija. Takođe, primena poslovnih pravila dovodi do ubrzanja poslovnog procesa jer utiče na smanjenje broja koraka, odnosno aktivnosti, za koje je neophodna interakcija sa učesnicima tog procesa. Sve navedeno u velikoj meri može uticati na povećanje efikasnosti poslovnog procesa, čemu i teži svaka organizacija, da ima efikasne poslovne procese kojima će da ostvari svoje poslovne ciljeve.

2. TEORIJSKA OSNOVA

U ovom poglavlju biće opisani osnovni koncepti koji su neophodni za razumevanje procesno-orijentisanih aplikacija i za primenu poslovnih pravila u njima. Biće definisano šta predstavlja poslovni proces, na koji način je moguće upravljati poslovnim procesima, šta su poslovna pravila i koje vrste poslovnih pravila postoje.

2.1. Upravljanje poslovnim procesima

Poslovni proces (eng. *business process*) predstavlja niz logički povezanih aktivnosti i zadataka koji koristeći resurse organizacije doprinose direktno ili indirektno zadovoljenju potreba kupaca za proizvodima ili uslugama odgovarajućeg kvaliteta i cene u odgovarajućem vremenskom okviru i kao takav se uglavnom prožima kroz više organizacionih silosa, odnosno kroz više poslovnih funkcija. (TechTarget, 2018)

„**Upravljanje poslovnim procesima** (eng. *Business Process Management* - ***BPM***) je disciplina koja predstavlja kombinaciju modelovanja, automatizacije, izvršavanja, kontrole, merenja i optimizacije tokova poslovnih aktivnosti, a sve u cilju podrške ciljevima organizacije, sistemima koje obuhvataju, zaposlenima, kupcima i partnerima unutar i izvan granica organizacije". (Business Process Management, 2018)

Ideja BPM-a je da poveže ljude i sisteme koji učestvuju u određenom poslovnom procesu. BPM uvodi red u odvijanje poslovnog procesa od početka do kraja i na neki način vodi korisnika po koracima kroz sam poslovni proces i u momentu kada je neka aktivnost koja je namenjena njemu spremna za izvršavanje, on dobija informaciju o tome. Na taj način je omogućen uvid u sve aktivnosti u realnom vremenu. (Kolban, 2014)

Upravljanje poslovnim procesima se temelji na činjenici da je svaki krajnji proizvod neke organizacije proistekao iz kolaboracije više obavljenih aktivnosti. Poslovni procesi predstavljaju jedan od ključnih faktora koji utiču na odnos aktivnosti u organizaciji i njihovu što bolju međusobnu integraciju. Informacioni sistemi i tehnologije imaju važnu ulogu u upravljanju poslovnim procesima jer je upravo većina aktivnosti koje se obavljaju u toj organizaciji podržana informacionim sistemom koji je razvijen u njoj. Aktivnosti koje čine neki poslovni procesi mogu obavljati samo zaposleni, zaposleni uz pomoć postojećeg informacionog sistema ili informacioni sistem automatski, bez učešća zaposlenih. (Kolban, 2014)

Nezavisno od oblasti u kojoj se odvija, cilj svakog poslovnog procesa je da stvori neku dodatnu vrednost za njegovog korisnika i za organizaciju u kojoj se odvija. Svaki poslovni proces bilo da se odvija samostalno ili u interakciji sa drugim poslovnim procesima treba da na efektivan i efikasan način teži stvaranju konkurentske prednosti na tržištu. (Bonitasoft, 2019)

2.2. Poslovna pravila

Prilikom modelovanja nekog poslovnog procesa, definiše se tok poslovnog procesa sa tačno definisanim redosledom izvršavanja njegovih aktivnosti. Aktivnosti koje čine neki poslovni proces mogu izvršavati zaposleni koji učestvuju u tom poslovnom procesu, može ih izvršavati sistem automatski, mogu pozivati neki spoljni servis, mogu izvršavati neki *script* (npr. JavaScript kôd koji će pristupati i manipulisati određenim podacima) i slično. Cilj svakog poslovnog analitičara, koji je zadužen za modelovanje poslovnog procesa, jeste da ima što manje aktivnosti koje moraju da obavljaju zaposleni ručno, već da ima što je moguće više aktivnosti koje se obavljaju automatski. Takvim načinom modelovanja sam proces se unapređuje i sprečava se stvaranje „uskih grla", odnosno da tok procesa ne teče planiranim intezitetom zbog toga što neki zaposleni nije obavio svoju aktivnost na vreme. (Wetzstein, 2007)

Jedan od načina na koji se može omogućiti što manje učešće zaposlenih u poslovnom procesu jeste upotreba **poslovnih pravila**.

Poslovno pravilo se može definisati kao iskaz koji definiše ili ograničava neku oblast poslovanja, odnosno kontroliše i utiče na poslovne procese koji se odvijaju u okviru tog poslovanja. Poslovnim pravilima se obezbeđuje veća efikasnost i fleksibilnost poslovnog procesa jer ona omogućuju različita ponašanja jednog istog procesa. (Business Rules Group, 2019)

Bitna karakteristika poslovnih pravila je da se ona mogu primeniti u gotovo svakom aspektu poslovanja, kao što su upravljanje podacima, odnosi sa kupcima i slično. (Techpedia, 2019) Međutim, najčešća primena poslovnih pravila je u upravljanju poslovnim procesima, odnosno u automatizaciji poslovnih procesa. Automatizacija poslovnih procesa je neophodna svakoj organizaciji koja želi digitalno da transformiše svoje poslovanje, odnosno da reorganizuje i unapredi svoje poslovne procese na svim nivoima poslovanja u cilju opstanka samog poslovanja. (Laserfiche, 2019)

Poslovna pravila u okviru poslovnog procesa se definišu u skladu sa **DMN** (***Decision Model and Notation***) standardom koji predstavlja jezik za modelovanje poslovnih odluka i pravila. Osnovna karakteristika DMN standarda jeste jednostavna notacija koja je čitljiva i razumljiva svim njegovim potencijalnim korisnicima (Object Management Group, 2019):

- poslovnim analitičarima koji definišu zahteve koji su neophodni za kreiranje modela odlučivanja,
- programerima koji su zaduženi za automatizaciju definisanih odluka u poslovnim procesima, i
- poslovnim korisnicima koji treba da se bave upravljanjem i praćenjem implementiranih odluka.

DMN standard je dizajniran tako da bude komplementaran sa **BPMN** (***Business Process Model and Notation***) standardom koji predstavlja notaciju za grafički prikaz poslovnih procesa preko dijagrama poslovnih procesa (eng. ***Business Process Diagram***), ali se može koristiti i nezavisno od njega.

Kompletan model odlučivanja se sastoji od (Object Management Group, 2019):

- **dijagrama zahteva za odlučivanje** (eng. ***Decision Requirements Diagram - DRD***) kojim se prikazuju odluke koje je neophodno doneti da bi poslovni proces funkcionisao na definisan način, njihove međusobne veze i koji su to potrebni zahtevi za logiku odlučivanja, i
- **logike odlučivanja** (eng. *Decision logic*) pomoću koje se definišu dovoljno detaljne odluke koje će omogućiti adekvatnu validaciju i automatizaciju poslovnog procesa.

Postoji više vrsta, odnosno kategorija kojima mogu pripadati definisana poslovna pravila, kao što su (Mann, 2000):

- činjenice,
- poslovna pravila referencijalnog integriteta,
- ograničenja,
- pravila koja okidaju neke akcije,
- pravila na osnovu računanja, itd.

Takođe, postoji i više načina na koji mogu biti implementirana poslovna pravila, kao što su (Business Rule Solutions, 2019):

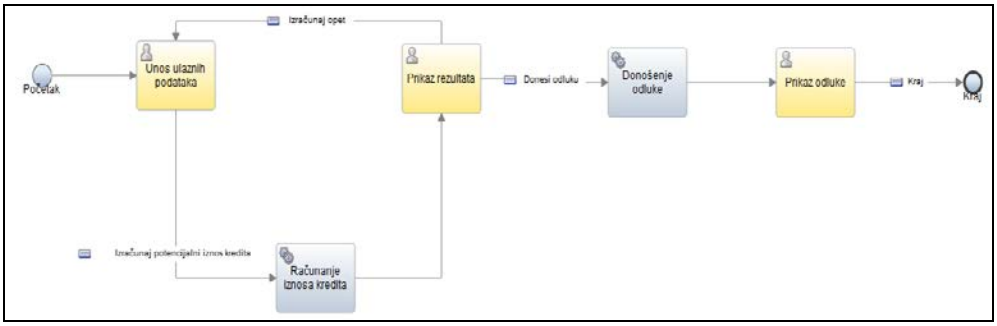
- **drvo odlučivanja** (eng. ***Decision tree***) gde se način odlučivanja predstavlja u obliku drveta tako da se u samom korenu drveta nalazi opšti slučaj od kog kreće odlučivanje, a svakim daljim grananjem se od opšteg slučaja dobija više specifičnih;
- **tabela odlučivanja** (eng. ***Decision table***) se međusobno dopunjuje sa drvetom odlučivanja. Kod ovog načina implementacije poslovnih pravila, odlučivanje se predstavlja tabelom gde se u jednom delu tabele nalaze uslovi, a u drugom delu akcije koje se primenjuju u zavisnosti od ispunjenosti ili neispunjenosti određenih uslova;
- **struktuirani tekst**, koji u zavisnosti od konkretne platforme na kojoj se implementiraju poslovna pravila, može biti napisan pomoću različitih jezika, ali zajedničko za sve njih je da su dosta bliski svakodnevnom govoru i da su iz tog razloga razumljiviji od drugih načina implementacije.

3. PRIMER PRIMENE POSLOVNIH PRAVILA U PROCESNO-ORIJENTISANIM APLIKACIJAMA

Primena poslovnih pravila u procesno-orijentisanim aplikacijama biće prikazana na procesu obrade zahteva za kredite u banci. U praksi ovaj poslovni proces je dosta složeniji, ali za potrebe ovog rada je izabrana njegova uprošćena verzija. Biće primenjena poslovna pravila koja okidaju, odnosno aktiviraju neke akcije u kombinaciji sa pravilima koja vrše neka izračunavanja. Pravila koja okidaju neke akcije se sastoje od definisanja prostih ili složenih uslova i akcija koje se okidaju pod određenim uslovima, a pravila koja vrše neka izračunavanja se sprovode pomoću neke formule ili algoritma. Pomenuta poslovna pravila biće implementirana pomoću tabele odlučivanja. Za realizaciju ovog primera biće korišćena **IBM Business Process Manager** platforma.

Na početku procesa potrebno je uneti odgovarajuće podatke o klijentu koji podnosi zahtev za kredit. Nakon toga, na osnovu unetih podataka i definisanih poslovnih pravila računa se potencijalni iznos kredita koji može biti odobren klijentu. Posle prikaza izračunatog iznosa kredita i ostalih unetih podataka o tom

klijentu, donosi se odluka o odobravanju ili odbijanju podnetog zahteva klijenta. Ova odluka se, takođe, donosi automatski na osnovu definisanog poslovnog pravila. Na kraju procesa, korisniku se prikazuje informacija o donetoj odluci. Grafički prikaz opisanog procesa dat je na Slici 1:



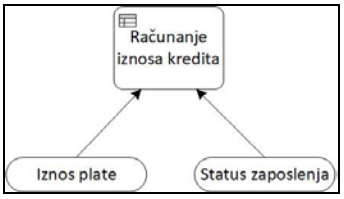
Slika 1: Poslovni proces obrade zahteva za kredite u banci

Aktivnosti *Unos ulaznih podataka*, *Prikaz rezultata* i *Prikaz odluke* su aktivnosti u kojima je neophodna neka interakcija sa korisnikom, dok su aktivnosti *Računanje iznosa kredita* i *Donošenje odluke* sistemske aktivnosti, odnosno aktivnosti koji se izvršavaju automatski bez učešća korisnika jer se u njima samo vrši poziv definisanih poslovnih pravila.

Za svaku aktivnost koju obavlja korisnik se kreira odgovarajući korisnički interfejs. Na Slici 2 prikazan je korisnički interfejs za aktivnost *Unos ulaznih podataka* u okviru koje se unose odgovarajuće vrednosti za ime i prezime klijenta, iznos njegove plate, kao i informacija o tome da li je zaposlen na određeno ili neodređeno vreme.

Slika 2: Korisnički interfejs za unos ulaznih podataka o klijentu

Pritiskom na dugme *Izračunaj potencijalni iznos kredita* poziva se skup definisanih poslovnih pravila koji računaju potencijalni iznos kredita na osnovu informacija o plati klijenta i o tome da li je zaposlen na određeno ili neodređeno vreme. Način na koji su definisana pomenuta pravila prikazan je pomoću dijagrama zahteva za odlučivanje na Slici 3 i tabele odlučivanja na Slici 4 i Slici 5:

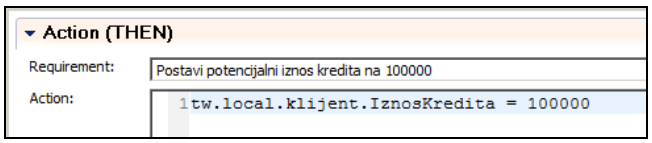


Slika 3: Dijagram zahteva za odlučivanje za izračunavanje potencijalnog iznosa kredita

Condition (IF)

	Plata	StatusZaposlenja	Action Requirement
1	< 50000	true	Postavi potencijalni iznos kredita na 100000
2	< 50000	false	Postavi potencijalni iznos kredita na 75000
3	>= 50000	true	Postavi potencijalni iznos kredita na 200000
4	>= 50000	false	Postavi potencijalni iznos kredita na 150000

Slika 4: Tabela odlučivanja za izračunavanje potencijalnog iznosa kredita



Slika 5: Definisanje akcije o postavljanju određenog iznosa kredita na osnovu unetih podataka

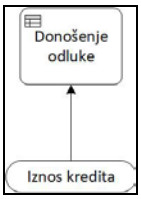
Iz prikazane tabele odlučivanja se može videti da se različitom kombinacijom vrednosti za iznos plate klijenta i toga da li je zaposlen na određeno i neodređeno vreme određuje koliki će biti potencijalni iznos kredita tog klijenta.

Nakon okidanja odgovarajućeg pravila koje se odvija automatski, korisniku se prikazuje informacija o izračunatom iznosu potencijalnog kredita. Na Slici 6 je prikazan korisnički interfejs koji pored već prethodno unetih informacija o klijentu, sada sadrži informaciju i o potencijalnom iznosu kredita.

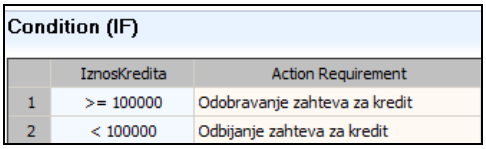
Slika 6: Korisnički interfejs za prikaz podataka o klijentu i potencijalnog iznosa kredita

Klikom na dugme *Donesi odluku* okida se novi skup poslovnih pravila koja na osnovu izračunatog potencijalnog iznosa kredita odlučuju da li će kredit biti odobren ili ne.

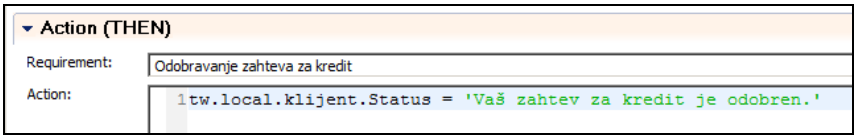
Način na koji je definisan pomenuti skup poslovnih pravila prikazan je pomoću dijagrama zahteva za odlučivanje na Slici 7 i tabele odlučivanja na Slici 8 i Slici 9:



Slika 7: Dijagram zahteva za odlučivanje za donošenje odluke o odobravanju kredita

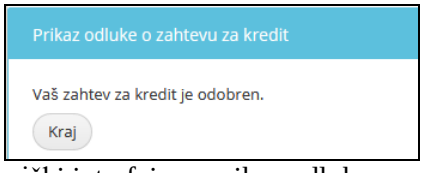


Slika 8: Tabela odlučivanja za donošenje odluke o odobravanju kredita



Slika 9: Definisanje akcije o odobravanju/odbijanju kredita na osnovu izračunatog iznosa kredita

Nezavisno od toga da li je klijentu odobren ili odbijen zahtev za kredit, korisnik dobija informaciju o tome putem odgovarajućeg korisničkog interfejsa. Prikaz tog korisničkog interfejsa je dat na Slici 10:



Slika 10: Korisnički interfejs za prikaz odluke o zahtevu za kredit

4. ZAKLJUČAK

Jedan od vodećih trendova koji se pojavio poslednjih godina jeste ***digitalna transformacija poslovanja*** koja podrazumeva reorganizaciju i unapređenje poslovnih procesa na svim nivoima poslovanja u cilju opstanka samog poslovanja pomoću svih raspoloživih digitalnih alata i tehnologija. Upotreba najsavremenijih tehnologija pomaže organizacijama da unesu inovacije u svoje poslovanje koje će im doneti veći uspeh i pomoći da steknu konkurentsku prednost na tržištu. Organizacije u svim oblastima poslovanja su počele da usvajaju platforme za digitalnu transformaciju kako bi usmerile svoje interne procese, ali i procese koji su orijentisani ka njihovim eksternim saradnicima. Najpogodnije platforme za digitalnu transformaciju zasnivaju se na tehnologiji ***upravljanja poslovnim procesima (BPM)*** koje treba da omoguće da se sve radi znatno brže, efikasnije i uz manje troškove. (Bonitasoft, 2019)

Jedna od bitnih pogodnosti platforme koja je prikazana u ovom radu jeste da se, pored funkcionalnosti koje poseduje, može dodatno obogatiti pozivom definisanih poslovnih pravila. Pozivanjem definisanih poslovnih pravila u ovom slučaju se omogućava automatizacija koraka koje bi u suprotnom obavljali korisnici procesa.

Prednosti primene poslovnih pravila u poslovnim procesima su brojne, kao što je smanjenje broja koraka koje moraju da obavljaju korisnici procesa iz razloga što to sada umesto njih automatski obavlja sistem. Na taj način se znatno poboljšava efikasnost poslovnog procesa jer se eliminiše eventualno čekanje da korisnik obavi neku aktivnost koja mu je dodeljena. Zamena aktivnosti koju obavljaju korisnici automatizovanim poslovnim pravilima je vrlo važna tehnika u optimizaciji poslovnih procesa. Zatim, pomoću poslovnih pravila se eliminiše ponavljanje istih aktivnosti sa različitim ulaznim podacima, što takođe doprinosi automatizaciji poslovnih procesa. Takođe, još jedna bitna pogodnost koja je rezultat primene poslovnih pravila jeste ta što su svi poslovni procesi koji se oslanjaju na neko poslovno pravilo konzistentni i usklađeni u svom izvršavanju, te ako dođe do promene neke ulazne vrednosti u definiciji poslovnog pravila, promene će biti vidljive u svim procesima koji koriste to pravilo. Pored toga, primenom poslovnih pravila se izbegava uticaj subjektivnih činilaca prilikom donošenja odluka u ključnim tačkama procesa kada dolazi do grananja samog procesa jer su na taj način odluke zapravo donete od strane definisanog skupa pravila.

Kao eventualni nedostak primene poslovnih pravila u procesno-orijentisanim aplikacijama bi se mogla izdvojiti činjenica da su nekad neka definisana pravila previše rigidna, a da često postoji potreba da se poslovna strategija prilagodi u određenoj meri nastaloj situaciji. Takođe, kao jedan od problema koji se mogu javiti prilikom definisanja poslovnih pravila je taj što kada se jednom definiše neki skup pravila, vrlo je teško promeniti njihovu strukturu uvođenjem novog uslova ili nove akcije koja se primenjuje.

Kroz sprovedeno istraživanje u toku pisanja ovog rada, može se izvesti zaključak da uspešno vođenje neke organizacije ne bi bilo moguće bez primene poslovnih pravila u okviru nje i to naročito u poslovnim procesima koji se u njoj odvijaju.

LITERATURA

[1] (2019, June 1). Retrieved from Bonitasoft: https://www.bonitasoft.com/

[2] Business Process Management, I. (2018, November 1). Retrieved from https://bpm.com/

[3] Business Rule Solutions, L. (2019, June 10). Retrieved from BUSINESS RULES COMMUNITY : https://www.brcommunity.com/

[4] *Business Rules Group*. (2019, June 11). Retrieved from Business Rules Group: http://www.businessrulesgroup.org

[5] Group, O. M. (2019, June 10). Retrieved from https://www.omg.org/spec/DMN

[6] Jaško, O., Čudanov, M., Jevtić, M., & Krivokapić, J. (2013). *Osnovi organizacije i menadžmenta.* Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

[7] Kolban, N. (2014). *IBM Business Process managment.*

[8] *Laserfiche*. (2019, June 11). Retrieved from https://www.laserfiche.com/

[9] Mann, J. E. (2000). Rules for E-Business. Patricia Seybold Group.

[10] *Techpedia*. (2019, June 11). Retrieved from https://www.techopedia.com/

[11] TechTarget. (2018, November 1). Retrieved from https://searchcio.techtarget.com/definition/business-process

[12] Wetzstein, B. M. (2007). Semantic Business Process Management: A Lifecycle Based Requirements Analysis. *SBPM*.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PRISTUPI ZA MODELOVANJE VIŠESTRUKO POVEZANIH KARAKTERISTIKA U MODELIMA KARAKTERISTIKA

APPROACHES FOR MODELING REOCCURRENCEOF RELATEDFEATURES IN FEATURE MODELS

DEJAN STOJIMIROVIĆ[1], NINA TURAJLIĆ[1], SINIŠA NEŠKOVIĆ[1], NENAD ANIČIĆ[1], SLAĐAN BABAROGIĆ[1]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Beograd, dejan.stojimirovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Modeli karakteristika omogućavaju specifikaciju softverskih proizvodnih linija.Oni sadrže informacije o karakteristikama (opštim i specifičnim) svih mogućih proizvoda softverske proizvodne linije. U ovom radu se predlaže nekoliko različitih pristupa za savladavanje složenosti u modelima karakteristika kod kojih više karakteristika ima identičan skup podkarakteristika.*

Ključne reči*: softverske proizvodne linije, modeli karakteristika, ponovno korišćenje.*

Abstract: *Feature models enable specification of software product lines. They contain information about both common and specific characteristics of all expected products of software product line.Several approaches for overcoming complexity in feature models containing multiple characteristics with identical sets of sub-characteristics, are proposed in this paper.*

Keywords: *software productlines, featuremodels, reuse.*

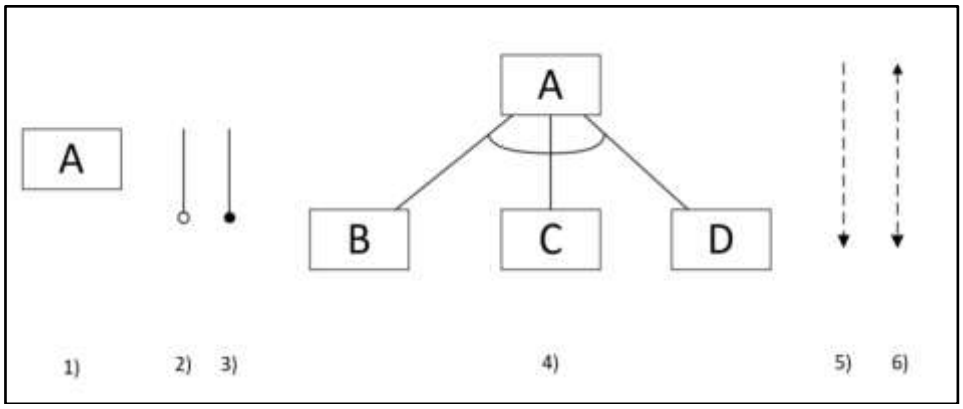
1.UVOD

Softverske proizvodne linije promovišu proizvodnju familije srodnih sistema koji dele zajednički skup svojstava, ali su pri tome i prilagođeni potrebama pojedinačnih korisnika. Kako se navodi u (Apel, Batory, Kästner, & Saake, 2013)softverske proizvode linije u osnovi pokušavaju da pomire, sa jedne strane, potrebu za masovnom proizvodnjom softverskih proizvoda, a sa druge strane, potrebu za masovnim prilagođavanjem potrebama pojedinačnih korisnika (tj. kastomizacijom) na taj način što se proizvodne linije planiraju i projektuju tako da pokriju ceo raspon mogućih proizvoda, i njihovih varijacija, kako bi se omogućilo ispunjavanje potreba velikog broja različitih korisnika. Shodno tome, ovakav pristup predstavlja metodologiju za razvoj diverzifikovanih softverskih proizvoda visokog kvaliteta za kraće vreme i uz niže troškove.

Kako se navodi u (Pohl, Böckle, & van der Linden, 2005)da bi se olakšalo masovno prilagođavanje potrebama pojedinačnih korisnika, uveden je koncept varijabilnosti pomoću koga se modeluju artefakti koji se međusobno razlikuju u proizvodnoj liniji. Dakle, neophodno je identifikovati ono što je opšte, odnosno zajedničko za sve proizvode, i ono što je specifično tj. po čemu se oni međusobno razlikuju. Autori u (Pohl, Böckle, & van der Linden, 2005)dalje navode da je ključno modelovanje i upravljanje varijabilnošću (tj. onim što je opšte, kao i onim što je različito) u pogledu zahteva, arhitekture, komponenti i sl. Pri tome, prema (Benavides, Segura, & Ruiz-Cortes, 2010), ideja je da se proizvodi skup srodnih proizvoda koji imaju mnogo više sličnosti nego razlika.

Proizvodi se, u softverskoj proizvodnoj liniji, međusobno razlikuju prema karakteristikama (engl. features). Međutim, kako se navodi u (Benavides, Segura, & Ruiz-Cortes, 2010), dok se pojedinačni proizvodi specificiraju putem karakteristika, softverske proizvodne linije se specificiraju putem modela karakteristika (engl. Feature models), pri čemu se zapravo ceo skup proizvoda predstavlja skupom karakteristika u jedinstvenom modelu. Model karakteristika je inicijalno predložen u (Kang, Cohen, Hess, Novak, & Spencer Peterson, 1990)i u datom radu autor definiše karakteristike kao one aspekte domena koji su vidljivi korisnicima (odnosno one atribute sistema koji direktno utiču na krajnje korisnike) i kojima se definišu, kako zajednički aspekti domena, tako i razlike između srodnih sistema u domenu. Autor dodaje i da karakteristike omogućavaju da se domen definiše i u pogledu obaveznih, opcionih ili alternativnih svojstava srodnih sistema. Dakle, kako se navodi u (Benavides, Segura, & Ruiz-Cortes, 2010), model karakteristika sadrži informacije o svim mogućim proizvodima jedne softverske proizvodne linije u vidu karakteristika (opštih i specifičnih) i njihovih međusobnih odnosa i to na različitim nivoima apstrakcije i predstavlja se kao

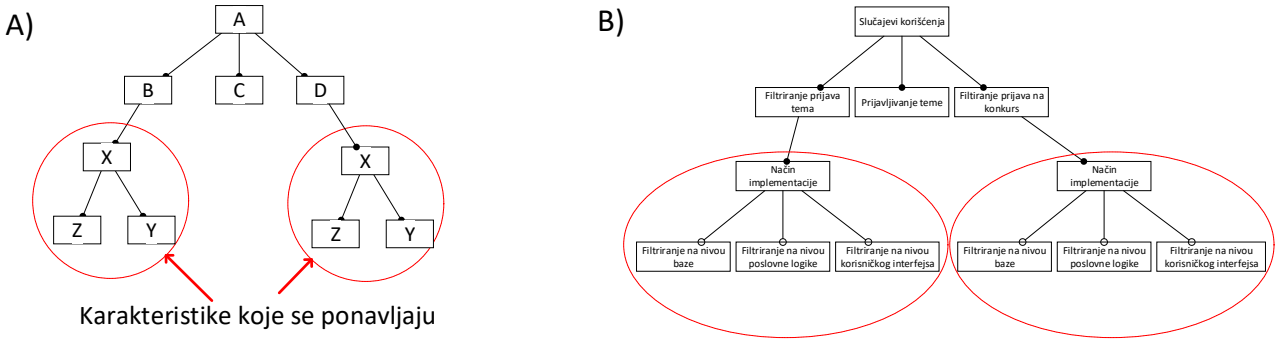
hijerarhijski organizovan skup karakteristika koje su na različite načine međusobno povezane.Stoga, prema (Kang, Cohen, Hess, Novak, & Spencer Peterson, 1990)model karakteristika olakšava komunikaciju između korisnika i programera jer, sa jedne strane omogućava korisnicima da vide koje su to osnovne karakteristike proizvoda, kao i koje dodatne karakteristike mogu odabrati, dok sa druge strane programerima ukazuje na to šta je i kako potrebno parametrizovati u drugim modelima i samoj softverskoj arhitekturi.



Slika 1. Prikaz osnovnih simbola na dijagramu karakteristika

Dijagram karakteristika, kao grafička formalna notacija, je uobičajen način za predstavljanje modela karakteristika. Na slici 1 je dat prikaz simbola koji se koriste na dijagramu karakteristika. Slikom su obuhvaćeni samo simboli koji će se koristiti dalje u radu. Brojem 1 je označen simbol za karakteristiku.Ako je podkarakteristika povezana sa nadkarakteristikom vezom pod brojem 2, to znači da je ta karakteristika obavezna, tj. svi proizvodi iz jedne familije proizvoda imaju tu karakteristiku. Ako je povezana vezom pod brojem 3, onda je ta karakteristika opciona.Brojem 4 na slici 1 je prikazana grupa alternativnih karakteristika. Proizvod, koji ima karakteristiku A, može imati samo jednu karakteristiku iz alternativne grupe karakteristika (ili B, ili C ili D).Brojevima 5 i 6 su prikazane veze između karakteristika, na modelu karakteristika, koje nisu hijerarhijski povezane.Brojem 5 je označena veza *requires*, kojom se označava da karakteristika „zahteva“ drugu karakteristiku, i sve njene podkarakteristike, dok je brojem 6 je označena veza *excludes*, kojom se označava situacija kada dve karakteristike međusobno isključive (Benavides, Segura, & Ruiz-Cortes, 2010).

Problem koji se razmatra u ovom radu je situacija kada više karakteristika ima identičan skup podkarakteristika.



Slika 2. Prikaz problema na modelu karakteristika

Na slici 2, na delu A, dat je primer takvog dijagrama za jedanopšti model karakteristika, a na slici 2, deo B, je dat primer modela karakteristika nad konkretnim domenom. Na slici 2, deo A, se vidi da korena karakteristika (A) ima obavezne podkarakteristike B, C, D. Karakteristike B i D imaju identičan skup podkarakteristika: obaveznu podkarakteristiku X sa obaveznim podkarakteristikama Z i Y.

Međutim, u slučaju velikog modela karakteristika može se dogoditi da postoji veći broj karakteristika koje imaju identičan skup podkarakteristika. Prateći osnovni standard za predstavljanje dijagramakarakteristika, kao i definiciju da je model karakteristika hijerarhijski model(Kang, Cohen, Hess, Novak, & Spencer Peterson, 1990), model karakteristika, koji bi tada nastao, imao bi skupove elemenata koji se ponavljaju mnogo puta.

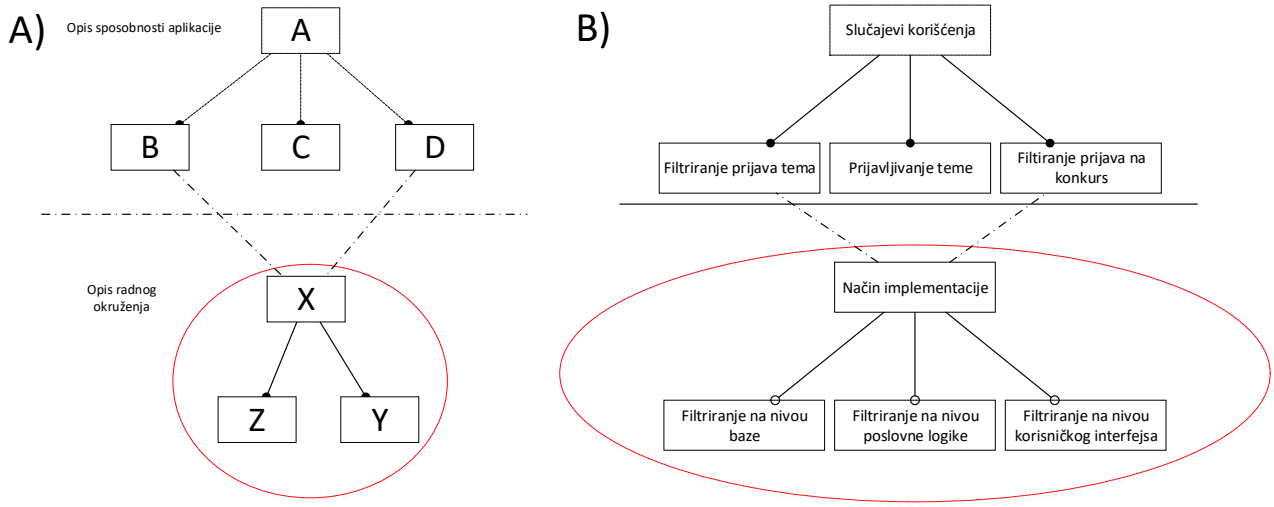
Upravo iz tog razloga je potrebno pronaći rešenje koje će omogućiti da se delovi modela karakteristika mogu jednom nacrtati, a koristiti (referencirati)gde god da je to potrebno. Takođe, potrebno je voditi računa i o „rekurzivnim“dijagramima. Rekurzivnim dijagramom se smatra dijagram kod koga određena karakteristika sadrži neku njenu nadkarakteristiku, a samim tim i ceo njen podmodel (uključujući i samu sebe).

U sledećem poglavlju će biti predloženi pristupi za rešavanje navedenog problema. U poglavlju 3. će izloženi pristupi biti analizirani uzimajući u obzir nekoliko kriterijuma. Na kraju rada će biti dat zaključak i mogući pravci budućeg istraživanja.

2. PREDLOŽENI PRISTUPI

Analizom postojećih pristupa i standarda vodećih naučnika u ovoj oblasti, kao i drugih autora koji su proširili i unapredili model karakteristika, moguće jeizdvojiti nekoliko osobina modela karakteristikakoje bi se mogle iskoristiti i za modelovanje situacija kada više karakteristika ima identičan skup podkarakteristika.

U radu će biti predložena tri pristupa koji su zasnovani na osobinama modela karakteristika koje su obrađivane u radovima Kanga i Černjeckog. Pristupi će biti primenjeni, kako na opšti, tako i na konkretan primer sa slike 2.



Slika 3. Ilustracija pristupazasnovanog na Kangovoj notaciji

2.1. Pristup 1: zasnovan na Kangovoj notaciji

Prvi pristup se može zaključiti iz notacijetvorca modela karakteristika, Kanga.U radu (Kang, Cohen, Hess, Novak, & Spencer Peterson, 1990)definišu se četiri grupe (tj. četiri nivoa) za klasifikaciju različitih aspekata aplikacije: funkcionalnosti vidljive krajnjim korisnicima, radno okruženje, tehnološki domen aplikacije i tehnike za implementaciju. Kang (Kang, i drugi, 1998)takođe definiše i veze između nivoa.Ovaj rad će se fokusirati na prva dva nivoa, mada se ista logika može primeniti i na bilo koja druga dva nivoa.

Nivo za opis funkcionalnosti predstavlja domen aplikacije iz ugla korisnika, dok nivo za opis radnog okruženja predstavlja nivo na kome se opisuju karakteristike arhitekturena kojoj se aplikacija izvršava. Spuštanje od viših ka nižim nivoima takođe predstavlja kretanje od apstraktnih ka konkretnim nivoima specifikacije.Na taj način, pored umanjena složenosti dijagrama, jasno bi se prikazale karakteristike aplikacije i po nivoima apstrakcije.

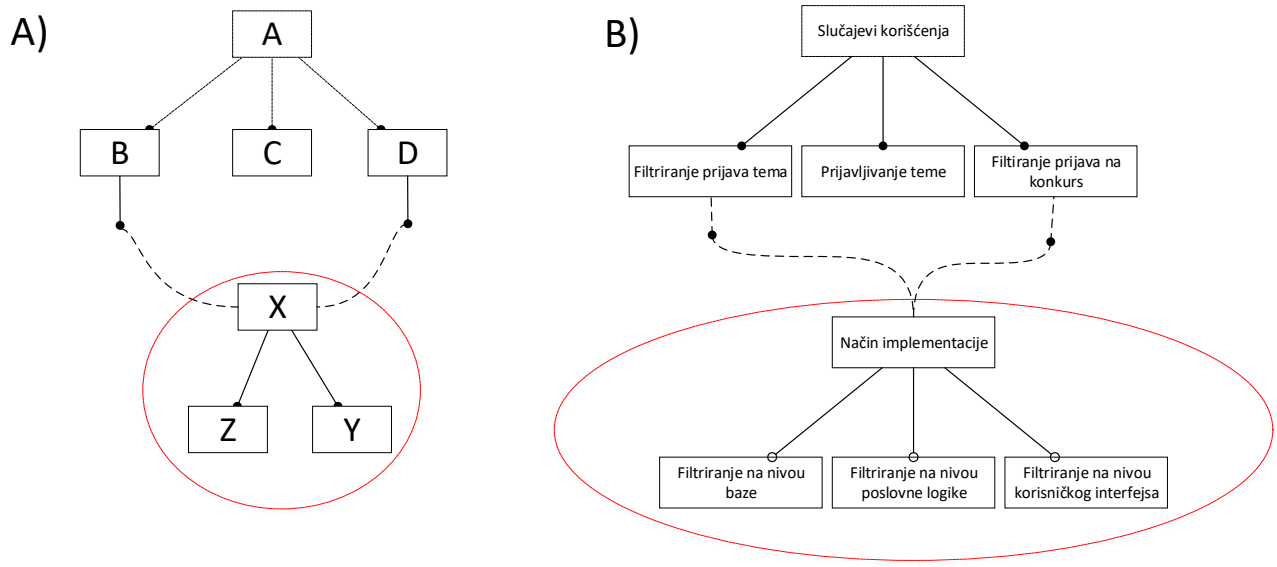
Na slici 3,su datidijagrami kojim se ilustruje rezultat primene predloženog pristupa za rešavanje problema identifikovanog na dijagramima prikazanim na slici 2. Na nivou za opis funkcionalnosti aplikacije, kao najapstraktnijem nivou, nalazile bi se karakteristike koje vidljive krajnjem korisniku (na primer A, B, C i D). U koliko se pretpostavi da karakteristike X, Y i Z predstavljaju osobine arhitekture aplikacije, one bi se nalazile na nivou za opis karakteristika radnog okruženja.

2.2. Pristup 2: zasnovan na podeli modela od strane Černjeckog

Drugi pristup se zasniva na proširenjima standarda od strane Černjeckog. Koncept koji će se ovde iskoristiti je koncept modularnosti modela karakteristika. Model karakteristika može sadržati jedan ili više specijalnih krajnjih karakteristika(listova), gde svaki list predstavlja odvojeni, zaseban, model karakteristika. Ova

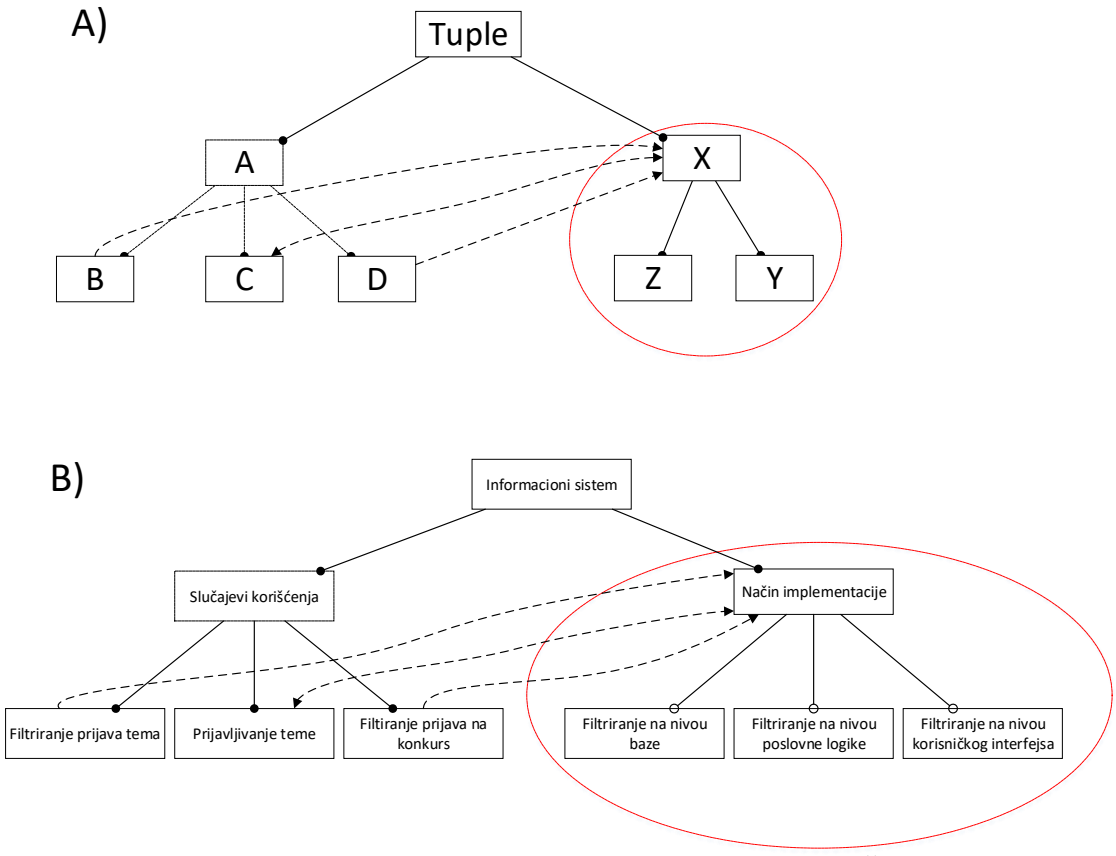
osobina omogućava da se veliki modeli karakteristika podele na manje modele i da se ti manji modeli ponovo koriste (Czarnecki & Helsen, 2005).

Dakle, ponovno korišćenje modela je osnovna ideja za rešavanje problema kada se se određeni podskup karakteristika ponavlja.



Slika 4. Ilustracija pristupazasnovanog naproširenjima Černjeckog

Na slici 4 je dat prikaz kako bi izgledali modelisa slike 2 kada se na njih primeni pristup zasnovan na proširenjima Černjeckog. Vidi se da je karakteristika X, sa svojim podkarakteristikama Z i Y, izdvojena u zaseban model. Karakteristike B i D predstavljaju specijalne karakteristike koje su povezane sa tim zasebnim modelom. Karakteristike koje referenciraju odvojen model mogu se referencirati samo na njegovu korenu karakteristiku, ne i na neku njegovu podkarakteristiku.



Slika 5. Ilustracija drugog pristupazasnovanog naproširenjima Černjeckog

2.3. Pristup 3: zasnovan na kardinalnostima od strane Černjeckog

Treći pristup se takođe zasniva na proširenjima od strane Černjeckog. Ideja na kojoj se zasniva ovaj pristup su kardinalnosti karakteristika i njihovo instanciranje prilikom konkretizacije samog modela.

Za razliku od prethodna dva pristupa, u ovom slučaju se stablo zajedničkih karakteristika ne posmatra kao poseban model, već se od karakteristika koje se opisuju i njihovih zajedničkih karakteristika formira n-torka. To se radi na sledeći način: potrebno je uvesti „fiktivnu“ karakteristiku, gde jedan element n-torkepredstavljaju karakteristike koji se opisuju, a ostali elementi n-torkepredstavljaju zajedničke grupe njihovih karakteristika.

Na slici 5 je dat prikaz kako bi izgledali modelisa slike 2 kada se na njih primeni ovaj pristup.Uvedena je „fiktivna“ karakteristika koja je nazvanaTuple.Njen prvi element čine karakteristike koje se opisuju (A, B, C i D), dok drugi element čine zajedničke karakteristike (X, Y, Z). Međutim, u početnom primeru (slika 2) se vidi da karakteristike B i D imaju zajedničke karakteristike, dok ih karakteristika C nema. Stoga je u ovom pristupu potrebno postaviti i dodatna ograničenja, vezama *requires* i *excludes*, da bi se omogućilo da se za karakteristike B i D popune njihove dodatne karakteristike, a za C zabranilo njihovo popunjavanje.

3. ANALIZA PREDLOŽENIH PRISTUPA

Primenom predloženih pristupa,na različitim problemima u okviru različitih domena, identifikovane su njihove prednosti i mane. Osnovni kriterijumi po kojima su analizirani ovi pristupi su:

- Složenost dijagrama
- Stepen zahtevane stručnosti
- Primenjivost na različite domene

3.1. Složenost dijagrama

Jedna od svrha modela karakteristika jeste da i krajnji korisnici lako videosnovne i dodatne karakteristike proizvoda. (Kang, Cohen, Hess, Novak, & Spencer Peterson, 1990). Stoga, složenost dijagrama će se posmatrati samo sa aspekta vizuelne složenosti.

Pogledom na primere primenepredloženih pristupa, datih na slikama 3, 4 i 5, može se zaključiti da je poslednji pristup najsloženiji. Pored poznavanja samih karakteristika proizvoda, potrebno je obratiti pažnju i na dodatna ograničenja na modelu (predstavljenim vezama *requires*i*excludes*). Takođe, pored definisanih osnovnih karakteristika, krajnji korisnik može biti u nedoumici šta predstavlja „fiktivna“ karakteristika, koja se dodatno uvodi da bi se formirale n-torke karakteristika prilikom konkretizacije modela.

Za razliku od trećeg pristupa, prva dva pristupa su dosta čitljivija. Pristup zasnovan na Kangovoj notaciji je za nijansu složeniji iz razloga što prikazuje karakteristike i po nivoima apstrakcije.

3.2. Stepen zahtevane stručnosti

Iako je, kao što je navedeno iznad, jedna od svrha model karakteristika da ga razumeju i krajnji korisnici, to ne znači da ga krajnji korisnici mogu lako nacrtati. Pored razumevanja domena koji treba predstaviti modelom karakteristika, potrebno je znati i pravila, tj. standard u skladu sa kojim se predstavlja model. Osim poznavanja simbola pomoću kojih se dijagram predstavlja, potrebno jerazumevanjai semantike samog modela. Takođe, stepen zahtevane stručnosti zavisi i od nivoa detalja koji se želi prikazati na modelu.

Najmanji stepen stručnosti je potreban za drugi pristup, jer on zahteva samo poznavanje standarda. Dijagramu se ne dodaje nikakva dodatna semantika.Najveći izazov se ogleda u tome da se odredi gde je potrebno „preseći“ dijagram, tj. koje delove modela izdvojiti u podmodel.

Sledeći je, po stepenu zahtevane stručnosti, prvi pristup. Za razliku od drugog pristupa, za podmodele je potrebno odrediti i na kom nivou apstrakcije se nalaze, što iziskuje dodatno tehničko znanje.

Treći pristup zahteva najviši stepen stručnosti. Razlog za to je što se menja logika kreiranja modela, gde se prilikom konkretizacije ne kreira stablo odabranih karakteristika, već uređene n-torke, što zahteva dobro poznavanje semantike modela.

3.3. Primenjivost na različite domene

Iako su modeli karakteristika primarno nastali zbog „proizvodnje“ softvera, mogu se koristiti za opis karakteristika drugih tipova prozvoda, kao što su mobilni telefoni, automobili i dr. Stoga, važno je analizirati primenjivost pristupa na različite domene.

Prvi pristup, za razliku od preostala dva, na samom dijagramu omogućava jasan prikaz karakteristika po nivoima apstrakcije i veze između karakteristika na različitim nivoima. Pogodan je za korišćenje u slučajevima kada se prikazuju i karakteristike specifikacije i karakteristike implementacije proizvoda istovremeno(npr. proizvodnja softvera).Nedostatak ovog pristupa je taj što se pomoću njega ne može rešiti problem kada se karakteristike koje se ponavljaju nalaze na istom nivou apstrakcije.

Pomoću druga dva pristupa se takođe mogu prikazati dijagrami karakteristika po različitim nivoima apstrakcije, ali se to postiže tako što se kreiraju potpuno odvojeni modeli u semantičkom smislu. Ova dva pristupa bi imala veću primenu u situacijama kada je potrebno definisati samo jedan nivo apstrakcije (npr, samo specifikacija mobilnog telefona, ne i kako se proizvodi).Njihov nedostatak je taj što se među njima ne može videti zavisnost po nivoima apstrakcije.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu razmatran je problem modela karakteristika kod kojih postoje karakteristike koje imaju identične skupove podkarakteristika. Predloženo je nekoliko pristupa koji omogućavaju savladavanje složenosti ovakvih modela na taj način što omogućavaju da se delovi modela jednom nacrtaju, a zatim koriste gde god je to potrebno. Predloženi pristupi su zatim analizirani sa nekoliko aspekata.

Prvi pristup je zasnovan na Kangovoj notaciji i omogućava da se karakteristike proizvoda razdvoje i predstave na različitim nivoima apstrakcije. Budući da ovaj pristup prikazuje karakteristike na različitim nivoima apstrakcije, on je najdetaljniji. Zbog toga je malo složeniji za krajnjeg korisnika i zahteva malo veći stepen stručnosti.

Drugi pristupje zasnovan na proširenjima Černjeckog, koja omogućavaju da se jedan model podeli na više manjih zasebnih podmodela koji se mogu ponovo koristiti.Ovaj pristup je najmanje vizuelno složen i samim tim zahteva najmanji stepen stručnosti.S druge strane, ovim pristupom nije moguće jasno prikazati na kom nivou apstrakcije se nalazi neka karakteristika.

Treći pristup je takođe zasnovan na proširenjima Černjeckog vezanim za koncepte kardinalnosti karakteristika i njihovog instanciranja prilikom konkretizacije modela. Za razliku od prva dva pristupa, ovaj pristup je fundamentalno nov i zahteva promenu semantike modela. U ovom pristupu se uvodi „fiktivna“ karakteristika kao element koji će objediniti informacije o karakteristikama koje se opisuju, ali i o grupama karakteristikama koje su njima zajedničke. Ovaj pristup takođe zahteva i definisanje dodatnih ograničenja pomoću veza *requires* i *excludes*.Iako je složeniji od prethodnih pristupa, i zahteva najveći stepen stručnosti, njegova prednost se ogleda u tome što jasno prikazuje zahteve i ograničenja u pogledu karakteristika koje nisu hijerarhijski povezane.

Pristupi su analizirani i sa aspekta primenjivosti na različite domene.

Bez obzira na domen primene i stepen stručnosti, kao polaznu osnovu treba uzeti u razmatranje drugi pristup, jer sa jedne strane je veoma jednostavan za upotrebu, dok sa druge strane, uz malo veći stepen stručnosti, omogućava da se obuhvate prednosti koje obezbeđuju preostala dva pristupa.

Budući rad bi bio usmeren na istraživanje primene ovih pristupa u raznim domenima, a takođe bi se mogla razmotriti automatizacija analize modela karakteristika koji su rezultat primene predloženih pristupa.

5. LITERATURA

[1] Apel, S., Batory, D., Kästner, C., & Saake, G. (2013). *Feature-Oriented Software Product Lines.* New York: Springer Heidelberg.

[2] Benavides, D., Segura, S., & Ruiz-Cortes, A. (2010). Automated Analysis of Feature Models 20 Years Later: A Literature Review. *Information Systems*, 615-636.

[3] Czarnecki, K., & Helsen, S. (2005). Staged configuration through specialization and multilevel configuration of feature models. *Software Process Improvement and Practice* , 143-169.

[4] Kang, K. C., Kim, S., Lee, J., Kim, K., Shin, E., & Huh, M. (1998). FORM: A Feature-Oriented Reuse Method with Domain-Specific Reference Architectures. *Annals of Software Engineering*.

[5] Kang, K., Cohen, S., Hess, J., Novak, W., & Spencer Peterson, A. (1990). *Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) Feasibility Study.* Pittsburgh: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University.

[6] Pohl, K., Böckle, G., & van der Linden, F. J. (2005). *Software Product Line Engineering: Foundations, Principles, and Techniques.* Springer.

[7] van der Linden, F. J. (2007). *Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

RESEARCH AND DEVELOPMENT

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ON THE SELECTION OF SCIENTIFIC PROJECTS IN THE STRATEGIC RESEARCH INSTITUTE

NEBOJSA NIKOLIC[1]

[1] Strategic Research Institute, University of Defence, nebojsa.nikolic11@mod.gov.rs

Rezime: *Institut za strategijska istraživanja je deo Univerziteta odbrane i vojna ustanova namenjena za realizaciju multidisciplinarnih istraživanja za potrebe sistema odbrane u poljima društvenih i humanističkih nauka. Shodno tome, svi naučnoistraživački projekti u Institutu moraju imati svoje utemeljenje u jasno iskazanoj potrebi sistema odbrane, u prvom redu Ministarstva odbrane i Vojske Srbije. Time se obezbeđuje preliminarna relavantnost tema za istraživanje sa aspekta potreba sistema odbrane kao i svrsishodnost samih istraživanja i upotrebljivost rezultata do kojih se dođe. U pogledu postizanja kvaliteta naučnoistraživačkih rezultata, Institut prati opšteobavezne standarde naučnoistraživačkog rada u Republici Srbiji. U radu je dat širi kontekst procedura izbora projektnih tema i prikazana su pozitivna iskustva u realizaciji eksterno naručenih projekata pri čemu je demonstrirana mogućnost postizanja spektra kvalitetnih rezultata u relativno kratkom vremenu.*

Ključne reči: *Naučni projekti, selekcija, vojna organizacija, odbrana, istražiuvanje.*

Abstract*: Strategic Research Institute is a part of the University of Defence in Belgrade and an military organization which mission is to conduct multidisciplinary research needed by the military organization in the field of social and humanistic sciences. Consequently, all projects at the Institute have to have its foundation in a clearly declared need of the military organization, that is Ministry of Defence and the Serbian Army. In that way the relevance of the project is preliminary determined as an important issue for the military organization, as well as purposefulness and usefulness of research results. In regard of quality of research results, Institute follows general mandatory standards of scientific results which are at power in whole Republic of Serbia. The paper offers wider context of selection procedures for research topics, and presents some positive experience in realization of scientific projects which are externally required, while high quality scientific results were achieved.*

Keywords: *Scientific projects, selection, military, defence, research.*

1. INTRODUCTION

Strategic Research Institute (SRI, www.isi.mod.gov.rs) is a military research organization and part of the University of Defence in Belgrade (UoD). It is a small organization with less than twenty researchers, which is a very small part of the national research corps (Kutlaca 2018). Those are distributed across three constitutional sections as follows: Section for Security Studies, Section for Defence Studies and Section for Military History. Its mission is to conduct multidisciplinary research needed by the military organization in the field of social and humanistic sciences. The stakeholders and clients of the SRI, in the sense of scientific research, are Ministry of Defence (MoD) and the Serbian Army (SA), that is, all their departments, commands, units and agencies, as well as the UoD as the first superior.

Consequently, all projects at the Institute have to have its foundation in the clearly declared needs of the military organization. In that way, the relevance of the project is preliminary determined as an important issue for stakeholders and clients from the military organization, as well as purposefulness and usefulness of research results. Due to a small number of researchers, research capacity is relatively small, while on the other hand number of proposals from stakeholders and clients cold be even greater than the number researchers. Because of that, a smart approach is needed in a projects' selection proces, with taking into account priorities given by main stakeholders. Because of that, as welll as, there is a little room for liberal choice of topics according to the preferences of research personnel in the SRI.

Actuallly, that shoud not be a problem, conducting research on a required or given topic is just a bigger challenge and the research motivation could be even better, particularly because of knowledge that those research is needed by stakeholders and clients. Simply said, in this case there is a positive answer to the one of the most substantial questions: „Who needs that research project?".

In regard of a quality of research results, Institute follows general mandatory standards of scientific results which are at power in whole Republic of Serbia. The paper offers wider context of selection procedures for research topics, and presents some positive experience in realization of scientific projects which are externally required, while high quality scientific results were achieved

2. SHORT HISTORY OF THE SRI AND PUBLICATIONS AS PROJECTS' OUTPUTS

Historical development of the Strategic Research Institute could be presented through few phases, Table 1, while more details about it is presented in Nikolic (2014). The last organizational move (period 4. to period 5., Table 1) was downstairs along the organizational hierarchy. This "destiny path" of the SRI is very similar to the similar organizations in the Western Balkans (Cohen, 2005) in spite of the fact that this experience was a very known to the management of the SRI at the beginning of the fourth developmental phase in 2006 year. Better side of this change is fact that SRI enters a more natural environment of academic work and scientific standards at the University of Defense, and it is much easier now to realize scientific cooperation with experts outside of the SRI. Also, as a part of more visible organization (UoD), SRI got better opportunities to receive project's proposals and requirements from main stakeholders and clients form MoD and SA, and in that way fulfill its main mission.

Table 1. Historical development of the Strategic Research Institute (Nikolic, 2014).

	Period	Name	Organizational allocation	Program orientation
1.	1977-1984.	"Center for Strategic Studies"	In the General Staff of the Yugoslav People's Army	Much more dedicated to operational needs of the GS, than to a pure academic work.
2.	1984-1990.	"Institute for Strategic Research"	Became a part of the military education system (Center of Higher Military Schools)	Conduct research on national security strategy; armed combat; and military policies and strategies.
3.	1990-2006.	"Institute for Military Art"	Part of the military education system (Center of Higher Military Schools)	Conduct research on military strategy; operations art; military tactics; and combat information systems.
4.	2006-2017.	"Strategic Research Institute"	Part of the Defence Policy Sector of MoD	Conduct research on strategic assessments and security integration; defence studies; and military history.
5.	2017-2019.	"Strategic Research Institute"	Part of the University of Defence in Belgrade.	Conduct research on security studies; defence studies; and military history.

As main output from research projects in the SRI usually are considered printed publications in a form of books. According to general standards for quantification of scientific results in Serbia, it should correspond to the type: "scientific monograph" (which assumes at least five journal papers previously published on a given topics of the monograph). However, that crucial condition was not always satisfied and it was hard to find real scientific monograph among long list of books at the first accreditation of the SRI in 2014. For better illustration of former research projects, there is a list of publications which have arose from main projects in the period from 2006 to 2017 year, as follows (www.isi.mod.gov.rs/eng/arhiva/kat/73):

- Woman in Defence: From Past to Present
- Women in the Armed Forces
- Education of Female Cadets at Military Academy
- Women in the Security Sector: A Regional Perspective
- In Step with Time – MoD and Serbian Armed Forces on the Path of Gender Equality Objectification
- Defence from Cyberspace Threats
- Information Handbook on Defence System of the Republic of Serbia
- Proceedings: Security and Defence Aspects of the R. of Serbia's Accession to the European Union
- Proceedings:Serbia in Contemporary Geostrategic Surroundings
- Military Profession in Serbia: Review and Perspectives
- Proceedings: Civil Emergencies
- Emergencies: How to Manage Them?

- High School Graduates' Opinion on Military Profession
- The Role of Humanitarian Organizations during Emergencies
- The Automobile in the Serbian Armed Forces 1908-1918
- Balkan Pact 1953-54
- Europeanization of Serbian Armed Forces from 1878 to 1903
- Serbian Military Luminaries

3. MODELING THE VISION - STAKEHOLDERS FIRST – "WHO NEEDS THAT RESEARCH?"

Major client of the SRI is a military organization, or more precisely: departments of the MoD and the General Staff (GS) which are particularly interested in monitoring and analyzing ongoing conflicts, actual trends and events in international and regional politics, challenges in defence resources management, trends in development of military organization, and development of military education and research. Clearly, top management of the MoD and GS are clients which deserves the highest priorities.

It is important to note that those stakeholders have their own organizational dynamics and priority list. Stakeholders perform various activities and tasks, which differs a lot from those of the SRI. Simply, they are in other kind of business which is more operational and is not of scientific kind. Top management of the SRI is responsible for synchronization of different organizational dynamics of the two branches: scientific work and standards in the SRI, and operational work in MoD and the GS as stakeholders.

Figure 1 illustrates questions WHO should research, on WHAT topics, and HOW to conduct research. Which topic in which period will be chosen, wouldn't be random, nor according the personal preference of research staff, but in line with the current needs and interests of the military organization. This moment is very important because it obtains connections between science and practice in a best way: the "practice" should say what kind of research they need and the SRI should follow that external requirement. This moment possibly has wider importance as other researchers have stressed similar findings (Baaustrup, 2017).

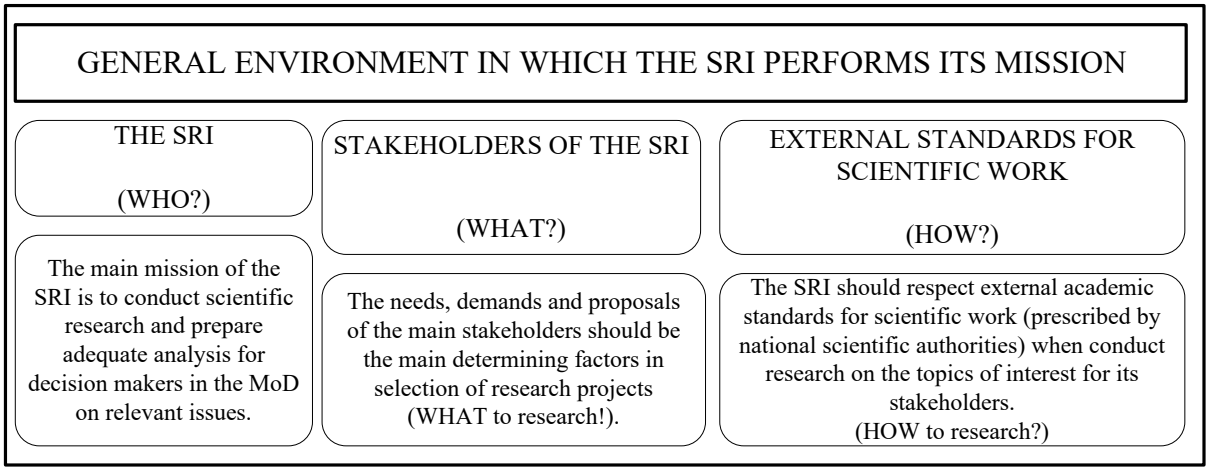


Figure 1. General environment for research by the Strategic Research Institute (Nikolic, 2019).

Research topics selection process in the SRI could be performed in several ways (because it actually works in those modes), Figure 2:

- Order given by Director of the SRI,
- Order given from higher management levels outside the SRI,
- Demand from other organizational entities,
- Proposal external (from entities outside of the SRI)
- Proposal internal (from researchers from the SRI)

Using the terms from wider literature, selection modes b, c and d (Figure 2) could be termed as "demand-oriented", while modes a and e (Figure 2), could be named as "ivory tower" approach.

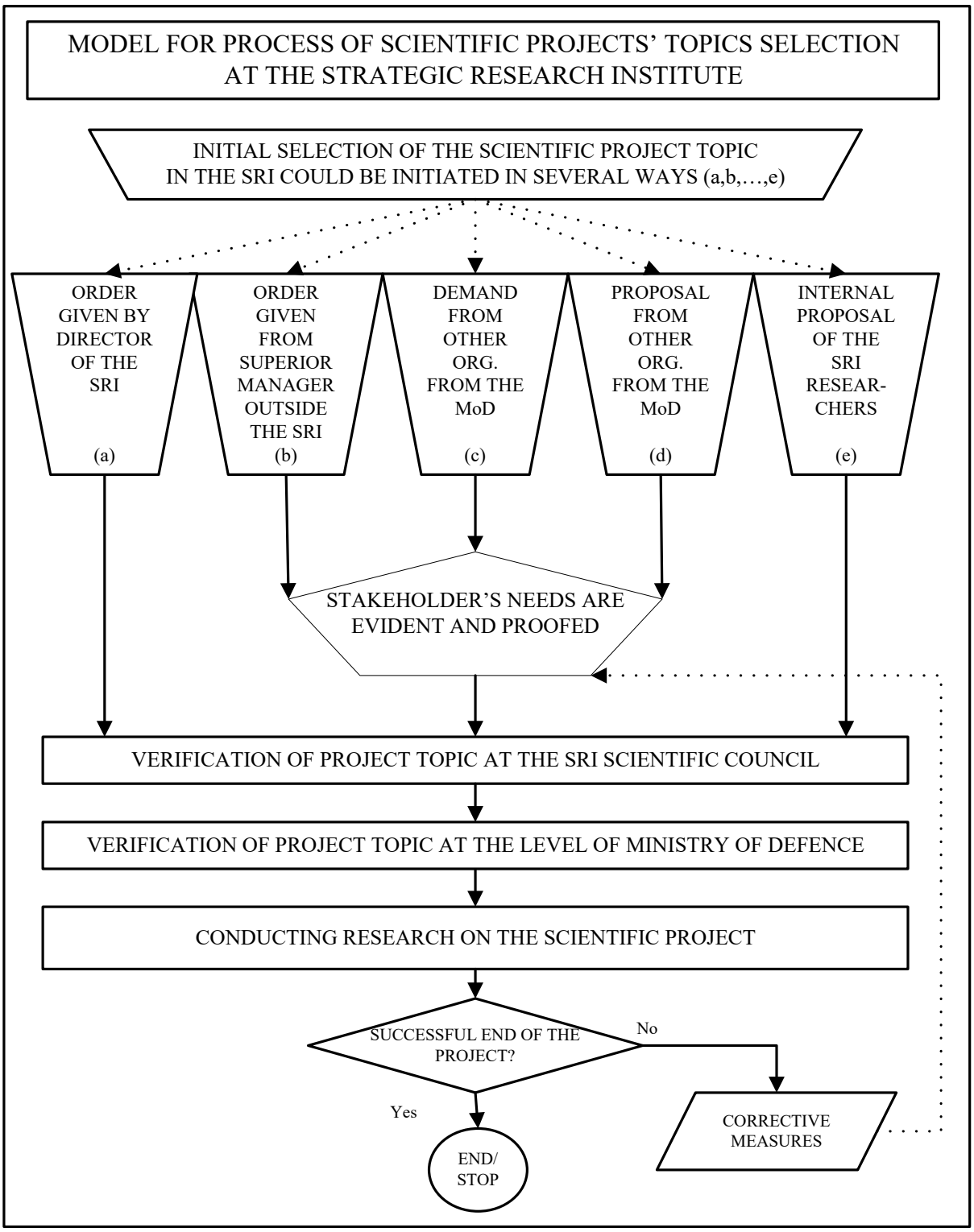


Figure 2. Proposal of the model for project selection process at the SRI (Nikolic, 2019).

The SRI should be viewed as a knowledge management system which obtains timely and relevant information in a required form and length, about topics given by, or of interest for, the stakeholders. The SRI (should) produce a relevant knowledge for its stakeholders in a scientific way which is a kind of a guarantee of a quality for the stakeholders. At the same time, scientific approach in processing a given tasks should be a modus operandi of the SRI and its sustainable existence as a scientific institute.

This constellation of stakeholders' demands and academic standards is not antagonistic one, as it is sometimes seen and even used as an excuse. The Defence studies section of the SRI has demonstrated through few past projects that it is possible to effectively connect those two aspects. Actually, experience from those projects initiated the idea for this paper and formulating proposal for reengineering the vision of the SRI engagement. Those projects are as follows:

- *Project title: Propensity to Serve in the Military Active Reserve*. Period of realization: 2014-2016. Purchaser (stakeholder who demanded research on a given topic): superior level of the SRI has issued an order for research (SRI, 2016).
- *Project title: Hybrid Warfare – Experiences and Perspective*. Period of realization: 2017-2019. Purchaser: few departments and agencies in MoD have expressed their need in regard to the phenomenon of hybrid warfare (SRI, 2018).

4. MODELING THE VISION - ADDITIONAL PROBLEMS TO SOLVE

We found results of Kim, Lee and Lim, (1999), as a very useful and applicable in our case in spite of space and time distance. It seems that general characteristics of public research and development (R&D) organizations which they found in Korea through an extensive empirical research are valid in general. Their findings, which we found as very applicable for us, are as follows (Kim, Lee and Lim, 1999): minimally customer-oriented research projects, unfocused research efforts, ambiguous research objectives, more externally oriented top managers' roles, unfair reward system, and less committed researchers.

They propose some measures for improvement which we found applicable in our case as well, and those are (Kim, Lee and Lim, 1999): develop visionary leadership; maintain a balanced research projects portfolio; clarify stakeholders' needs and expectations, then respect that; implement rigor and unbiased evaluation system; improve coordination among project teams; foster cooperative research activities with external environment; introduce researcher exchange program (at least at the level of the University of Defence in our case); build and sustain a merit-base reward system.

Also, we found as very useful similarities in approach to the focused questions given by Kim, Lee and Lim (1999): organizational goals and missions; performance evaluation criteria; project selection criteria; and research areas. Research output –products spectra through the lens of academic standards could be of different forms, scope, content and value as follows: short papers (review, analyses, concepts, etc); policy-oriented research; conference papers; journal papers; conference proceedings; scientific monographs; other forms.

One of the fundamental issues for the SRI but also for other research centers particularly in the public or state ownership is a problem of measuring performances of individual researchers, of projects' teams, and of the research center as a whole. The practical answer could be periodical monitoring of achieved results, analysis of failures and success, resolving barriers and stimulating productive researchers.

Being a part of the University, the SRI should exploit this relation and connect with research efforts at other parts of the University. Ideally, master and doctoral thesis, as well as promising bachelor's topics, should be incorporated into ongoing research projects. Knowledge of research staff of the SRI, along with University professors and combined with rich experience of military master and doctoral students can produce multidirectional synergetic effects for education, research and practice side as well.

Organizational issues in a given framework: number and structure of the research staff are very hard to change and this could be a problem when research on a given or ordered topic should be conducted in a limited time. The solution in such cases could be engagement of motivated and competent individuals from outside of the SRI. Experience with some recent projects (like the one about the hybrid warfare) confirms this possibility as an effective and realistic option.

In regard of the individual researchers' background, for the purpose of research in the SRI on the topics which are related to the military organization, our experience suggests that it is very welcomed that researchers have relevant professional experience from performing more duties in military units (real system). Precisely, for successful research work in the SRI, both sides of individual researcher capacities are needed: capabilities and willingness for scientific work, and relevant experience from professional military officers' duties. This phenomenon in the military academic branch (education and research) is well known (Last, 2004), but it is not easy to find individual researchers with such qualities and qualifications.

One of the most challenging problems still, is the methodological capability of researchers to adapt their research readiness towards the new research topics (like those preferred by stakeholders) and to produce scientific results of higher quality in a shorter time than it used to be in the past.

5. CONCLUSION

Long term organizational dynamics of the Strategic Research Institute and all its predecessors were influenced by general organizational dynamics of the Ministry of Defence as a whole due to periodical internal organizational changes. Thematic orientation of scientific research has been depended on the preferences of the top management of the Institute, and in a lower extent to the preferences of the top

management of the MoD. This trend has started to change few years ago and the stakeholders' needs got better treatment.

In order to sustain its existence and fulfil its main mission the SRI have to reorient its research towards the topics of interest for main stakeholders of the MoD and the military organization.

In order to place itself as a relevant research organization the SRI should appraise the quality of its work.

In order to achieve this goals the SRI have to change itself first.

Acknowledgement

The work is partially supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia under Interdisciplinary Project No.III-47029, named: "Cost Effective Selection of New Technologies and Concepts of Defence Through Social Reforms and Strategic Orientations of Serbia in 21st Century".

REFERENCES

[1] Baaustrup, P.M., (2017). "Military Reality and Military Research – the Difficult Connection Seen from a Danish Perspective", Proceedings, Conference on Military Sciences, ISMS-2017, Norwegian Defence University, Oslo, (http://www.isofms.org/pagina/isms-conference-2017.html).

[2] Cohen, R. (2005). *Informing Decision: Strategic research in the Serbia and Montenegro*, Ministry of Defence and Jefferson Institute Belgrade office, (https://www.jeffersoninst.org/publications).

[3] Kim, Y., Lee, B., Lim, Y., (1999). "A comparative study of managerial features between public and private R&D organizations in Korea: managerial and policy implications for public R&D organizations", *Int. J. Technology Management,* Vol.17 No.3, 281-311.

[4] Kutlača, Đ., Semenčenko, D. (2018). Tiha tranzicija – strukturne promene naučnoistraživačkog sistema u Srbiji. Proceedings XLV Symposium on Operational Research, Zlatibor, 16-18 Septembar 2018, 95-100.

[5] Last, D. (2004), "Military Degrees: How High is the Bar and Where's the Beef", *Canadian Military Journal*, Summer 2004, Vol.5 No.2, pp. 29-36.

[6] Nikolic, N. (2014). Strategic shifts in strategic research – short review of organizational and program changes. Proceedings, XIV International Symposium SymOrg-2014, Faculty of Organizational science, University of Belgrade, June 06-10, 2014, Zlatibor, Serbia, pp. 1548-1552

[7] Nikolic, N. (2019). Unpublished papers from the project entitled: Long-term trends of needs and possibilities for cadre education at military institutions for higher education. Strategic Research Institute, University of Defence in Belgrade.

[8] Strategic Research Institute. (2016). Project: Propensity to Serve in Military Active Reserve. (http://www.isi.mod.gov.rs/eng/289/zainteresovanost-za-sluzbu-u-aktivnoj-rezervi).

[9] Strategic Research Institute. (2018) Project: Hybrid Warfare – Experiences and Perspectives. (http://www.isi.mod.gov.rs/eng/36/hibridno-ratovanje-iskustva-i-perspektive-aktuelan-36).

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

TRENDS OF BUSINESS ENTERPRISE EXPENDITURE ON R&D BEFORE AND AFTER GLOBAL ECONOMIC CRISIS: EVIDENCE FROM SELECTED SEE COUNTRIES

NIKOLA VASILIĆ[1], ĐURO KUTLAČA[2], DIJANA ŠTRBAC[3]

[1] Institute Mihajlo Pupin, University of Belgrade, nikola.vasilic@pupin.rs
[2] Institute Mihajlo Pupin, University of Belgrade, djuro.kutlaca@pupin.rs
[3] Institute Mihajlo Pupin, University of Belgrade, dijana.strbac@pupin.rs

Abstract: *The latest economic crisis in 2008, with a source on the mortgage market of the USA, spilled, to a lesser or greater extent, over all European and non-European economies. One of the significant features of this crisis is reflected in the raising bank loans and tightening lending terms. State budget deficit in the conditions of the crisis imposes the need for fiscal consolidation, thus reducing the capacity of the state to provide financial support to the business sector. In this regard, these developments may have an adverse effect on the level of R&D expenditure of the business sector, which in turn leads to a decrease in quality or a complete suspension of R&D activities. Nevertheless, innovative companies willing to take the risk, as well as governments that have set the increase of expenditures on R&D as a strategic goal of their economic policies, can be taken as an explanation for unchanged or increased R&D expenditure in the time of crisis. Empirical research was conducted for the period 2004–2012 on a sample of 10 South-Eastern European (SEE) countries. The results of the survey show that the business sector had higher spending on R&D activities after the economic crisis, at the SEE region-level. At the country level, business sector in Austria, Bulgaria, Greece, Hungary, Serbia and Slovenia had higher R&D expenditures after 2008, while in Croatia, Romania, Slovakia and North Macedonia, there was no significant difference in the level of R&D expenditures before and after the crisis.*

Key words: *Business enterprise Expenditure on R&D, R&D intensity, global economic crisis, SEE.*

1. INTRODUCTION

According to the Frascati Manual, research and experimental development (R&D) includes "creative and systematic work undertaken in order to increase the stock of knowledge – including knowledge of humankind, culture and society – and to devise new applications of available knowledge." There are three types of R&D: basic research, applied research and experimental development. Basic research is experimental or theoretical work undertaken to acquire new knowledge of the underlying foundations of phenomena and observable facts, without any particular application or use in view. Applied research is original investigation conducted in order to acquire new knowledge. It is, however, directed primarily towards a specific, practical aim or objective. Experimental development is systematic work, drawing on knowledge gained from research and practical experience and producing additional knowledge, which is directed towards producing new products or processes or towards improving existing products or processes (Frascati Manual, 2015).

From the economic point of view, R&D is a complex process composed of a series of activities aimed at creating a new, or modifying an existing product/service, with the aim of generating greater value added and ensuring sustainable economic welfare. In order to transfer R&D activities into some form of technological innovation, which will influence the improvement of all aspects of business, it is necessary that the dynamics of R&D activities is stable and immune to all disorders of internal and external character. In practice, this means that any adjustments to R&D activities, even if they have a short-term character, caused by certain economic or other disruptions, can jeopardize further expansion of the existing knowledge base (Borisova & Brown, 2013), but also reduce the positive effects on business performance in the long run. Additionally, disturbing the dynamics and flow of R&D activities will diminish the positive externalities of R&D and knowledge transfer, which further negatively affects the entire society.

In order to ensure the continuity and stability of R&D activities, one of the necessary prerequisites is the absence of a cyclical movement of R&D expenditures. This is a big challenge, especially for the private sector in developing countries (such as Serbia), which is relatively new and not competitive enough to possess the financial capacity sufficient not only for stable development, but also for initiating R&D

activities. In addition, the economic crisis further complicates the issue of business R&D expenditures on R&D. The main reason for that is that enterprises, as one of the mechanisms of reaction to the crisis conditions, apply a cost reduction strategy, including R&D expenditures.

Experiences from the past crises show that R&D expenditures had mainly pro-cyclical character (Sainsbury, 2007), that is, they converged with the level of output achieved. In contrast, there are also some attitudes in the literature that emphasize the anti-cyclical movement of R&D expenditures. These views are based on the fact that the decline in profitability in the time of the economic crisis puts a strong pressure on companies to focus their attention on the most productive activities. Canton & Uhlig (1999) state that opportunity costs of productivity growth are lower in the recession periods, which represents some sort of incentive to continue with higher spending on R&D in order to complete planned R&D activities, but also to start with new activities. Taking into account the general thesis that long-term investments should be counter-cyclical, and short-term pro-cyclical, providing R&D funds, even from bank loans, should not be a serious issue for firms. Nevertheless, the latest global economic crisis in 2008 with the epicenter in the US mortgage market has reflected on the raising of credit, hindering access to credit not only for SMEs, but also for larger companies. In addition, the need to harmonize public expenditures and public revenues in times of crisis reduces the capacity of the state in providing financial support to the private sector. On the basis of this, it could be concluded that the economic crisis increases the likelihood of withdrawal from the investment or, in turn, the reduction in the amount of funds that the companies, and thus the business sector as a whole, direct to R&D activities.

Expenditures on R&D, and in general, the success of business operations in times of crisis cannot be generalized, but should be considered in the context of characteristics inherent to each company and country.

Companies that were not successful, innovation-oriented and ready to take the risks before the crisis, will achieve even worse results during and after the crisis, until they completely disappear from the market. In contrast, dynamic and innovative companies, with large investments in R&D activities, especially those with a higher risk, will be expanding regardless of the economic crisis. Examples from the practice show that some of these companies managed to adapt and benefit during the conomic crisis. For example, a significant drop in passenger traffic in air travel was one of the consequences of the crisis in the 1990s. Some airlines have recognized this as a chance, and introduced low-cost airline flights, while others, due to poor adaptation and lack of innovation, have disappeared from the air traffic scene.

Taking into account the importance of R&D and innovation for the progress of enterprises and the economy as a whole, maintaining a stable level of R&D expenditures should be one of the strategic objectives of economic policy. Despite the numerous problems and difficulties that the state faces during and after the period of the economic crisis, part of the funds should be allocated to the financial support of the business sector in order to maintain the quality of R&D activities and ensure their successful completion, but also to initiate new ones.

The subject of the research in this paper is an analysis of the movement of expenditures for research and development of the business sector in the period before and after the global economic crisis in 2008, on the example of the selected SEE countries. The survey aims to determine whether the crisis has changed the trajectory of the business sector in the context of R&D expenditures, or whether stable or increased R&D expenditures have been used as a way to survive during and after the economic crisis. The empirical research covered the period from 2004 to 2012, with two separate intervals observed: the first interval before the crisis from 2004 to 2008, and the second interval after the crisis from 2008 to 2012.

2. RESEARCH METHODOLOGY

The aim of this paper is to examine the validity of the following hypotheses:

H_1: At the SEE region-level, R&D expenditure is higher after the economic crisis, compared to the level before the economic crisis.

H_2: At country-level, R&D expenditure is higher after the economic crisis, compared to the level before the economic crisis.

In order to test these hypotheses, an internationally accepted indicator developed by the OECD in the Frascati Manual was used: Business enterprise Expenditure on R&D (BERD). This indicator represents a component of Gross domestic expenditure on R&D (*GERD*) and includes the expenditure of the business sector for R&D (OECD Frascati Manual, 2015).

In order to make possible international comparisons, the ratio between the BERD indicator and the gross domestic product (GDP) was applied. The BERD variable (% GDP) indicates the intensity of the business sector expenditure for R&D and it is determined by the following formula: (BERD/GDP)*100 (Frascati Manual, 2015).

Empirical research covers the period from 2004 to 2012. In order to test the research hypotheses, this period is divided into two intervals: the first interval from 2004 to 2008, indicates the period before the crisis, and the second interval from 2008 to 2012, marks the period after the economic crisis.

The sample includes 10 out of the 14 countries that belong to the SEE region: Austria, Bulgaria, Croatia, Greece, Hungary, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia and North Macedonia. The remaining countries are not included in the sample, as data on the amount of funds allocated by their business sectors to R&D are not available for all the years in the period that this study is dealing with. The basic characteristics of the sample are shown in Table 1.

The empirical part of the paper is based on UNESCO's secondary data, available in the *UNESCO Institute for Statistics*, in the *Science, Technology and Innovation* section. The complete processing of available data was realized using IBM SPSS v.23 and MS Excel.

The hypotheses were verified using the Wilcoxon rank test, nonparametric alternative to the t test of the paired samples. The Wilcoxon rank test is used for repeated measurements of the same variables in two different time periods, which is in line with the objectives of this paper. In the case of testing the first hypothesis, the decision on the application of the non-parametric test was made on the basis of the normality tests Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk (Table 2). In the second case, when examining R&D expenditures of the business sector at the country-level before and after the economic crisis (Table 3), the normality tests do not provide useful information due to a rather small sample ($n_{before} = 5$ and $n_{after} = 5$). The decision to use nonparametric alternative to the t test of paired samples in this part of the study was made on the basis of the sample size rule, starting from the assumption that small samples are characterized by non normal distribution (Imam, Usman & Chiawa, 2014), as well as on histograms and Q-Q plot. In addition, the Exact significance test (IBM Knowledge Center) was used as an indicator of the significance level of the results obtained, compared to the Asymptotic significance test, which is more suitable for larger samples.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 shows the arithmetic mean, standard deviation, median, minimum and maximum values for BERD (%GDP) at the country-level and SEE region-level, before and after economic crisis. These results will be used below to analyze the differences in the level of R&D expenditures before and after the crisis.

Table 1: BERD (%GDP) in SEE on a regional and country level before (2004-2008) and after (2008-2012) the economic crisis.

	Time	Mean	Std. dev.	Median	Min	Max
Austria	*Before*	1.6560	0.11502	1.66	1.47	1.78
	After	1.8620	0.11300	1.84	1.77	2.05
Bulgaria	*Before*	0.1180	0.01643	0.11	0.10	0.14
	After	0.2440	0.09762	0.28	0.14	0.37
Croatia	*Before*	0.3520	0.06181	0.35	0.27	0.43
	After	0.3480	0.02387	0.34	0.33	0.39
Greece	*Before*	0.1780	0.01924	0.17	0.16	0.21
	After	0.2320	0.01304	0.24	0.21	0.24
Hungary	*Before*	0.4440	0.06804	0.47	0.35	0.52
	After	0.6840	0.11459	0.68	0.52	0.83
Romania	*Before*	0.2020	0.01924	0.21	0.17	0.22
	After	0.18	0.00707	0.18	0.17	0.19
Serbia	*Before*	0.0460	0.01817	0.05	0.02	0.07
	After	0.1160	0.06693	0.09	0.07	0.23
Slovakia	*Before*	0.2180	0.03114	0.21	0.18	0.25
	After	0.2460	0.05595	0.25	0.19	0.33
Slovenia	*Before*	0.9140	0.08620	0.92	0.83	1.05
	After	1.4720	0.38861	1.40	1.05	1.95
North Macedonia	*Before*	0.0320	0.01924	0.03	0.01	0.06
	After	0.0420	0.01095	0.04	0.03	0.06
SEE-10	*Before*	0.4160	0.48768	0.21	0.01	1.78
	After	0.5426	0.61080	0.26	0.03	2.05

Source: Calculated by the authors.

Table 2 presents the results of the Wilcoxon rank test for the SEE region. The results show that, generally speaking, there is a statistically significant difference between the level of BERD (% GDP) at the SEE region level before and after the crisis (Z=-4.838; Sig=0.000). According to Cohen's guidelines for the effect size (r): *large effect*=0.5 or greater; *medium effect*=between 0.3 and 0.5; *small effect*=between 0.1 and 0.3; in this case there is a large effect with r=0.48. From Table 1, it can be concluded that after the crisis, the business sector at the level of the SEE region had an average of 0.13 percentage points greater expenditures on R&D compared to the period before the economic crisis. Standard deviation is higher after the crisis, which points to greater imbalance in terms of funds, which the business sector at the level of SEE region was spending on R&D annually after the economic crisis.

Table 2: BERD (%GDP) in SEE region – before and after crisis.

	Z	**r**	**Asymp. Sig.**	**Kolmog.-Smirn. Stat(p)**	**Shapiro-Wilk Stat(p)**
SEE - 10	-4.838	0.48	0.000***	0.238 (0.000)	0.730 (0.000)
				0.299 (0.000)	0.730 (0.000)

***Result is significant at the level of 1%.
Source: Calculated by the authors.

The differences in the BERD level (% of GDP) before and after the economic crisis, at country-level, are shown in Table 3. At the significance level of 10%, it is found that there is a statistically significant difference in expenditures on R&D of business sector in the following countries: Austria, Bulgaria, Greece, Hungary, Serbia, Slovenia. On the other hand, there is no statistically significant difference in Croatia, Romania, Slovakia, and North Macedonia. The results by countries are analyzed in the following paragraphs.

Austria. There is a statistically significant (at the level of 10%) and a large difference in the level of BERD before and after the crisis (Z=-2.023; exact sig.=0.063; r=0.64). In the period after the economic crisis, the R&D expenditure of the business sector increased to an average of 1.86% GDP, which is 0.21 percentage points more than in the period 2004-2008. The amount of BERD was more balanced in the post-crisis period (std.dev = 0.11300).

Bulgaria. There is a statistically significant (at the level of 10%) and a large difference in the level of BERD (% GDP) before and after the crisis (Z=-2.023; exact sig.=0.063; r=0.64). Compared to average BERD, which before the crisis amounted to 0.12% GDP, after the crisis, the business sector significantly increased R&D expenditures to 0.24% GDP. In the case of Bulgaria, there was a higher variation in the level of BERD in the years after the economic crisis (std. dev. = 0.09762).

Croatia. The difference in the amount of BERD (%GDP) is insignificant and quite small in the period before (2004 – 2008) and after the economic crisis (2008 – 2012). (Z=-0.135; r=0.04; exact sig.=1.000). In the post-crisis period, BERD (%GDP) was on average less than only 0.004 percentage points compared to the pre-crisis period. Higher unevenness in the level of R&D expenditures is present in years before the economic crisis (std.dev.=0.06181).

Greece. BERD (% GDP) significantly differs (at the level of 10%) before and after the economic crisis (Z=-2.041; r=0.65; exact sig.=0.063). BERD (% GDP) has increased from an average of 0.18% GDP before the crisis, to 0.23% GDP after the economic crisis. In addition, the variability in the amount of R&D expenditures is somewhat smaller in the years after the economic crisis (std.dev. = 0.01304), unlike the pre-crisis period (std.dev. = 0.01924).

Hungary. There is a significant, at the level of 10%, and a large difference in the level of BERD (% GDP) before and after the economic crisis (Z=-2.023; r=0.64; exact sig.=0.063). From the average value of 0.44% GDP in the period 2004-2008, BERD increased by 0.24 percentage points in the period 2008-2012 and amounted to 0.68% GDP. After the crisis, there were more pronounced variations (std.dev. = 0.11459) annualy in the level of BERD compared to the pre-crisis period (std.dev. = 0.06804).

Romania. The difference between BERD (% GDP) before and after the crisis cannot be characterized as significant (Z=-1.633; r=0.52; exact sig.=0.188). On average, after the crisis, the business sector had only 0.02 percentage points lower R&D expenditures compared to the period before crisis. There is also considerable stability in the level of R&D expenditures before (std.dev = 0.01924) and after the crisis (std.dev = 0.00707).

Serbia. Expenditures on R&D of the business sector differ, at the significance level of 10%, before and after the crisis (Z = -2.023; r = 0.64; exact sig. = 0.063). After the crisis, BERD was 0.12% of GDP, on average, and before the crisis 0.05% of GDP. In the post-crisis period, there is a somewhat higher variation at the level of BERD (std.dev. = 0.06693), unlike the period 2004-2008 (std.dev. = 0.01817).

Slovakia. There is no statistically significant difference in the level of BERD before and after the economic crisis (Z=-0.813; r=0.26; exact sig.=0.500). Before the crisis, BERD amounted to an average of 0.22% GDP, and in the post-crisis period, 0.25% GDP. Business sector R&D expenditures were relatively stable, i.e. they wasn't a significant fluctuation over the entire period (std.dev.bef = 0.03114; std.dev.aft = 0.05595).

Slovenia. There is a significant, at the level of 10%, and large difference in the level of BERD before and after the crisis (Z=-2.023; r=0.64; exact sig.=0.063). R&D expenditures of the business sector increased by an average of 0.56 percentage points compared to the pre-crisis period, with significantly higher variability in the level of assets that the business sector spending for R&D (std.dev.=0.38861).

North Macedonia. There is a random, moderate, but insignificant difference in the level of BERD before and after the crisis (Z = -0.736; r = 0.23; exact sig. = 0.625). After the crisis, the BERD increased, but only 0.01 percentage points. After the economic crisis, expenditure on R&D was less variable (std.dev = 0.01095), although it is characterized by the entire period 2004-2012 (std.dev.bef = 0.01924).

Table 3: Country-level difference in BERD (%GDP) before and after crisis.

	Z	r	Asymp. Sig.	Exact Sig.
Austria	-2.023	0.64	0.043	0.063*
Bulgaria	-2.023	0.64	0.043	0.063*
Croatia	-0.135	0.04	0.893	1.000
Greece	-2.041	0.65	0.041	0.063*
Hungary	-2.023	0.64	0.043	0.063*
Romania	-1.633	0.52	0.102	0.188
Serbia	-2.023	0.64	0.043	0.063*
Slovakia	-0.813	0.26	0.416	0.500
Slovenia	-2.023	0.64	0.043	0.063*
North Macedonia	-0.736	0.23	0.461	0.625

*Results are significant at the level of 10%.
Source: Calculated by the authors.

4. CONCLUSION

The survey showed that there were significant differences in business sector R&D expenditures at the SEE region level, before and after the economic crisis. The business sector, observed at the SEE region level, increased post-crisis BERD (% GDP) by 0.13 percentage points. Accordingly, the first hypothesis (H_1) can be confirmed. However, when the survey was conducted at the country-level, different trends of BERD (% GDP) were observed from country to country. Austria, Bulgaria, Greece, Hungary, Serbia and Slovenia are countries with significant differences (at the level of 10%) in R&D expenditures of the business sector before the crisis (2004-2008) and in the years after the economic crisis (2008-2012). The results show that R&D expenditures of the business sector of the aforementioned countries were higher after the economic crisis compared to the years before the crisis. By contrast, the business sector in Croatia, Romania, Slovakia, and North Macedonia is characterized by insignificant differences in the level of R&D expenditures before and after the crisis. In Croatia and Romania, after the crisis, BERD decreased by only 0.004, or by 0.02 percentage points, respectively. The business sector in Slovakia and North Macedonia had a slightly higher level of R&D expenditures in the years after the crisis. After the crisis, in Slovakia BERD (% GDP) was higher by 0.03, and in Croatia only by 0.01 percentage points. The obtained results imply that the hypothesis H_2 can only be partially accepted.

The reasons for such results can be found in the analysis of the motives of business entities for investing in R&D in the conditions of the economic crisis. Namely, innovative enterprises and supporting government sector in certain countries such as Austria, Bulgaria, and Slovenia have contributed to the growth of BERD.

Despite a stable level of R&D business sector expenditures, in transition economies (North Macedonia and Serbia), there is an extremely low level of BERD. This is certainly a signal for economic policy makers to include incentives for improving business investment in R&D in the set of economic measures. Moreover, there is a need to increase the level and efficiency of business expenditures on R&D that can be applied in

the manufacturing industry which is considered as a main driver of economic development and structural changes (Štrbac, 2018).

Despite the significant results achieved by this research, there are certain limitations. The size of the sample in which the differences in BERD were analyzed before and after the crisis at the country level is rather small, which puts in doubt the reliability of the results obtained. The disadvantage is also reflected in the fact that only the movement of BERD is considered. In the next research, the analysis should be completed with other components of GERD, and GERD as a whole. In addition, certain dependent variables at the company level, but also at country level, should be included, which, with the application of an adequate quantitative methodology, would provide a more complete picture of the relations between the trends in R&D and the selected performance indicators in times of crisis. In this way, a more thorough conclusion could be drawn about the importance of stable growth of R&D expenditures for survival, but also prosperity, both in crisis and regular conditions.

ACKNOWLEDGEMENT

Research presented in this paper was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, under the project "Research and Development of the Platform for Science Based Management of the Scientific and Technological Development of the Republic of Serbia", reg. no. III 47005.

REFERENCES

[1] Borisova, G., & Brown, J. R. (2013). R&D Sensitivity to Asset Sale Proceeds: New Evidence on Financing Constraints and Intangible Investment. *Journal of Banking & Finance,* 37, 159–173.

[2] Canton, E., Uhlig, H. (1999). Growth and the cycle: Creative destruction versus entrenchment. *Journal of Economics*, 69(3), 239-266.

[3] Coolican, H. (2009). Research Methods and Statistics in Psychology. London: Hodder.

[4] Sainsbury, L. (2007).The race to the Top: A review of the government's science and innovation policies. London: HM Treasury.

[5] IBM Knowledge Center, retreived from: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSLVMB_23.0.0/spss/base/idh_exact.html#idh_exact

[6] Imam, A., Usman, M., & Chiawa, M.A. (2014). On Consistency and Limitation of paired t-test, Sign and Wilcoxon Sign Rank Test. *IOSR Journal of Mathematics,* 10(1), 01-06.

[7] OECD (2015). Frascati Manual: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development.

[8] Štrbac, D. (2018). The impact of structural and technological changes on economic development of the Republic of Serbia. Doctoral dissertation, Faculty of Economics, University of Kragujevac.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.
UNIVERZITET U BEOGRADU FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

R&D EXPENDITURES: COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN SERBIA AND SELECTED COUNTRIES

ĐURO KUTLAČA[1], NIKOLA VASILIĆ[2], LAZAR ŽIVKOVIĆ[3]

[1] Institute Mihajlo Pupin, University of Belgrade, djuro.kutlaca@pupin.rs
[2] Institute Mihajlo Pupin, University of Belgrade, nikola.vasilic@pupin.rs
[3] Institute Mihajlo Pupin, University of Belgrade, lazar.zivkovic@pupin.rs

Abstract: *R&D expenditures are one of the key indicators of the success in innovation process. Successful transformation of R&D expenditures into some form of technological innovation creates a stable basis for sustainable profitability and competitive advantages of the company, which have a positive impact on the growth of the entire economy. Due to the role of R&D expenditures in achieving success at the country and firm level, the subject of research in this paper is a comparative analysis of R&D expenditures between Serbia and selected countries. The aim is to examine the situation in Serbian R&D area in the context of R&D expenditures, in comparison with, first of all, the countries from the environments of the Serbia, which are the EU members. The survey coveres the period 2008 – 2016. Results show that Serbia has a significantly higher GERD (%GDP) than all countries, except Slovenia and Hungary, while Croatia has insignificantly higher GERD then Serbia. All countries from the Serbian environment that are members of the EU have significantly higher BERD (%GDP) than Serbia, except Romania, which has insignificantly higher BERD than Serbia.*

Key words: *Research and Development, Gross expenditures on R&D, Busniess enterprise expenditures on R&D, Comparative analysis, Serbia, Bulgaria, Croatia, Hungary, Romania, Slovenia, North Macedonia.*

1. INTRODUCTION

In a difficult and lengthy development process of the Western Balkan countries, Serbia being one of them, little attention has been given to issues regarding R&D and innovations. The economic policy makers of these countries have been prioritising those usually unnecessary or the nuances of national economy specificities unadjustable to reform measures.

The marginalization of R&D in the transition period has had a negative impact on research capacities and the connection between science and economy, which has been severed completely.

In order for Serbia and other Western Balkan countries to achieve their main goal, which is to become a full member of the EU, they need to adjust their policy and the entire system to the EU standards. According to the new 2020 HORIZON program for 2014-2020, the strengthening of R&D and the innovation capabilities of Western Balkan countries is an important requirement for their enablement to abide and function in accordance with the EU standards and to take part in the European Research Area (WBR R&D Strategy), which could contribute to a re-update of issues regarding R&D and innovations in this part of Europe. One of the ways to revitalise and strengthen R&D capacity is to steadily and continously invest in R&D. It has been forseen by the EU Lisbon strategy in the year 2000, later on by The Europe 2020 Strategy, that the EU countries should increase expenditures for R&D by 2010, i.e. 2020, to 3% GDP, and 2/3, i.e. 2% GDP should be expenditures by the business sector.

It is important that each country and business sector recognise the importance of R&D independently from the EU requests for higher expenditures for R&D, as well as not to perceive those expenditures as expenses, but more of an investment which would secure a higher profit and a competitive advantage.

Various research have proven that higher expenditures for the R&D have positive implications on the country-level and firm-level.

A study conducted in 1979 has proven that R&D explain 75% of variances in the growth rate of factor productivity at country-level (Griliches, 1979). The expenditures for R&D which have resulted in technological innovations, be it by advancing the features of the existing product/process or launching a completely new product, it would have a positive reflection on profitability and the company's competitive advantage, not only in national, but also international framework (Lefebre et al, 1998). The competitiveness of a country in the world market will grow, which will obtain a higher inflow of foreign currency and with

that it will contribute to the balance of payments. Since export is one of GDP components, it can be said that the higher expenditures for R&D stimulate the economic growth of a country. In the last instance, those investments in R&D that have been successfully transformed in a form of technological innovation, primarily the launch of a new product, will generate new, better paid jobs for highly qualified workers (Harrison et al, 2008).

Increased investments in R&D on company level are key for strengthening the absorptive capacity of the entire country, i.e. the capabilities of a more efficient adaptation and applying foreign technology, as well as make a profit from spillover effects of FDI (WBR R&D Strategy; Bednyagin & Gnansounou, 2012).

Therefore, the increase of business, government and higher education sector investments in R&D will create positive spillover efects which will benefit the entire country.

Still, in literature, an existence of a pronounced gap in expenditures for R&D between developed and developing countries is emphasized, as well as between business and public sector expenditures. For example, periphery EU countries give less attention to the activities of R&D as opposed to leading EU countries, one of the reasons given is a low degree of technological capacity, as well as that the number of larger companies interested and ready to invest a significant amount of money in R&D is low (Osorio & Rodriguez-Pose, 2004). As opposed to Serbia and the majority of developing countries in which GERD prevails over HERD and GOVERD, in developed countries, R&D activites have been dominantly supported by the private sector. Besides that, a high risk and a prolonged period of profitability of R&D are just some of the reasons why there were lower investments made by the business sector, especially in countries such as Serbia, in which 99,99% of companies in the non-financial sector make up SME, which are usually uninterested for the implementation of R&D activities, not only due to ignorance and lack of information, but also due to poor financial capability. For that reason, having in mind the use of intensifying R&D activity, countries have undertaken appropriate measures for the stimulation of companies, so that they would target more of their funds towards R&D. For example, Serbia has forseen certain incentives in the field of fiscal policy, such as: tax credits, a break for corporate revenue, grants, tax exemption etc.

Due to all of the abovementioned advantages which companies and countries could have from the increase of R&D expenditures, the subject of this paper is the comparative analysis of R&D expenditures between Serbia, as well as North Macedonia, a representative of the Western Balkans, and selected EU countries from its surroundings: Bulgaria, Croatia, Hungary, Romania, Slovenia. The aim of this research is to first identify the total expenditures and the expenditures of the business sector for R&D and second, to compare the results with the surrounding EU members in order to confirm where Serbia stands in the field of R&D as a candidate country.

2. RESEARCH METHODOLOGY

The subject of research in this paper is a comparative analysis of R&D expenditures between Serbia and selected countries. Based on a subject of a research paper, it is possible to distinguish two key objectives:

- Identifying potential differences in GERD (%GDP) between Serbia and selected countries and
- Identifying potential differences in BERD (%GDP) between Serbia and selected countries.

The measurement of GERD and BERD is based on the Frascati methodology for collecting data on R&D. The first version of the manual was created in 1963 in Frascati (Italy) by experts in R&D area from different countries. Frascati manual defines R&D as *"…creative and systematic work undertaken in order to increase the stock of knowledge – including knowledge of humankind, culture, society – and to devise new applications of available knowledge"* (OECD – Frascati manual 2015).

According to Frascati manual *"GERD is constructed by summing the intramural R&D expenditures totals for the four main sectors: Business enterprise, Government, Higher education, and Non-Profit"* and *"BERD represents the component of GERD incurred by units belonging to the Business enterprise sector. It is the measure of intramural R&D expenditures within the Business enterprise sector during a specific reference period"* (OECD – Frascati manual 2015). Prethodna istraživanja iz ove oblasti retko su se zasnivala na upotrebi apsolutnih vrednosti R&D expenditures,

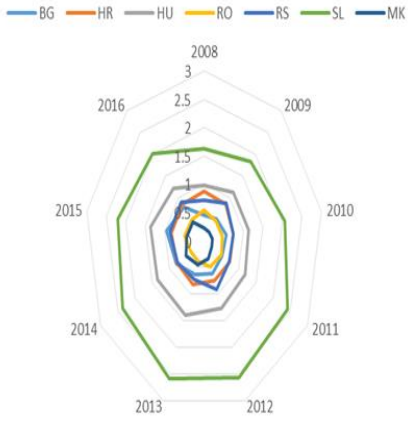
In this paper, GERD and BERD are measured as the GERD/GDP ratio and BERD/GDP ratio, which are then multiplied by 100, in order to determine the level of GERD and BERD compared to the level of GDP.

In addition to Serbia, the sample includes six other countries from its surroundings: Bulgaria, Croatia, Hungary, Romania, Slovenia, and North Macedonia. The original idea was to include all the countries of the Western Balkans, but this was not done due to poor reporting on R&D expenditure, which resulted in a lack of reliable data. Empirical research covers the period 2008 – 2016. Data on R&D expenditures are collected from the *UNESCO Institute for Statistics* website as a relevant and reliable source of secondary data.

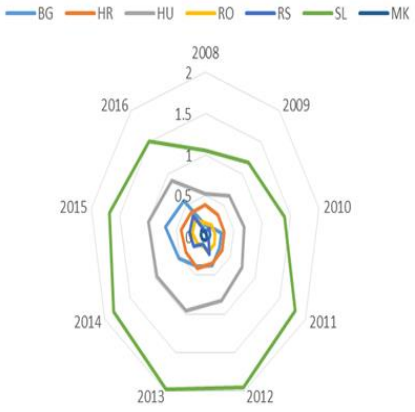
The sample is shown below in Table 1 and Spider graphs 1-2.

Table 1: Characteristics of the sample (2008 – 2016.)

GERD (%GDP)					
	Mean	**Std.dev.**	**Median**	**Min**	**Max**
Bulgaria	0.6478	0.16664	0.61	0.45	0.96
Croatia	0.8044	0.05126	0.81	0.74	0.88
Hungary	1.2244	0.13361	1.21	0.98	1.39
Romania	0.4644	0.05318	0.48	0.38	0.55
Serbia	0.8011	0.08207	0.77	0.71	0.91
Slovenia	2.1833	0.33260	2.20	1.63	2.58
North Macedonia	0.3367	0.12520	0.33	0.20	0.52
BERD (%GDP)					
	Mean	**Std.dev.**	**Median**	**Min**	**Max**
Bulgaria	0.3778	0.18999	0.37	0.14	0.70
Croatia	0.3711	0.03551	0.38	0.33	0.43
Hungary	0.8044	0.16667	0.83	0.52	1.00
Romania	0.1867	0.04123	0.18	0.12	0.27
Serbia	0.1689	0.09918	0.12	0.07	0.33
Slovenia	1.5967	0.33571	1.68	1.05	1.98
North Macedonia	0.0544	0.02297	0.04	0.03	0.10



Spider graph 1: GERD (%GDP) in 2008 – 2016.



Spider graph 2: BERD (%GDP) in 2008 – 2016.

In accordance with the subject and objectives of the research, the following hypotheses will be verified:

H_1: *There is a statistical significant difference in GERD (%GDP) between Serbia and selected countries.*

H_2: *There is a statistical significant difference in BERD (%GDP) between Serbia and selected countries.*

The truthfulness of the research hypotheses was verified using the T test of independent samples and its non-parametric alternative Mann-Whitney U test. Also, the arithmetic mean, standard deviation, median, minimum and maximum values for observing variables are calculated. The entire statistical data processing was performed in IBM SPSS v.23 and MS Excel.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 2 shows the results of the T test and Mann-Whitney U test for GERD (%GDP). Following the results from normality tests, Mann-Whitney U test was applied for the analysis of GERD (%GDP) between Serbia and Romania, Serbia and Slovenia, Serbia and Northern Macedonia, while in other cases the T test was applied.The results of Mann-Whitney U test show that there is a statistically large and significant difference between Serbia (M=0.8011) and Romania (M=0.4644) in terms of GERD (Z=-3.580; sig=0.000; r = 0.84; U stat=0.000). Between Serbia (M=0.8011) and Slovenia (M=2.1833) there is a notably large difference in terms of GERD (%GDP) (Z=-3.578; sig=0.000; r = 0.84). There is a significantly large difference between Serbia (M=0.8011) and North Macedonia (M=0.3367), Z=-3.585; sig=0.000; r = 0.85. The Mann-Whitney U Statistic value in all three cases is 0.000, which implies that Serbia has had a greater GERD (%GDP) every year, compared to Romania and North Macedonia, i.e. Serbia has achieved a lower GERD (%GDP) than Slovenia.

It has been confirmed with the T test that there is a significantly large difference between Serbia (M=0.8011) and Bulgaria (M=0.6478) in terms of GERD (%GDP) in the observed period (F=3.557; Eta square=0.28; sig=0.025). On the other hand, there is a coincidental and extremely small difference, without any statistical significance (F=9.020; Eta square=6.63e-4; sig=0.919). Between Serbia and Hungary there is subdtantially large difference in GERD (%GDP) F=1.396; Eta square=0.80; sig=0.000.

Table 2: T test of independent samples and Mann-Whitney U test – GERD (%GDP)

	T test		***Mann-Whitney U test***			***Sig***	***Normality tests***	
	F	***Eta square***	***Z***	***r***	***Stat***		***Kolmog.-Smirn. Stat(p)***	***Shapiro-Wilk Stat(p)***
Serbia Bulgaria	3.557	0.28	–	–	–	0.025	0.128(0.200)	0.962(0.645)
Serbia Croatia	9.020	$6.63e^{-4}$	–	–	–	0.919	0.176(0.148)	0.914(0.101)
Serbia Hungary	1.396	0.80	–	–	–	0.000	0.164(0.200)	0.902(0.062)
Serbia Romania	–	–	-3.580	0.84	0.000	0.000	0.207(0.040)	0.890(0.039)
Serbia Slovenia	–	–	-3.578	0.84	0.000	0.000	0.282(0.001)	0.822(0.003)
Serbia North Macedonia	–	–	-3.585	0.85	0.000	0.000	0.206(0.041)	0.887(0.035)

Table 3 shows results from the T test and Mann-Whitney U test for BERD (%GDP). After carrying out normality tests, the T test was only applied only when comparing BERD between Serbia and Bulgaria, and between Serbia and Romania.

The results of the Mann-Whitney U test show that there is statistically significant and substantially large difference between Serbia (M=0.1689) and Croatia (M=0.3711) in terms of BERD (Z=-3.547; sig=0.000; r=0.84). Between Serbia (M=0.1689) and Hungary (M=0.8044), there is also a significantly large difference in terms of BERD (Z=-3.580; sig=0.000; r = 0.84). There is a statistically large difference between Serbia (M=0.1689) and Slovenia (M=1.5967), Z=-3.580; sig=0.000; r=0.84. Whilst comparing Serbia and North Macedonia, there is a significantly large difference in terms of BERD (%GDP) Z=-3.113; sig=0.002; r=0.73.

The value of Mann-Whitney U Statistic test when it comes to Serbia and Hungary, Serbia and Slovenia is 0.000 and it indicates that Serbia has not had a single year with a greater BERD (%GDP), compared to these two countries. On the other hand, the value of Mann-Whitney U Statistic between Serbia and Croatia, and between Serbia and North Macedonia, is 0.000 which implies that Serbia has had a greater BERD (%GDP) every year, compared to these two countries.

The T test confirmed that there is a significantly large difference between Serbia (M=0.1689) and Bulgaria (M=0.3778) in terms of BERD (%GDP) in the observed period (F=2.693; Eta square=0.35; sig=0.010). Between Serbia (M=0.1689) and Romania (M=0.1867) there is no statistically relevant difference (F=15.956; Eta square=0.02; sig=0.626).

Table 3: T test of independent samples and Mann-Whitney U test – BERD (%GDP)

	T test		***Mann-Whitney U test***			***Sig***	***Normality tests***	
	F	***Eta square***	***Z***	***r***	***Stat***		***Kolmog.-Smirn. Stat(p)***	***Shapiro-Wilk Stat(p)***
Serbia Bulgaria	2.693	0.35	–	–	–	0.010	0.152(0.200)	0.908(0.080)
Serbia Croatia	–	–	-3.547	0.84	0.000	0.000	0.238(0.008)	0.867(0.016)
Serbia Hungary	–	–	-3.580	0.84	0.000	0.000	0.171(0.172)	0.876(0.022)*
Serbia Romania	15.956	0.02	–	–	–	0.626	0.115(0.200)	0.964(0.679)
Serbia Slovenia	–	–	-3.580	0.84	0.000	0.000	0.263(0.002)	0.822(0.003)
Serbia North Macedonia	–	–	-3.113	0.73	0.000	0.002	0.273(0.001)	0.785(0.001)

*Decision is based on the histogram and Q-Q plot. Also, Shapiro-Wilk has a greater power to explain data distribution.

Serbia had a greater GERD (%GDP) every year for the period of 2008-2016 compared to Romania, and the best results were achieved in 2012, when GERD reached 0.91% GDP. In 2016, Serbia allocated 0.89% GDP to R&D, whilst Romania allocated a mere 0.48%. Serbia's average GERD was 0.80%, whilst Romania had a 0.46% GDP. On the other hand, Serbia and Romania had similar values in the previous period, so the difference between average allocated funds for R&D was a mere 0.02 percentage points. An average BERD of Romania was insignificantly greater than that of Serbia.

Slovenia is the only country from the sample which has allocated an average of more than 2% GDP to GERD, which is above the average of EU-28. Slovenia's GERD had an average of 1.38 percentage points more than Serbia's GERD. In 2016, Slovenia had a GERD of 2% GDP, and it reached a peak in 2013 with 2.58% GDP. There is a similar situation when comparing Serbia's and Slovenia's BERD. The business sector in Slovenia allocated an average of 1.60% GDP to R&D, whilst Serbia's BERD was in average lower for 1.43 percentage points. The business sector in Slovenia is surely more active in comparison to other sectors in terms of expenditures on R&D, which together allocate an average of 0.59% GDP.

Following Slovenia, the next country according to the height of GERD is Hungary, which GERD was an average of 1.22% GDP. Compared to Serbia, Hungary had a greater GERD in each year, and for the overall period Hungary had an average GERD of 0.42 percentage points more than Serbia. The business sector of Hungary allocates more for R&D in comparison to the Serbia's business sector. In 2016, Hungary's BERD was 0.89% GDP, which is 0.56 percentage points higher than Serbia's BERD. As with GERD, Hungary had a greater BERD than Serbia, where the average value of BERD was 0.80% GDP, which is 0.64 percentage points higher than in Serbia.

Following Romania, Bulgaria, as a member of the EU, has the lowest result when it comes to GERD. In 2016, GERD in Bulgaria was 0.78% GDP, which was a decline of 0.18 percentage points compared to the previous year, and 0.33 percentage points lower than in 2008. Bulgaria allocated an average of 0.65% GDP for GERD, which is 0.15 percentage points less than the GERD in Serbia. BERD in Bulgaria was greater than in Serbia through the entire period. An average BERD in Bulgaria amounts to 0.38% GDP and is 0.21 percentage points higher than the BERD in Serbia.

Croatian had a GERD of 0.85% GDP in 2016, which is 0.04 percentage points less than Serbia's GERD. It can be noted that the differences in the height of GERD between Serbia and Croatia are insignificant, ranging from 0 to 0.17 percentage points. The average GERD in Croatia was 0.8044% GDP, which is a mere 0.003 percentage points higher than the GERD of Serbia in the same period. As is the case with other countries of the EU from the sample, Croatia also has a greater BERD than Serbia. Croatia had an average BERD of 0.37%, which is 0.22 percentage points higher than Serbia. Each year in question, Croatia allocated more funds than Serbia, ranging from 0.05 till 0.38 percentage points. Only in 2016 did Serbia manage to reach the BERD of Croatia, however, still falling behind for 0.05 percentage points.

Serbia has clearly outshined Macedonia when it comes to GERD. Macedonia allocated 0.43% GDP to R&D in 2016, which is 0.46 percentage points lower than Serbia. Macedonia had a GERD of 0.34% GDP in the given period, which is 0.46 percentage points less than Serbia. The business sector of Macedonia achieved significantly poor results by allocating an average of 0.05% GDP to R&D in a span of nine years, which is 0.12 percentage points lower than the business sector of Serbia. Exceedingly large differences in BERD were noticed in the period of 2014-2016 and they range from 0.17 to 0.23 percentage points, which is an upshot of increasing expenditures of the business sector of Serbia for R&D.

4. CONCLUSION

According to the economic theory, knowledge and technological changes have been characterized as the main initiators of sustainable economic development. R&D is treated as one of the sources of technological changes, which on the other hand lead to acquiring new knowledge, then by comercializing the newly acquired knowledge, the positive effects on performances on micro- and macro-level are brought about. Accordingly, there is a need for increasing R&D expenditures, since it is one of the prerequisities, not only for progress, but also survival in the era of knowledge, especially for developing countries, which have to begin with reviving and then increasing the strength of research developing capacities.

In recent years, Serbia has acknowledged the importance of R&D, which can be seen from a slight increase of GERD to 0.89% GDP in the year 2016, for 0.18 of percentage points more than in 2008, but also from a significant increase of BERD from 0.07% GDP in 2008, to 0.33% GDP in 2016. Based on these results, the research hypotheses $\boldsymbol{H_1}$ and $\boldsymbol{H_2}$ are mostly confirmed. In the period of 2008-2016, there were significant differences in the height of GERD and BERD, with the exception of Croatia, which had an insignificantly greater GERD than Serbia, and Romania, which had a mere 0.02 percentage points of a

greater BERD. Serbia has a significantly greater GERD than Bulgaria, Romania and Macedonia. On the other hand, Serbia has a lower BERD as oppposed to all the countries from the sample, except for Macedonia. The results indicate that the Government and Higher education sector in Serbia is more active in the amount of R&D expenditures, since they allocated 0.63% GDP, for 0.46 percentage points more than the Business sector. In more developed EU countries, such as Slovenia and Hungary, the Business sector allocates significantly more funds to R&D as opposed to other sectors.

Although the GERD level in Serbia is relatively greater as opposed to other countries in the region, especially EU countries (Bulgaria, Croatia, Romania), there is a significant lag when it comes to expenditures on R&D by the Business sector. Since the private sector is an initiator and the carrier of advanced economy development, a country needs to find ways to engage the business sector in the domain of R&D and innovations. A country should focus on promoting the role of R&D and innovations, so as to strengthen the company's competitive advantage, and then to strengthen and encourage the private sector to make larger investments in R&D activity, by using certain financial stimuli, such as subsidies and tax reliefs. Providing a regulatory administrative relaxing work environment could additionally encourage the business sector to increase R&D expenditures, even in higher risk R&D activities.

ACKNOWLEDGEMENT

Research presented in this paper was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, under the project "Research and Development of the Platform for Science Based Management of the Scientific and Technological Development of the Republic of Serbia", reg. no. III 47005.

Research presented in this paper was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, under the project "New technologies in intelligent transportation systems – implementation in the urban and suburban settings", 2011-2019, reg. no. TR 36005.

REFERENCES

[1] Bednyagin, D., & Gnansounou, E., (2012). Estimating spillover benefits of large R&D projects: Application of real options modelling approach to the case of thermonuclear fusion R&D programme. *Energy Policy*, 41, 269-279.

[2] Griliches, Z. (1979). Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth. *The Bell Journal of Economics*. 10(1), 92-116.

[3] Harrison, R., Jaumandreu, J., Mairesse, J., & Peters, B. (2008). Does Innovation Stimulate Employment? A Firm-Level Analysis Using Comparable Micro-Data from Four European Countries. NBER Working Paper No. 14216.

[4] Lefebvre, E., Lefebvre, L., & Bourgault, M. (1998). R&D related capabilities as determinants of export performance. *Small Business Economics,* 10(4), 365-377.

[5] Osorio, B., & Rodriguez-Pose, A. (2004). From R&D to Innovation and Economic Growth in the EU. *Growth and Change*, 35(4).

[6] http://data.uis.unesco.org/

[7] http://ec.europa.eu/invest-in-research/pdf/download_en/kin123469enc_web.pdf

[8] http://ec.europa.eu/eu2020/pdf/COMPLET%20EN%20BARROSO%20%20%20007%20-%20Europe%202020%20-%20EN%20version.pdf

[9] http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp08092.pdf

[10] https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/frascati-manual-2015_9789264239012-en#page225

[11] https://wbc-rti.info/object/document/13147/attach/WBRIS_Strategy10-21-13_web.pdf

COMBINATORIAL OPTIMIZATION

KOMBINATORNA OPTIMIZACIJA

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

REŠAVANJE PROBLEMA PRERASPOREĐIVANJA KORIŠTENJEM ALGORITAMA NEXT FIT I WORST FIT

SOLVING RESCHEDULING PROBLEM USING NEXT FIT AND WORST FIT ALGORITHMS

ZANIN VEJZOVIĆ[1], KEMAL MARIĆ[1], ILHAN KARIĆ[1]

[1] Univerzitet „Džemal Bijedić“ u Mostaru, Fakultet informacijskih tehnologija, zanin@edu.fit.ba; kemal.maric@edu.fit.ba; ilhan.karic@edu.fit.ba

Rezime: *Element visokog obrazovanja prikladan za modeliranje i analizu je problem vremensko-prostorne dinamike nastavnih procesa. Vremensko-prostorna dinamika je data školskim rasporedom. Unutar njega, su nastavne aktivnosti raspoređene u prostornim kapacitetima univerziteta, prema nastavnim planovima, programima, potrebama i mogućnostima. Raspored se kreira na dnevnoj i sedmičnoj bazi, obično po semestrima, a čine ga zauzeti i slobodni termini. Teoretski gledano, analizom i modeliranjem vremensko-prostorne dinamike, moguće je postići veću fleksibilnost školskog rasporeda koja u realnom sistemu znači uštedu i dodatni prihod. U ovom radu je predstavljena jedna od mogućnosti povećanja njegove fleksibilnosti preraspoređivanjem zauzetih termina iz jedne u neku drugu učionicu pomoću heurističkih algoritama next fit i worst fit, uz poštivanje realnih ograničenja. Algoritmi su programirani u C++ i testirani u realnom okruženju kojeg čini raspored nastave Univerziteta „Džemal Bijedić“ u Mostaru.*

Ključne reči: *preraspoređivanje, next fit, worst fit.*

Abstract: *The element of higher education suitable for modeling and analysis is the problem of temporal-spatial dynamics of teaching processes. School time table (schedule) defines temporal-space dynamics. Within it, teaching activities are deployed in the spatial capacities of the university, according to curricula, programs, needs and conditions. The schedule is created on a daily and weekly basis, usually for given semester, and it is made of occupied and free period fragments. Theoretically, by analyzing and modeling temporal-spatial dynamics, it is possible to achieve greater flexibility of the school schedule, which in the real system means savings and additional revenue. This paper presents one of the possibilities of increasing timetable flexibility by relocating busy terms from one to another classroom using heuristic algorithms next fit and worst fit, with respect to real constraints. The algorithms are programmed in C ++ and tested in a real environment, which is the schedule of the "Džemal Bijedić" University in Mostar.*

Keywords: *rescheduling, next fit, worst fit.*

1. UVOD

Raspoređivanje ima veoma važnu ulogu u mnogim sistemima. Neki od njih su proizvodnja, pakiranje, inventura, skladištenje itd. Problemima vezanim za raspoređivanje nauka se bavi od pedesetih godina prošlog veka. U ovom radu je prikazan jedan od oblika opšteg problema raspoređivanja, a to je školski raspored. Tiče se dodele vremenskih termina, nastavnika, studenata i učionica skupu predmeta, tako da niko od sudionika nije istodobno na dva predavanja, te da različita predavanja nisu zakazana istovremeno u istoj učionici. Na ovaj osnovni problem obično se dodaju mnoga druga ograničenja, kao što su termini alocirani časovima moraju biti razvrstani po radnim danima u sedmici, broj časova predavanja kojima prisustvuju studenti tačno je definisan nastavnim planom i programom, ne sme biti prekoračenja radnih sati nastavnika, tip učionice mora odgovarati tipu nastave, broj radnih mesta mora biti veći ili jednak od grupe studenata koji prate nastavu u toj učionici itd. Zbog toga se za raspored kaže da je izvodljiv ako i samo ako zadovoljava njemu pridruženi skup ograničenja (Vejzović i Brkan-Vejzović, 2012). Konstruisanje izvodljivog rasporeda, u opštem slučaju predstavlja rešenje optimizacijskog NP-teškog problema (Even, Itai i Shamir, 1976).

S druge strane, u teoriji složenosti često se rešavaju slučajevi modifikovanog problema kada postoji dovoljno dobro rešenje originalnog slučaja. Na ovaj način se može razmatrati i problem povećanja fleksibilnosti vremensko-prostorne dinamike nastavnog procesa visokoškolske institucije. Podrazumeva bolje korištenje raspoloživih prostornih kapaciteta u vremenu. Smanjenje broja korištenih učionica znači

manje troškove njihovog održavanja, a s druge strane otvara se mogućnost njihovog iznajmljivanja, odnosno mogućnost dodatnih prihoda. Ovim bi se dobilo znatno efikasnije upravljanje raspoloživim prostorima. S tim u vezi, glavni kriterij koji treba da zadovolji ovo istraživanje je povećanje broja slobodnih učionica za posmatrani radni dan.

U prilog istraživanju mogućnosti povećanja fleksibilnosti već postojećeg rešenja rasporeda nastave, ide i činjenica da su današnji univerziteti u stalnom deficitu prostornih kapaciteta za izvođenje nastavnog procesa. Međutim, prostorni kapaciteti mnogih visokoškolskih ustanova su hronično neiskorišteni. Često, pored toga što se koristi samo pola termina u učionicama, broj iskorištenih radnih mesta za iste termine ne prelazi 50%. Pokazalo se da je iskorištenje učioničkog prostora u praksi jedva 20-40% (Beyrouthy, Burke, Landa-Silva, McCollum, McMullan i Parkes, 2009).

2. PAKOVANJE U KUTIJE

Pakovanje u kutije (bin packing) je klasičan problem čija je praktična primena vezana za minimiziranje prostora i vremena. U teoriji složenosti to je kombinatorijski NP-težak problem. Definiše se skupom objekata $U=\{u_1, u_2, ..., u_n\}$, pri čemu $\forall u_i \in U$, $i=1, 2, ..., n$ treba rasporedi u kutije $U_1, U_2, ..., U_k$ tako da zbir veličina objekata u kutiji U_i ne bude veći od njenog kapaciteta, a da broj iskorištenih kutija k bude najmanji mogući. Postoje mnoge varijacije ovog problema: jedno-, dvo- i tro-dimenzionalno pakovanje, pakovanje po težini, po troškovima, itd. Mnoge su aplikacije kao što su punjenje kontejnera, utovar kamiona, dinamička alokacija memorije, raspoređivanje poslova, raspoređivanje TV ili radio reklama u pauzama u toku ili između emisija itd.

Kada su u pitanju NP-teški problemi detaljno traganje za optimalnim rešenjem u opštem slučaju je izračunljivo nerešivo. Pošto je pakovanje u kutije NP-težak problem, većina istraživanja idu u smeru traženja polinomnih algoritama. Ovo je među prvim problemima za koje je unutar teorije složenosti analizirano njihovo izvođenje. Koriste heuristike za dobijanje rezultata koji su, u najvećem broju slučajeva dovoljno dobri, ali ne i optimalni. Vreme izvođenja ovih algoritama najčešće je ograničeno nepolinomnom funkcijom oblika $\Theta(n \log n)$ (Coffman, Garey i Johnson, 1996). Bez obzira na tu činjenicu u praksi su se pokazali kao veoma brzi algoritmi.

Pored toga, ovi algoritmi za dovoljno velike ulaze mogu rešiti problem pakovanja u kutije u određenom procentu optimalnog rešenja. Takva rešenja se najviše razlikuju do 22% od optimalnog rešenja, i samo povremeno su toliko razlikuju (Garey i Johnson, 1979).

Najpoznatije „strategije“ pakovanja u kutije su: First Fit (FF) – prvi odgovarajući, Next Fit (NF) – sledeći odgovarajući, Best Fit (BF) – najbolji odgovarajući, Worst Fit (WF) – najgori odgovarajući, Last Fit (LF) – zadnji odgovarajući. U praksi su se najboljim pokazali FF i BF, s tim da je, generalno, FF brži (Silberschatz, Galvin i Gagne, 2018).

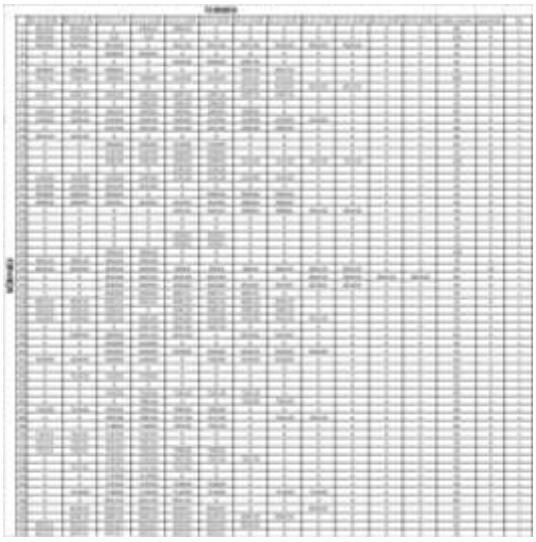
3. POVEĆANJE FLEKSIBILNOSTI RASPOREDA UZ POMOĆ NF I WF ALGORITAMA

Tradicionalno se nastava izvodi po učionicama u blokovima od jednog, dva, ili više školskih časova, raspoređenih u isprekidanom nizu unutar ukupnog broja raspoloživih termina na dnevnoj bazi. Zbog toga su učionice zauzete za vreme određenih blok-časova nastave, a slobodne u ostalim terminima. U tom smislu, dnevna zauzetost svake učionice se sastoji od zauzetih i slobodnih termina raspoređenih na određeni način. Uopšte, ova distribucija je različita za svaku učionicu. Dužinu blokova diktira nastavni plan i program svakog od pojedinih predmeta koji se izučava na analiziranom univerzitetu. S druge strane, vremenski interval u kojem se izvodi posmatrani blok-čas, zavisi od raspoloživosti učionice, nastavnika i studenata u tom vremenskom intervalu.

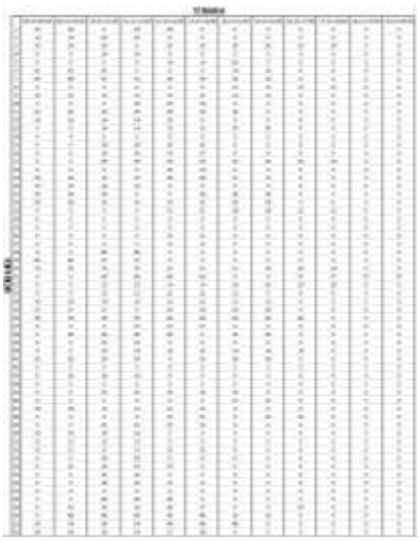
Na Univerzitetu „Džemal Bijedić“ nastava se izvodi od 08.15 do 20.00. Čas počinje u 15 minuta nakon punog sata, a završava u puni sat. To znači da na dnevnoj bazi u svakoj učionici je na raspolaganju 12 termina (Humo, 2005). Za potrebe ovog rada razmatrane su 62 učionice. Dnevni raspored (ponedjeljak), Slika 1, predstavljen je dnevnom univerzitetskom matricom čije redove čine razmatrane učionice, a kolone termini izvođenja nastave. Nule predstavljaju slobodne, a šestocifreni brojevi zauzete termine. Ovi brojevi ne predstavljaju kvantitete, nego kodove pojedinih predmeta čija se nastava izvodi u datoj učionici u zakazanom terminu (Vejzović i Humo, 2007). Prva cifra se odnosi na fakultet, a fakulteti su sortirani abecednim redom unutar Univerziteta. Naredne tri cifre predstavljaju predmet datog fakulteta. Označavanje predmeta počinje od prve godine studija prema abecednom redosledu odseka unutar fakulteta, a redosled predmeta unutar pojedinih godina odseka fakulteta definisan je nastavnim planovima odsjeka. Peta cifra šifre odnosi se na tip nastave (predavanja, vježbe i sl.). Poslednja cifra govori da li postoji više različitih grupa studenata koji u različitim, ili u istim terminima ali u različitim učionicama prisustvuju istom tipu nastave iz datog predmeta.

Znači, Slika 1 prikazuje izvodljivo rešenje rasporeda jer zadovoljava postavljena ograničenja predstavljena u Uvodu. Na osnovu ovih činjenica, opravdano je razviti proces defragmentacije (relokacije) zauzetih fragmenata. To će nadalje omogućiti povećanje fleksibilnosti vremensko-prostorne dinamike, a da se, pri tome, ne naruši vremenska komponenta rasporeda. Da bi se ovaj proces izvršio na ispravan način, intencija je prebaciti zauzeti blok-čas jedne učionice u odgovarajuće slobodne termine neke od učionica čija je zazuzetost veća ili jednaka od zauzetosti učionice iz koje se prebacuje blok-čas. Ukoliko je zadovoljen ovaj uslov, proverava se da li broj radnih mjesta učionice u koju se blok-čas prebacuje odgovara broju studenata koji prate nastavu u posmatranom blok-času. Slika 2 prikazuje matricu broja studenata za raspored predstavljen Slikom 1. Nadalje, treba proveriti da li su učionice ekvivalentne i po tipu. Za potrebe ovog istraživanja uzete su u obzir samo učionice opšte namene (tip 1) i informatičke (tip 2). Primenjuje se sledeće pravilo: ako je tip učionice iz koje se relocira nastava 1, onda tip učionice u koju se nastoji prebaciti blok-čas treba da bude 1 ili 2. Međutim, ako je prva učionica tipa 2, onda se njen blok-čas može prebaciti samo u informatičku učionicu. Ovaj se postupak primenjuje na sve blok-časove posmatrane učionice, a nakon toga, i na ostale učionice.

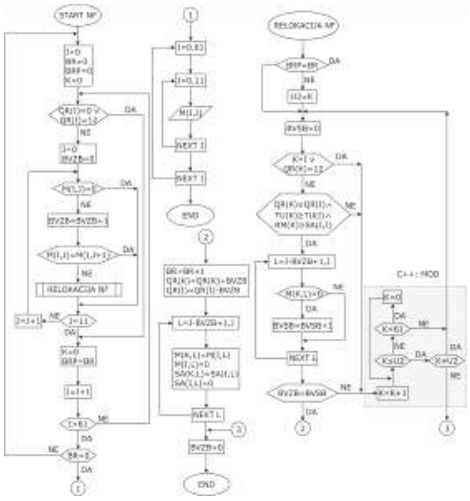
Na primer, prateći ovu proceduru, sa Slike 1 i Slike 2 je vidljivo, da je nastavu iz učionice 4 moguće prebaciti u učionicu 5 jer je ova druga zauzetija, odgovaraju međusobno po tipu i broj radnih mesta učionice 5 je veći od broja studenata koji prate nastavu predmeta datog šifrom 902810.



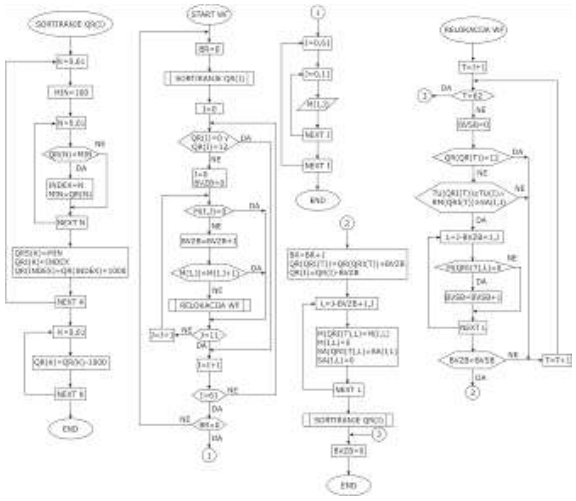
Slika 1: Dnevna univerzitetska matrica prije relokacije



Slika 2: Matrica broja studenata



Slika 3 Dijagram toka NF algoritma



Slika 4 Dijagram toka WF algoritma

Dakle, ako se uporede problem pakovanja u kutije i defragmentacija rasporeda časova, onda se zauzeti blok-časovi posmatrane učionice mogu smatrati objektima koje treba upakovati (prebaciti) u drugu kutiju (učionicu). Naravno, moraju se poštovati ograničenja: poklapanje vremenskih termina, tip učionice, te broj radnih mesta u odnosu na broj studenata koji prate nastavu datog predmeta. Pošto je prikazan glavni koncept defragmentacije, odnosno preraspoređivanja zauzetih blok-časova, potrebno je uvesti NF i WF postupak.

NF algoritam, Slika 3, kreće od prvog reda dnevne univerzitetske matrice. Drugim rečima, NF počinje od prve učionice rasporeda časova sa Slike 1. Ako je ta učionica prazna ili potpuno zauzeta celi dan, prelazi se na sledeću, jer u prvom slučaju nema zauzetih termina koji se mogu dislocirati, a u drugom bi se narušio koncept relokacije, jer je opravdano prebacivati blok-časove samo u učionice čija je zauzetost veća ili jednaka od posmatrane. Pošto je u tom slučaju posmatrana učionica zauzeta celi dan nemoguće je prebaciti objekt iz potpuno pune kutije u drugu čiji je kapacitet također popunjen.

U suprotnom, procedura se nastavlja traženjem prvog zauzetog blok-časa posmatrane učionice. Nakon njegovog detektovanja, algoritam proverava prvu susednu učionicu da li je njena zauzetost manja od 12 i veća ili jednaka od zauzetosti učionice čiji se blok-čas nastoji prebaciti, da li su saglasne po tipu, te da li je njen broj radnih mesta veći ili jednak od broja studenata koji prisustvuju nastavi posmatranog blok-časa. Ako je bar jedan odgovor negativan, procedura se ponavlja za sve ostale blok-časove učionice iz koje se nastoji relocirati nastava. Potom se ista procedura ponavlja za njoj susednu učionicu, odnosno nastavlja se sa sledećim redom dnevne univerzitetske matrice, pa sve do njenog zadnjeg reda.

Međutim, ukoliko je odgovor na gornja pitanja pozitivan, proverava se da li je učionica u koju se nastoji prebaciti nastava slobodna u terminu blok-časa. Ako je i ovaj uslov zadovoljen, blok-čas se prebacuje (ažuriraju se dnevna univerzitetska matrica i njoj odgovarajuća matrica broja studenata), zauzetost učionice iz koje je nastava prebačena se smanjuje, a zauzetost učionice u koju je blok-čas prebačen, se povećava za veličinu blok-časa, te se uvećava brojač BR koji beleži relokacije. Procedura se ponavlja za sledeći blok-čas posmatrane učionice, s tim da se traženje nastavlja od one učionice u koju je relocirana nastava.

Kada se završi pregled svih učionica proverava se da li je BR=0. Ako jeste procedura završava. Ukoliko nije ide se ponovo ispočetka. Razlog je sledeći: može se desiti da nakon izvršene relokacije jednog blok-časa, neki od njegovih prethodnika iz posmatrane učionice, zbog smanjenja zauzetosti te učionice, postaje kandidat za relociranje u učionicu koja je prethodno imala manju zauzetost od nje.

WF procedura, Slika 4, prethodno zahteva sortiranje niza QR, čiji su elementi zauzetosti učionica, neopadajući. Kao i kod NF algoritma, počinje se od prve učionice rasporeda časova, te se iz istog razloga proverava je li prazna ili potpuno zauzeta. Identifikovani blok-čas se nastoji relocirati, počevši postupak traženja odgovarajućeg slobodnog termina od učionice čija je zauzetost u QR nizu neposredno iza zauzetosti učionice iz koje se pokušava relocirati nastava. Ako termin ne odgovara, postupak se ponavlja na učionicu čija je zauzetost sljedeća u QR nizu, a manja je od 12. Kada se završi pregled za sve blok-časove učionice iz koje se pokušava prebaciti nastava, postupak se ponavlja za sledeću učionicu iz dnevne univerzitetske matrice, a završava se pregledom poslednjeg reda, odnosno 62. učionice.

Međutim, ako termin odgovara, te ukoliko su saglasne po tipu, broj radnih mesta odgovara broju studenata, onda se blok-čas prebacuje (ažuriraju se dnevna univerzitetska matrica i njoj odgovarajuća matrica broja studenata). Zatim se, zauzetost učionice iz koje je nastava prebačena, smanjuje, a zauzetost učionice, u koju je blok-čas prebačen, se povećava za veličinu blok-časa, uvećava se brojač BR, te se QR niz ponovo sortira. Procedura se ponavlja za sledeći blok-čas posmatrane učionice. Kao i u slučaju NF algoritma, isti je razlog zašto se proverava stanje brojača BR.

Nakon izrade dijagrama tokova, prešlo se u fazu kodiranja. Slika 5 prikazuje programski kod za NF, a Slika 6 za WF. Kod prati korake odgovarajućeg dijagrama toka. Međutim, treba naglasiti dve specifičnosti. Naime, u realizaciji programskog rešenja za NF, bilo je potrebno osigurati da, kada se izvrši relokacija, sledeća se pokušava realizirati od učionice u koju je izvršeno poslednje prebacivanje (siva zona na Slici 3). Ukoliko ona ne zadovoljava, nastavlja se na ostalim učionicama koje se u matrici nalaze ispod nje. Pošto učionica od koje počinje traženje slobodnih termina može biti bilo koji red matrice, treba osigurati, da ako je provera zadnjeg reda matrice bezuspešna, povratak na početak matrice pa do učionice koja je neposredno iznad one od koje se počelo. Programski kod to rešava funkcijom `mod`, koja omogućuje gore navedeno ciklično kretanje, Slika 5. Druga specifičnost se odnosi na WF. U dijagramu toka (Slika 4) niz QRI(I) prati indeks učionice s obzirom na sortiranje zauzetosti učionica. U kodu se u tu svrhu koristi `vector IndexiQR` koji predstavlja objekte, a oni su uređeni parovi koje čine redni broj učionice u matrici i njena zauzetost, Slika 6. Slike 7 i 8 prikazuju dnevnu univerzitetsku matricu nakon primene softverskih rešenja NF i WF algoritama.

4. ZAKLJUČAK

Komparativnom analizom ulazne matrice, Slika 1, i matrica koje su nastale kao rezultat njenog preraspoređivanja primenom NF, Slika 7, odnosno WF algoritma, Slika 8, uočava se da su na početku, u matrici bile četiri prazne učionice. Nakon preraspoređivanja došlo je do promene. Primenom NF algoritma broj slobodnih učionica se uvećao na 12, a kod WF algoritma na 13. Korištenjem rešenja prethodnih

istraživanja, FF algoritmom (Vejzović i Brkan-Vejzović, 2012) se dobije 12, a BF-om (Vejzović i Brkan-Vejzović, 2012) 13.

Interesantno za analizu je poređenje broja učionica čija zauzetost ne prelazi šest, a ne računajući pri tom prazne učionice. U početnoj matrici taj broj je 39. Nakon relokacije dolazi do smanjenja: za NF je 24, za WF je isto 24, za FF je 25 i za BF je 24.

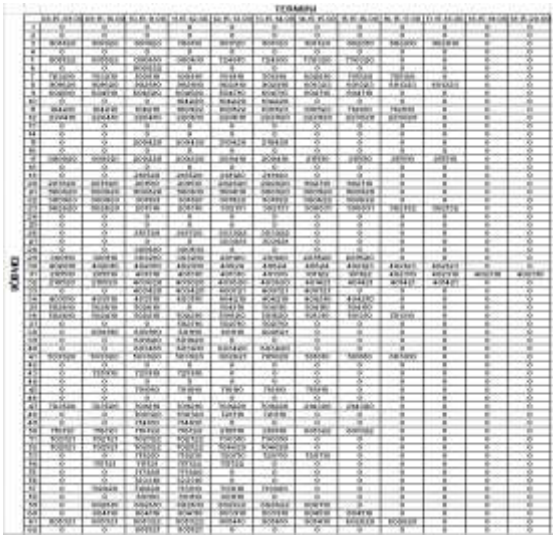
```
static tuple<Matrica, Matrica> * OptimizirajMatricuM(Matrica & M, Matrica &SA) {
		Matrica optM(M),optSA(SA);
		optM.IzracunajQR();
		int BR = 0, ciljaniRed = 0;
		do{BR = 0;
			for (size_t u1 = 0; u1 != optM.GetRedovi(); u1++){
				if (optM.QR[u1] == 0 || optM.QR[u1] == 12)continue;
				int j = 0, indexKapacitet = (int)IndexKolone::Kapacitet;
				while (j < indexKapacitet){
					if (optM.iter[u1][j] == 0){j++;continue;}
					int velicinaBloka = 1, t = j;
					while (t <= indexKapacitet && optM.iter[u1][t] == optM.iter[u1][t + 1]) {
						velicinaBloka++;t++;}
					bool izvrsenaRelokacija = false;
					for (size_t u2 = ciljaniRed; u2 != optM.GetRedovi() + ciljaniRed; u2++)
					{int w2 = u2 % optM.GetRedovi();
					if (u1 != w2 && optM.QR[u1] <= optM.QR[w2]) {
					if (optM.iter[w2][(int)IndexKolone::TipUcionice] < optM.iter[u1][(int)IndexKolone::TipUcionice])
							continue;
					else {if (optSA.iter[u1][j] > optM.iter[w2][(int)IndexKolone::Kapacitet])continue;
						else {if (optM.QR[w2] + velicinaBloka > 12)continue;
							bool zauzeto = false;
							for (size_t j2 = j; j2 < j + velicinaBloka; j2++)
							{if (optM.iter[w2][j2] > 0) {zauzeto = true; break;}}
							if (zauzeto == true)continue;
							else {
								Relociraj(optM, optSA, u1, w2, j, velicinaBloka);
								izvrsenaRelokacija = true; BR++; ciljaniRed = w2;}}}}
					if (izvrsenaRelokacija)break;
					}j += velicinaBloka;}}} while (BR > 0);
		return  new tuple<Matrica, Matrica>(optM, optSA);
	}
	static void Relociraj(Matrica & optM, Matrica & optSA, int u1, int u2, int j, int velicinaBloka) {
		for (size_t l = j; l < j + velicinaBloka; l++)
		{optM.iter[u2][l] = optM.iter[u1][l]; optM.iter[u1][l] = 0;
		optSA.iter[u2][l] = optSA.iter[u1][l]; optSA.iter[u1][l] = 0;}
		optM.IzracunajQR();}
```

Slika 5 C++ realizacija NF algoritma

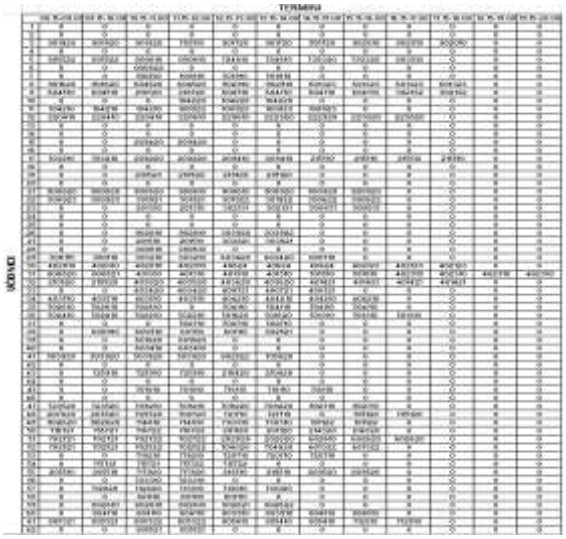
```
static bool SortirajPoDrugoj(const tuple<int, int>& a, const tuple<int, int>& b)
	{return (get<1>(a) < get<1>(b));}
static tuple<Matrica, Matrica> * OptimizirajMatricuM(Matrica & M, Matrica &SA) {
		Matrica optM(M), optSA(SA);
		vector<tuple<int, int>> IndexiQR;
		optM.IzracunajQR();

		for (size_t i = 0; i < M.GetRedovi(); i++)
			IndexiQR.push_back(tuple<int, int>(i, M.QR[i]));
		sort(IndexiQR.begin(), IndexiQR.end(), SortirajPoDrugoj);
		int BR = 0;
		do{BR = 0;
			bool pronadjena = false;
			for (size_t u1 = 0; u1 != optM.GetRedovi(); u1++){
				if (optM.QR[u1] == 0 || optM.QR[u1] == 12) continue;
				int j = 0, indexKapacitet = (int)IndexKolone::Kapacitet;
				while (j < indexKapacitet){
					if (optM.iter[u1][j] == 0){j++;continue;}
					int velicinaBloka = 1, t = j;
					while (t <= indexKapacitet && optM.iter[u1][t] == optM.iter[u1][t + 1]) {
						velicinaBloka++;t++;}
					bool izvrsenaRelokacija = false;
					sort(IndexiQR.begin(), IndexiQR.end(), SortirajPoDrugoj);
					for (std::vector<tuple<int, int> >::iterator it = IndexiQR.begin(); it != IndexiQR.end(); ++it)
					{  int u2 = get<0>(*it), qr_u2 = get<1>(*it);
						if (u1 != u2 && optM.QR[u1] <= qr_u2) {
							if (optM.iter[u2][(int)IndexKolone::TipUcionice] < optM.iter[u1][(int)IndexKolone::TipUcionice])
								continue;
							else {if (optSA.iter[u1][j] > optM.iter[u2][(int)IndexKolone::Kapacitet]) continue;
								else { if (qr_u2 + velicinaBloka > 12) continue;
									bool zauzeto = false;
									for (size_t j2 = j; j2 < j + velicinaBloka; j2++){
										if (optM.iter[u2][j2] > 0) {zauzeto = true;break;}}
									if (zauzeto == true)continue;
									else {Relociraj(optM, optSA, u1, u2, j, velicinaBloka, IndexiQR);
										izvrsenaRelokacija = true; BR++;}}}}
						if (izvrsenaRelokacija) break;}
					j += velicinaBloka;}}} while (BR > 0);
		return  new tuple<Matrica, Matrica>(optM, optSA);
	}
static void Relociraj(Matrica & optM, Matrica & optSA
		, int u1, int u2, int j, int velicinaBloka,
		vector<tuple<int, int>> & IndexiQR) {
		for (size_t l = j; l < j + velicinaBloka; l++){
			optM.iter[u2][l] = optM.iter[u1][l];
			optM.iter[u1][l] = 0;
			optSA.iter[u2][l] = optSA.iter[u1][l];
			optSA.iter[u1][l] = 0;}
		optM.IzracunajQR();
		bool pronadjen1 = false, pronadjen2 = false;
		for (std::vector<tuple<int, int> >::iterator it = IndexiQR.begin(); it != IndexiQR.end(); ++it)
		{if (get<0>(*it) == u1) {
				get<1>(*it) -= velicinaBloka;
				pronadjen1 = true;}
			if (get<0>(*it) == u2) {
				get<1>(*it) += velicinaBloka;
				pronadjen2 = true;}
			if (pronadjen1 && pronadjen2) break;}}
```

Slika 6 C++ realizacija WF algoritma



Slika 7 Dnevna univerzitetska matrica nakon NF



Slika 8 Dnevna univerzitetska matrica nakon WF

Nadalje, mjereno je prosečno vreme izvršavanja svakog od algoritama kao i broj relokacija (Tabela 1). Korišten je računar sljedećih karakteristika: Intel(R) Core (TM) i5-3230M CPU @ 2.60GHz, 2601 Mhz, 2 Core(s), 4 Logical Processor(s), 8GB RAM.

Tabela 1: Prosečno vreme izvršavanja i broj izvršenih relokacija

Prosečno vreme izvršavanja (μs)				**Broj izvršenih relokacija**			
NF	WF	BF	FF	NF	WF	BF	FF
441	610	619	202	39	55	33	39

Dakle, ponuđena rešenja su pokazala da je moguće povećati fleksibilnost školskog rasporeda. Ovo povećanje, koje obuhvata heurističko preraspoređivanje uz poštivanje realnih ograničenja, je takođe konkretan primer praktične primene i relevantnosti ponuđenih rešenja.

Pored toga, bez obzira što su FF i BF rešenja generalno bolja, u konkretnom slučaju vremensko-prostorne dinamike Univerziteta „Džemal Bijedić“ NF i WF rešenja su se pokazala jednako dobra, te bi za izbor jednog od njih trebalo nastaviti analizu i postaviti dodatne uslove.

LITERATURA

[1] Beyrouthy, C., Burke, E.K., Landa-Silva, D., McCollum, B., McMullan, P., & Parkes, A.J. (2009). Towards Improving the utilization teaching space. Journal of the Operational Research Society, Volume 60, 2009 - Issue 1 Published Online**:** 21 Dec 2017, pristupljeno 19.05.2019.

[2] Coffman, E.G., Jr., Garey, M.R., & Johnson, D.S. (1996). Approximation Algorithms for NP-Hard Problems. D. Hochbaum (ed.), PWS Publishing, Boston – USA.

[3] Humo, E., (2005). Modeling Higher Education. University Book, Mostar, B&H.

[4] Silberschatz, A., Peter, B.G., & Gagne, G. (2018). Operating system concepts, 10th edition. Hoboken, NJ: Wiley.

[5] Vejzović, Z., & Brkan-Vejzović, A. (2012). Sofware Solutions for Classroom-Period Schedule Reoptimization Using FF and FFD. Proceedings of the XIII International Symposium SymOrg2012 Innovative Management and Business Performance Logic, University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, 616–624. FON Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., & Lupton, R.A. (2010). The art of writing a scientific article. Journal of Scientific Communications, 163, 51–59.

[6] Vejzović, Z., & Brkan-Vejzović, A. (2012). Solving University Timetable Defragmentation Problem Using Best Fit Algorithm – Software Solution. Proceedings of the International Conference on Information Technology and Development of Education ITRO 2012, 344–349, University of Novi Sad, Technical Faculty ”Mihajlo Pupin”, Zrenjanin, Republic Of Serbia.

[7] Vejzović, Z., & Humo, E. (2007). A Software Solution for A Mathematical Model of Classroom-Period Schedule Defragmentation. IEEE EUROCON 2007 the IEEE Region 8 International Conference on Computer as a Tool, 2034-2038, Warsaw, Poland.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PRIMENA ALGORITAMA KOMBINATORNE OPTIMIZACIJE ZA REŠAVANJE PROBLEMA SNABDEVANJA

APPLICATION OF COMBINATORIAL OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR SOLVING SUPPLY PROBLEMS

MILOŠ PETKOVIĆ[1]

[1] Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, m.petkovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Definisanje distributivnog sistema predstavlja veoma složen i kompleksan problem kombinatorne optimizacije. Ta kompleksnost proizilazi iz potrebe za integracijom dve vrste problema (lociranje i rutiranje). Značaj rešavanja problema lociranja objekata i rutiranja vozila se ogleda u velikoj mogućnosti praktične primene u raznim oblastima, a naročito u oblastima snabdevanja, planiranja zaliha, opsluživanja itd. Imajući to u vidu, cilj ovog rada se ogleda u definisanju metodologije za rešavanje problema kombinatorne optimizacije prilikom snabdevanja korisnika. Predložena metodologija je pokušaj objedinjavanja različitih algoritama, predstavljanja njihovih osnovnih postavki, kao i primene istih sa ciljem rešavanja realnog problema. Ovakav pristup može biti vrlo koristan saobraćajnim inženjerima, dispečerima ili donosiocima odluke prilikom rešavanja realnih problema lociranja objekata i rutiranja vozila. Rezultati sprovedenog istraživanja na test mreži ukazuju da je primenom definisanih algoritama moguće doći do racionalnih rešenja.*

Ključne reči: *Kombinatorna optimizacija, lokacijski problemi, problem rutiranja, snabdevanje korisnika.*

Abstract: *Defining the distribution system is a very complicated and complex combinatorial optimization problem. This complexity arises from the need to integrate two types of problems (locating and routing). The importance of solving the problem of locating facilities and routing vehicles is reflected in the great possibility of practical application in various fields, especially in the areas of supply, inventory planning, servicing and so on. Bearing this in mind, the aim of this work is reflected in defining the methodology for solving supplying combinatorial optimization problems. The proposed methodology is an attempt of unification of different algorithms, presentation of their basic settings, as well as their implementation with the aim of solving real problems. This approach can be very useful to traffic engineers, dispatchers or decision makers in solving real problems of locating objects and routing the vehicle. Using the defined algorithms, the results of the conducted research on the test network indicate that it is possible to obtain rational solutions.*

Keywords: *Combination optimization, location problems, routing problem, users supply.*

1. UVOD

Lokacijski problemi i problemi rutiranja vozila predstavljaju posebnu grupu optimizacionih zadataka, najčešće sa ciljem minimizacije rastojanja, ukupnog vremena putovanja ili nekog drugog parametra. Sa druge strane, čest je slučaj različitih ograničenja u pogledu definisanog budžeta, kapaciteta infrastrukture i/ili flote vozila, gde primena ovih modela može dovesti do pronalaženja najracionalnijih rešenja.

Cilj ovog rada se ogleda u definisanju metodologije i primeni iste za rešavanje problema kombinatorne optimizacije prilikom snabdevanja korisnika. Kompleksnost samog problema se ogleda u skupu parcijalnih zadataka koje je neophodno rešiti kako bi došli do konačnog, najracionalnijeg, rešenja. Drugim rečima, ciljevi rada se odnose na određivanje najkraćih rastojanja između čvorova mreže, utvrđivanje lokacija baza i određivanje optimalnih ruta prilikom distribucije robe.

Značaj rešavanja problema lociranja objekata i rutiranja vozila se ogleda i u velikoj mogućnosti praktične primene u raznim oblastima, a naročito u oblastima snabdevanja, planiranja zaliha i opsluživanja.U praksi, veoma je čest slučaj suočavanja saobraćajnih inženjera, logističara ili donosioca odluka sa različitim problemima prilikom lociranja depoa, distributivnih centara ili centara za skladištenje i proizvodnju robe.

Definisanje distributivnog sistema predstavlja kompleksan problem kombinatorne optimizacije. Osnovni razlog toga se ogleda u integraciji dve vrste odluka (lociranje i rutiranje), te se u literaturi ovi problemi često

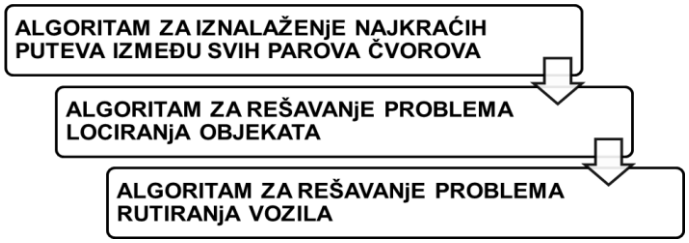
definišu kao problemi lociranja - rutiranja (*eng. location-routing problems*). Veliki broj autora se kroz istoriju bavio rešavanjem ovih problema i to je prouzrokovalo veliki broj različitih metodologija i načina za postizanje optimalnih rezultata. Odličan pregled do sada primenjenih metodologija se može pronaći u radovima Nagy i Salhi (2007), Drexl i Schneider (2013) i Prodhon i Prins (2014).

Veoma često se u literaturi problem rutiranja svodi na problem rešavanja problema trgovačkog putnika. Nambiar i ostali (1981) su razmatrali slučaj lociranja distributivnih centara sa ciljem minimizacije pređenog puta. Pre svega autori su definisali klastere, odnosno grupe korisnika na osnovu rastojanja između njih i kapacitivnih mogućnosti vozila koja bi trebalo da ih opslužuju. Cilj je bio da svi korisnici mogu biti opsluženi iz depoa. U nastavku, za svaku potencijalnu lokaciju depoa rešavan je problem trgovačkog putnika i kao konačne lokacije depoa izabrane su lokacije koje karakterišu najmanji troškovi. Liu i Lee (2003) su sproveli slično istraživanje. Naime, oni su razmatrali stohastičku potražnju kupaca i troškove ulaganja u distributivne centre. Obrnut proces, gde je prvo rešavan problem rutiranja vozila, a nakog toga problem lociranja distributivih centara opisan je od strane Barreto i ostalih (2007). U okviru njihove analize, korisnici su takođe grupisani u grupe, za svaku grupu je rešavan problem trgovačkog putnika, a u narednom koraku je definisana lokacija distributivnog centra. Tom prilikom u razmatranje su uključili kapacitete distributivnih vozila i kapacitete distributivnih centara.

Metaheuristika je takođe veoma često korišćena u rešavanju problema lociranja – rutiranja. Bouhafs i ostali (2006) su predložili hibridni oblik simuliranog kaljenja i optimizaciju kolonijom mrava za rešavanje problema. U njihovom slučaju algoritam iterativno primenjuje simulirano kaljenje za izbor lokacije objekata, a potom se optimizacojom kolonijom mrava vrši rutiranje vozila na mreži. Sa problemom lociranja – rutiranja susreli su se i Wu i ostali (2002). Oni su razmatrali više tipova objekata za lociranje i više tipova flote vozila (sa ograničenim brojem vozila za svaki tip) za rutiranje. Za rešavanje problema razvili su heurističke metode zasnovane na tehnikama simuliranog kaljenja. Chen i Ting (2007) su predstavili sekvencijalni dvostepeni heuristički model za rešavanje problema. Kao i većina autora i oni razlažu problem na fazu dodele lokacije, odnosno lociranje objekata koji će pokrivati određeni broj korisnika i na fazu rutiranja vozila za svaki objekat. Prvu fazu su rešavali primenom algoritma za rešavanje problema lociranja objekata sa ograničenim kapacitetom, dok su za rešavanje problema rutiranja koristili heuristički model najbližeg suseda, sa dodatnom primenom simuliranog kaljenja i 2-OPT heurističkog algoritma za poboljšanje ruta. Derbel i ostali (2012) su rešavali problem lociranja distributivnih centara sa ograničenim kapacitetom i rutiranja jednog vozila (po distributivnom centru) sa neograničenim kapacitetom primenom genetskog algoritma u kombinaciji sa lokalnim pretraživanjem. Osnovna ideja njihovog pristupa se ogledala u poboljšanju rešenja koje generiše genetski algoritam primenom lokalnog pretraživanja. Numerički primeri koji su prikazani u radu pokazuju da tako primenjen algoritam za rešavanje problema daje bolja rešenja od do tada dobijenih primenom tabu pretraživanja.

2. METODOLOGIJA

Kao osnova za rešavanje problema kombinatorne optimizacije na mreži neophodna je kvalitetno razrađena metodologija koja predstavlja možda i najvažniji korak prema ostvarenju postavljenih ciljeva. U procesu definisanja analiza vezanih za različite aspekte koji se obrađuju u sklopu ovog rada, neophodno je temeljno definisati i pratiti plan aktivnosti. Celokupan proces analize struktuiran je iz naredna tri koraka (**slika 1**), gde se svaki korak odnosi na rešavanje specifičnih problema koji su karakteristični za lociranje i rutiranje vozila na mreži.



Slika 1. Skup algoritama za rešavanje problema lociranja - rutiranja

U **koraku I** neophodno je izračunati najkraće puteve, odnosno rastojanja između svih parova čvorova u transportnoj mreži. Ovaj problem se može rešiti primenom algoritma za iznalaženje najkraćih puteva između jednog i svih ostalih čvorova, ali za rešavanje ovog problema postoje posebni algoritmi (Teodorović, 2016). Jedan od najpoznatijih je *Floyd*-ov algoritam (1962).

Floyd-ovim algoritmom moguće je pronaći najmanje udaljenosti između svih parova čvorova u mreži $G = (N, A)$. Osnovna ideja algoritma se zasniva na ispitivanju svih mogućih puteva na mreži, ali se pri

takvom ispitivanju koristi činjenica da ovakav problem ima optimalnu substrukturu te da se do ukupnog minimuma može doći spajanjem minimuma problema manjeg reda. Ako sve čvorove u mreži označimo celim brojevima (*1, 2, ... , n*), uvedemo u razmatranje početnu matricu najkraćih puteva D_O i početnu matricu čvorova – prethodnika Q_O, a sa *k* označimo broj prolazaka kroz algoritam, rešavanje problema se uprošćeno može izložiti na sledeći način:

- Neka je $k = 1$
- Elemente d_{ij}^k matrice dužina najkraćih puteva otkrivenih završno sa *k*-tim prolazom kroz algoritam D_k, izračunavamo pomoću relacije:

$$d_{ij}^k = min\left\{d_{ij}^{k-1}, d_{ik}^{k-1} + d_{kj}^{k-1}\right\} \quad . \tag{1}$$

- Elementi q_{ij}^k matrice Q_k čvorova – prethodnika otkrivenih završno sa *k*-tim prolazom kroz algoritam izračunavaju se kao:

$$q_{ij}^k = \begin{cases} q_{kj}^{k-1}, & \text{za } d_{ij}^k \neq d_{ij}^{k-1} \\ q_{ij}^{k-1}, & u\ ostalim\ slučajevima. \end{cases} \tag{2}$$

- Ako je $k = n$ završiti sa algoritmom. Ako je $k < n$, povećati *k* za 1, tj. staviti da je $k = k + 1$ i vratiti se na drugi korak u algoritmu.

Pritom je sa d_{ij}^k označena dužina najkraćeg puta od čvora *i* do čvora *j* koji je otkriven u *k*-tom prolazu, dok je sa q_{ij}^k definisan čvor prethodnik čvoru *j* na najkraćem putu od čvora *i* koji je takođe otkriven u *k*-tom prolazu.

Detaljniji prikaz kompletnog algoritma objašnjen je u knjizi Transportne mreže (Teodorović, 2016). Za rešavanje prvog algoritma u radu korišćen je *Microsoft Visual Basic* softverski paket.

Nakon iznalaženja najkraćih puteva između svih parova čvorova u narednom **koraku** (**II**) neophodno je locirati čvorove u kojima se nalazi baza. Problem izbora lokacije baza je formulisan kao problem *p* – medijana. U slučaju problema medijane neophodno je locirati jedan ili više objekata na mreži, tako da se minimizira prosečno rastojanje (prosečno vreme putovanja, prosečni troškovi putovanja) između objekata i korisnika ili obrnuto (Teodorović, 2016). Karakterističan primer ovog problema je lociranje pekare iz koje svakog jutra treba distribuirati robu do korisnika, odnosno prodavnica koje se nalaze u čvorovima. Rastojanja između svih čvorova (d_{ij}), proračunata u prethodnom koraku, predstavljaju parametre na osnovu kojih je neophodno minimizirati ukupna prosečna rastojanja između objekata i korisnika. U radu je pretpostavljeno da je potražnja korisnika a_i jednaka 1, s obzirom na to da ne postoje prioriteti u opsluzi i da svaka prodavnica mora biti opslužena pre početka radnog vremena prodavnice (7h). Iz tog razloga vreme putovanja predstavlja primaran parametar za minimizaciju funkcije cilja. Međutim, kako je vreme putovanja u jutarnjim časovima (koje karakteriše manje saobraćajno opterećenje) dominantno u funkciji rastojanja – u radu je rastojanje korišćeno kao parametar za minimizaciju funkcije cilja. Objekat je moguće locirati u bilo kom čvoru. U cilju formulacije algoritma neophodno je definisati binarne promenljive x_{ij} i y_j koje se definišu na sledeći način:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & ukoliko\ je\ čvor\ i\ pokriven\ objektom\ lociranim\ u\ čvoru\ j \\ 0, & inače\ . \end{cases} \tag{3}$$

i

$$y_j = \begin{cases} 1, & ukoliko\ je\ objekat\ lociran\ u\ čvoru\ j \\ 0, & inače. \end{cases} \tag{4}$$

Kako je prethodno pomenuto, prilikom lociranja *p* pekara treba minimizirati rastojanje između korisnika i objekata, te je problem formulisan na sledeći način:

Minimizirati

$$\min F = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_i \cdot d_{ij} \cdot x_{ij}, \tag{5}$$

Pri ograničenjima

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \quad \forall\, i = 1, 2, \ldots, n \tag{6}$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_j = p \tag{7}$$

$$x_{ij} \leq y_j, \quad i,j = 1,2,\dots,n \tag{8}$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\}, \quad i,j = 1,2,\dots,n. \tag{9}$$

Prvo ograničenje (6) treba da obezbedi da svaki čvor mora biti pokriven samo jednim objektom. Drugo ograničenje (7) ukazuje na to da na mreži treba da postoji *p* objekata, odnosno pekara. Naredno ograničenje (8) se odnosi na to da korisnici mogu biti opsluženi samo iz čvora u kome se nalazi pekara, dok se poslednje ograničenje (9) odnosi na to da x_{ij} i y_j moraju biti binarne vrednosti.

Na ovaj način se određuju lokacije određenog broja pekara i skup čvorova koji su „pokriveni" svakom od njih. Za rešavanje drugog algoritma u radu korišćen je *LP Solve IDE* softver.

Na kraju, poslednji **korak** (**III**) se odnosi na određivanje ruta kretanja distributivnih vozila. Rutiranje vozila se može obaviti primenom velikog broja različitih algoritama u zavisnosti od osnovnih ciljeva rutiranja i konfiguracije mreže. U okviru ovog rada, a prvensveno zbog specifičnosti predloženog problema i radi jednostavnosti primene, za rutiranje vozila iskorićen je model za rešavanje problema trgovačkog putnika. Problem trgovačkog putnika se svodi na problem rutiranja vozila koja bi trebalo obići sve čvorove u kojima postoji potreba za opslugom, a potom se vratiti u bazu (početni čvor) (Teodorović, 2016). Definiše se onoliko ruta koliko je u prethodnom koraku definisano objekata. Drugim rečima, vozilo iz jedne pekare obilazi sve čvorove koji su tom pekarom pokriveni. Kao što je ranije pomenuto, vreme putovanja je najkraće na ruti koja je najkraća. Shodno tome, optimalno rešenje posmatranog problema predstavlja skup ruta sa najmanjim ukupnim rastojanjima između čvorova.

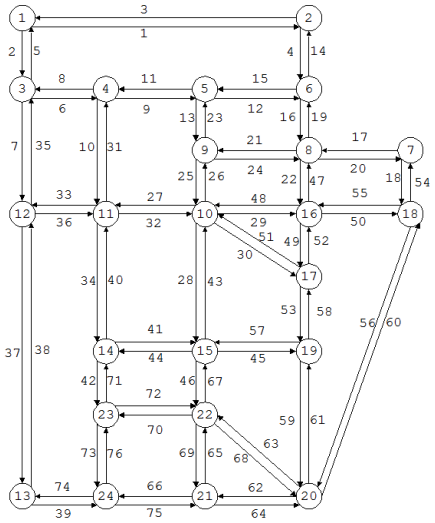
Za rešavanje problema trgovačkog putnika razvijen je veliki broj različitih heurističkih algoritama (Teodorović, 2016). Jedan od najčeće korišćenih algoritama, koji je korišćen i u ovom radu, jeste proždrljivi (*eng. Greedy*) heuristički algoritam najbližeg suseda. Proždrljivi algoritam u svakom koraku bira odgovarajuću vrednost promenljivih tako da minimizira trenutnu vrednost kriterijumske funkcije. Pomenuti algoritam se može predstaviti na sledeći način (Teodorović, 2016):

- Odabrati početni čvor rute.
- Pronaći čvor najbliži poslednjem čvoru uključenom u rutu. Ovaj najbliži čvor uključiti u rutu.
- Ponavljati drugi korak sve dok se svi čvorovi ne uključe u rutu. Spojiti prvi i poslednji čvor.

Ovaj proces se ponavlja onoliko puta koliko ima čvorova, s tim što rešavanje algoritma svaki put počinje od različitog čvora. Konačna ruta je ona koju karakteriše najmanji pređeni put vozila prilikom obilaska svih čvorova i ponovnog vraćanja u bazu odakle je vozilo krenulo. Za rešavanje trećeg i poslednjeg algoritma u radu korišćen je *Microsoft Visual Basic* softverski paket.

3. NUMERIČKI PRIMER

U cilju konkretnog rešavanja problema kombinatorne optimizacije u ovom radu je prikazan hipotetički primer sa kojim se dispečeri i logističari veoma često susreću u praksi. Drugim rečima, u rada je prikazan jedan od načina za rešavanje problema lociranja dva objekta (pekare) i određivanje ruta kretanja vozila prilikom snabdevanja prodavnica. Pretpostavka je da je kapacitet distributivnih vozila veći od potražnje u bilo kom čvoru, odnosno u ovom primeru svaki čvor koji je pokriven određenom pekarom opslužuje samo jedno vozilo. Cilj je definisati skup ruta na mreži kojima treba da se kreću vozila pri vršenju distribucije tako da ukupno rastojanje koje prave oba distributivna vozila bude minimalno. Za grafičku interpretaciju problema korišćena je test mreža Sioux Falls koja je prikazana na **slici 2**. Sioux Falls mrežu čini 24 čvora i 76 linkova koji ih povezuju.



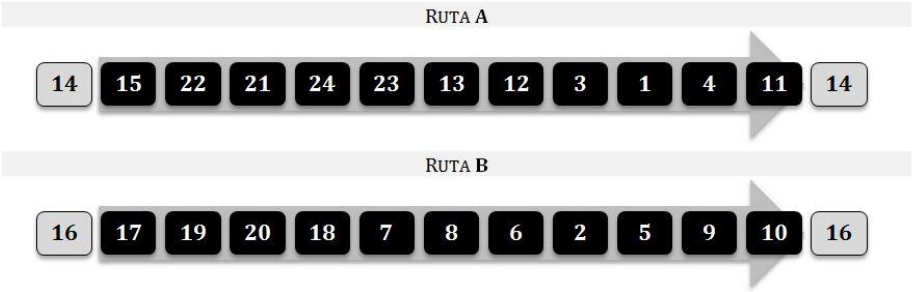
Slika 2. Sioux Falls test mreža

Na samom početku proračunata su rastojanja između svih parova čvorova primenom algoritma za iznalaženje najkraćih puteva između svih parova čvorova, odnosno *Floyd*-ovog algoritma. Nakon toga su locirani objekti, odnosno pekare. Pretpostavka u radu je da u svakom čvoru postoji mogućnost da se locira

pekara. S obzirom na veličinu mreže neophodno je bilo locirati dve pekare, jer jasno je da bi lociranje samo jedne prouzrokovalo veliku dužinu rute prilikom snabdevanja. Ovaj problem, sleđenjem opisane metodologije, rešen je primenom algoritma za rešavanje problema *p* – medijana.

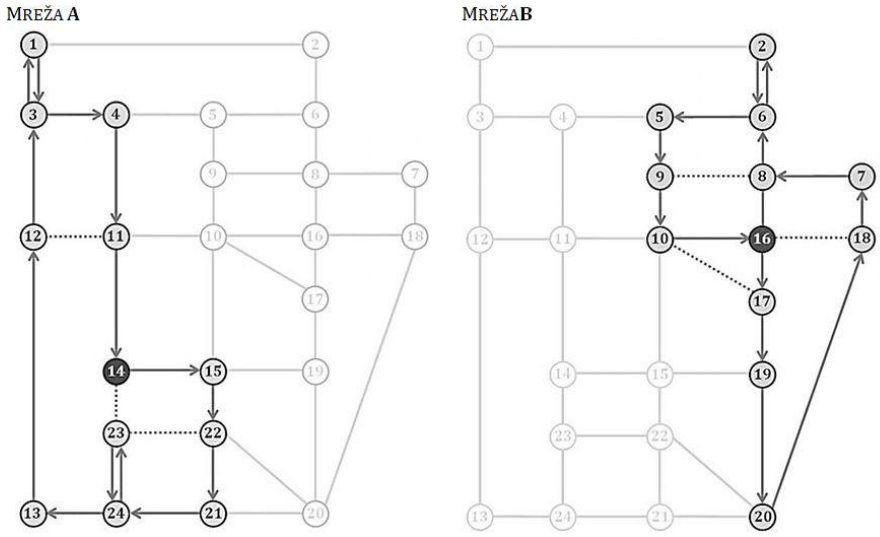
Primenom pomenutih algoritama, kao čvorovi u kojima su locirane pekare određeni su čvorovi **14** i **16**. To su čvorovi od kojih je ukupna udaljenost svih ostalih čvorova najmanja. Obe pekare pokrivaju po 12 čvorova. S tim što pekara locirana u čvoru **14** „pokriva" čvorove – 1, 3, 4, 11, 12, 13, 14, 15, 21, 22, 23 i 24, dok pekara locirana u čvoru **16** „pokriva" čvorove – 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 16, 17, 18, 19 i 20.

Posednji korak u rešavanju problema kombinatorne optimizacije u procesu snabdevanja predstavljao je određivanje ruta kretanja distributivnih vozila koja imaju zdatak da svakog jutra dopreme robu iz pekara do svih čvorova, odnosno korisnika. Primenom algoritma za rešavanje problema trgovačkog putnika definisane su rute kretanja vozila i redosled obilaska svih čvorova u mreži koji su pokriveni bazama lociranim u čvorovima **14** i **16** (**slika 3**).



Slika 3. Redosled obilaska čvorova prilikom distribucije

Grafička interpretacija rešenja prikazana je za obe rute na **slici 4**. Ukupna dužina **rute A** iznosi **31,54** km, dok je za obilazak svih čvorova u okviru **rute B** neophodno preći **25,91** km. Sa slike se može uočiti da je u okviru obe rute obilaženje svih čvorova ograničeno izborom postojećih puteva. Drugim rečima, nije bilo moguće obići svaki čvor samo jednom zbog specifičnosti mreže. Tako je u **ruti A** distributivno vozilo prilikom snabdevanja obišlo čvor 24, potom se uputilo ka čvoru 23, ali je u nastavku rute, kako bi došlo do čvora 13, moralo ponovo da prođe kroz čvor 24 bez vršenja dostave. Takođe, u okviru iste rute, nakon obilaska čvora 3, vozilo je obišlo čvor 1, a u narednom koraku je moralo opet da prođe kroz čvor 3, kako bi posetilo narednu lokaciju, odnosno čvor 4. U slučaju **rute B**, nakon što je distributivno vozilo obišlo čvor 6, uputilo se ka čvoru 2, izvršilo dostavu u čvoru 2 i u nastavku rute, kako bi došlo do čvora 5, moralo je ponovo da prođe kroz čvor 6.



Slika 4. Grafička interpretacija rešenja na mreži A i mreži B

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodno izloženog, može se zaključiti da određivanje lokacija baza na mreži iz kojih se vrši snabdevanje korisnika i određivanje ruta kretanja distributivnih vozila predstavlja izuzetno kompleksan zadatak. Kompleksnost se pre svega ogleda u ograničenjima koja mogu da budu direktna posledica konfiguracije transportne mreže, budžetskih ograničenja ili ograničenja kapaciteta (kako objekata za snabdevanje, tako i distributivnih vozila).

Kao što je ranije pomenuto, definisanje celokupnog distributivnog sistema karakteriše rešavanje dva problema, problem lociranja objekata i problem rutiranja vozila. Rešavanjem ovih problema u različitim specifičnim delatnostima, a prvenstveno u oblasti snabdevanja, skladištenja i distribucije, bavio se veliki broj autora, što potvrđuje značajan broj objavljenih radova koji se bave ovom tematikom.

Ovaj rad razmatra primenu metodologije za rešavanje problema lociranja pekara i rutiranja distributivnih vozila. U tu svrhu definisana su tri osnovna koraka za rešavanje problema – određene su vrednosti najkraćih puteva između svih parova čvorova (*Floyd*-ov algoritam); locirane su dve pekare (algoritam *p* – medijana) i definisane su rute kretanja distributivnih vozila (algoritam za rešavanje problema trgovačkog putnika). U cilju primene metodologije rešavan je hipotetički primer distribucije robe iz pekara na test mreži Sioux Falls.

Zaključci sprovedene analize ukazuju da se ovim pristupom, odnosno primenom jednostavnih, ali ujedno korisnih i lako primenjivih algoritama može postići racionalno rešenje. Rezultati hipotetičkog primera ukazuju da bi distributivna vozila u cilju obilaska svih čvorova minimalni broj puta (u idealnom slučaju samo jednom), morala da prođu ukupnu dužinu od **31,54** km i **25,91** km, u okviru **rute A** i **B**, respektivno, što ujedno predstavlja najracionalnije rešenje.

Značaj definisane metodologije i rešavanja problema lociranja – rutiranja se pre svega odnosi na ukazivanje osnovnih prednosti i mogućnosti prikazanih algoritama. Metodologija bi efikasno mogla biti primenjena na rešavanje realnih problema. Ovakav pristup može biti vrlo koristan saobraćajnim inženjerima, dispečerima ili donosiocima odluke prilikom rešavanja realnih problema lociranja objekata i rutiranja vozila.

U daljem radu neophodno je prilikom rešavanja problema uzeti u obzir ograničenja koja se mogu javiti prilikom lociranja objekata i rutiranja vozila. Drugim rečima, neophodno je razmotriti dostupnost čvorova za lociranje objekata, potom troškove lociranja objekata na različitim lokacijama u mreži, kao i uzeti u obzir kapacitet objekata. Sa druge strane prilikom rutiranja vozila, nophodno je u razmatranje uvesti kapacitet samih vozila, kao i jedinične troškove distribucije po jedinici rastojanja.

ZAHVALNICA

Rad predstavlja rezultat istraživanja u okviru projekta Ministarstva nauke, prosvete i tehnološkog razvoja Republike Srbije, evidencioni broj projekta TR36027.

LITERATURA

[1] Barreto S., Ferriera C., Paixao J., Santos B. S., (2007). Using clustering analysis in a capacitated locationrouting problem, European Journal of Operational Research 179, pp. 968-977.

[2] Bouhafs, A. Hajjam and A. Koukam, (2006). A combination of simulated annealing and ant colony system for the capacitated location-routing problem. In B. Gabrys, R. Howlett, and L. Jain, editors, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, volume 4251 of Lecture Notes in Computer Science, pages 409-416. Springer.

[3] Chen and C. Ting, (2007). A hybrid Lagrangian heuristic/simulated annealing algorithm for the multi-depot location routing problem. In Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, volume 6, pages 137-150.

[4] Derbel H., Jarboui B., Hanafi S. and Chabchoub H. (2012). Genetic algorithm with iterated local search for solving a location-routing problem. Expert Systems with Applications, 39(3):2865-2871.

[5] Drexl, M., and Schneider, M. (2013). A survey of location-routing problems. Technical Report LM-2013–03.

[6] Floyd, R. W. (1962). Algorithm 97-Shortest Path. Communications of ACM, 5, 345.

[7] Liu, S. and Lee, S. (2003). A two-phase heuristic method for the multi-depot location routing problem taking inventory control decisions into consideration. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 22(11–12), 941–950

[8] Nagy, G. and Salhi, S. (2007). Location-routing: Issues, models and methods. European journal of operational research, 177(2), 649-672.

[9] Nambiar, J.M., Gelders, L.F., Van Wassenhove, L.N., (1981). A large scale location-allocation problem in the natural rubber industry. European Journal of Operational Research 6, 183-189.

[10] Prodhon, C. and Prins, C. (2014). A survey of recent research on location-routing problems. European Journal of Operational Research, 238(1), 1-17.

[11] Teodorović, D. (2016). Transportne mreže. Saobraćajni fakultet, Beograd, Republika Srbija.

[12] Wu T. H., Low C., Bai J. W., (2002). Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems, Computers & Operations Research 29, pp. 1393-1415.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.
UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

METAHEURISTIČKI PRISTUP REŠAVANJU PROBLEMA MAKSIMALNOG POKRIVANJA LOKACIJA
A METAHEURISTIC APPROACH TO SOLVING THE MAXIMAL COVERING LOCATION PROBLEM

LAZAR MRKELA[1], ZORICA STANIMIROVIĆ[2]

[1] Fakultet za informacione tehnologije, Univerzitet Metropolitan, Beograd, lazar.mrkela@metropolitan.ac.rs

[2] Matematički fakultet, Beograd, zoricast@matf.bg.ac.rs

Rezime: *Problem maksimalnog pokrivanja lokacija (engl. Maximal Covering Location problem, MCLP) je klasični NP-težak lokacijski problem. Polazeći od zadatog skupa lokacija korisnika i skupa potencijalnih lokacija snabdevača, cilj MCLP je odabrati p lokacija za uspostavljenje snabdevača tako da se maksimizuje ukupna potražnja pokrivenih korisnika. Korisnik se smatra pokrivenim od strane snabdevača, ukoliko je njihovo međusobno rastojanje manje od zadatog radijusa pokrivanja. MCLP ima značajnu primenu pri optimizaciji telekomunikacijskih i transportnih mreža, sistema za reagovanje u hitnim situacijama, mreža snabdevanja, itd. Kako u praksi ove mreže najčešće uključuju veliki broj korisnika, u ovom radu predložena je varijanta Metode promenljivih okolina (engl. Variable Neighborhood Search, VNS) kao metaheuristički pristup za rešavanje MCLP. Performanse predložene VNS metode su ispitane na realnim test instancama i rezultati su upoređeni sa najboljim poznatim rešenjima iz literature.*

Ključne reči: *Lokacijski problem, Maksimalno pokrivanje, Metoda promenljivih okolina, Metaheuristike.*

Abstract*: The Maximal Covering Location Problem (MCLP) is a classical NP-hard location problem. Starting from the given set of user locations and a set of potential locations of suppliers, the goal of the MCLP is to choose p locations of suppliers such that the total demand of covered users is maximized. A user is considered covered by a supplier, if the distance between them is less than the given coverage radius. MCLP has important applications in optimization of telecommunication and transportation networks, emergency response systems, supply networks, etc. Since these networks often involve large number of users, we propose a variant of Variable Neighborhood Search method (VNS) as a metaheuristic approach to MCLP. The performance of the proposed VNS method is evaluated on real-life test instances and the obtained results are compared with best known solutions from the literature.*

Keywords: *Location problem, Maximal covering, Variable neighborhood search, Metaheuristics.*

1. UVOD

Problemi pokrivanja lokacija (engl. Covering problems) su dosta izučavani u dosadašnjoj literaturi, najviše zbog njihovih brojnih primena u praksi: za određivanje lokacija uslužnih centara, javnih ustanova, hitnih službi, itd. U problemima pokrivanja, polazi se od skupa korisnika i skupa potencijalnih lokacija za uspostavljanje uslužnih centara. Klasičan problem pokrivanja lokacija (engl. Vertex Covering Location Problem) podrazumeva da svaki korisnik mora biti pokriven, odnosno da može zadovoljiti svoje zahteve od strane bar jednog uspostavljenog centra koji se nalazi na rastojanju ne većem od unapred zadatog radijusa pokrivanja. Međutim, usled ograničenja budžeta, broj uslužnih centara koje treba uspostaviti je najčešće fiksiran, te je cilj odrediti optimalne lokacije za uspostavljanje centara tako da se maksimizujuju zahtevi pokrivenih korisnika. Ovaj problem je u literaturi poznat pod nazvom problem maksimalnog pokrivanja lokacija (engl. Maximal Covering Location Problem, MCLP). Formulisali su ga Church & ReVelle 1974. godine u [3], a u radu [15] je dokazano da je u pitanju NP-težak problem. Polazeći od osnovnog MCLP koncepta iz [3], do sada su predložene brojne varijante problema sa dodatnim pretpostavkama koje odslikavaju uslove iz realnih situacija. Od velikog značaja je njihova primena u telekomunikaciji prilikom planiranja lokacija predajnika mobilne telefonije, baznih stanica, kontrolera, antena itd. Pregled varijanti MCLP i njihovih primena dat je u [4].

U literaturi je do sada predloženo nekoliko egzaktnih metoda za rešavanje MCLP. Deterministički algoritmi koji koriste geometrijski pristup su se pokazali uspešnim u slučajevima malog broja korisnika i pod dodatnim pretpostavkama da je oblast snabdevanja kružnog [2], kvadratnog [14] ili pravougaonog oblika [13]. Imajući u vidu da realne mreže snabdevanja uključuju veliki broj korisnika, mnogi istraživači su se fokusirali na razvoj heuristika za MCLP. Nekoliko varijanti Lagranžove heuristike za MCLP predloženo je u radovima [6], [9] i [12],

a u radu [9] upoređeni su rezultati Lagranžove i surogat relaksacije za MCLP. Problem je rešavan i pohlepnim heuristikama (engl. greedy heuristic), kao što su pohlepno dodavanje i pohlepno dodavanje sa zamenom [3], stohastička pohlepna adaptivna heuristika [17], itd. Populacijske metaheuristike su takođe korišćene u cilju rešavanja MCLP. Genetski algoritam (engl. Genetic algorithm, GA) za rešavanje nekoliko lokacijskih problema, uključujujući MCLP, je predložen u [11]. Osnovna GA implementacija prilagođena karakteristikama MCLP data je u [5]. Hibridizaciju GA sa procedurom lokalnog pretraživanja za MCLP predložili su Martínez & Lozano u [7]. Atta i sar. su u [1] razvili GA implementaciju za MCLP koja je pojačana procedurom fine lokalne popravke rešenja. Performanse GA implementacije iz [1] su isptivane na realnim i generisanim test primerima MCLP problema. Detaljniji pregled metoda za rešavanje MCLP i njegovih varijanti može se naći u [4], [8].

U ovom radu, korišćen je metaheuristički pristup rešavanju problema MCLP. Razvijena je implementacija metode promenljivih okolina (engl. Variable Neighborhood Search, VNS) u cilju efikasnog rešavanja instanci problema koje uključuju veliki broj korisnika. Prema našim saznanjima, VNS do sada nije korišćen za rešavanje klasičnog MCLP. Predložena VNS metoda je testirana na skupu realnih SJC instanci [12] i dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima Lagranžove heuristike iz [12] i genetskog algoritma sa finom lokalnom popravkom [1].

Ostatak rada je organizovan na sledeći način. Matematička formulacija MCLP prezentovana je u Sekciji 2. Opis predložene VNS metode za rešavanje MCLP dat je u Sekciji 3. Eksperimentalni rezultati i poređenja prikazani su u Sekciji 4. Sekcija 5 sadrži kratku analizu rezultata i potencijalne pravce budućih istraživanja.

2. MATEMATIČKA FORMULACIJA PROBLEMA

Neka je J skup korisnika koji su predstavljeni svojim lokacijama u ravni, a I skup lokacija na kojima mogu biti uspostavljeni uslužni centri (snabdevači). Neka je s_{ij} euklidsko rastojanje između lokacije korisnika $j \in J$ i potencijalne lokacije snadevača $i \in I$. Poluprečnik pokrivanja r predstavlja maksimalnu udaljenost između lokacije korisnika j i lokacije snabdevača i, koja dozvoljava da korisnik sa lokacije j bude opslužen od strane snabdevača sa lokacije i. Korisnik se smatra pokrivenim ako postoji bar jedan uspostavljen snabdevač koji se od njega nalazi na udaljenosti manjoj od r. Svakom korisniku $j \in J$ pridružen je nenegativan broj d_j koji označava količinu zahteva datog korisnika (broj jedinica količine robe, obim usluge, količina protoka, itd). Neka je p broj snabdevača koje treba uspostaviti na nekim od lokacija iz skupa J, pri čemu je $p \leq |I|$. Na osnovu vrednosti euklidskih rastojanja s_{ij}, $i \in I$, $j \in J$, formira se binarna matrica pokrivenosti $A = [a_{ij}]$, čiji je element a_{ij} jednak jedan ukoliko je $s_{ij} \leq r$ (korisnik na lokaciji $j \in J$ može biti uslužen od strane snabdevača i), a nula u suprotnom. Matematička fomulacija poblema MCLP, predložena u radu [9] koristi dva skupa binarnih promenljivih. Promenljiva y_i, $i \in I$ uzima vrednost jedan ako je na lokaciji i uspostavljen snabdevač, a nula inače. Promenljiva x_j, $j \in J$ ima vrednost jedan ukoliko je korisnik na lokaciji j pokriven, a nula u suprotnom.

Koristeći gore navedenu notaciju, MCLP se može zapisati u vidu celobrojnog linearnog programa, kao što je predloženo u [9]:

$$\max \sum_{j \in J} d_j x_j \tag{1}$$

pri ograničenjima

$$\sum_{i \in I} y_i = p \tag{2}$$

$$\sum_{i \in I} a_{ij} y_i \geq x_j, \quad \forall j \in J \tag{3}$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \tag{4}$$

$$y_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I. \tag{5}$$

Cilj MCLP je maksimizovati sumu zahteva pokrivenih korisnika (1). Neophodno je uspostaviti tačno p snabdevača, što je obezbeđeno uslovom (2). Uslovi tipa (3) označavaju da se korisnik $j \in J$ smatra pokrivenim ukoliko postoji bar jedan uspostavljeni snabdevač $j \in J$ tako da je $s_{ij} \leq r$. Promenljive x_j, $j \in J$ i y_i, $i \in I$ su binarne, što je definisano uslovima tipa (4) i (5), respektivno.

3. VNS METODA ZA REŠAVANJE MCLP

Metoda promenljivih okolina (engl. Variable Neighborhood Search, VNS) predstavlja jednu od najefikasnijih metaheurističkih metoda. Predložili su je Mladenović i Hansen u [16] i od tada nalazi široku primenu za rešavanje raznih problema optimizacije. Osnovna ideja VNS metode je sistematična promena okolina iz unapred

definisanog skupa, čime se izbegava zaglavljivanje pretrage u lokalnom optimumu. VNS metoda se pokazala uspešnom pri rešavanju brojnih lokacijskih problema, posebno u slučaju velikih dimenzija [10], što je i bila motivacija za izbor VNS pristupa pri rešavanju MCLP.

U predloženoj VNS implementaciji, rešenje je predstavljeno skupom od p elemenata skupa $\{1,2,\ldots,|I|\}$ koji predstavljaju indekse lokacija na kojima su uspostavljeni snabdevači. Kada postoji informacija o lokcijama snabdevača, lako se određuje skup pokrivenih korisnika iz J, a zatim se funkcija cilja računa kao zbir ukupne potražnje pokrivenih korisnika. Početno rešenje se gradi jednostavnom pohlepnom procedurom. Polazeći od praznog skupa indeksa snabdevača, procedura u svakom koraku dodaje po jedan indeks lokacije sve dok se ne dobije rešenje sa p snabdevača. U svakom koraku, pohlepna procedura bira lokaciju koja maksimalno povećava ukupnu pokrivenu potražnju korisnika. Strukture okolina koje su korišćene u VNS implementaciji definisane su potezom zamene (engl. swap) dve lokacije: snabdevač se uklanja sa jedne i postavlja na drugu lokaciju. Okolina $N_k(sol)$ rešenja sol se dobija primenom k uzastopnih operacija zamene dve lokacije, $k = 1,2,...,k_{max}$.

Osnovni koncept VNS metode za rešavanje MCLP prikazan je algoritmom 1. U fazi inicijalizacije, pohlepnom procedurom se konstruiše početno rešenje sol, koje postaje tekuće najbolje rešenje i brojač iteracija bez poboljšanja I_{count} se postavlja na nulu. Glavna petlja VNS-a se sastoji od dva osnovna koraka - razmrdavanja i lokalnog pretraživanja, koji se smenjuju do zadovoljenja kriterijuma zaustavljanja. Korak razmrdavanja se vrši slučajnim izborom rešenja iz okoline $N_k(sol)$ tekućeg rešenja sol, pri čemu je $1 \leq k \leq k_{max}$. Na rešenje sol' dobijeno razmrdavanjem primenjuje se lokalna pretraga u okolini $N_1(sol)$ koja koristi strategiju prvog poboljšanja. Prvo pronađeno rešenje sol" koje je bolje od trenutnog sol' postaje sol' i ovaj korak se ponavlja sve dok ima poboljšanja, u suprotnom lokalna pretraga se završava i vraća lokalni optimum sol'. Ukoliko je rezultujuće rešenje lokalne pretrage sol' bolje od tekućeg najboljeg rešenja sol, tada se za sol uzima sol', brojač I_{count} se vraća na nulu i red okoline k se postavlja na jedan . U suprotnom, red okoline k se uvećava za jedan. Algoritam zatim nastavlja sa razmrdavanjem u okolini $N_k(sol)$ tekućeg najboljeg rešenja. Opisani koraci se ponavljaju sve dok se ne dostigne maksimalni broj iteracija I_{max} bez poboljšanja tekućeg najboljeg rešenja.

Efikasna implementacija poteza zamene dve lokacije (swap) je veoma važna za efikasnost predloženog VNS algoritma. Za svaku lokaciju snabdevača, čuva se niz korisnika koje ona pokriva, dok se za svakog korisnika $j \in J$ čuva ceo broj c_j koji označava koliko snabdevača pokriva tog korisnika (inicijalno $c_j = 0$ za svako $j \in J$). Prilikom postavljanja snabdevača na neku lokaciju $i \in I$, prolazi se kroz niz korisnika koje lokacija i pokriva i za svakog korisnika j iz tog niza c_j se uvećava za jedan. U slučaju da je vrednost c_j prethodno bila nula, vrednost funkcije cilja se povećava za d_j. Prilikom uklanjanja snabdevača sa neke lokacije, za svakog korisnika j koji je bio pokriven od strane uklonjenog snabdevača, broj c_j se smanjuje za 1. U slučaju da se broj c_j smanji na 0, vrednost funkcija cilje se umanjuje za d_j.

Algoritam 1 Predložena VNS metoda za rešavanje MCLP

```
sol ← Pohlepna konstrukcija rešenja
I_count ← 0
while I_count ≤ I_max do
    k ← 1
    while k ≤ k_max do
        sol' ← slučajno generisano rešenje iz okoline N_k(sol)
        while true do
            sol'' ← prvo pronađeno rešenje iz N_1(sol') koje je bolje od sol'
            if sol'' exists then
                sol' ← sol''
            else
                break
        if obj(sol') > obj(sol) then
            sol ← sol'
            k ← 1
            I_count ← 0
        else
            k ← k + 1
    I_count ← I_count + 1
return sol
```

4. ANALIZA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA

Predložena VNS implementacija je testirana na realnim instancama predloženim u radu [12] i dostupnim na `http://www.lac.inpe.br/~lorena/instancias.html`. Ove instance su dobijene na osnovu podataka iz realnog problema postavljanja antena za pokrivanje korisnika Internetom u gradu São José dos Campos, Brazil. Čvorovi mreže su istovremeno i lokacije korisnika i potencijalne lokacije za postavljanje antena ($I = J$), a zadati

Tabela 1: Poređenje rezultata na instancama iz grupa SJC324, SJC402 i SJC500

Instanca			LH		rGA		VNS			
n	p	r	sol(%)	time(s)	sol(%)	time(s)	sol(%)	agap(%)	stdev(%)	time(s)
324	1	800	**44.94**	2.41	**44.94**	2.38	**44.94**	0.00	0.00	0.10
324	2	800	**72.33**	2.81	**72.33**	2.77	**72.33**	0.00	0.00	0.33
324	3	800	**95.49**	3.78	**95.49**	3.19	**95.49**	0.00	0.00	0.87
324	4	800	**99.62**	6.83	**99.62**	6.58	**99.62**	0.00	0.00	0.93
324	5	800	**100.00**	3.21	**100.00**	1.22	**100.00**	0.00	0.00	0.45
324	1	1200	**81.73**	2.34	**81.73**	2.67	**81.73**	0.00	0.00	0.18
324	2	1200	95.08	3.38	95.08	2.97	**95.09**	0.00	0.00	0.37
324	3	1200	**100.00**	0.22	**100.00**	0.17	**100.00**	0.00	0.00	0.40
324	1	1600	**99.76**	3.27	**99.76**	2.94	**99.76**	0.00	0.00	0.16
324	2	1600	**100.00**	0.19	**100.00**	0.16	**100.00**	0.00	0.00	0.16
Prosek			**88.90**	7.03	**88.90**	2.51	**88.90**	0.00	0.00	0.40
402	1	800	**41.01**	0.55	**41.01**	2.56	**41.01**	0.00	0.00	0.16
402	2	800	**70.94**	10.16	**70.94**	3.33	**70.94**	0.00	0.00	0.57
402	3	800	**91.90**	11.09	**91.90**	3.28	**91.90**	0.00	0.00	1.55
402	4	800	**97.96**	12.73	97.85	4.04	**97.96**	0.00	0.00	1.03
402	5	800	**99.91**	29.11	**99.91**	4.87	**99.91**	0.00	0.00	1.46
402	6	800	**100.00**	38.01	**100.00**	1.76	**100.00**	0.00	0.00	0.72
402	1	1200	**66.36**	0.71	**66.36**	2.83	**66.36**	0.00	0.00	0.23
402	2	1200	**92.79**	7.14	**92.79**	3.45	**92.79**	0.00	0.00	0.64
402	3	1200	**100.00**	13.46	**100.00**	0.18	**100.00**	0.00	0.00	0.92
402	1	1600	**96.58**	0.77	**96.58**	3.30	**96.58**	0.00	0.00	0.28
402	2	1600	**100.00**	11.87	**100.00**	2.29	**100.00**	0.00	0.00	0.36
Prosek			**87.04**	12.33	87.03	2.90	**87.04**	0.00	0.00	0.72
500	1	800	**40.31**	0.77	**40.31**	2.54	**40.31**	0.00	0.00	0.30
500	2	800	**63.20**	8.89	**63.20**	3.54	**63.20**	0.00	0.00	0.56
500	3	800	**79.82**	16.42	**79.82**	4.01	**79.82**	0.00	0.00	1.90
500	4	800	**90.29**	22.79	**90.29**	4.47	**90.29**	0.00	0.00	2.08
500	5	800	**95.70**	39.06	**95.70**	9.84	**95.70**	0.09	0.07	2.63
500	6	800	**99.08**	47.18	**99.08**	12.80	**99.08**	0.13	0.25	2.89
500	7	800	**99.92**	85.58	**99.92**	10.63	**99.92**	0.00	0.00	2.20
500	8	800	**100.00**	103.87	**100.00**	5.64	**100.00**	0.00	0.00	1.35
500	1	1200	**54.43**	1.08	**54.43**	2.77	**54.43**	0.00	0.00	0.33
500	2	1200	**91.69**	20.48	**91.69**	3.65	**91.69**	0.00	0.00	1.43
500	3	1200	**98.41**	22.90	**98.41**	6.62	**98.41**	0.00	0.00	2.34
500	4	1200	**100.00**	45.92	**100.00**	1.29	**100.00**	0.00	0.00	1.09
500	1	1600	**75.12**	1.15	**75.12**	3.26	**75.12**	0.00	0.00	0.26
500	2	1600	**99.80**	25.04	**99.80**	3.75	**99.80**	0.00	0.00	2.00
500	3	1600	**100.00**	60.74	**100.00**	1.28	**100.00**	0.00	0.00	0.85
Prosek			**85.85**	33.46	**85.85**	5.07	**85.85**	0.01	0.02	1.48

su svojim koordinatama u ravni. Instance su podeljene u 5 grupa - SJC324, SJC402, SJC500, SJC708, SJC818, prema broju čvorova u mreži $n = 324, 402, 500, 708, 818$, respektivno. Instance u okviru iste grupe imaju različit broj antena koje treba postaviti (p) i različit domet antena (r), tj. radijus pokrivanja.

VNS metoda je implementirana u programskom jeziku C++, a svi eksperimenti su izvršeni na računaru sa Intel Core i3-4170 @ 3.70GHz procesorom i 8GB RAM memorije. Na svakoj instanci, VNS algoritam izvršavan 5 puta. Vrednost parametra k_{max} je $\min(p,3)$, dok je parametar I_{max} postavljen na 5 za instance prve tri grupe (SJC324, SJC402, SJC500), a za poslednje dve grupe instanci velikih dimenzija (SJC708, SJC818) parametar I_{max} ima vrednost 10. Rezultati predložene VNS metode su predstavljeni u tabelama 1-2. Za svaku instancu, prikazani su: vrednost funkcije cilja (izražena kao procenat pokrivenosti ukupne potražnje svih klijenata) koja odgovara najboljem rešenju *sol* dobijenom kroz 5 izvršavanja, srednje odstupanje od najboljeg poznatog rešenja $agap(\%)$, standardna devijacija $stdev(\%)$ i prosečno vreme izvršavanja $time(s)$. Tabele 1-2 sadrže i najbolja rešenja Lagranžove heuristike LH iz [12] i genetskog algoritma sa finom lokalnom popravkom rGA iz [1], kao i odgovarajuća procesorska vremena ovih algoritama. Za svaku instancu, najbolje vrednosti funkcije cilja su istaknute. U vrstama označenim sa "prosek", date su prosečne vrednosti po kolonama za svaku grupu instanci.

Rezultati prikazani u tabeli 1 pokazuju da predloženi VNS na instancama iz grupa SCJ324, SCJ402 i SCJ500 dostiže sva poznata najbolja rešenja iz literature, a u slučaju instance SCJ324 za $p = 2$, $r = 1200$, VNS metoda je popravila najbolje poznato rešenje. Pritom je VNS implementacija pokazala izuzetnu stabilnost, jer na svim instancama iz grupa SCJ324 i SCJ402, VNS dostiže najbolje rešenje u svakom od 5 izvršavanja (prosečno odstupanje agap(%) i standardna devijacija stdev(%) od najboljeg rešenja su jednaki nuli). Ista situacija je i sa instancama iz grupe SCJ500, sa izuzetkom dve instance $p = 5,6$, $r = 800$ kod kojih su vrednosti agap i stdev veoma bliske nuli. Vremena izvršavanja VNS, rGA i LH nisu direktno uporediva, imajući u vidu da su sve tri metode izvršavane na različitim platformama. LH metoda iz [12] je testirana na Intel Pentium III na 733 MHz i 128 MB, dok je rGA metoda iz [1] izvršavana na Intel Core 2 duo na 2.2 GHz i 3GB. Prema podacima sa sajta `https://www.cpubenchmark.net/`, konfiguracija korišćena u [1] ima oko 2.6 puta lošije performanse od konfiguracije na kojoj je izvršavan VNS. Ako se vremena rGA skaliraju (podele sa 2.61) i

Tabela 2: Poređenje rezultata na instancama iz grupa SJC708 i SJC818

Instanca			LH		rGA		VNS			
n	p	r	sol(%)	time(s)	sol(%)	time(s)	sol(%)	agap(%)	stdev(%)	time(s)
708	1	800	**34.69**	1.48	**34.69**	2.72	**34.69**	0.00	0.00	1.15
708	2	800	**55.00**	22.25	**55.00**	4.59	**55.00**	0.00	0.00	2.38
708	3	800	**71.40**	26.25	**71.40**	6.69	**71.40**	0.00	0.00	6.28
708	4	800	**84.07**	33.84	**84.07**	13.07	**84.07**	0.00	0.00	16.36
708	5	800	**88.81**	54.65	**88.81**	12.54	**88.81**	0.00	0.00	8.21
708	6	800	**93.02**	66.19	**93.02**	14.69	**93.02**	0.00	0.00	12.23
708	7	800	**95.70**	74.65	**95.70**	17.16	**95.70**	0.09	0.11	11.39
708	8	800	97.83	108.81	97.83	25.29	**97.90**	0.14	0.16	13.68
708	9	800	99.21	139.98	99.10	17.08	**99.24**	0.04	0.05	14.76
708	10	800	99.88	165.26	**99.99**	20.60	**99.99**	0.07	0.07	9.80
708	11	800	**100.00**	207.51	**100.00**	19.13	**100.00**	0.00	0.00	8.46
708	1	1200	**48.00**	1.98	**48.00**	2.98	**48.00**	0.00	0.00	1.69
708	2	1200	**84.23**	3.63	**84.23**	4.53	**84.23**	0.55	0.68	8.23
708	3	1200	**92.68**	30.40	**92.68**	5.74	**92.68**	0.00	0.00	10.90
708	4	1200	**98.73**	55.97	**98.73**	6.44	**98.73**	0.00	0.00	8.71
708	5	1200	**99.79**	84.69	99.66	7.24	**99.79**	0.08	0.07	10.56
708	6	1200	**100.00**	98.70	**100.00**	4.19	**100.00**	0.00	0.00	5.82
708	1	1600	**69.56**	2.04	**69.56**	3.84	**69.56**	0.00	0.00	0.70
708	2	1600	**96.59**	64.87	**96.59**	4.70	**96.59**	0.00	0.00	8.04
708	3	1600	**98.74**	52.73	98.59	5.38	**98.74**	0.00	0.00	6.19
708	4	1600	**100.00**	71.40	**100.00**	2.75	**100.00**	0.00	0.00	3.25
Prosek			90.68	69.93	90.67	7.29	**90.69**	0.06	0.07	6.86
818	1	800	**28.77**	1.48	**28.77**	2.86	**28.77**	0.00	0.00	1.34
818	2	800	**45.62**	29.16	**45.62**	5.48	**45.62**	0.00	0.00	3.46
818	3	800	**60.02**	37.02	**60.02**	6.32	**60.02**	0.00	0.00	8.46
818	4	800	**73.46**	43.83	**73.46**	7.72	**73.46**	0.00	0.00	13.54
818	5	800	**84.10**	51.03	**84.10**	13.52	**84.10**	0.28	0.20	15.08
818	6	800	**88.82**	73.87	**88.82**	17.73	**88.82**	0.40	0.46	16.70
818	7	800	**92.34**	99.80	**92.34**	22.03	**92.34**	0.03	0.04	17.73
818	8	800	**95.25**	129.84	**95.35**	18.11	**95.35**	0.00	0.00	12.78
818	9	800	97.20	158.02	97.36	18.78	**97.39**	0.12	0.21	21.53
818	10	800	98.19	197.79	98.55	22.22	**98.87**	0.03	0.02	15.45
818	11	800	99.48	215.36	**99.74**	34.52	**99.74**	0.00	0.01	16.28
818	12	800	99.78	283.91	99.81	20.49	**99.96**	0.06	0.04	13.57
818	13	800	99.92	299.89	99.98	21.78	**100.00**	0.00	0.00	6.44
818	14	800	**100.00**	337.02	**100.00**	31.17	**100.00**	0.00	0.00	5.41
818	1	1200	**39.81**	1.71	**39.81**	4.12	**39.81**	0.00	0.00	1.89
818	2	1200	**69.56**	49.16	**69.56**	5.57	**69.56**	0.00	0.00	5.72
818	3	1200	**86.43**	35.21	**86.43**	5.69	**86.43**	0.00	0.00	12.03
818	4	1200	**92.67**	25.95	**92.67**	8.23	**92.67**	0.00	0.00	15.38
818	5	1200	**97.75**	89.97	**97.75**	16.58	**97.75**	0.00	0.00	16.36
818	6	1200	**99.89**	106.61	99.59	7.74	**99.89**	0.00	0.00	11.55
818	7	1200	**100.00**	137.31	99.96	5.71	**100.00**	0.00	0.00	7.85
818	1	1600	**57.69**	2.64	**57.69**	3.78	**57.69**	0.00	0.00	0.79
818	2	1600	**84.50**	43.72	**84.50**	5.22	**84.50**	0.00	0.00	9.14
818	3	1600	**94.87**	53.89	**94.87**	5.22	**94.87**	0.00	0.00	15.22
818	4	1600	**98.95**	62.28	**98.95**	5.07	**98.95**	0.00	0.00	9.10
818	5	1600	**100.00**	110.40	**100.00**	3.16	**100.00**	0.00	0.00	6.76
Prosek			84.04	102.96	84.07	12.26	**84.10**	0.04	0.04	10.75

uporede sa vremenima izvršavanja VNS metode, može se zaključiti da VNS u proseku brže dostiže najbolja rešenja u poredjenju sa rGA na svakoj od grupa instanci SCJ324, SCJ402 i SCJ500. Kako za konfiguraciju iz [12] ne postoje pouzdani podaci na `https://www.cpubenchmark.net`, vremena izvršavanja LH i VNS nije moguće porediti čak ni indirektno.

Analizirajući rezultate na instancama SJC708 i SJC818 u tabeli 2, zaključujemo da VNS ima bolje performanse od LH i rGA u pogledu kvaliteta rešenja. VNS metoda je dostigla sva najbolja rešenja na ovim instancama i uspela da popravi najbolja rešenja na dve instance iz grupe SJC708 (za $p = 8, 9$, $r = 800$) i četiri instance iz grupe SJC818 (za $p = 9, 10, 12, 13$, $r = 800$). Sa druge strane, LH i rGA metode nisu dostigle najbolja rešenja na 3, odnosno 4 instance iz grupe SJC708 i 5, odnosno 6 instanci iz grupe SJC818. Niske vrednosti prosečnog odstupanja i standardne devijacije ukazuju na očuvanje stabilnosti VNS metode i za veće dimenzije problema. U proseku, agap=0.06% i stdev=0.07% za instance iz grupe SCJ708, dok je agap=0.04% i stdev=0.04% za instance iz grupe SCJ818. U pogledu vremena izvršavanja, VNS je u proseku oko dva puta sporiji u odnosu na rGA, na instancama SCJ708 i SCJ818, uzimajući u obzir razlike u performansama konfiguracija korišćenim za testranje ovih metoda. Ipak, duže vreme izvršavanja je prihvatljivo ukoliko se procenat pokrivenih zahteva poveća. Čak i mala poboljšanja vrednosti funkcije cilja dovode do značajnih ušteda u dugoročnom periodu, jer se jednom instalirani objekti snabdevača koriste duži niz godina. Ove uštede su veoma značajne imajući u vidu da su najčeše neophodni veliki budžeti za izgradnju mreže snabdevanja. Iz tog razloga, pri poređenju performansi metoda za rešavanje MCLP, prednost daje kvalitetu rešenja u odnosu na vreme izvršavanja.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu, razvijena je VNS implementacija za rešavanje problema maksimalnog pokrivanja lokacija. Korišćene su strukture okolina zasnovane na potezima zamene i implementirana je efikasna procedura za računanje vrednosti funkcije cilja. Polazeći od inicijalnog rešenja generisanog konstruktivnim pohlepnim algoritmom, u glavnoj VNS petlji se iterativno smenjuju faze razmrdavanja i lokalnog pretraživanja do dostizanja maksimalnog broja iteracija bez poboljšanja tekućeg najboljeg rešenja. Predložena VNS metoda je testirana na realnim instancama iz oblasti telekomunikacija i dobijeni rezultati su upoređeni sa najboljim poznatim rešenjima iz literature. Analizom rezultata zaključuje se da VNS za kratko vreme dostiže ili poboljšava najbolja poznata rešenja na razmatranim instancama i pritom pokazuje izuzetnu stabilnost u svim izvršavanjima. Iako su računska vremena VNS algoritma nešto duža u poređenju sa drugim metodama na instancama većih dimenzija, prednost VNS metode ogleda se u boljem kvalitetu rešenja, što je posebno značajno imajući u vidu dugoročne efekte lokacijskog planiranja i visoka sredstva neophodna za uspostavljanje mreže snabdevača. Neki od pravaca budućih istraživanja su paralelizacija VNS metode u cilju smanjivanja računskog vremena i hibridizacija sa drugim heuristikama ili egzaktim metodama za rešavanje problema maksimalnog pokrivanja lokacija.

Napomena

Istraživanje prikazano u ovom radu je delom finansirano od strane projekata br. 174010 i 47017 iz tekućeg programa Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

[**1**] Atta, S., Sinha Mahapatra, P.R. & Mukhopadhyay, A. (2018). Solving maximal covering location problem using genetic algorithm with local refinement. Soft Computing, 22, 3891-3906.

[**2**] de Berg, M., Cabello, S., & Har-Peled, S. (2009). Covering many or few points with unit disks. Theory of Computing Systems, 45(3), 446-469.

[**3**] Church, R.L., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. Papers of the Regional Science Association, 32, 101-118.

[**4**] Farahani, R.Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseininia, M., & Goh, M. (2012). Covering problems in facility location: A review. Computers & Industrial Engineering, 62(1), 368-407.

[**5**] Fazel Zarandi, M., Davari, S., & Haddad Sisakht, S. (2011). The large scale maximal covering location problem. Scientia Iranica, 18(6), 1564–1570.

[**6**] Galvão, R.D., & ReVelle, C. (1996). A Lagrangean heuristic for the maximal covering location problem. European Journal of Operational Research, 88(1), 114–123.

[**7**] García-Martínez, C., & Lozano, M. (2007). Local search based on genetic algorithms. In P. Siarry & Z. Michalewicz (Eds.), Advances in metaheuristics for hard optimization (199–221), Springer.

[**8**] García, S., & Marín, A. (2015). Covering Location Problems. In G. Laporte, S. Nickel, & F. Saldanha da Gama (Eds.), Location Science (93-114). Springer, Cham.

[**9**] Galvão, R.D., Gonzalo Acosta Espejo, L., & Boffey, B. (2000). A comparison of Lagrangean and surrogate relaxations for the maximal covering location problem. European Journal of Operational Research, 124 (2), 377–389.

[**10**] Hansen, P., Mladenović, N., & Pérez, J.A.M. (2010). Variable neighbourhood search: methods and applications. Annals of Operations Research, 175(1), 367–407, 2010.

[**11**] Jaramillo, J.H., Bhadury J., Batta. R. (2002). On the use of genetic algorithms to solve location problems. Computers and Operations Research 29(6), 761–779.

[**12**] Lorena, L.A, & Pereira, M.A. (2002). A Lagrangean/surrogate heuristic for the maximal covering location problem using Hillman's edition. International Journal of Industrial Engineering, 9, 57–67.

[**13**] Mahapatra, P.R.S. (2012). Studies on variations of enclosing problem using rectangular objects. Ph.D. thesis, University of Kalyani, Kalyani, West Bengal, India

[**14**] Goswami, P.P., & Das, S. (2015). Placing two axis-parallel squares to maximize the number of enclosed points, International Journal of Computational Geometry & Applications, 25(4), 263–282

[**15**] Megiddo, N., Zemel, E., & Hakimi. S.L. (1983). The maximum coverage location problem. SIAM Journal of Algebraic and Discrete Methods, 4(2), 253-261.

[**16**] Mladenović, N., & Hansen, P. (1997) Variable neighborhood search. Computers & Operations Research, 24(11), 1097–1100.

[**17**] Resende, M.G. (1998) Computing approximate solutions of the maximum covering problem with GRASP. Journal of Heuristics, 4(2), 161–177.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

SVOJSTVA SIMETRIJE REZOLVIRAJUĆIH SKUPOVA GRAFA $C_{2m} \square C_{2n}$

SYMMETRY PROPERTIES OF RESOLVING SETS IN GRAPH $C_{2m} \square C_{2n}$

NADA MLADENOVIĆ[1], NEBOJŠA NIKOLIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, nada.mladenovic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, nebojsa.nikolic@fon.bg.ac.rs

---

Rezime: *Skup čvorova S rezolvira graf G ako se svaka dva različita čvora grafa G nalaze na različitim rastojanjima u odnosu na bar jedan čvor iz skupa S. Najmanja kardinalnost takvog skupa predstavlja metričku dimenziju grafa G, a sam skup S predstavlja metričku bazu grafa G. U opštem slučaju problem određivanja metričke dimenzije grafa je NP-težak problem. U ovom radu data su neka svojstva simetrije rezolvirajućih skupova i metričke baze grafova koji predstavljaju Dekartov proizvod cikličnih grafova. Pomenuta svojstva obezbeđuju višestruko smanjivanje prostora pretrage za određivanje metričke baze, odnosno metričke dimenzije ovakvih grafova.*

Ključne reči: *Metrička dimenzija, Metrička baza, Dekartov proizvod, Ciklični graf.*

Abstract: *A set of vertices S resolves a graph G if every two different vertices of graph G are at different distances from at least one vertex from the set S. The smallest cardinality of such a set is the metric dimension of G, and the set S is the metric basis of G. In the general case, the problem of determining the metric dimensions of a graph is NP-hard. In this paper we have given some symmetry properties of resolving sets and metric basis in graphs which are the Cartesian product of cyclic graphs. These properties provide multiple reduction of the search space for determining the metric base, i.e. the metric dimension of such graphs.*

Keywords: *Metric dimension, Metric bases, Cartesian product, Cyclic graph.*

1. UVOD

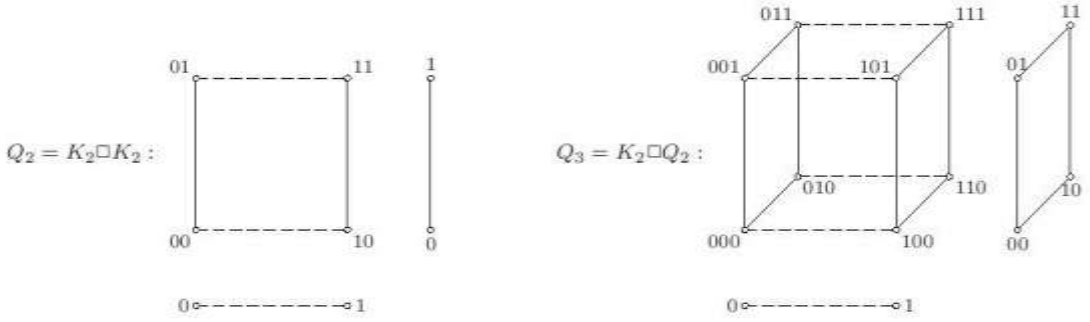
Za dati neorijentisani graf $G=(V,E)$ i proizvoljne čvorove u i v iz V, neka je $d(u,v)$ rastojanje (dužina najkraćeg puta) između čvorova u i v. Kažemo da čvor s rezolvira (razdvaja po rastojanju) čvorove u i v ($u \neq v$) ako važi $d(u,s) \neq d(v,s)$. Za skup čvorova $S=\{s_1,s_2,...,s_k\} \subseteq V$ kažemo da rezolvira graf G ako za svaka dva čvora iz V postoji čvor iz S koji ih rezolvira. Ako je $d(u,S)=(d(u,s_1),d(u,s_2),\ldots,d(u,s_k))$, onda skup S rezolvira graf G ako i samo ako za svaka dva čvora $u,v \in V$ važi $d(u,S) \neq d(v,S)$. Minimalan broj elemenata skupa S koji rezolvira graf G predstavlja metričku dimenziju grafa G i označava se sa $\beta(G)$. U tom slučaju S predstavlja metričku bazu grafa G.

Problem određivanja metričke dimenzije grafa prvi put se sreće u radovima Slater (1975) i Harary and Melter (1976), dok je u radu Khuller et al. (1996) dokazano da problem pripada klasi NP-teških problema. Poslednjih godina napisan je veliki broj radova posvećenih rešavanju ovog problema (Hernando et al. (2005), Caceres et al. (2007), Kratica et al. (2009), Nikolić et al. (2017) itd). I pored toga, tačna vrednost metričke dimenzije je poznata samo za određene tipove grafova kao što je put P_n ($\beta(P_n)=1$), kontura C_n ($\beta(C_n)=2$) i kompletan graf K_n ($\beta(K_n)=n-1$). Sa druge strane, za veliku klasu grafova kao što je hiperkocka Q_n ili Hamingov graf $H_{n,k}$ nije poznata tačna vrednost metričke dimenzije.

Dekartov (Kartezijanski) prozvod grafova G i H, u oznaci $G \square H$, je graf čiji je skup čvorova $V(G \square H)=\{(u,v): u \in V(G), v \in V(H)\}$, dok je skup grana $E(G \square H)$ definisan na sledeći način: čvorovi (u_1,v_1) i (u_2,v_2) su povezani granom ako i samo ako je $u_1=u_2$ i $\{v_1,v_2\} \in E(H)$ ili je $v_1=v_2$ i $\{u_1,u_2\} \in E(G)$. Nije teško primetiti da za svaki par čvorova (u_1,v_1) i (u_2,v_2) grafa $G \square H$ važi

$d((u_1,v_1),(u_2,v_2)) = d_G(u_1,u_2) + d_H(v_1,v_2)$. Takođe, ako su grafovi G i H povezani onda je i graf $G \square H$ povezan.

Na Slici 1 predstavljen je graf Q_2 kao Dekartov proizvod $K_2 \square K_2$ i graf Q_3 kao Dekartov proizvod $K_2 \square Q_2$, odnosno $K_2 \square K_2 \square K_2$ (važi i opštije: $Q_n = \underbrace{K_2 \square \cdots \square K_2}_{n}$). Skup $S = \{00, 01\}$ rezolvira graf Q_2 jer je $d(00,S) = (0,1)$, $d(01,S) = (1,0)$, $d(10,S) = (1,2)$ i $d(11,S) = (2,1)$. S obzorom da skup koji sadrži samo jedan čvor ne rezolvira graf Q_2 (proizvoljan čvor ne rezolvira dva sebi susedna čvora), zaključujemo da $S = \{00, 01\}$ predstavlja metričku bazu grafa Q_2 i da je $\beta(Q_2) = 2$. Na sličan način se može zaključiti da $S = \{000, 001, 011\}$ predstavlja metričku bazu grafa Q_3 i da je $\beta(Q_3) = 3$. Naime, $d(000,S) = (0,1,2)$, $d(001,S) = (1,0,1)$, $d(010,S) = (1,2,1)$, $d(011,S) = (2,1,0)$, $d(100,S) = (1,2,3)$, $d(101,S) = (2,1,2)$, $d(110,S) = (2,3,2)$ i $d(111,S) = (3,2,1)$, a skup koji sadrži samo dva čvora ne rezolvira graf Q_3 (što je dovoljno proveriti za skupove $\{000, 001\}$, $\{000, 011\}$ i $\{000, 111\}$). Napominjemo da je u opštem slučaju $\beta(Q_n) \neq n$.



Slika 1: Dekartov proizvod $K_2 \square K_2$ i $K_2 \square Q_2$.

Ovaj rad je motivisan radom Nikolić et al. (2017) u kome je dokazano nekoliko svojstava simetrije rezolvirajućih skupova hiperkocke što je omogućilo višestruko smanjivanje prostora pretrage (search space) za određivanje metričke baze hiperkocke. Rad je takođe motivisan radom Caceres et al. (2007) koji se bavi metričkom dimenzijom Dekartovog proizvoda dva grafa. U poglavlju 2 ovog rada navedeno je nekoliko svojstava simetrije rezolvirajućih skupova Dekartovog proizvoda dva ciklična grafa, dok je u poglavlju 3 iznet zaključak i pravci daljih istraživanja.

2. SVOJSTVA SIMETRIJE REZOLVIRAJUĆIH SKUPOVA I METRIČKE BAZE GRAFA $C_{2m} \square C_{2n}$

Posmatrajmo Dekartov proizvod cikličnih grafova C_{2m} i C_{2n} ($m,n \in \mathbb{N}$, $m,n \geq 2$), odnosno graf $C_{2m} \square C_{2n}$. Ako čvorove grafova C_{2m} i C_{2n} redom označimo sa $0,1,\ldots,2m-1$, odnosno sa $0,1,\ldots,2n-1$, onda je skup čvorova grafa $C_{2m} \square C_{2n}$ jednak $V_{2m,2n} = \{(i,j):\ 0 \leq i \leq 2m-1,\ 0 \leq j \leq 2n-1\}$. Za proizvoljan čvor $x = (i,j) \in V_{2m,2n}$ neka je $x^* = (i^*, j^*) \in V_{2m,2n}$ njemu „suprotan“ čvor, gde je $i^* = (i+m)_{2m}$ i $j^* = (j+n)_{2n}$, odnosno $i^* = \begin{cases} i+m, & 0 \leq i \leq m-1 \\ i-m, & m \leq i \leq 2m-1 \end{cases}$ i $j^* = \begin{cases} j+n, & 0 \leq j \leq n-1 \\ j-n, & n \leq j \leq 2n-1 \end{cases}$. Očigledno je $(x^*)^* = x$. S obzirom da u cikličnom grafu C_{2m} važi

$$d_c(i,i') = \min\{|i-i'|, 2m-|i-i'|\} \tag{1}$$

sledi da je $d_c(i,i^*) = m$. Slično, u grafu C_{2n} je $d_c(j,j^*) = n$, tako da u grafu $C_{2m} \square C_{2n}$ važi

$$d(x,x^*) = d_c(i,i^*) + d_c(j,j^*) = m+n \tag{2}$$

Neka je i' proizvoljan čvor grafa C_{2m}, j' proizvoljan čvor grafa C_{2n} i $u=(i',j')$. Tada je $d(x,u)+d(x^*,u)=d_c(i,i')+d_c(j,j')+d_c(i^*,i')+d_c(j^*,j')$. S obzirom da u C_{2m} važi $d_c(i,i')+d_c(i^*,i')=m$ i u C_{2n} važi $d_c(j,j')+d_c(j^*,j')=n$, u grafu $C_{2m}\square C_{2n}$ važi

$$d(x,u)+d(x^*,u)=m+n \tag{3}$$

Pretpostavimo da čvor x rezolvira čvorove u i v, odnosno da važi $d(x,u)\neq d(x,v)$. Iz (3) sledi $m+n-d(x^*,u)\neq m+n-d(x^*,v)$, odnosno $d(x^*,u)\neq d(x^*,v)$, što znači da i čvor x^* rezolvira čvorove u i v. S obzirom da je $(x^*)^*=x$ važi i obrnuto, odnosno ako x^* rezolvira u i v onda i x rezolvira u i v. Dakle, u grafu $C_{2m}\square C_{2n}$ čvor x rezolvira čvorove u i v ako i samo ako x^* rezolvira čvorove u i v.

Prepostavimo sada da je S metrička baza grafa $C_{2m}\square C_{2n}$ i da $x, x^*\in S$. S obzirom da S rezolvira graf $C_{2m}\square C_{2n}$, prema prethodnom i skup $S\setminus\{x\}$ rezolvira graf $C_{2m}\square C_{2n}$ (svaki par čvorova u i v koji je rezolviran sa x ujedno je rezolviran i sa x^*). Međutim, to je suprotno pretpostavci da je S metrička baza, odnosno skup koji rezolvira graf $C_{2m}\square C_{2n}$ minimalne kardinalnosti. Dakle, važi:

Svojstvo 1. Ako je skup S metrička baza grafa $C_{2m}\square C_{2n}$ i $x\in S$, onda $x^*\notin S$.

Na sličan način se može pokazati da važi:

Svojstvo 2. Ako je S metrička baza grafa (rezolvira graf) $C_{2m}\square C_{2n}$ i $x\in S$, onda je i $S\setminus\{x\}\cup\{x^*\}$ metrička baza grafa (rezolvira graf) $C_{2m}\square C_{2n}$.

Primetimo da je u cikličnom grafu rastojanje invarijantno u odnosu na „rotaciju“ čvorova. Naime, iz (1) sledi da u grafu C_{2m} važi jednakost

$$d_c(i,i')=d_c((i+r)_{2m},(i'+r)_{2m}),\quad r\in\{0,1,\ldots,2m-1\} \tag{4}$$

Slično, u grafu C_{2n} važi jednakost

$$d_c(j,j')=d_c((j+t)_{2n},(j'+t)_{2n}),\quad t\in\{0,1,\ldots,2n-1\} \tag{5}$$

Korišćenjem jednakosti (4) i (5) može se pokazati da ako skup S rezolvira $C_{2m}\square C_{2n}$ onda i skupovi $S_1=\{((i+r)_{2m},j):\ (i,j)\in S\}$, $r\in\{0,1,\ldots,2m-1\}$ i $S_2=\{(i,(j+t)_{2n}):\ (i,j)\in S\}$, $t\in\{0,1,\ldots,2n-1\}$ rezolviraju $C_{2m}\square C_{2n}$.

Najzad, neka je S metrička baza grafa $C_{2m}\square C_{2n}$ i neka $(i,j)\in S$. Primenom prethodnog, najpre na S za $r=2m-i$, a zatim na S_1 za $t=2n-j$, može se pokazati da važi:

Svojstvo 3. Postoji metrička baza S grafa $C_{2m}\square C_{2n}$ takva da $(0,0)\in S$.

3. ZAKLJUČAK

U ovom radu dato je nekoliko svojstava simetrije metričke baze i rezolvirajućih skupova Dekartovog proizvoda cikličnih grafova C_{2m} i C_{2n}. Data svojstva omogućuju smanjivanje prostora pretrage za metričkom bazom i jednostavnije određivanje metričke dimenzije grafa $C_{2m}\square C_{2n}$. Naime, graf $C_{2m}\square C_{2n}$ sadrži $2m\cdot 2n$ čvorova među kojima treba izabrati skup od $\beta=\beta(C_{2m}\square C_{2n})$ čvorova koji rezolvira graf $C_{2m}\square C_{2n}$. Na osnovu Svojstava 1 i 2 prostor pretrage se može smanjiti dva puta, a na osnovu Svojstva 3 umesto skupova sa β čvorova mogu se pretraživati skupovi sa $\beta-1$ čvorova (koji zajedno sa $(0,0)$ rezolvira graf $C_{2m}\square C_{2n}$).

Pravci daljih istraživanja vode ka uopštavanju dobijenih rezultata na Dekartov proizvod više cikličnih grafova i ka primeni egzaktnih i heurističkih metoda na smanjenom prostoru pretrage radi dobijanja novih egzaktnih vrednosti ili poboljšanja postojećih gornjih granica metričke dimenzije datih grafova.

LITERATURA

[1] Caceres, J., Hernando, C., Mora, M., Pelayo, I., Puertas, M., Seara, C., & Wood, D. (2007). On the metric dimension of cartensian product of graphs. SIAM Journal on Discrete Mathematics 21, 423–441.

[2] Harary, F., & Melter, R. (1976). On the metric dimension of a graph. Ars Combinatoria 2, 191–195.

[3] Hernando, C., Mora, M., Pelayo, I.M., Seara, C., Caceres, J., & Puertas, M.L. (2005). On the metric dimension of some families of graphs. Electronic Notes in Discrete Mathematics 22, 129–133.

[4] Khuller, S., Raghavachari, B., & Rosenfeld, A. (1996). Landmarks in graphs. Discrete Applied Mathematics 70, 217–229.

[5] Kratica, J., Kovačević-Vujčić, V., & Čangalović, M. (2009). Computing the metric dimension of graphs by genetic algorithms. Computational Optimization and Applications 44, 343–361.

[6] Nikolić, N., Čangalović, M., & Grujičić, I. (2017). Symmetry properties of resolving sets and metric bases in hypercubes. Optimization Letters 11(6), 1057–1067.

[7] Slater, P. (1975). Leaves of trees. Congressus Numerantium 14, 549–559.

LOGISTICS MANAGEMENT

LOGISTIKA

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

UNAPREĐENJE PROCESA ODLUČIVANJA U KRIZNIM SITUACIJAMA

IMPROVING THE PROCESS OF DECISION-MAKING IN CRISIS SITUATIONS

NEBOJŠA MIŠIĆ[1], MOMČILO ĐORĐEVIĆ[1], NENAD ZRNIĆ[2], SANJA PEJČIĆ[1], RADOJE BANKOVIĆ[1]

[1] Vojska Srbije, momcilo.djordjevic@vs.rs
[2] Mašinski fakultet, Beograd, n.zrnic@mas.bg.ac.rs

Sažetak: *Treća misija Vojske Srbije predstavlja podršku civilnim vlastima u suprotstavljanju nevojnim pretnjama bezbednosti. Za vreme katastrofalnih poplava maja meseca 2014. godine, pravovremenom i potpunom podrškom civilnim vlastima Vojska Srbije je odigrala jednu od bitnih uloga u spasavanju života i obezbeđenju elementarnih uslova za život ljudi na ugroženim područjima. Slično je bilo i ove 2019. godine. Pred jedinice logistike postavljen je prioritetan zadatak - snabdevanje robom iz skladišta Vojske Srbije (VS), pri čemu je fokus dat na artikle hrane, pijaću vodu i opremu za smeštaj ljudi u poljskim uslovima. Ovaj rad prikazuje način na koji je najveća snabdevačka jedinica Vojske Srbije realizovala svoje zadatke koristeći metode višekriterijumskog odlučivanja. Da bi zadatke snabdevanja uspešno realizovali, donosioci odluka su morali da odrede kriterijume i potkriterijume koji su imali presudni uticaj na hitnost realizacije zadataka dotura. Definisana je struktura problema, utvrđene su težine istih i pomoću AHP metode vršeno je rangiranje skladišta iz kojeg je bilo potrebno izvršiti dotur robe do krajnjih korisnika u datoj situaciji. Za navedeno je korišćen softver Ekspert Čojs (Expert Choice).*

Ključne reči: *odluka, rang skladišta, dotur do korisnika, AHP*

Abstract*: The third mission of the Serbian Armed Forces is supporting the civilian authorities in non-military unsuspecting threats to security. During the catastrophic floods in May 2014, the Serbian Army played a vital role in saving lives and providing elementary living conditions for people in vulnerable areas with timely and full support to civilian. It was similar in 2019. Prior to logistics units, a priority task was set up - supplying items from the Serbian Army warehouse, focusing on food, drinking water and equipment for people in field conditions. This paper illustrates the way in which the largest Serbian Army supply unit implemented its tasks using multi-criteria decision-making methods. In order to successfully execute the supply tasks, decision makers had to determine the criteria and sub-criteria that had a decisive impact on the urgency of the implementation of the supply tasks. The structure of the problem is defined, the weights are determined, and the AHP method has been used to rank the warehouse from which it was necessary to execute the supply of items to the end users in the given situation. Expert Choice software was used for this.*

Keywords: *decision, warehouse rank, supply to the end users, AHP*

1. UVOD

Vanredna situacija je stanje kada su rizici i pretnje ili posledice katastrofa, vanrednih događaja i drugih opasnosti po stanovništvo, životnu sredinu i materijalna dobra takvog obima i intenziteta da njihov nastanak ili posledice nije moguće sprečiti ili otkloniti redovnim delovanjem nadležnih organa i službi, zbog čega je za njihovo ublažavanje i otklanjanje neophodno upotrebiti posebne mere, snage i sredstva uz pojačan režim rada, videti Zakon o vanrednim situacijama (2009).

U uslovima kada druge snage i sredstva sistema zaštite i spasavanja nisu dovoljni za zaštitu i spasavanje ljudi, materijalnih i kulturnih dobara i životne sredine od katastrofa izazvanih uticajem elementarnih nepogoda i drugih nesreća, Ministarstvo odbrane obezbeđuje učešće pojedinih organizacionih delova, komandi, jedinica i ustanova Vojske Srbije za pružanje pomoći u zaštiti i spasavanju u skladu sa zakonom, videti Zakon o Vojsci Srbije (2007). Specifičnost navedenih bezbednosnih izazova u odnosu na klasične rizike i pretnje jeste raznovrsnost, smanjena mogućnost njihovog predviđanja, blagovremenog otkrivanja i preventivnog delovanja, što za posledicu ima nemogućnost namenskog planiranja snaga i sredstava za sprečavanje i sanaciju posledica, videti Doktrina logistike VS (2011).

U takvoj situaciji pravovremeno doneta odluka posebno dobija na značaju, a ista u pojedinim slučajevima može biti čak i od strateškog značaja. U tom smislu, unapređenje procesa odlučivanja može biti presudno.

Isti slučaj je i za potrebe snabdevanja robom i dotura iste do krajnjih korisnika koji se nalaze u kriznim područjima. Ovaj rad se upravo napred navedenim i bavi.

2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Izbor adekvatnog skladišta koje će na najpodesniji način odgovoriti na nastalu krizu teorijski je tretirano u oblasti rešavanja lokacijskih problema i isti danas ne predstavljaju nepoznanicu. Postoji veliki broj istraživanja u području rešavanja lokacijskih problema koji obično uvažavaju kvantitativne (merljive) kriterijume. Ipak, u realnom životu okolnosti su drugačije. Najčešće, za rešavanje problema potrebno je uvažiti (zadovoljiti) mnogo kriterijuma, često različitih i različitih jačina uticaja. Pored toga što su kriterijumi raznorodni, isti su suprotni i teško merljivi, a samim tim i teško uporedivi. Pojedini su toliko važni (značajni) da imaju tendenciju da dominiraju i prevagnu u odluci. U takavoj situaciji, kriterijumi najčešće zahtevaju kompromisna rešenja. Danas, postoje više metoda višekriterijumskog odlučivanja (VKO) koji služe kao alati donosiocima odluka (DO) da donesu adekvatne odluke: ELECTRE, VIKOR, PROMETHEE, AHP, ANP, TOPSIS i dr. i njihovi fazi oblici, koje su našle primenu u mnogim sferama ljudskog delovanja.

Navešćemo više radova koji tretiraju metode VKO posebno u lokacijskim problemima. Hong i Xiaohua (2011) su u svom radu na bazi AHP metode u uslovima ograničenih finansijskih sredstava na osnovu četiri kriterijuma posmatrali pet mogućih lokacija za formiranje logističkih centara za hitne potrebe, od kojih bi se izabrala najbolja tri, a za potrebe opsluge 10 područja. Ashrafzadeh at all. (2012) su za izbor lokacije skladišta velikih kompanija u Iranu koristili AHP metodu, odnosno TOPSIS metodu u fazi okruženju. Roh (2012) i (2013) je u svojoj doktorskoj disertaciji i objavljenom radu koristio metode AHP i TOPSIS i njihove fazi varijante u izboru lokacije skladišta za potrebe humanitarne krize u dve varijante. Na sličan način su i Degener i dr. (2013), pomoću metode PROMETHEE I i II, u svom radu posmatrali lokacijski problem humanitarnih centara u područjima zahvaćenim prirodnim katastrofama u Bangladešu. Tomić i dr. (2014) su koristeći metode AHP i ESP rešavali pronalazak najpogodnije lokacije za smeštaj logističkih centara, vršeći selekciju i rangiranje istih na Balkanskom poluostrvu. Za navedeno su koristili 11 gradova na teritoriji devet zemalja u odnosu na postavljene kriterijume u dva hijerarhijska nivoa. Făgărăşan i Cristea (2015) su za izbor lokacije logističkih centara u odnosu na osam regiona u Rumuniji koristili metodu ELECTRE III, dok su Dobrota i dr. (2015) za izbor adekvatne lokacije distribucionog centra koristili fazi AHP. Karmaker i Saha (2015) su u svom radu koristili kombinaciju metoda višekriterijumskog odlučivanja: fazi AHP za strukturiranje problema izbora lokacije skladišta i određivanje težina kriterijuma, dok su pomoću TOPSIS i fazi TOPSIS metode rangirane alternative. Đorđević (2017) je u svojoj doktorskoj disertaciji u cilju izbora adekvatne lokacije rangirao četiri skladišta ubojnih sredstava koristeći simultano metode AHP i DEMATEL. Trivedi i Singh (2014), Boltürk at all. (2016), odnosno Rega & Ratih (2018) su za izbor skladišta u humanitarnim krizama koristili metode VKO, odnosno njihove fazi varijante.

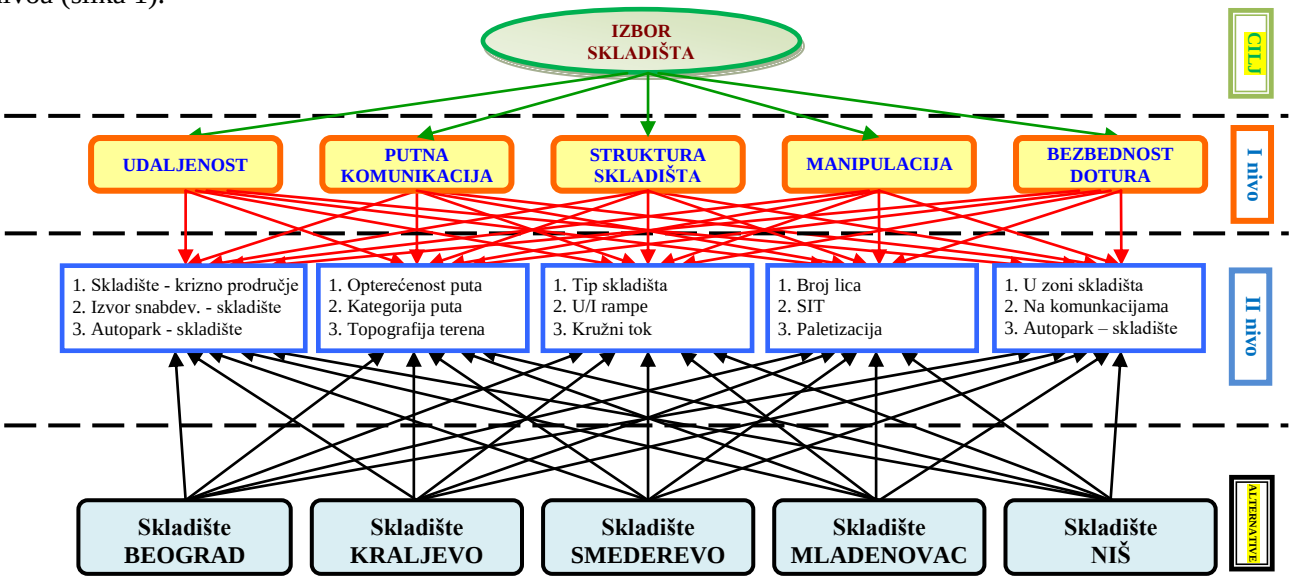
Navedeni radovi obično su koristili metode VKO s ciljem utvrđivanja lokacije gde bi skladište trebalo postaviti. Međutim, 2014. godine odnosno 2019. godine rađeno je nešto drugačije. Metoda Analitičkih Hijerarhijskih Procesa (AHP), kao metoda grupnog odlučivanja koje predstavlja jedno od složenijih oblika odlučivanja, je korišćena da pomogne DO da utvrdi optimalno skladište iz kojeg je potrebno izvršiti dotur potrebne robe do kriznih područja u datom trenutku. A bilo ih je više, posebno u zapadnoj Srbiji: šira okolina Obrenovca, Ljubovije, Požege i Valjeva. Slična situacija po pitanju poplava zadesila je ponovo deo Srbije, ove godine u okolini Krupnja, srećom manjeg obima. Metoda AHP je postala jedna od najpoznatijih VKO alata u praksi. Samu metodu razvio je Saaty (1980 i 2008), posebno je obrađena od strane Nikolića i Borovića (1996). Razlog za korišćenje metode AHP je upravo njena česta primena. Zbog svoje česte upotrebe i popularnosti može se reći da je stekla status posebne metode. Kako god, mora se reći i to da do danas nije usvojeno da je određena metoda ili više metoda najbolja ili pak bolja od ostalih, u vidu alata DO u procesu donošenja odluke. Za pomoć DO u odlučivanju korišćen je softver Ekspert Čojs (Expert Choice).

3. PRIKAZ ISTRAŽIVANJA

U radu je dat primer kako je vršeno rangiranje skladišta iz kojeg je najpogodnije bilo potrebno izvršiti dotur robe u područje zahvaćenom poplavama u zapadnoj Srbiji.

Metodologija se zasnivala na sledećem: prvo je izvršena dekompozicija složenog višekriterijumskog problema pri čemu je definisan cilj, zatim je utvrđen sistem kriterijuma po nivoima, odnosno alternative, što je omogućilo strukturiranje hijerarhijskog modela. Potom je izvršeno prikupljanje podataka i obrada istih, formirane su matrice poređenja u parovima kriterijuma i alternativa i određene im težine. Podaci su sintetizovani i alternativama je definisan rang, uz svođenje subjektivnog uticaja DO na najmanju moguću meru, što je potvrđeno kontinuiranom proverom doslednosti (konzistentnosti). U ovom slučaju, definisano je

pet alternativa i to: skladišta Beograd, Kraljevo, Smederevo, Mladenovac i Niš, a kriterijumi su dati u dva nivoa (slika 1).



Slika 1: Struktura hijerarhijskog problema

Donosioci odluka su stručni organi koji su bili nadležni za blagovremeni dotur robe u krizno područje.

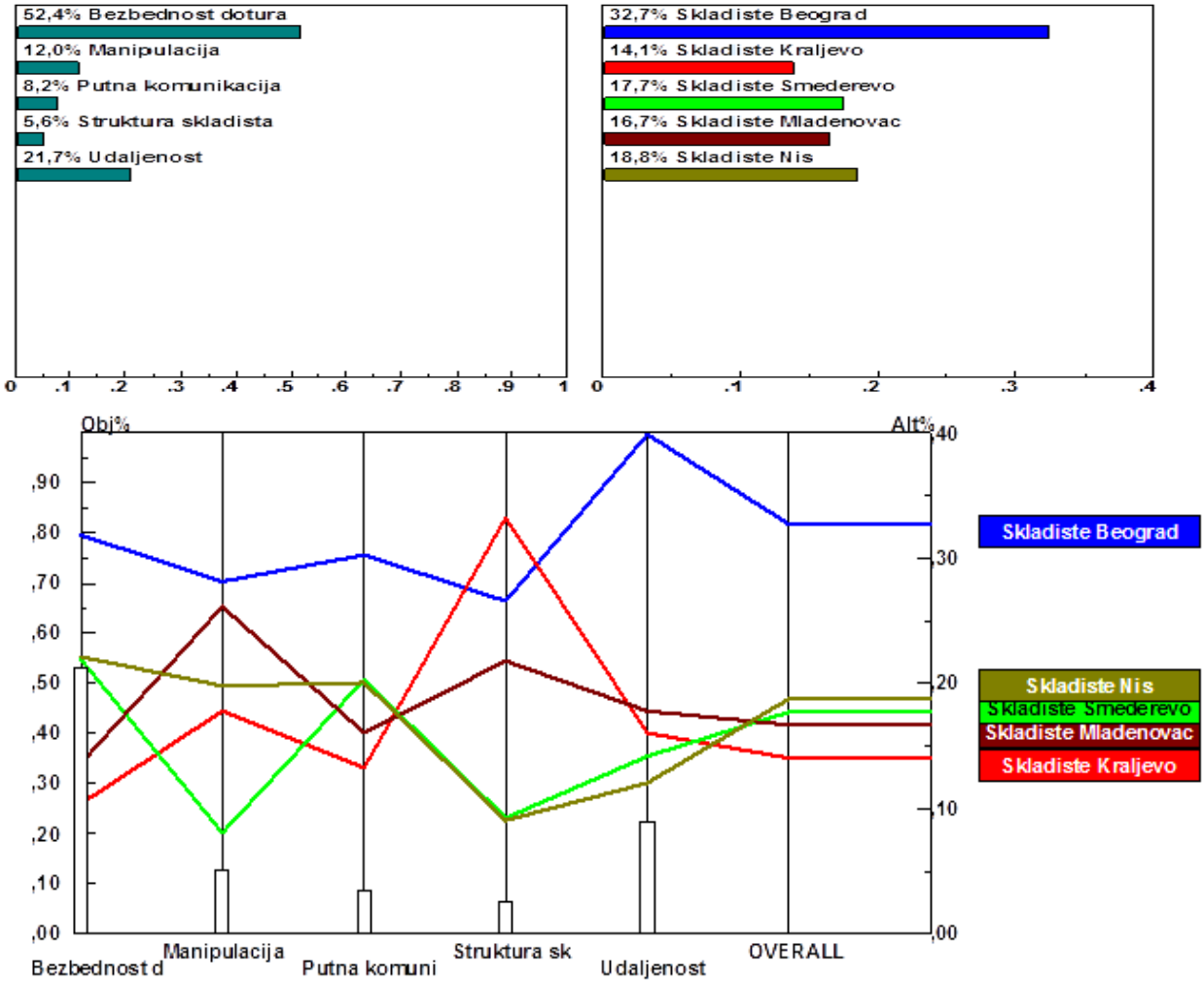
U skladu sa ocenama i mišljenju DO, procene i prioriteti prevashodno se baziraju na kriterijumu Bezbednost dotura koji dominira nad ostalim kriterijumima. Za navedeno se može reći da je logično, jer bezbednost dotura predstavlja osnov za realizaciju zadataka dotura robe do krajnjeg korisnika. Navedeno znači da kada posmatramo svih pet kriterijuma, najveći uticaj na rang skladišta imaju kriterijumi Bezbednost dotura sa 52,4%, odnosno kriterijum Udaljenost sa 21,7%. Slede kriterijumi Manipulacija sa 12,9% i Putna komunikacija sa 8,2%. Najmanji uticaj na rang skladišta prema mišljenju DO ima kriterijum Struktura skladišta sa vrednošću od 5,6% (slika 2).

Dalje, može da se zaključi da su dva kriterijuma, Bezbednost dotura i Udaljenost, najuticajniji i da zajedno nose više od 2/3 težine (uticaja) u rangiranju skladišta. Navedeno se opravdava time što su DO prvenstvo dodelili kriterijumima koji se tiču osnovne namene (funkcije) skladišta, a to je pravovremeno zadovoljenje korisnika, u datom trenutku, na datom mestu. Dalje, iako su se DO izjasnili da najmanji uticaj na rang skladišta imaju kriterijumi Manipulacija, Putna komunikacija i Struktura skladišta, isti nisu marginalizovani, već su itekako uvaženi u razmatranju.

Skladište Beograd, u odnosu na definisane kriterijume, je najbolje rangirano skladište. Slede skladišta Niš, Smederevo, Mladenovac i na kraju Kraljevo. Karakteristično je da navedena četiri skladišta, kod rangiranja, imaju približne vrednosti.

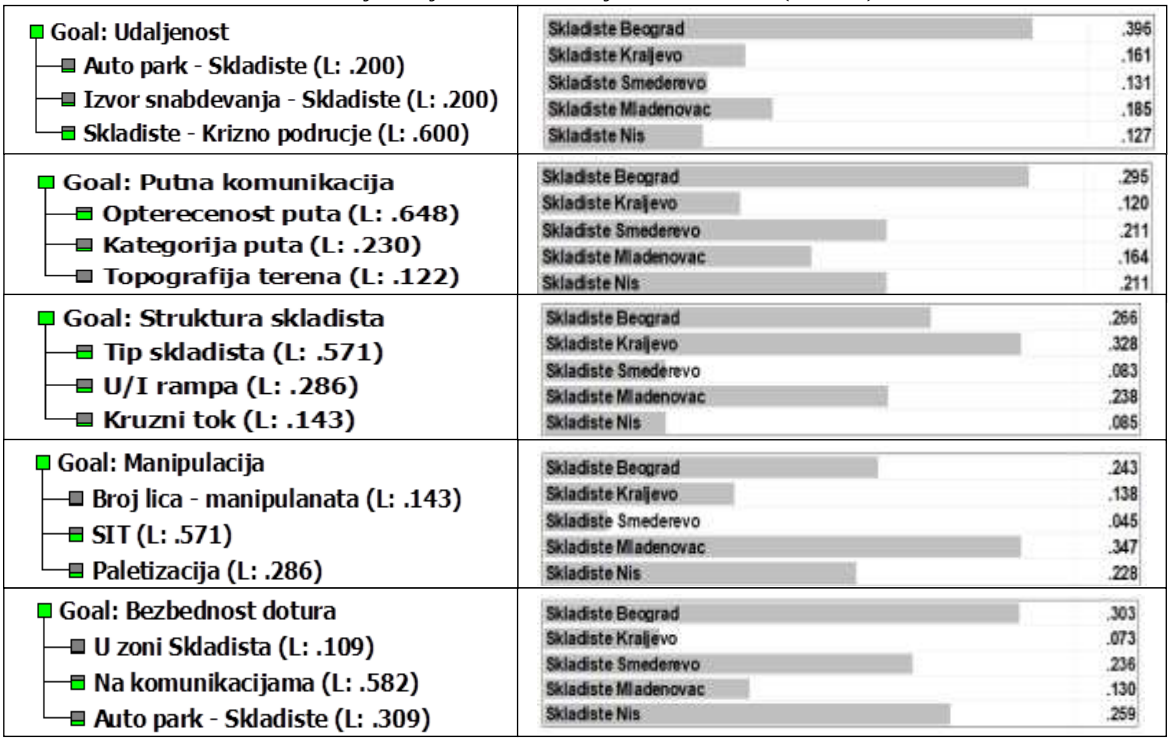
Budući da se analiza osetljivosti definisanog AHP modela zasniva na činjenici da su prioriteti kriterijuma bazirane na procenama stanja posmatranog sistema i ocenama relativnog odnosa između kriterijuma i alternativa dobijenih na osnovu znanja DO, njihovih procena i mišljenja, u narednom koraku se utvrđuje koliko promene prioriteta pojedinih kriterijuma utiču na konačnu rang-listu prioriteta alterantiva. U tom smislu, prvo su analizirani kriterijumi prvog nivoa, a potom potkriterijumi drugog niova u odnosu na cilj.

Promenama težina kriterijuma nema promena u rangu prve alternative ni pod kojim uslovima osim kod promene težine kriterijuma Struktura skladišta. Tada skladište Kraljevo postaje najbolja opcija, što se opravdava time da je isto tipsko skladište u odnosu na ostala koja nisu, a slede skladišta Beograd i Mladenovac. Znači, generalno promenama težina kriterijuma dolazi do promena samo u redosledu ostale četiri alternative. Povećanjem težine kriterijuma Bezbednost dotura nema promena u rangu skladišta, dok se sa druge strane, smanjenjem težine kriterijuma rang menja neznatno. Skladišta Mladenovac i Kraljevo postaju bolje opcije od preostala dva skladišta. Ipak, posmatrajući njihove vrednosti, one su približno iste. Obrnuto je sa promenama težine kriterijuma Udaljenost. Smanjenjem težine kriterijuma nema promena u rangu skladišta, dok u slučaju povećanja težine kriterijuma, skladišta Mladenovac i Kraljevo postaju bolje opcije od preostala dva skladišta. I u ovom slučaju, posmatrajući njihove vrednosti, one su približno iste. Kod promena težine kriterijuma Manipulacija dolazi do bitnijeg promena ranga četiri skladišta. Promene u rangu nastaju samo kod povećanja težine ovog kriterijuma, pri čemu skladišta Mladenovac i Niš dobijaju primat nad ostala dva skladišta. Promenama težine kariterijuma Putna Komunikacija nema promena u rangu alternativa.



Slika 2: Uticaj kriterijuma na rang alternativa

Kao što je i rečeno, u drugom koraku se utvrđuje koji potkriterijum u kriterijumu najviše utiče na promenu redosleda alternativa, a u cilju dalje analize osetljivosti modela (slika 3).



Slika 3: Uticaj potkriterijuma na rang alternativa

Prema mišljenjima DO, promenama težina potkriterijuma kriterijuma Bezbednost dotura nema značajnijih uticaja na redosled alternativa. Što se tiče promena težina potkriterijuma kriterijuma Udaljenost evidentno je da može doći do promena ranga samo prve dve alternative, što je inače u direktnoj zavisnosti sa vrednostima udaljenosti između dve posmatrane tačke datih u potkriterijumima. Promenama težina potkriterijuma kriterijuma Manipulacija nema promena u redosledu alternativa. Ipak, uvažavajući uticaj promena težina potkriterijuma kriterijuma Putna komunikacija i Struktura skladišta na rang alternativa, može da se zaključi da su ih DO i te kako uvažili, jer dolazi do promena u rangu. Tako imamo da se kod povećanja težine sva tri potkriterijuma kriterijuma Putna komunikacija ponaosob bitno menja rang alternativa u korist skladišta Niš i Smederevo u odnosu na Beograd. Navedno se pravda time da su isti u blizini najboljih i najprometnijih saobraćajnica u zemlji. Što se tiče promena težina potkriterijuma kriterijuma Struktura skladišta, promene u rangu alternativa su manje. Prilikom smanjena težina potkriterijuma Tip skladišta, odnosno povećanja težine potkriterijuma Utovarno/istovarne rampe, dolazi samo u promeni ranga druge i treće alternative, odnosno do promena ranga skladišta Beograd i Mladenovac. U drugim slučajevima, nema promena u redosledu skladišta. Navedeno može da se objasni na sledeći način: DO su uvažili bitnost tipskog skladišta i postojanje uslova za mehanizovani rad u skladištu koje može itekako imati uticaj na hitnost i pravovremenost izvršenja zadatka.

Na kraju, mora da se napomene da je kontiniurano vršena kontrola stepen doslednosti (konzistentnosti) koji je bio manji od dozvoljenih 10%, te se može zaključiti da su procene i mišljenja DO u modelu konzistentne.

5. ZAKLJUČAK

Rešavanje složenih problema odlučivanja u organizacionim sistemima može se realizovati na više načina: korišćenjem postojećih i posebno razvijenih alata (prikupljena i sistematizovana teorijska i praktična znanja, tehnike, metode, softver i oprema), odnosno korišćenjem ljudskog empirijskog znanja, iskustva i njegove kreativnosti. Većina problema u realnom sistemu su slabo struktuirani problemi koji se ne mogu potpuno formalizovati, a razvijene i dostupne metode, tehnike, softveri i oprema zahtevaju da se problemi identifikuju, definišu i oblikuju na formalizovan način. Postojeće slabosti često znaju da budu posledica nedovoljne primene teorijskih i tehnoloških dostignuća, nepostojanja razrađene metodologije rada, nepoštovanja teorijskih principa, a pre svega ne vršenje kontinuiranog praćenja stanja u okruženju. Drugi važan uzrok trenutnog stanja je neadekvatna i nedovoljna primena timskog (grupnog) rada i angažovanja stručnih lica. Zbog svega navedenog, kompromisi se kontinuirano moraju tražiti i neizbežni su. Primena naučnih metoda, tehnika, softvera, opreme i principa, u rešavanju problema odlučivanja, predstavlja korišćenje teorijskih dostignuća kao podloge kvalitetnog rada kojom se doprinosi povećanju kvaliteta, egzaktnosti i brzini rešavanja problema, boljem iskorišćenju resursa i racionalizaciji poslovanja. Sa druge strane, čovek kao stručno lice sa svojim znanjima, iskustvom i sposobnošću da brzo identifikuje i definiše problem, koristiće se sve više kod slabo struktuiranih problema.

Izbor najpodesnijeg skladišta bazira se danas praktično na manuelnim postupcima rada stručnih organa, što za posledicu ima necelishodno angažovanje respektivnih materijalnih i ljudskih resursa. Postojeći način praćenja je neracionalan, neefikasan i zastareo. Primenom osnovnih postavki sistemskog pristupa istraživanju i razvoju organizacionih sistema, odnosno naučnih dostignuća odlučivanja i višekriterijumske optimizacije, moguće je vršiti kvalitetnu analizu i rešavanje realnih problema odlučivanja u organizacionim sistemima. Analizom iskustvenih saznanja i prikupljenih podataka prilikom provedenog istraživanja korišćenjem metode AHP može se zaključiti sledeće: za potrebe prikazanog istraživanja strukturiran je nov model, usvojen je nov, sveobuhvatan sistem kriterijuma u dva nivoa, i to od pet kriterijuma i 15 potkriterijuma, a u obzir je uzeto pet skladišta (alternativa). Donosioci odluka prvenstvo, s ciljem realizacije zadataka dotura, dali su kriterijumima Bezbednost dotura i Udaljenost. Ipak, DO su uvažili i manje uticajne kriterijume i njihove potkriterijume na rang alternativa što se posebno može utvrditi pomoću navedene analize osetljivosti. S obzirom na prezentovano, može da se zaključi da navedeni model može pomoći DO da donesu adekvatne i pravovremene odluke u uslovima hitnosti i neizvesnosti zadovoljenja potreba samih korisnika.

Posebnu pomoć u budućim istraživanjima može da pruži i primena drugih metoda VKO, posebno njihova kombinacija s ciljem smanjenja subjektivnosti DO, ali i primena sistema kao što je GIS (Geografski informacioni sistem). Integracijom metodologija i navedenog sistema moguće je približiti se realnoj situaciji, na vreme sagledati i uvažiti eventualna ograničenja koje lokacija definiše, a posebno vezana za geografske, orografske i geološke karakteristike zemljišta, čak i klimatske. Podaci koji se iz GIS koriste mogu blagovremno da ukažu koji region na makro nivou i sama lokacija skladišta na mikro nivou odgovara ili ne, uvažavajući novousvojeni sistem kriterijuma koji utiču na izbor najpogodnijeg skladišta za dotur robe.

LITERATURA

[1] Ashrafzadeh, M., Rafiei, F.M. & Zare, Z. (2012). The Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process Approach for the Selection of Warehouse Location: A Case Study. International Journal of Business and Social Science, Vol. 3, No. 4, pp. 112-125

[2] Ashrafzadeh, M., Rafiei, F.M., Isfahani, N.M. & Zare, Z. (2012). Application of fuzzy TOPSIS method for the selection of Warehouse Location: A Case Study. Interdisciplinary Journal Of Contemporary Research In Business, Vol. 3, No. 9, pp. 655-671

[3] Boltürk, Onar, Öztayşi, Göztepe, Kahraman (2016) Multi-attribute warehouse location selection in humanitarian logistics using hesitant fuzzy AHP, International Journal of the Analytic Hierarchy Process, Vol. 8, Iss. 2, ISSN 1936-6744, http://dx.doi.org/10.13033/ijahp.v8i2.387

[4] Dobrota, M., Macura, D. & Šelmić, M. (2015). Multi Criteria Decision Making For Distribution Center Location Selection - Serbia Case Study. Proceedings of the 2nd Logistics Internacional

[5] Degener, P., Gosling, H. & Geldermann, J. (2013). Decision support for the location planning in disaster areas using multi-criteria methods. Proceedings of the 10th International ISCRAM Conference, Baden-Baden, Germany, pp. 278-283

[6] Doktrina logistike Vojske Srbije (2011). Generalštab VS, Uprava za logistiku (J-4), Beograd

[7] Đorđević, M. (2017). Sistemski pristup odlučivanju u izboru lokacije i sadržaja skladišta ubojnih sredstava. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet u Beogradu

[8] Zakon o vanrednim situacijama, Službeni glasnik RS, br. 111/2009, 92/2011 i 93/2012

[9] Zakon o Vojsci Srbije, Službeni glasnik RS, br. 116/2007, 88/2009, 101/2010 - dr.zakon, 10/2015 - odluka US i 36/2018

[10] Karmaker, C. L. & Saha, M. (2015). Optimization of warehouse location through fuzzy multi-criteria decision making methods. Decision Science Letters, Vol. 4, Iss. 4, pp. 315-334

[11] Rega, T.H. & Ratih, D.K. (2018). A model to determine relief warehouse location in East Jakarta using the AHP, International Journal of Technology, Vol. 9, Iss. 7, pp. 1405-1414

[12] Roh, S., Jang, H. & Han, C. (2013). Warehouse Location Decision Factors in Humanitarian Relief Logistics. The Asian Journal of Shipping and Logistics, Vol. 29, No. 1, pp. 103-120

[13] Roh, S. (2012). The pre-positioning of humanitarian aid: the warehouse location problem. PhD Thesis, Cardiff Business School, Cardiff University

[14] Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw Hill, New York, ISBN: 9780070543713

[15] Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences, Vol. 1, No. 1, pp. 83-98*

[16] Tomić, V., Marinković, D. & Marković, D. (2014). The Selection of Logistic Centers Location Using Multi-Criteria Comparison: Case Study of the Balkan Peninsula, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 11, No. 10, pp. 97-113

[17] Trivedi, A. & Singh, A. (2014). Multi-Criteria Selection of Potential Warehouse Locations in Humanitarian Relief Logistics Conference Paper, Conference: 14th Global Conference On Flexible Systems Management, Singapore

[18] Făgărăşan, M. & Cristea C. (2015). Logistics Center Location: Selection Using Multicriteria Decision Making. Annals Of The University Of Oradea. Fascicle of Management and Technological Engineering, Vol. XXIV(XIV), Iss. 1, pp. 157-162

[19] Hong, L. & Xiaohua, Z. (2011). Study on location selection of multi-objective emergency logistics center based on AHP, Procedia Engineering, Vol. 15, pp. 2128-2132

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

JEDAN PRISTUP MODELIRANJU MREŽE ZA UPRAVLJANJE OTPADOM

AN APPROACH TO WASTE MANAGEMENT NETWORK MODELING

BRANKA DIMITRIJEVIĆ[1], BRANISLAVA RATKOVIĆ[1], KATARINA VUKADINOVIĆ[1]

[1]Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
b.dimitrijevic@sf.bg.ac.rs, b.ratkovic@sf.bg.ac.rs, k.vukadinovic@sf.bg.ac.rs

---

Rezime: *U ovom radu je predložen višekriterijumski pristup za projektovanje sistema za upravljanje otpadom definisanjem dve funkcije cilja. Prvom funkcijom cilja se minimiziraju troškovi sistema (troškovi otvaranja deponija i transfer stanica i transportni troškovi), dok se drugom funkcijom cilja minimizira negativan uticaj lociranih objekata na stanovništvo (generatori otpada). Predloženi matematički model je testiran na primeru malih dimenzija.*

Ključne reči: *višekriterijumski pristup, linearno programiranje, upravljanje otpadom.*

Abstract: *This paper proposes a multi-objective approach for waste management system design. The first objective function minimizes total system costs (opening costs of landfills as well as transfer stations, and transportation costs). The second objective function minimizes polution (negative impact) of located facilites on end users (waste generators). Proposed mathemathical model was tested on small scale numerical example.*

Keywords: *multi-objective approach, linear programming, waste management.*

1. UVOD

Otpad se definiše kao "svaki materijal ili predmet koji nastaje u toku obavljanja proizvodne, uslužne ili druge delatnosti, predmeti isključeni iz upotrebe, kao i otpadne materije koje nastaju u potrošnji i koje sa aspekta proizvođača, odnosno potrošača, nisu za dalje korišćenje i moraju se odbaciti" (Agencija za zaštitu životne sredine, 2019). Prema podacima Svetske banke, na globalnom nivou, tokom 2016. godine generisano je oko 2,01 milijarde tona komunalnog otpada, a očekuje se porast u generisanju otpada do 2050. godine na približno 3,40 milijarde tona (Svetska banka, 2018). Upravljanje otpadom predstavlja veliki problem za lokalne samouprave, koje su odgovorne za organizaciju procesa sakupljanja, tretmana i odlaganja generisanih količina otpada. Naime, upravljanje otpadom predstavlja veoma složen zadatak koji se sastoji od niza aktivnosti i procesa poput sakupljanja generisanih količina, njihovog transporta od generatora do predviđenih lokacija na kojima se vrše procesi sortiranja, inspekcije i testiranja, zatim transport do lokacija na kojima se vrši, ukoliko je moguće, neka opcija tretmana i na kraju transport do deponija, kao krajnje opcije u hijerarhiji upravljanja otpadom.

Prema podacima Svetske banke (2018), upravljanje otpadom može biti najveća stavka u budžetima lokanih samouprava: 20% opštinskih budžeta u zemljama u razvoju, više od 10% u srednje razvijenim i oko 4% u razvijenim zemljama. U tom smislu, neophodno je projektovati sistem upravljanja otpadom koji će biti troškovno efikasan, sa aspekta lokalne samouprave. Međutim, pored troškova koji prate uspostavljanje sistema upravljanja otpadom, prilikom projektovanja sistema za upravljanje otpadom potrebno je uzeti u obzir i druge ekonomske, ekološke i društvene parametre poput transportne infrastrukture, sastava generisanih količina otpada, javnih stavova i mišljenja o objektima kao što su deponije i transfer stanice itd.

Opšta struktura mreže za upravljanje otpadom se najčešće sastoji od generatora otpada, transfer stanica i deponija i transportne infrastrukture koja povezuje navedene objekte na mreži. Deponije i transfer stanice, spadaju u kategoriju "nepoželjnih" objekata zbog rizika koje imaju po zdravlje ljudi i životnu sredinu. Na primer, ukoliko otpad koji je poslat na deponiju nije pravilno tretiran i odložen, može doći do stvaranja gasova koji uzrokuju zagađenje vazduha, zemljišta i vode. Dodatno, lokacije deponija i transfer stanica smanjuju vrednost imovine stanovnika koji žive u blizini ovih objekata, dovode do povećanja buke, saobraćaja i neprijatnih mirisa. Ove činjenice predstavljaju razloge zbog kojih stanovnici, iako su generatori otpada, ne žele lokacije ovih objekata u blizini svojih domova i zbog kojih su ovi objekti u literaturi posvećenoj njihovom lociranju okarakterisani kao "ne u mom dvorištu" (*engl.* Not In My BackYard-

NIMBY) objekti. Sa druge strane, sakupljanje svih količina generisanog otpada na teritoriji lokalne samouprave uz minimalne transportne troškove implicira lociranje objekata u blizini naseljenih područja. Prethodno navedeni argumenti navode na zaključak da su prisutni višestruki i konfliktni ciljevi prilikom projektovanja sistema za upravljanje otpadom.

U literaturi se može pronaći veliki broj radova koji rešavaju problem projektovanja sistema za upravljanje otpadom primenom metoda višekriterijumske optimizacije. U preglednim radovima Ghiani *et al.* (2014) i Engeland *et al*. (2018) se može pronaći detaljan pregled matematičkih modela koji rešavaju problem projektovanja sistema za upravljanje otpadom. Erkut *et al.* (2008) su za rešavanje problema upravljanja otpadom u Centralnoj Makedoniji, Grčka, predložili višekriterijumski lokacijsko-alokacijski model. Predloženi model se sastoji od pet funkcija cilja: minimiziranje efekta staklene bašte, minimiziranje količine otpada koja se odlaže na deponije, minimiziranje ukupnih troškova sistema, maksimiziranje količine materijala koji se može obnoviti kao i energije koje se može dobiti iz sakupljenih količina otpada. Habibi *et al.* (2017) su u svom radu predložili višekriterijumski optimizacioni model za sistem upravljanja otpadom u kome su modelirani ekonomski, socijalni i ekološki aspekti sistema.

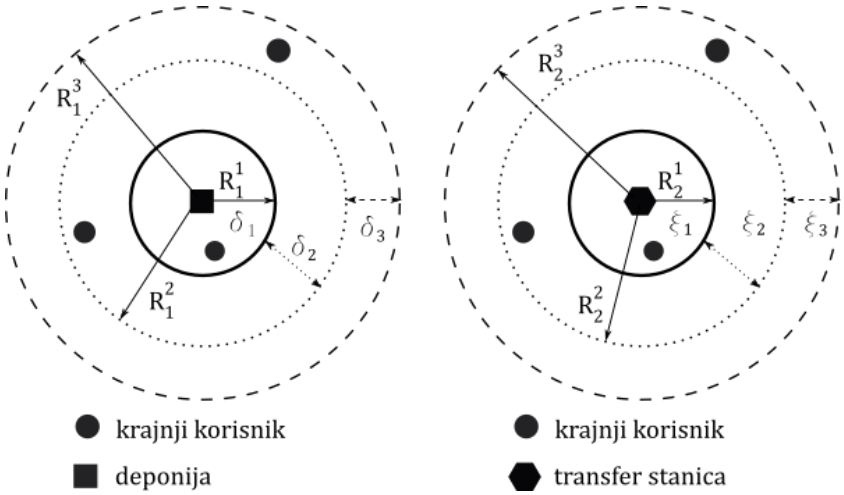
U ovom radu, predložen je višekriterijumski pristup projektovanju sistema za upravljanje otpadom kroz definisanje dve funkcije cilja kojima se minimiziraju ukupni troškovi sistema (transportni i troškovi uspostavljanja sistema) i ukupna izloženost stanovnika negativnom uticaju lociranih objekata (deponija i transfer stanica), koji predstavlja nastavak istraživanja prikazanih u Ratković i Dimitrijević (2018) i Ratković *et al.* (2018). Negativan uticaj lociranih objekata izražen je kroz definisanje zona negativnog uticaja i pripadajućih nivoa negativnih uticaja lociranih objekata na stanovništvo naseljeno u tim zonama.

U nastavku, rad je organizovan na sledeći način. Druga tačka rada opisuje posmatrani problem i sadrži matematičku formulaciju problema. Treća tačka sadrži ilustrativni primer i analizu rezultata dobijenih rešavanjem opisanog modela, dok su u poslednjoj tački rada data zaključna razmatranja i pravci budućih istraživanja.

2. OPIS PROBLEMA I MATEMATIČKA FORMULACIJA MODELA

U radu je posmatran problem određivanja lokacija transfer stanica (TS) i deponija (D) i miniziranje broja stanovnika, kao generatora otpada, koji su izloženi negativnom uticaju (zagađenju) lociranih objekata. Lokacije generatora otpada, kao i potencijalne lokacije D i TS su poznate i predstavljene su čvorovima na mreži. Sav generisani otpad od strane krajnjih korisnika (K) potrebno je sakupiti i transportovati do najbliže lokacije TS ili direktno do lokacije na kojoj se nalazi D. Otpad se od K do TS transportuje vozilima manje nosivosti, dok se otpad koji je dopremljen do TS, najčešće redukovan nekim tretmanom, takođe transportuje do D, ali u ovom slučaju vozilima veće nosivosti. Postoje situacije kada količine otpada koje se transportuju od TS do D nisu redukovane u TS, kakva je trenutno situacija u Republici Srbiji, te je to i jedna od pretpostavki uvaženih u predloženom matematičkom modelu.

Za formulaciju matematičkog modela, kojim bi se opisao problem određivanja lokacija D i TS, definisana su dva radijusa R_1^n i R_2^n (slika 1) za D i TS, respektivno, koji omogućavaju definisanje zone negativnog uticaja n, $n = 1,...,N$, potencijalnih lokacija objekata na krajnjeg korisnika. Ukoliko se krajnji korisnik nalazi u okviru zone n, $n = 1,...,N$, biće izložen negativnom uticaju čiji je nivo predstavljen koeficijentom δ_n ($0 \le \delta_n \le 1$) kada se radi o deponijama, odnosno ξ_n ($0 \le \xi_n \le 1$) kada se radi o transfer stanicama.



Slika 1: Prikaz negativnog uticaja lociranih objekata na krajnje korisnike

Sledeća notacija je korišćena za formulaciju matematičkog modela:

Skupovi i parametri:

$N = (V, A)$ transportna mreža N sa čvorovima u skupu V i granama u skupu A
I skup generatora otpada – krajnjih korisnika, $I \in V$
J skup potencijalnih lokacija deponija, $J \in V$
L skup potencijalnih lokacija transfer stanica, $L \in V$
i indeks generatora otpada – krajnjih korisnika, $i \in I$
j,p indeksi potencijalnih lokacija deponija, $j,p \in J$
l,k indeksi potencijalnih lokacija transfer stanica, $l,k \in L$
d_{ij} najkraće rastojanje između generatora otpada i i potencijalne lokacije deponije j
d_{il} najkraće rastojanje između generatora otpada i i potencijalne lokacije transfer stanice l
d_{lj} najkraće rastojanje između potencijalne lokacije transfer stanice l i potencijalne lokacije deponije j
d_{ij}^E Euklidsko rastojanje između generatora otpada i i potencijalne lokacije deponije j
d_{il}^E Euklidsko rastojanje između generatora otpada i i potencijalne lokacije transfer stanice l
f_j fiksni troškovi lociranja deponije na potencijalnoj lokaciji j
f_l fiksni troškovi lociranja transfer stanice na potencijalnoj lokaciji l
v_i broj stanovnika u čvoru i
q_i količina otpada generisanog po pojedinačnom korisniku u čvoru i
w_i količina otpada generisanog u čvoru i (ako su svi stanovnici korisnici onda je $w_i = v_i \cdot q_i$)
c_{ij} jedinični transportni troškovi na linku $(i,j) \in A$
c_{il} jedinični transportni troškovi na linku $(i,l) \in A$
c_{lj} jedinični transportni troškovi na linku $(l,j) \in A$
Q_l kapacitet potencijalne lokacije transfer stanice l
Q_j kapacitet potencijalne lokacije deponije j
R_1^n radijus negativnog uticaja deponije na krajnje korisnike kojim se definiše zona zagađenja n, n=1,…,N
R_2^n radijus negativnog uticaja transfer stanice na krajnje korisnike kojim se definiše zona zagađenja n, n=1,…,N
δ_n koeficijent negativnog uticaja deponije u zoni n ($0 \le \delta_n \le 1$)
ξ_n koeficijent negativnog uticaja transfer stanice u zoni n ($0 \le \xi_n \le 1$)

$\Pi_i^{jn} = \left\{ j \middle| R_1^{n-1} \le d_{ij}^E < R_1^n \right\}, \forall i \in I, n = 1,...,N, R_1^0 = 0$ - skup potencijalnih lokacija deponija koje pokrivaju krajnjeg korisnika i u zoni n

$\Pi_i^{ln} = \left\{ l \middle| R_2^{n-1} \le d_{il}^E < R_2^n \right\}, \forall i \in I, n = 1,...,N, R_2^0 = 0$ - skup potencijalnih lokacija transfer stanica koje pokrivaju krajnjeg korisnika i u zoni n

Promenljive:

y_{ij} - količina otpada transportovana linkom (i,j)
y_{il} - količina otpada transportovana linkom (i,l)
y_{lj} - količina otpada transportovana linkom (l,j)
z_i^{jn} - promenljiva koja definiše broj deponija j koje pokrivaju čvor i unutar zone n
s_i^{ln} - promenljiva koja definiše broj transfer stanica l koje pokrivaju čvor i unutar zone n

p_i - ukupan negativan uticaj na krajnjeg korisnika i

$$x_j = \begin{cases} 1, \text{ako je za deponiju izabrana lokacija } j \\ 0, \text{u suprotnom} \end{cases}$$

$$x_l = \begin{cases} 1, \text{ako je za transfer stanicu izabrana lokacija } l \\ 0, \text{u suprotnom} \end{cases}$$

Formulacija problema:

$$\min \quad OF_1 = \sum_j f_j x_j + \sum_l f_l x_l + \sum_i \sum_j c_{ij} d_{ij} y_{ij} + \sum_i \sum_l c_{il} d_{il} y_{il} + \sum_l \sum_j c_{lj} d_{lj} y_{lj} \tag{1}$$

$$\min \quad OF_2 = \sum_i p_i \tag{2}$$

pri ograničenjima:

$$\sum_j y_{ij} + \sum_l y_{il} = w_i, \forall i \in I \tag{3}$$

$$\sum_i y_{il} - \sum_j y_{lj} = 0, \forall l \in L \tag{4}$$

$$\sum_i y_{il} \le Q_l x_l, \forall l \in L \tag{5}$$

$$\sum_i y_{ij} + \sum_l y_{lj} \le Q_j x_j, \forall j \in J \tag{6}$$

$$y_{il} \le Q_l x_l, \forall i \in I, l \in L \tag{7}$$

$$y_{ij} + y_{lj} \le Q_j x_j, \forall i \in I, j \in J, l \in L \tag{8}$$

$$x_j = z_i^{jn}, \forall i \in I, n = 1,...,N, j \in \Pi_i^{jn} \tag{9}$$

$$x_l = s_i^{ln}, \forall i \in I, n = 1,...,N, l \in \Pi_i^{ln} \tag{10}$$

$$\sum_{n \in N} \sum_J \delta_n z_i^{jn} + \sum_{n \in N} \sum_l \xi_n s_i^{ln} = p_i, \forall i \in I \tag{11}$$

$$x_j \in \{0,1\}, x_l \in \{0,1\}, y_{ij} \ge 0, y_{il} \ge 0, y_{lj} \ge 0, z_i^{jn} \in N_0, s_i^{ln} \in N_0, \forall i \in I, j \in J, l \in L \tag{12}$$

Prvom funkcijom cilja (1) minimiziraju se ukupni troškovi (investicioni i transportni). Druga funkcija cilja (2) minimizira ukupan negativan uticaj lociranih D i TS na stanovnike koji su izloženi tom uticaju. Ovako formulisana funkcija cilja u obzir uzima višestruku pokrivenost stanovnika lociranim objektima (na primer, njih mogu pokriti dve ili više D, TS ili kombinacija D i TS). Ograničenja (3) i (4) su tzv. ograničenja balansa toka, kojima se obezbeđuje da se generisani otpad od K transportuje bilo do lokacije na kojoj se nalazi TS, bilo do lokacije na kojoj se nalazi D (3), kao i da celokupna generisana količina otpada na kraju završi na lokaciji na kojoj se nalazi D (4). Ograničenja (5), (6), (7) i (8) su kombinacija kapacitivnih ograničenja lociranih objekata i ograničenja koja obezbeđuju da K budu alocirani samo izabranim lokacijama za TS i D. Ograničenjima (9) i (10) određuje se broj D i TS koje negativno utiču na svakog K za svaku definisanu zonu negativnog uticaja. Ograničenje (11) definiše ukupan negativan uticaj lociranih objekata na krajnjeg korisnika. Ograničenja (12) definišu prirodu promenljivih korišćenih u modelu.

5. ILUSTRATIVNI PRIMER

Predloženi višekriterijumski model za određivanje lokacija D i TS i alokaciju tokova otpada ka lociranim objektima, kao i minimizaciju negativnog uticaja lociranih objekata na K testiran je na problemu malih dimenzija. Posmatrana mreža se sastoji od 7 čvorova koji istovremeno predstavljaju K i potencijalne lokacije TS, dok su samo dva čvora (1 i 4) potencijalne lokacije D. Svi ulazni podaci za testiranje predloženog modela su ilustrativni i troškovi su normalizovani na dnevnom nivou. Kapaciteti D i TS su dovoljno veliki, a jedinični transportni troškovi su proračunati kao prosečni troškovi vozila po tonskom kilometru, uključujući i prazne vožnje. Jedinični transportni troškovi za vozilo manje nosivosti od 5 t su 0,78 €/km, odnosno troškovi

po jedinici tereta su $c_{ij} = c_{il} = 0{,}156$ €/t·km. Troškovi transporta po jedinici tereta za vozilo veće nosivosti od 20 t iznose $c_{lj} = 0{,}0715$ €/t·km. Fiksni troškovi otvaranja D i TS su posmatrani za period od dvadeset godina i isti su za sve potencijalne lokacije, tj. fiksni troškovi lociranja D (f_j) iznose 400 €, dok fiksni troškovi lociranja TS (f_l) iznose 150 €, na dnevnom nivou. Ovi troškovi su procenjeni na osnovu dostupnih podataka za Republiku Srbiju, a uključuju troškove izgradnje i nabavke neophodne opreme bez operativnih troškova. Vrednosti definisanih radijusa su: R_1^1=20 km, R_1^2=30 km, R_1^3=40 km, R_2^1=10 km, R_2^2=20 km i R_2^3=30 km, dok je $\delta_1 = 1$, $\delta_2 = 0{,}6$, $\delta_3 = 0{,}3$, $\xi_1 = 0{,}5$, $\xi_2 = 0{,}3$ i $\xi_3 = 0{,}15$. Model je razvijen u Python 2.7 programskom jeziku, a rešen IBM CPLEX 12.6 softverom.

Za rešavanje predloženog matematičkog modela korišćena je relaksirana leksikografska metoda koja omogućava donosiocu odluke da na račun relaksacije vrednosti funkcija cilja viših po rangu značajnosti ostvari poboljšanje vrednosti funkcija cilja koje su niže rangirane i uzme u razmatranje tako dobijena rešenja. U tabeli 1 predstavljena su rešenja dobijena optimizacijom svake od funkcija cilja pojedinačno, odnosno marginalna rešenja i idealne vrednosti funkcija cilja („boldirane“ vrednosti), kao i rešenja dobijena primenom relaksirane leksikografske metode.

Tabela 1: Rešenja dobijena primenom relaksirane leksikografske metode

OF_1	OF_2	Lokacije TS	Lokacije D	K izloženi uticaju TS	K izloženi uticaju D	Vrednosti parametra p_i
1458,26	3,9		D_1, D_4		K_1, K_2, K_3, K_4, K_5	p_1=1; p_2=0,6; p_3=0,3; p_4=1; p_5=1
1740	3,8	TS_4,TS_6	D_1	K_2, K_3, K_4, K_5, K_6,K_7	K_1, K_2, K_3	p_1=1; p_2=0,75; p_3=0,6; p_4=0,5; p_5=0,3; p_6=0,5; p_7=0,15
1750	2,65	TS_1	D_4	K_1, K_2,	K_4, K_5	p_1=0,5; p_2=0,15; p_4=1; p_5=1
2160	2		D_4		K_4, K_5	p_4=1; p_5=1
2164	**1,9**		D_1		K_1, K_2, K_3	p_1=1; p_2=0,6; p_3=0,3

Ukoliko se donosilac odluke u modelu opredeli za OF_1 kao funkciju kojoj se daje veći značaj i ukoliko se na primer dozvoljava porast ukupnih troškova za 19,32% u odnosu na optimalnu vrednost OF_1 (sa 1458,26 na 1740 €) tada bi se negativan uticaj lociranih objekata na stanovništvo smanjio za 2,56% (vrednost OF_2 bi se smanjila sa 3,9 na 3,8) itd.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je višekriterijumski pristup lociranju deponija i transfer stanica u sistemima upravljanja otpadom u cilju minimiziranja ukupnih troškova uspostavljanja sistema i negativnog uticaja lociranih objekata na stanovništvo. Negativan uticaj lociranih objekata na stanovništvo definisan je preko zona i pripadajućim im nivoima negativnog uticaja lociranih objekata na stanovništvo naseljeno u tim zonama.

Predloženi model je testiran na primeru malih dimenzija korišćenjem relaksirane leksikografske metode za njegovo rešavanje. Dobijeni rezultati daju uvid u strukturu sistema upravljanja otpadom, ali je prilikom testiranja predloženog modela uočeno da je tačnost ulaznih podataka od velikog značaja, što predstavlja jedan od budućih pravaca istraživanja. Takođe, jedan od pravaca budućih istraživanja se svakako odnosi i na testiranje modela na problemima realnih dimenzija i primenu drugih pristupa za rešavanje višekriterijumskih problema.

LITERATURA

[1] Agencija za zaštitu životne sredine, 2019. http://www.sepa.gov.rs/index.php?menu=207&id=202&akcija=showXlinked. Pristupano 07.06.2019.

[2] Engeland, J.V., Beliën, J., Boeck,, Jaeger S.D. (2018). Literature review: Strategic network optimization models in waste reverse supply chains, Omega https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.12.001

[3] Erkut, E., Karagiannidis, A., Perkoulidis, G., Tjandra, S.A. (2008). A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece. European Journal of Operational Research, 187,1402–21.

[4] Ghiani, G., Laganà, D., Manni, E., Musmanno, R., Vigo, D. (2014). Operations research in solid waste management: A survey of strategic and tactical issues. Computers & Operations Research, 44, 22–32.

[5] Habibi, F., Asadi, E., Sadjadi, S.J., Barzinpour,F. (2017). A multi-objective robust optimization model for site-selection and capacity allocation of municipal solid waste facilities: A case study inTehran. Journal of Cleaner Production, 166, 816-834.

[6] Ratković, B., Dimitrijević, B. (2018). Višekriterijumski pristup projektovanju sistema za upravljanje opasnim otpadom, Zbornik radova sa XLV Simpozijuma o operacionim istraživanjima – SYMOPIS 2018, Zlatibor, 16-19 septembar, 148-154

[7] Ratković, B., Dimitrijević, B., Momčilović, V. (2018). A bi-objective approach to locating facilities in solid waste management systems, Proceedings of the XIII Balkan Conference on Operational Research – BALCOR 2018, Belgrade, May 25-28, 166-173

[8] Svetska banka, 2018. What a Waste 2.0 - A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 (pdf). http://pubdocs.worldbank.org/en/429851552939596362/What-a-Waste-2-Revised-version.pdf

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

LOCIRANJE DRY PORT TERMINALA: STUDIJA SLUČAJA ZA JADRANSKE LUKE

DRY PORT LOCATION SELECTION: CASE STUDY FOR THE ADRIATIC PORTS

MLADEN KRSTIĆ[1], MILOVAN KOVAČ[2], SNEŽANA TADIĆ[3]

[1] Saobraćajni fakultet, Beograd, m.krstic@sf.bg.ac.rs
[2] Saobraćajni fakultet, Beograd, kovac.milovan@hotmail.com
[3] Saobraćajni fakultet, Beograd, s.tadic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Primena Dry Port (DP) koncepta omogućava proširenje kapaciteta i usluga lučkih terminala u uslovima prostornih ograničenja. Sa rastom kontejnerskih tokova DP koncept dobija sve više na značaju, zbog čega je i predmet ovog rada. Cilj rada je definisanje MILP (engl. Mixed Integer Linear Programming) modela za lociranje DP terminala. Predloženi model podrazumeva definisanje funkcije cilja koja minimizira troškove transporta, izgradnje i eksploatacije DP terminala, a osim lokacije, kao rezultat daje i procenu obima kontejnerskih tokova koji bi se odvijali preko odabranih DP terminala. Primenljivost predloženog modela je demonstrirana rešavanjem studije slučaja lociranja DP terminala na području Balkana i centralne Evrope za kontejnerske tokove sa jadranskih luka. Kao rezultat su dobijene lokacije na kojima je opravdano locirati DP terminale, kao i luke i regioni koji bi one povezale.*

Ključne reči: *Dry Port, lokacijski problem, MILP, jadranske luke, intermodalni terminali*

Abstract: *The implementation of Dry Port (DP) concept gives the opportunity of expanding the capacities and services of port terminals in conditions with space restrictions. With the growth of container flows the DP concept attracts a lot of attention, which is why it is the subject of this paper. The goal of this paper is to propose a MILP (Mixed Integer Linear Programming) model for selecting the DP terminal location. The model objective function is cost-based and it consists of the transportation costs, construction costs and located terminal exploitation costs. Beside the location selection, the model estimates the container flow volume through the selected DP terminals. The applicability of the proposed model is demonstrated by solving the case study of locating DP terminals in the region of The Balkans and central Europe for the Adriatic ports container flows. Obtained results indicate at which locations it is justified to locate the DP terminals, as well as the regions and ports which they would connect.*

Keywords: *Dry Port, Location Problem, MILP, Adriatic Ports, Intermodal Terminals*

1. UVOD

Pomorski kontejnerski terminali imaju značajnu ulogu u povezivanju izvorišta i krajnjih odredišta interkontinentalnih robnih tokova. Konstantan rast robnih i transportnih tokova i ograničene prostorne i infrastrukturne mogućnosti pomorskih terminala, zahtevaju strukturne, tehničko-tehnološke i organizacione promene i proširenje usluga u njima (Tadić *et al.* 2018). Kako su luke kroz istoriju bile jezgra oko kojih su se razvijali moderni gradovi, proširenje kapaciteta često nije fizički moguće. Osim toga, porast obima tokova dovodi do pojave zagušenja saobraćaja u lučkim gradovima. Kako bi se omogućilo proširenje kapaciteta terminala, rasteretio saobraćaj i poboljšali uslovi života u urbanim sredinama, luke svoje pomoćne sisteme lociraju u unutrašnjosti kontinenta. Ovaj koncept, u literaturi poznat kao Dry Port (DP), je omogućio lukama, pre svega pomorskim kontejnerskim terminalima, da prošire kapacitete i paletu usluga otvaranjem terminala u zaleđu preko kog ostvaruju vezu sa unutrašnjošću kontinenta. Sa druge strane, razvoj DP ima direktan uticaj na rast i razvoj intermodalnog transporta (Tadić & Stanković 2011)

Cilj ovog rada je definisanje MILP (engl. *Mixed Integer Linear Programming*) modela za lociranje DP terminala. Ciljna funkcija predloženog modela je minimizacionog tipa i sastoji se od troškova transporta, izgradnje i eksploatacije razvijenih DP terminala. Primena predloženog modela, osim lokacije, kao rezultat daje i procenu obima kontejnerskih tokova koji bi se odvijali preko razvijenih DP terminala, kao i to koje regione i sa kojim lukama bi se DP terminali povezivali. Definisani model je primenjen za rešavanje studije slučaja lociranja DP terminala na području Balkana i centralne Evrope, sa naglaskom na kontejnerske tokove

sa jadranskih luka. Primeni modela je prethodila evaluacija obima kontejnerskih tokova između posmatranih regiona i jadranskih luka, kao i definisanje svih kategorija troškova.

Rad je organizovan u pet celina. U drugom poglavlju je predstavljen pregled literature koja se odnosi na koncept DP, odnosno rešavanje lokacijskih problema DP terminala. U trećem poglavlju je objašnjen matematički model korišćen za rešavanje problema izbora lokacije DP terminala. U četvrtom poglavlju je opisan način aproksimacije ulaznih podataka modela i rešena je studija slučaja, nakon čega sledi analiza rezultata i zaključak.

2. PREGLED LITERATURE

Koncept DP-a je poznat u literaturi još od sredine osamdesetih godina. Witte *et al*. (2019) daju detaljan pregled literature koja se odnosi na koncept DP. Istraživanja DP koncepta u literaturi se bave: ispitivanjem efekta uvođenja koncepta DP-a (Latilla *et al*. 2013), izborom efikasnih tipova kopnenih intermodalnih terminala (Tadić *et al*. 2019), faktorima koji utiču na implementaciju DP koncepta u logističku mrežu (Roso 2008), odnosima između DP terminala i gradova na administrativnom planu (Monios 2011), odnosima DP terminala sa ostalim karikama u lancu snabdevanja (Rodrigue *et al*. 2010), uticajem DP koncepta na regionalnu ekonomiju i razvoj (Ng & Tongzon 2010), problemima lociranja DP terminala (Tadić *et al.* 2018) itd. Bentaleb *et al.* (2015) klasifikuju postojeću literaturu u domenu DP-a u odnosu na nivo odlučivanja koji je obrađen. Problemima lociranja terminala, što je predmet ovog rada, su se bavili mnogi autori (Vidović *et al*. 2011, Zečević *et al.* 2017, Sorensen *et al.* 2012, Tadić *et al*. 2016, Tadić *et al.* 2013, Tadić *et al.* 2012). Što se tiče DP terminala, Ambrosino & Sciomachen (2014) su koristili matematički model za rešavanje lokacijskog problema, dok Feng *et al.* (2013) pomoću genetskog algoritma rešavaju pomenuti problem. Najviše radova koji se bave lociranjem DP terminala je fokusirano na prostor istočne Azije (Chang *et al.* 2015, Lv & Li 2009, Bian 2011), dok je broj radova koji pokrivaju region Evrope, odnosno Balkana i centralne Evrope mali (Monios 2011, Veenstra *et. al.* 2012, Monios & Wang 2013). U literaturi postoji samo jedan rad koji u određenoj meri analizira područje Balkana (Mlinarić *et al.* 2011), ali je problem ograničen na analizu Zagreba kao potencijalne lokacije za izgradnju DP terminala za luku Rijeka. U ovom radu je predmet analize područje Balkana i centralne Evrope u kom je potrebno locirati DP terminale za opsluživanje kontejnerskih tokova u zaleđima jadranskih luka.

Kvalitet rešenja, bez obzira na primenjenu metodu, zavisi od kvaliteta ulaznih parametara. Najvažniji ulazni parametar MILP modela u ovom radu jeste obim kontejnerskih tokova između posmatranih regiona i luka. Aproksimacija obima pomenutih tokova je izvršena na osnovu rada Fotheringam & O'Kelly (1989). Drugi ulazni parametar modela su troškovi izgradnje i eksploatacije DP terminala koji su aproksimirani na osnovu rada Wiegmans & Behdani (2017). Pored pomenutih, u obzir su uzeti i troškovi transporta kontejnera drumskim i železničkim vidom transporta dobijeni na osnovu realnih vrednosti iz prakse.

3. MATEMATIČKA FORMULACIJA MODELA

U ovom poglavlju će ukratko biti predstavljena matematička formulacija posmatranog problema lociranja DP terminala. Polazna pretpostavka jeste da se tok generator-luka realizuje u celosti drumskim transportom. U slučaju da se kontejnerski tok prelama preko DP terminala, deo toka od generatora do terminala se realizuje drumskim transportom, dok se ostatak toka, od DP terminala do luke, realizuje železničkim vidom transporta. Za svaki par generator-luka model ispituje da li je isplativije realizovati tok preko potencijalnog DP terminala. Ispitivanjem svake kombinacije trojki generator-DP terminal-luka model utvrđuje na kojim relacijama je isplativije realizovati tok u celosti drumskim transportom, a na kojima je isplativije prelamati tok preko DP terminala. Model u obzir uzima smanjenje transportnih troškova primenom železničkog transporta, kao i pojavu troškova izgradnje i eksploatacije DP terminala. Cilj modela je da se od skupa potencijalnih lokacija definiše podskup onih na kojima je opravdano razvijati DP terminale.

Neka je *I* skup generatora tokova, dok je *J* skup posmatranih luka preko kojih se odvijaju pomenuti tokovi. Veličina q_{ij} predstavlja intezitet robnog toka između generatora *i* i luke *j,* izražen u TEU (engl. Twenty-Foot Equivalent Unit). Neka su C_{ij}^{d} troškovi drumskog, a $C_{ij}^{ž}$ troškovi železničkog transporta jednog TEU na relaciji *i-j*. Neka je *K* skup potencijalnih lokacija za razvoj DP terminala. U ovom radu je usvojeno da su sve lokacije iz skupa *I* ujedno i lokacije iz skupa *K*. Binarna promenljiva X_{ij} iznosi 1 ukoliko se tok od generatora *i* do luke *j* realizuje direktnim drumskim transportom, 0 u suprotnom. Sa druge strane, binarna promenljiva X_{ikj} uzima vrednost 1 ukoliko se tok od generatora *i* ka luci *j* realizuje preko DP terminala na lokaciji *k*. Promenljiva Y_k je takođe binarna i uzima vrednost 1 ukoliko je DP terminal na potencijalnoj

lokaciji *k*, u suprotnom ova promenljiva uzima vrednost 0. Promenljiva V_{kj} iznosi 1 ukoliko postoji veza između DP terminala na lokaciji *k* i luke *j*, 0 u suprotnom. Vrednost promenljive L_{jk} iznosi 1 ukoliko postoji veza između luke *j* i DP terminala na lokaciji *k*. Istovremeno postojanje promenljivih V_{kj} i L_{jk} je opravdano činjenicom da jedan DP terminal može biti u podsistemu više od jednog lučkog terminala, kao i time da jedan lučki terminal u svom podsistemu može imati više od jednog DP terminala. Kontinualna promenljiva Q_k predstavlja ukupan broj TEU na godišnjem nivou koji prolaze kroz DP terminal na lokaciji *k*, dok kontinualna promenljiva T_k predstavlja troškove njegove izgradnje i eksploatacije. Ciljna funkcija modela je minimizacionog tipa i ima sledeći oblik:

$$\min: \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} X_{ij}\cdot C_{ij}^{d}\cdot q_{ij} + \sum_{i\in I}\sum_{k\in K}\sum_{j\in J} X_{ikj}\cdot q_{ij}\cdot\left(C_{ik}^{d}+C_{kj}^{\check{z}}\right)+\sum_{k\in K} T_k \tag{1}$$

Sa ograničenjima:

$$X_{ij}+\sum_{k\in K} X_{ikj}=1 \qquad \forall i\in I,\forall j\in J \tag{2}$$

$$Y_k \geq X_{ikj} \qquad \forall i\in I,\forall j\in J,\forall k\in K \tag{3}$$

$$V_{kj} \geq X_{ikj} \qquad \forall i\in I,\forall j\in J,\forall k\in K \tag{4}$$

$$\sum_j V_{kj} \leq V_{kj}^{\max} \qquad \forall k\in K \tag{5}$$

$$L_{jk} \geq X_{ikj} \qquad \forall i\in I,\forall j\in J,\forall k\in K \tag{6}$$

$$\sum_k L_{jk} \leq L_{jk}^{\max} \qquad \forall j\in J \tag{7}$$

$$Q_k \geq \sum_{i\in I}\grave{}\sum_{j\in J}\grave{} X_{ikj}\cdot q_{ij} \qquad \forall k\in K \tag{8}$$

$$T_k = f\left(Q_k\right) \qquad \forall k\in K \tag{9}$$

Ciljnom funkcijom (1) se minimiziraju troškovi transporta, izgradnje i eksploatacije DP terminala na izabranim lokacijama. Ograničenjem (2) se obezbeđuje da će na svakoj relaciji *i-j* biti uspostavljena maksimalno jedna veza, direktna ili preko DP terminala na lokaciji *k*. Ograničenjem (3) se, na osnovu tokova, prati koje potencijalne lokacije model tretira kao lokacije na kojima se otvara DP terminal. Ograničenjem (4) se prati sa kojim lukama DP terminal na lokaciji *k* ima uspostavljenu vezu, dok se ograničenjem (5) kontroliše da broj veza ne pređe maksimalno dozvoljen. Ograničenjima (4) i (5) se kontroliše broj luka koje DP terminal na lokaciji *k* opslužuje, odnosno koliko različitih luka sme imati svoj DP podsistem na lokaciji *k*. Ograničenjem (6) se prati sa kojim DP terminalima luka *j* ima vezu, dok se ograničenjem (7) kontroliše da broj veza ne pređe maksimalno dozvoljen broj veza luka-DP terminal. Ograničenjima (6) i (7) se vodi računa o tome koliko različitih DP terminala sme biti u sistemu jednog lučkog terminala. Ograničenjem (8) se prati obim kontejnerskih tokova kroz DP terminal na lokaciji *k*. Ograničenjem (9) se na osnovu obima rada (pretovara kontejnera) DP terminala na lokaciji *k* računaju troškovi njegove izgradnje i eksploatacije.

Definisani MILP model je razvijen u programskom jeziku Python 2.7 pomoću Gurobi 8.0.1 solvera na računaru PC Intel® Core™ i5-3470 CPU @ 3.20 GHz sa 8 GB RAM. Posmatrani problem je rešen za manje od 2 sekunde vremena rada računara.

4. STUDIJA SLUČAJA

Definisani model je demonstriran rešavanjem studije slučaja izbora lokacije DP terminala za područje Balkana i centralne Evrope, a u funkciji kontejnerskih tokova jadranskih luka. Ulazni podaci za definisani model su: obim kontejnerskih tokova između generatora tokova i luka, troškovi drumskog i železničkog transporta na tim relacijama i troškovi izgradnje i eksploatacije izabranih DP terminala. Pored navedenih ulaznih parametara, za primenu modela je neophodno definisati i skup potencijalnih lokacija za razvoj DP terminala, generatore tokova i luke koje DP terminali treba da osplužuju. Obim kontejnerskih tokova je aproksimiran na osnovu (Fotheringam & O'Kelly 1989):

$$\alpha_{ij} = \frac{GDP_i \cdot Q_j}{{d_{ij}}^n} \tag{10}$$

gde GDP_i predstavlja bruto domaći proizvod regiona (generatora) *i*, Q_j predstavlja obim kontejnerskih tokova koji prolaze kroz luku *j* na godišnjem nivou, dok d_{ij} predstavlja rastojanje između regiona *i* i luke *j*. Eksponent *n* zavisi i raste sa veličinom d_{ij}. Ako je d_{ij} do 500 km, *n* uzima vrednost 2. Za vrednosti d_{ij} između 500 i 1000 km, *n* uzima vrednost 4, a za vrednosti d_{ij} preko 1000 km, *n* uzima vrednost 6. Nakon izračunatih koeficijenata interakcije za svaki par generator-luka, moguće je utvrditi obim tokova na tim relacijama po formuli (Fotheringam & O'Kelly 1989):

$$Q_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sum_{i \in I} \alpha_{ij}} \cdot Q_j \qquad (11).$$

Troškovi drumskog, odnosno železničkog transporta kontejnera bazirani su na podacima 3PL kompanija iz regiona. Troškovi izgradnje i eksploatacije DP terminala su aproksimirani na osnovu rada Wiegmanns & Behdani (2017). Kako bi model zadržao dimenzije linearnog programiranja, za funkciju troškova izgradnje i eksploatacije izabranog DP terminala na lokaciji *k* se usvaja:

$$T_k = 66.58 \cdot Q_k + 15,079,677 \qquad (12)$$

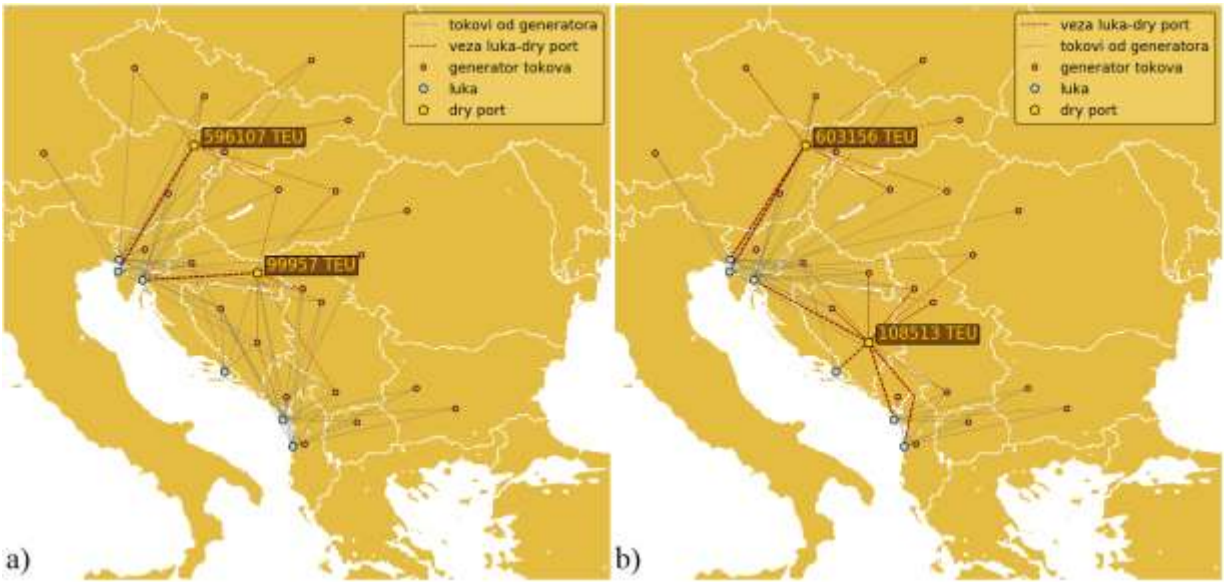
gde Q_k predstavlja ukupan broj TEU koji na godišnjem nivou prolaze kroz terminal na lokaciji *k*.

Studijom slučaja su obuhvaćeni kontejnerski tokovi između luka Jadrana i regiona Balkana i centralne Evrope. Luke koje su uzete u razmatranje su Trst, Kopar, Rijeka, Ploče, Bar i Drač. Kao generatori tokova su posmatrane teritorije zemalja ili pojedinih regiona: Bavarska, Češka, Austrija, Slovačka, jug Poljske, Mađarska, zapadna Rumunija, Srbija, zapadna Bugarska, Severna Makedonija, Albanija, Crna Gora, Bosna i Hercegovina, Hrvatska i Slovenija.

U studiji slučaja su razmatrana dva scenarija. U oba scenarija jedna luka može imati vezu samo sa jednim DP terminalom. Razlika između scenarija je u tome što u prvom scenariju postoji ograničenje u broju veza jednog DP terminala sa lukama (maksimalno 1 veza DP-luka), dok u drugom scenariju to ograničenje ne postoji. Vrednost ciljne funkcije za slučaj da ne postoji nijedan DP terminal na mreži, prema MILP modelu, iznosi 905.33 miliona evra.

Za prvi scenario model kao vrednost funkcije cilja daje 764.98 miliona evra. U ovom scenariju DP terminali su locirani u Beču i Osijeku (Slika 1a). DP terminal u Beču bi imao vezu sa lukom Kopar, a privlačio bi tokove iz Češke, južne Poljske, Slovačke, Mađarske i istočne Austrije ka pomenutoj luci. Obim rada ovog DP terminala bio bi 596,107 TEU. Terminal u Osijeku bi imao vezu sa lukom Rijeka i privlačio bi tokove iz Mađarske, Srbije, istočne Bosne i sa severoistoka Hrvatske, a godišnje bi opsluživao 99,957 TEU.

Za drugi scenario, model kao funkciju cilja daje vrednost od 758.63 miliona evra. U ovom scenariju, DP terminali bi se razvijali u Beču i Sarajevu (Slika 1b). DP terminal u Beču bi imao veze sa lukama Trst i Kopar, privlačio bi tokove iz istih regiona kao u prethodnom scenariju i na nivou godine opsluživao bi 603,156 TEU. DP terminal u Sarajevu bi imao veze sa lukama Rijeka, Ploče, Bar i Drač. Na godišnjem nivou opsluživao bi 108,513 TEU iz Hrvatske, Srbije, zapadne Rumunije i Bosne i Hercegovine.



Slika 1: Izlazni rezultati modela

Na osnovu dobijenih rezultata se može zaključiti da je moguće ostvariti veće uštede u ukupnim troškovima ukoliko ne postoji restrikcija u broju dozvoljenih veza između DP terminala i posmatranih luka, odnosno ako je DP terminal u funkciji većeg broja pomorskih kontejnerskih terminala. Ovo ograničenje utiče i na izbor lokacije DP terminala.

5. ZAKLJUČAK

Fokus rada je bio na definisanju modela za izbor lokacije DP terminala. Primenljivost modela je demonstrirana rešavanjem problema lociranja DP terminala na području centralne Evrope i Balkana za kontejnerske tokove sa jadranskih luka. Pored lociranja, model utvrđuje sa kojim lukama bi izabrani DP terminali imali vezu. Definisani MILP model kao izlazni rezultat daje vrednost troškovne funkcije cilja koja se sastoji od troškova transporta i troškova izgradnje i eksploatacije izabranih DP terminala. Primenom MILP modela za definisane scenarije, može se zaključiti da luke Kopar i Rijeka u najvećoj meri definišu koridore kontejnerskih tokova iz centralne Evrope i Balkana. Ograničenje u maksimalnom dozvoljenom broju šatl veza između DP terminala i luka u velikoj meri utiče na rešenje, pri čemu se veće uštede u troškovima ostvaruju u slučaju da ne postoji pomenuto ograničenje (16.2% uštede troškova u odnosu na troškove mreže bez DP terminala). Prema MILP modelu, optimalan broj DP terminala za definisane scenarije je 2. U oba scenarija je jedan DP terminal bio lociran u Beču, dok je lokacija drugog DP terminala varirala između Osijeka i Sarajeva u skladu sa prethodno pomenutim ograničenjem.

U budućim istraživanjima definisani model bi se mogao primeniti za izbor lokacije DP terminala u proširenoj mreži, koja bi obuhvatila posmatrane regione i sve veće balkanske luke. Interesantno bi bilo analizirati i scenarije u kojima postoji predefinisan maksimalan broj DP terminala. Međutim, glavni pravac budućih istraživanja bi bio proširenje modela. Prvo proširenje bi se moglo odnositi na razmatranje troškova održavanja šatl veza između izabranih terminala i luka sa kojima su terminali povezani. Osim toga, moguće je uvesti i druge kriterijume (Tadić *et al.* 2018) u proces izbora broja i lokacija DP terminala. Model bi takođe mogao uključiti i promenu gravitacione zone luke u slučaju njenog povezivanja sa izabranim DP terminalom.

LITERATURA

[1] Ambrosino, D. & Sciomachen, A. (2014). Location of mid-range dry ports in multimodal logistic networks. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 108, 118 – 128.

[2] Bentaleb, F., Semma, E. & Mabrouki, C. (2015). Dry Port Development: A Systematic Review. Journal of ETA Maritime Science, 3(2), 75-96.

[3] Bian, K.A. (2011). Application of Fuzzy AHP and ELECTRE to China Dry Port Location Selection. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 27, 2, 331-354.

[4] Chang, Z., Notteboom, T. & Lu, J. (2015). A two-phase model for dry port location with an application to the port of Dalian in China. Transportation Planning and Technology, 38(4), 442-464.

[5] Feng, X., Zhang, Y., Li, Y. & Wang, W. (2013). A Location-Allocation Model for Seaport-Dry Port System Optimization. Hindawi Publishing Corporation: Discrete Dynamics in Nature and Society.

[6] Fotheringham, A. & O'Kelly, M. (1989). Spatial Interaction Models: Formulations, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

[7] Latilla, L., Henttu, V. & Hilmola, O. (2013). Hinterland operations of sea ports do matter: Dry port usage effects on transportation costs and CO2 emissions. Transportation Research Part E, 55, 23–42.

[8] Lv, R.S. & Li, C. (2009). Analysis on Location Selection of Dry Ports Based on ANP. Proceedings of the 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEE, 638-641.

[9] Mlinarić, T., Rogić, K. & Rožić, T. (2011). Methodology for determining dry port system transport network – Case study port of Rijeka – Zagreb. In B. Katalinic (Ed.), DAAAM International Scientific Book 2011 (133-146), DAAAM International Vienna, Vienna.

[10] Monios, J. & Wang, Y. (2013). Spatial and institutional characteristics of inland port development in China. GeoJournal, 78(5), 897-913.

[11] Monios J. (2011). The role of inland terminal development in the hinterland access strategies of Spanish ports. Research in Transportation Economics, 33(1), 59-66.

[12] Ng, A. & Tongzon, J. (2010). The transportation sector of India's economy: Dry ports as catalysts for regional development. Eurasian Geography and Economics, 51(5), 669–682.

[13] Rodrigue, J., Debrie, J., Fremont, A. & Gouvernal, E. (2010). Functions and actors of inland ports: European and North American dynamics. Journal of Transport Geography, 18(4), 519-529.

[14] Roso, V. (2008). Factors influencing implementation of a dry port. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 38(10), 782-798.

[15] Sorensen, K., Vanovermeire, C. & Busschaert, S. (2012). Efficient metaheuristics to solve the intermodal terminal location problem. Computers & Operations Research, 39, 2079–2090.

[16] Tadić, S. & Stanković, S. (2011). The role of the dry port terminal in the development of intermodal transport. Proceedings of the 3rd International symposium: New Horizons of Transport and Communications, Faculty of transport and traffic engineering, University of East Sarajevo, Doboj, Republic of Srpska, 563-568.

[17] Tadić, S., Krstić, M. & Brnjac, N. (2019). Selection of efficient types of inland intermodal terminals. Journal of Transport Geography, 78, 170–180.

[18] Tadić, S., Brnjac, N. & Zečević, S. (2018). Problems of choosing a dry port location. Proceedings of the international symposium "Traffic strategic development in South East Europe", 30-31.05.2018., Budva, Montengero, 221-227.

[19] Tadić, S., Zečević, S. & Krstić, M. (2016). Locating city logistics terminal by applying the combined QFD-VIKOR method. Proceedings of the 3rd International Conference on Traffic and Transport Engineering, ICTTE, Scientific Research Center Ltd. Belgrade, Belgrade, Serbia, 367-374.

[20] Tadić, S., Zečević, S. & Krstić, M. (2013). Lociranje city logističkog terminala primenom fazi AHP analize – primer Beograda. Tehnika, 68(4), 707-716.

[21] Tadić, S., Zečević, S. & Krstić, M. (2012). City logistics terminal location selection using combined fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS analysis. Proceedings of the 1st International conference on traffic and transport engineering, ICTTE, Scientific Research Center Ltd. Belgrade, Belgrade, Serbia, 345-358.

[22] Veenstra, A., Zuidwijk, R. & Van Asperen, E. (2012). The extended gate concept for container terminals: Expanding the notion of dry ports. Maritime Economics & Logistics, 14(1), 14-32.

[23] Vidović, M., Zečević, S., Kilibarda, M., Vlajić, J., Bjelić, N. & Tadić, S. (2011). The p-hub model with hub-catchment areas, existing hubs, and simulation: A case study of Serbian intermodal terminals. Networks and Spatial Economics, 11(2), 295-314.

[24] Wiegmans, B. & Behdani, B. (2017). A review and analysis of the investment in, and cost structure of intermodal rail terminals. Transport Reviews, 38(1), 33-51.

[25] Witte, P., Wiegmans, B. & Ng, A. (2019). A critical review on the evolution and development of inland port research. Journal of Transport Geography, 74, 53–61.

[26] Zečević, S., Tadić, S. & Krstić, M. (2017). Intermodal transport terminal location selection using a novel hybrid MCDM model. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 25(6), 853−876.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

OPTIMIZACIJA TROŠKOVA TRANSPORTA U TOKOVIMA POVRATNE LOGISTIKE

OPTIMIZATION OF TRANSPORT COSTS IN REVERSE LOGISTICS FLOWS

VUKAŠIN PAJIĆ[1], MILAN ANDREJIĆ[2]

[1] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, v.pajic@sf.bg.ac.rs
[2] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, m.andrejic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Sve veći broj kompanija danas shvata značaj troškova povratne logistike. Upravo na ovom polju kompanije mogu da ostvare konkurentnost i unaprede svoje performanse. Proces koji je u povratnim tokovima neizbežan, a pritom može značajno uticati na troškove, jeste transport. Iz tog razloga, u ovom radu predložen je model za utvrđivanje i optimizaciju troškova transporta. Predloženi model je korišćen za izračunavanje troškova distribucije kao i povrata na primeru kompanije koja poseduje svoje distributivne centre i koja vrši opsluživanje svojih maloprodajnih objekata. Rezultati analiziranog primera pokazali su da su troškovi transporta veći kada se tokovi distribucije i povrata razdvoje. Pored toga, dobijeni rezultati pokazali su pogodnost primene razvijenog pristupa.*

Ključne reči: *povratna logistika, transportni troškovi, distribucija.*

Abstract: *A growing number of companies today are realizing the importance of reverse logistics costs. It is in this field that companies can compete and improve their performance. A process that is unavoidable in return flows and can have a significant impact on costs is transport. For this reason, a model for determining and optimizing transport costs is proposed in this paper. The proposed model was used to calculate distribution costs as well as reverse costs based on the example of a company that owns its distribution center and supplies its stores. The results of the analyzed example showed that transport costs are higher when distribution and reverse flows are separated. In addition, the obtained results showed the suitability of applying the developed approach.*

Keywords: *reverse logistics, transport costs, distribution.*

1. UVOD

Brojne logističke kompanije troškove, kao jedan od ključnih parametara i pokazatelja rada jedne kompanije, teže da minimiziraju, gde je pritom akcenat uglavnom stavljen na tokove distribucije i otpreme. Sa druge strane, povratni tokovi su smatrani manje bitnim i na njih je gledano kao na generatore troškova koji ne dodaju vrednost. Tek poslednje decenije kompanije shvataju značaj i uticaj troškova povratne logistike na ukupne logističke troškove. Asocijacija povratne logistike je definisala povratnu logistiku kao skup svih aktivnosti koje su povezane sa proizvodom/uslugom nakon prodaje uz krajnji cilj da se posleprodajne aktivnosti optimizuju ili unaprede, pritom ostvarujući uštede u troškovima i resursima. Osnovni procesi koji čine povratnu logistiku su: sakupljanje, inspekcija, sortiranje, demontaža i odlaganje (Badenhorst, 2013). Ovim procesima je moguće pridodati i procese popravke i prepravke ukoliko se proizvod vraća u ponovnu upotrebu/prodaju. Ponovnim korišćenjem proizvoda (nakon popravke ili ponovne proizvodnje) mogu se ostvariti uštede u troškovima proizvodnje od 40%-60% (Keyvanshokooh i ostali, 2013). Povrat robe najčešće nastaje: nakon što proizvod ili usluga dostignu kraj životnog i/ili upotrebnog ciklusa ili usled problema sa neadekvatnim kvalitetom (Fassoula, 2005). Kao glavni uzroci povrata izdvajaju se: promene u tražnji i greška u prognoziranju, promotivne aktivnosti, životni ciklus proizvoda, veća prava potrošača prilikom vraćanja proizvoda, predstavljanje novog proizvoda i dr (Cullen i ostali, 2010). Još jedan od razloga povećanja povratnih tokova jeste i ekspanzija i rast internet kupovine. Jedan od problema koji nastaje tom prilikom, jesu količine koje su manje a frekventnije, te postoji manja mogućnost konsolidacije što direktno utiče na veće transportne troškove. Zato je prilikom projektovanja sistema potrebno voditi računa o lokaciji centara za prikupljanje, kao i o frekvenciji samog prikupljanja (Zaarour i ostali, 2014). Dakle kako bi se obezbedila efikasnost sistema neophodno je pronaći balans između transportnih troškova i troškova otvaranja i rada centara za prikupljanje.

Predmet ovog rada jeste utvrđivanje i optimizacija troškova transporta u tokovima povratne logistike, primenom modela koji je predložen u radu. Rad je organizovan na sledeći način. U drugoj tački rada dat je opis problema kao i postavka modela koji je primenjen kako bi se utvrdio uticaj primenjene strategije povratne logistike na ukupne troškove transporta. Treća tačka rada sadrži analizirani primer kao i analizu rezultata. U poslednjoj tački rada data su zaključna razmatranja kao i pravci budućih istraživanja.

2. OPIS PROBLEMA I POSTAVKA MODELA

Kao što je napomenuto, jedan od problema koji je povezan sa većim troškovima povratne logistike jeste taj što kompanije o povratu razmišljaju tek kada se javi potreba za istim. Kako bi se ukupni troškovi smanjili i obezbedio efikasan povrat o ovom procesu je neophodno razmišljati još u fazi dizajniranja proizvoda. Razlog tome leži u činjenici da su brojni uzroci povrata posledica odluka koje su donete prilikom dizajniranja i planiranja proizvoda (Cullen i ostali, 2010). Koliki značaj imaju troškovi povratne logistike govori i podatak da u maloprodajnom i proizvodnom sektoru ovi troškovi učestvuju sa oko 5%-6% u ukupnim logističkim troškovima Badenhorst (2013). Pored ekonomskih i poslovnih razloga, kao što su uštede u troškovima, povećanje tržišnog udela, povećanje zadovoljstva korisnika i stvaranja dodatne vrednosti, sve veći broj kompanija danas akcenat stavlja i na ekološke faktore. Delimičan uzrok tome jeste i povećana svest potrošača o ekološkim problemima i smanjenju zagađenja kao i uvođenje zakona iz oblasti životne sredine (Keyvanshokooh i ostali, 2013). Na osnovu svega prethodno rečenog može se zaključiti da tokovi u povratnoj logistici imaju uticaj na brojne parametre u logistici i da ih je potrebno posmatrati zajedno sa tokovima distribucije, kako bi se ostvarila veća efikasnost uz manje troškove.

U literaturi postoji veliki broj modela koji se odnosi na smanjenje troškova povratne logistike u lancima snabdevanja. Tako su se Zhou i ostali (2018) bavili optimizacijom troškova povratne logistike u kompanijama za reciklažu automobila u Kini. Hu i ostali (2002) su u svom radu prikazali model za smanjenje troškova povratne logistike opasnog otpada. Mahmoudi i Fazlollahtabar (2014) su predstavili model celobrojnog linearnog programiranja lanca snabdevanja koji obuhvata i tokove povrata. Matematički model za optimizaciju troškova u povratnoj logistici predstavili su Suman i ostali (2018). Pregledom literature utvrđeno je da svi modeli prilikom proračuna troškova uzimaju u obzir i trošak transporta. Iz tog razloga, ali i činjenice da su transportni troškovi jedni od glavnih nosioca troškova u logistici, u ovom radu akcenat će biti na izračunavanju troškova povratne logistike i njihovom uticaju na ukupne transportne troškove, kroz dva analizirana scenarija. Prvi scenario za koji su izračunati troškovi podrazumeva da jedno vozilo vrši i distribuciju i povrat, dok u drugom scenariju jedno vozilo vrši distribuciju a drugo povrat. Cilj ovako postavljenih scenarija jeste da se utvrdi trošak angažovanja dodatnog vozila koje bi bilo angažovano za povratne tokove.

U ovom radu za formulaciju modela korišćena je sledeća notacija:

i – indeks distributivnog centra (i = 1, 2, 3,..., n)
j – indeks prodavnica (j = 1, 2, 3,..., m)
I – skup distributivnih centara (DC)
J – skup prodavnica
tr_{ij} – ostvareni transportni rad između DC_i i prodavnice j
x_{ij} – transportovana količina od DC_i do prodavnice j
y_{ji} – transportovana količina povrata od prodavnice j do DC_i
c_{ij} – jedinični trošak transporta od distributivnog centra i do prodavnice j ($c_{ij}=c_{ji}$)
K_{di} – maksimalan kapacitet distributivnog centra i
P_{dj} – potražnja za distribucijom prodavnice j
P_{pj} – potražnja za povratom prodavnice j
K_{pi} – kapacitet distributivnog centra i za prihvat povrata
N_{vd} – nosivost vozila distribucije
N_{vp} – nosivost vozila povrata

Formulacija problema:

$$\min FC = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} * tr_{ij} + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ji} * tr_{ij} \quad (1)$$

pri ograničenjima:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} x_{ij} \leq K_{di}\ , \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = P_{dj}\ , \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} y_{ji} = P_{pj}\ , \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} x_{ij} \leq K_{pi}\ , \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} x_{ij} \leq N_{vd} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} y_{ji} \leq N_{vp} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} x_{ij} - \sum_{j=1}^{m} x_{ij} + \sum_{i=1}^{n} y_{ji} - \sum_{j=1}^{m} x_{ij} + \sum_{i=1}^{n} y_{ji} - \sum_{j=1}^{m} x_{ij} + \sum_{i=1}^{n} y_{ji} + \sum_{i=1}^{n} y_{ji} \leq N_{vd}, \forall i \in I, \forall j \in J \quad (8)$$

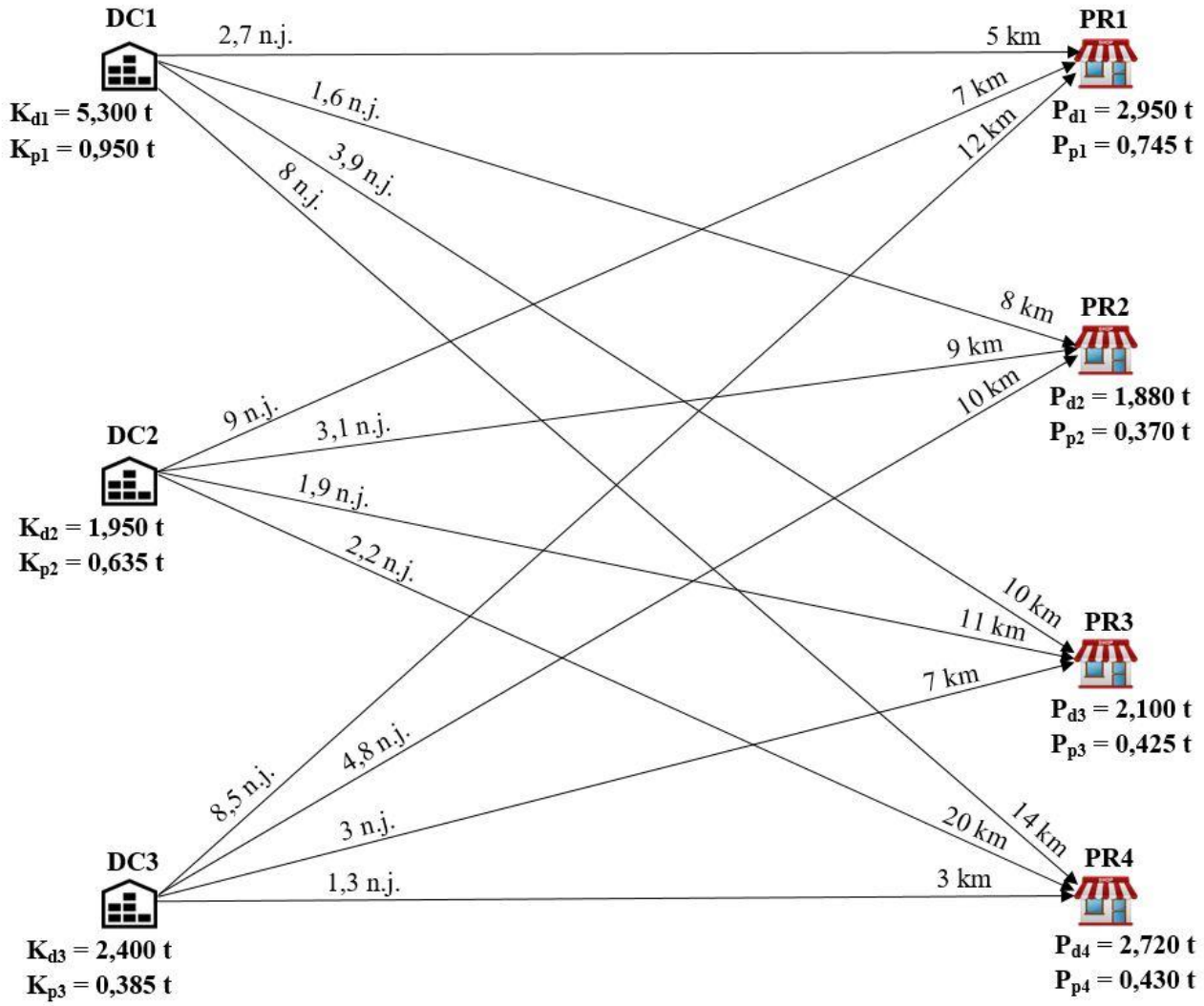
$$x_{ij} \geq 0, y_{ji} \geq 0 \quad (9)$$

S obzirom da se radi o troškovima, funkciju cilja (1) je potrebno minimizirati. Ograničenje (2) je ograničenje kapaciteta samih distributivnih centara (vodi računa o tome da potražnja ne može biti veća od ponude). Ograničenje (3) je ograničenje koje vodi računa o tome da se potražnja od strane svih prodavnica zadovolji (količina koja je trebovana mora biti i isporučena). Slično ovom, ograničenje (4) se odnosi na količine u povratu, tj. sve što je za povrat mora se i vratiti u DC. Ograničenjem (5) definisan je kapacitet distributivnog centra u pogledu prijema robe iz povrata. Ograničenja (6) i (7) odnose se na nosivost vozila koja se koriste u distribuciji i povratu (gde količina robe koja je u distribuciji i povratu ne sme biti veća od nosivosti vozila). Ova ograničenja se primenjuju u drugom scenariju, kada se angažuju dva vozila, a koji je detaljnije opisan u nastavku rada. U prvom scenariju se primenjuje ograničenje (8) koje ne dozvoljava da količina u distribuciji i povratu bude veća od nosivosti vozila. Poslednje (9) ograničenje odnosi se na promenljive u ovom modelu, čija vrednost može biti veća ili jednaka nuli (s obzirom da količine ne mogu biti negativne).

3. NUMERIČKI PRIMER

Kako bi se razumeo značaj i uticaj troškova povratne logistike na ukupne transportne troškove u nastavku je prikazan primer kompanije koja poseduje tri distributivna centra i vrši opsluživanje svojih maloprodajnih objekata (za potrebe primera uzeta su četiri objekta koji potražuju najveće količine). Na osnovu tromesečnog izveštaja uzete su prosečne količine na nedeljnom nivou koje su trebovane od strane objekata i koje iznose: za prodavnicu 1 (PR1) P_{d1} = 2,950 t; za prodavnicu 2 (PR2) P_{d2} = 1,880 t; za prodavnicu 3 (PR3) P_{d3} = 2,100 t; za prodavnicu 4 (PR4) P_{d4} = 2,720 t. Kapaciteti distributivnih centara iznose 5,300 t (K_{d1}), 1,950 t (K_{d2}) i 2,400 t (K_{d3}). Prikazane količine predstavljaju prosek za posmatrani period. Na osnovu prethodno napomenutog može se zaključiti da *n* iz opšte postavke modela u ovom primeru iznosi tri, dok *m* iznosi četiri. Distribucija se iz DC-a ka prodavnicama vrši jednom nedeljno. Tom prilikom vozilo prvo obilazi i preuzima robu iz svih DC-a nakon čega se vrši distribucija iste do prodavnica, što je posledica različitog asortimana robe u distributivnim centrima. U slučaju povrata, vozilo obilazi sve prodavnice, nakon čega se roba iz povrata razvozi do DC-a u skladu sa kapacitetima. Pored količina, dobijeni su i podaci o ponderisanim ukupnim troškovima kao i o rastojanju između DC-a i prodavnica, koji su prikazanim slikom 1. Na osnovu ukupnih troškova, kao i transportovanih količina, utvrđeni su ponderisani jedinični troškovi svake rute.

U ovom radu prikazana su dva scenarija opsluživanja, gde u prvom jedno vozilo vrši distribuciju i povrat, dok u drugom jedno vozilo vrši distribuciju a drugo vozilo povrat, kako bi se utvrdila razlika u troškovima. Uzimajući u obzir trebovane količine distribucija se obavlja vozilom nosivosti 10 t dok se povrat (u drugom scenariju) obavlja vozilom nosivosti 3,9 t. Količine povrata su prikazane na slici 1 i iznose 0,745 t za prodavnicu 1 (P_{p1}), 0,37 t za prodavnicu 2 (P_{p2}), 0,890 t za prodavnicu 3 (P_{p3}) i 0,930 t za prodavnicu 4 (P_{p4}). Kapaciteti distributivnih centara iznose 0,950 t (K_{p1}), 0,635 t (K_{p2}) i 0,385 t (K_{p3}) respektivno. U analiziranom primeru povrat podrazumeva robu koja je oštećena prilikom transporta, koja je neuslovna na prijemu (neadekvatan rok trajanja ili temperatura) i/ili kojoj je greškom zamenjena adresa isporuke.



Slika 1. Izgled analizirane mreže

3.1. Scenario 1

Kao što je već napomenuto, u prvom scenariju, razmatrano je da jedno vozilo nosivosti 10 t vrši i distribuciju i povrat. Primenom modela opisanog u opisu problema, pomoću excel solver-a dobijene su količine, prikazane tabelom 1, koje je potrebno otpremiti iz određenog DC-a kako bi se zadovoljila sva ograničenja postavljena u modelu.

Tabela 1. Otpremljene količine za scenario 1

Otpremljena količina (tona)					
Otprema/Doprema	Prodavnica 1	Prodavnica 2	Prodavnica 3	Prodavnica 4	**Ukupno**
DC1	2,95	1,88	0,47	0	5,3
DC2	0	0	1,63	0,32	1,95
DC3	0	0	0	2,4	2,4
Ukupno	2,95	1,88	2,1	2,72	9,65

Roba koja je za povrat se u ovom scenariju preuzima od prodavnice odmah nakon isporuke te je iz tog razloga postavljeno ograničenje (8) kako ne bi došlo do prekoračenja nosivosti vozila. Količine u povratu su prikazane tabelom 2.

Tabela 2. Količine u povratu za scenario 1

Količine u povratu (tona)				
Otprema/Doprema	DC1	DC2	DC3	**Ukupno**
Prodavnica 1	0,745	0	0	0,745
Prodavnica 2	0,205	0,165	0	0,37
Prodavnica 3	0	0,425	0	0,425
Prodavnica 4	0	0,045	0,385	0,43
Ukupno	0,95	0,635	0,385	1,97

Uzimajući u obzir opisani postupak distribucije i povrata u ovom scenariju, rešavanjem ovako postavljenog modela dobijeno je da je ograničenje koje se odnosi na nosivost vozila zadovoljeno i iznosi 1,97 t, što je manje od nosivosti vozila koje iznosi 10 t. Kako se u ovom scenariju funkcija cilja sastoji od dva dela (distribucija i povrat), nakon sabiranja troškova dobijeno je da su troškovi po ovom scenariju **169,38** n.j./tkm. Na ovaj iznos, dodato je još 45 n.j. (3*15) koje predstavljaju trošak koji nastaje usled razmeštanja tereta u tovarnom prostoru nakon distribucije a po prihvatu robe za povrat, s obzirom da je ovaj postupak potrebno ponoviti za tri prodavnice. Krajnji iznos funkcije cilja po prvom scenariju iznosi **214,38** n.j/tkm.

3.2. Scenario 2

U drugom scenariju procesi distribucije i povrata su razdvojeni i obavljaju se različitim vozilima. Distribucija se zbog veće količine robe obavlja vozilima nosivosti 10 t dok se povrat obavlja vozilima nosivosti 3,9 t usled manje količine koja se javlja u povratu. Osim ove razlike, sva ograničenja koja su postavljena u prvom scenariju korišćena su i u drugom. Količine koje se otpremaju ka određenim prodavnicama kao i količine u povratu su iste kao u tabelama 1 i 2, te iz tog razloga nisu ponovo prikazane u radu. Za razliku od prvog scenarija, ovde su dobijene dve funkcije cilja koje su potom sabrane kako bi se rezultat uporedio sa prvim scenarijem. Obe funkcije cilja u ovom scenariju su uvećane s obzirom da su oba vozila u jednom smeru prazna. Funkcija cilja distribucije uvećana je za 0,6 dok je funkcija cilja za povrat uvećana za 0,4. Veće uvećanje kod funkcije cilja distribucije posledica je korišćenja većeg vozila za distribuciju te je cena „praznog“ prostora kod ovog vozila veća. Kao i u prvom scenariju, i u ovom su ispunjena sva ograničenja koja su postavljena u modelu. Nakon uvećanja, funkcija cilja distribucije iznosi **223,56** n.j./tkm, dok funkcija cilja povrata iznosi **41,51** n.j./tkm. Kada se saberu ove funkcije cilja dobija se da su ukupni troškovi po ovom scenariju **265,07** n.j/tkm.

Na osnovu dobijenih rezultata moguće je izvršiti poređenje dva scenarija, kao i utvrditi razliku u troškovima koji nastaju angažovanjem dodatnog vozila. Na osnovu tabele 3 može se zaključiti da drugi scenario sa sobom povlači veće troškove, koji su za **50,7** n.j./tkm veći u odnosu na prvi scenario. Ovakav rezultat i ne treba da čudi s obzirom da je po drugom scenariju neophodno angažovanje dodatnog vozila, kao i činjenice da je u transportu najskuplje voziti „prazan“ prostor.

Tabela 3. Poređenje scenarija

	Scenario 1 (n.j./tkm)	**Scenario 2 (n.j./tkm)**	**Razlika (n.j./tkm)**
F-ja cilja distribucije	139,73	223,56	83,84
F-ja cilja povrata	29,65	41,51	11,86
Trošak premeštanja tereta	45	/	/
Ukupno	**214,38**	**265,07**	**50,7**

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega prethodno pomenutog, može se zaključiti koliki značaj imaju troškovi transporta u povratnoj logistici. Na osnovu predloženog modela koji je imao za cilj minimiziranje funkcije cilja, tj. troškova transporta, kao i analiziranih scenarija, može se zaključiti da odvajanje tokova distribucije i povrata barem na analiziranom primeru dovodi do povećanja transportnih troškova. Scenario u kome jedno vozilo vrši distribuciju a drugo vozilo povrat tj. odvajanjem tokova distribucije i povrata generisani su veći troškovi, koji iznose 50,7 n.j./tkm. Dobijeni rezultat i ne treba da čudi s obzirom da svako pokretanje dodatnog vozila

sa sobom povlači veće troškove. Iz tog razloga, prilikom planiranja transporta, tokove distribucije i povrata treba posmatrati i analizirati zajedno, kako bi se smanjili ukupni transportni troškovi.

Kao jedan od pravaca budućih istraživanja izdvaja se primena modela na primeru većih dimenzija, kao i unapređenje modela kako bi se kao ulazni podaci mogle koristiti dnevne količine, umesto prosečnih koje su korišćene u ovom radu. Takođe u budućim istraživanjima model bi trebalo razviti tako da pored troškova transporta obuhvati i ostale troškove, kao što su troškovi skladištenja, pakovanja, odlaganja i dr.

ZAHVALNICA

Ovaj rad podržan je od strane Ministrarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije kroz projekat TR 36006.

LITERATURA

[1] Badenhorst, A. (2013). A framework for prioritising practices to overcome cost-related problems in reverse logistics. Journal of Transport and Supply Chain Management, 7(1).

[2] Cullen, J., Bernon, M., Gorst, J. (2010). Tools to manage reverse logistics. Chartered Institute of Management Accountants.

[3] Fassoula, E.D. (2005). Reverse logistics as a means of reducing the cost of quality. Total Quality Management & Business Excellence, 16:5, 631-643.

[4] Hu, T.L., Sheu, J.B., Huang, K.-H. (2002). A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. Transportation Research Part E, 38, 457-473.

[5] Keyvanshokooh, E., Fattahi, M., Seyed-Hosseini, S.M., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A dynamic pricing approach for returned products in integrated forward/reverse logistics network design. Applied Mathematical Modelling, 37, 10182-10202.

[6] Mahmoudi, H., Faylollahtabar, H. (2014). An integer linear programming for a comprehensive reverse supply chain. Production & Manufacturing.

[7] Suman, S.K., Chauhan, S., Singh, D.K. (2018). A mathematical model to optimize cost in reverse logistics. Advances in Economics and Business Management, 5(2), 110-113.

[8] Zaarour, N., Melachrinoudis, E., Solomon, M., Min, H. (2014). A reverse logistics network model for handling returned products. International Journal of Engineering Business Management, 6:13.

[9] Zhou, Z., Cai, Y., Xiao, Y., Chen, X., Zeng, H. (2018). The optimization of reverse logistics cost based on value flow analysis – a case study on automobile recycling company in China. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 34, 807-818.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

HEURISTIČKI PRISTUP ZA REŠAVANJE PROBLEMA RUTIRANJA VOZILA SA PERIODIČNOM OPSLUGOM I ZONIRANJEM

A HEURISTIC APPROACH TO SOLVING PERIODIC VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH ZONING

MILOŠ RUŽIĆ[1], DRAŽEN POPOVIĆ[2], DOROTEJA MIČETA[3]

[1] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic, Belgrade, ruzic.milos03@gmail.com
[2] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic, Belgrade, d.popovic@sf.bg.ac.rs
[3] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic, Belgrade, miceta.doroteja@gmail.com

Rezime: *U ovom radu je predložen pristup upravljanja isporukama u jednoj od najvećih distributivnih kompanija u Srbiji u cilju smanjenja ukupnih troškova distribucije. Ovaj pristup podrazumeva podelu zona opsluživanja u nekoliko klastera gde će se korisnici unutar svakog klastera opsluživati određenim danima. Prilikom formiranja klastera korišćen je modifikovani K-means algoritam, dok je prilikom rutiranja vozila korišćena kombinacija algoritma najbližeg suseda sa 2-OPT, Reallocate i Swap algoritmima poboljšanja ruta. Formiran je heuristički model koji je testiran na podatke kompanije o isporukama u periodu od mesec dana nakon čega su prikazani efekti upravljanja.*

Ključne reči: *Upravljanje isporukama, K-means algoritam, Algortam najbližeg suseda, VRP.*

Abstract*: This paper proposes new approach of deliveries management in one of the largest distribution companies in Serbia in order to reduce the overall cost of distribution. This approach involves splitting regional service zones into several clusters where users within each cluster are served on specific days. A modified K-means algorithm was used to form the clusters, while a combination of the nearest neighbour algorithm with 2-OPT, Reallocate and Swap route improvement algorithms was used for routing vehicles. A heuristic model was formed and tested on the company's delivery data over a period of one month and after that, management effects were shown.*

Keywords: *Delivery managing, K-means algorithm, Nearest Neighbour algorithm, VRP.*

1. INTRODUCTION

The distribution of goods is a very complex problem that logistics companies face on a daily basis. These companies aim to realize distribution at minimal cost i.e. maximum profit. Cost minimization is directly related to the total travelled distance by the vehicles as well as the number of vehicles that delivery is requiring. That is the reason why the routing problem gets so much attention. Many mathematical and heuristic models, which are providing solutions, can be found in the literature (Teodorović, 2016). Mathematical models give an optimal solution and require a long computational time, while on the other hand, heuristic models can provide a solution that is good enough for a very short operating time (e.g. Kovač et. al 2018) – but it is not optimal. In addition to vehicle routing problems (VRP), this paper also presents delivery management issues. Many logistics companies offer their customers the delivery of goods within 24 hours of the moment of order, which creates big costs and problems during distribution. The idea behind delivery management in this paper is to create a win-win situation where delivery time will be extended (to enable greater flexibility in the determination of the delivery dates) but overall costs will be reduced (where the revenue could be shared between 3PL company and its clients). In this way, the logistics provider can offer its customers a better price for the service and encourage them to plan their spending towards the supplier. On the other hand, while reducing distribution costs, the company increases its profits.

The aim of this paper is to propose a new delivery management strategy whereby a company can realize its distribution. The idea is to first display the current state, in which vehicles are routed without managing deliveries, and then to display the situation after implementing a new management strategy. At the end of the paper, the two strategies are compared to show the effects of management. It should also be noted that the model itself was developed in a Spyder environment with Python 3.7 programming language.

The paper is organized as follows: the second point presents the problem on which the paper is based, the third presents the heuristic algorithms used in VRP, briefly describes the model and presents the results before managing the deliveries, the fourth point describes the delivery management method, the algorithm that was used is presented, as well as the model results after management. The last point before the conclusion is about comparative analysis of the two cases.

2. PROBLEM DESCRIPTION

This paper is based on a case study of one of the largest 3PL logistics companies in Serbia which provided data about deliveries for one month. All deliveries are arranged in 9 regional centers. Every regional center has many objects classified into smaller clusters by PTT number which represents the vehicle routing location. Each request contains information on the date, regional center, PTT number, objects as well as the quantity of requested goods expressed in a number of pallets and weight. The coordinates of PTT objects and the distance matrix are also given. Delivery management implies that each regional center (or the location it serves) is divided into several clusters that are served on different days. So e.g. one regional center will have three clusters where one will be served on Mondays and Thursdays, the second on Tuesdays and Fridays and the third on Wednesdays and Saturdays. Logistic companies use different types of vehicles for servicing objects. Small deliveries containing less than 2.5 t and 8 pallets are realized with small trucks carrying 4t and 10 pallets and these deliveries are being routed. The cost of transporting these vehicles is 0.266 m.u./km (monetary unit per kilometre). Other deliveries, exceeding the limit, are realized directly with two types of vehicles. The first type of vehicle is a larger truck with a payload of 10t and 20 pallets and a transport price of 0.286 m.u./km, while the second tow truck has a capacity of 23t and 33 pallet places with a price of 0.380 m.u./km. In addition to these restrictions the driver's working time – which is 9 hours, was also considered. The average vehicle speed between PTT objects is 65 km/h, while the speed between locations within one PTT is 25 km/h. The distance between the locations within one PTT is approximate 2.5 km and vehicle retention time during service of the objects is 10 minutes.

3. A HEURISTIC APPROACH FOR SOLVING OBSERVED VEHICLE ROUTING PROBLEM

The VRP is one of the key problems in logistics that involves serving a certain number of vehicle users, from a depot. A VRP solution is a set of routes that represent the path that vehicles need to create when they leave the depot. Each route should end where it started – in the depot. Routes must be formed so each vehicle that departs from the depot visits the maximum number of locations and returns to the depot - without exceeding the limits related to vehicle's capacity and driver's working time. In the following, the heuristic approach was presented which was used to create the VRP model to obtain a distribution plan in an existing and new distributing concept.

Nearest neighbour algorithm (NN) is one of the basic and the simplest algorithms used to rout vehicles. This algorithm is very common in practice, although the solution it provides may not be good enough. For this reason, it is most commonly used in combination with certain improvement algorithms. With the NN algorithm, the vehicle starts from the depot and serves the nearest node first. The next node is the one closest to the previous one, and so on until all the given nodes are served. After visiting all the nodes, the vehicle returns to the depot.

There are many improvement algorithms but some of the most well-known and most used in practice are the 2-OPT, 3-OPT and k-OPT algorithms. In this research, we used 2-OPT algorithm whose idea is to improve the route of a traveling salesman formed by the NN algorithm. 2-OPT works by removing two branches between four nodes from the resulting route. After that, branches are connected differently but taking care not to get two smaller routes from one bigger. For such a route, the total length is calculated, which is compared with the length of the route before changing the positions of the branches. If savings are made, the branches remain connected; otherwise, they return to their starting position. The procedure is repeated for all pairs of branches in the route.

Another improvement algorithm that has been used in this paper is the Reallocate. This algorithm involves moving a node from one route to another, to reduce the total travelled distance by the vehicle. The algorithm works by moving each node (one by one) from one route to another, into all possible positions. Total distances of both routes are being measured. If travelled distances are reduced, the node goes into position in a route where the savings are the biggest. This process is repeated for all pairs of routes that are realized on the same day of the same region. While moving nodes, the route restrictions must be taken care of i.e. the driver’s working time and the vehicle capacity.

The last improvement algorithm used in this paper is the Swap. The algorithm has the same purpose as Reallocate – to reduce the total travelled distance of two routes. It works by switching places of nodes from both routes that are realizing on the same day. When they switch places, the capacity of the vehicle has to be checked as well as the time required for realization. After that, the new total distances are measured. If there are savings in travelled distance and restrictions allow routes to be formed in this way, the nodes remain in new routes. Otherwise, they return to their original state. This procedure is also repeated for all possible combinations of nodes and routes in one day.

VRP model is formed with a combination of the previous heuristic algorithms. After applying the NN algorithm, one large route was obtained for each day, which was improved by the 2-OPT algorithm. These routes were then cut into smaller ones to satisfy the vehicle capacity restrictions and driver's working hours. The resulting routes were improved with the 2-OPT algorithm and after that with the Reallocate and Swap improvement algorithms. The routing model thus formed has been applied to all regional centres that have to be served. The routes shown (Figure 1) relate to two randomly selected days during the observation period to which the vehicle routing model was applied. The blue nodes represent the nodes that must be served that day, grey nodes are the rest of the nodes in the cluster which don't need to be served, and the red node is a depot.

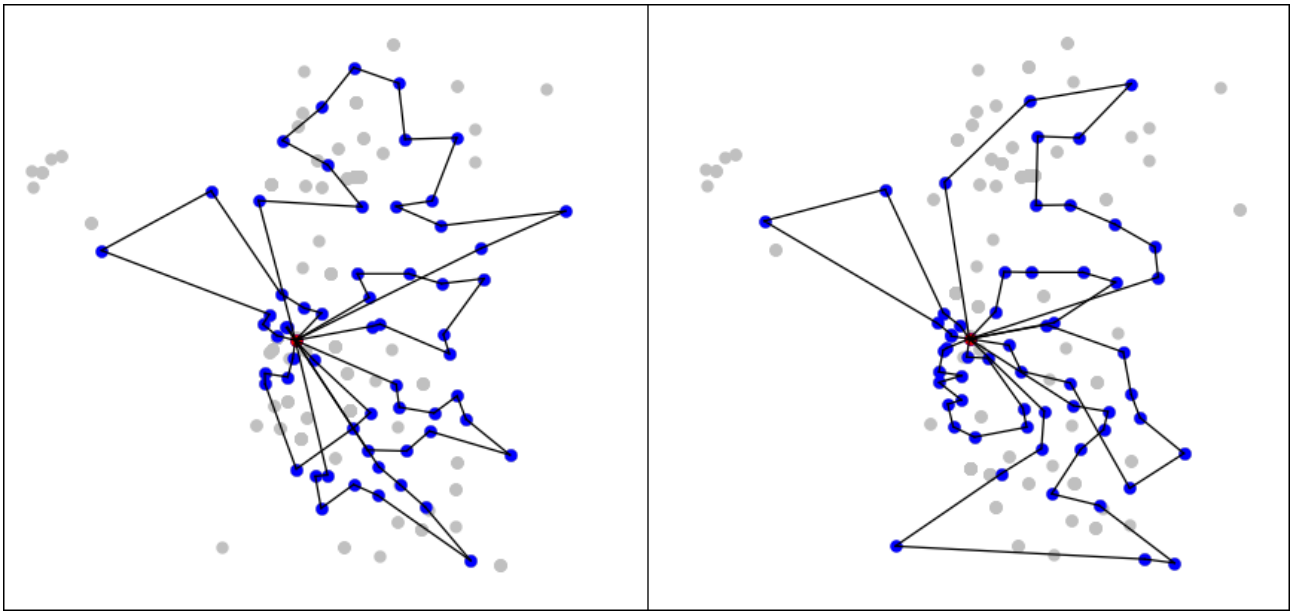


Figure 1: Example of routes for two random days before managing deliveries

In addition to other deliveries that are made directly, the results of the total travelled distance and the costs for each regional center are shown (Table 1). These results are related to the current state without any management of deliveries in which all PTT locations served every day.

Table 1: Results before new delivery management concept

Vehicle	Criteria	Regional centers								
		100	**101**	**102**	**103**	**104**	**105**	**106**	**107**	**108**
Truck 4t	Distance (km)	34540	26975	15868	2336	15568	46394	21066	15521	32361
	Cost (m.u.)	7806	6096	3586	528	3518	10485	4761	3508	7314
Truck 10t	Distance (km)	26718	3423	2863	674	1495	10933	6786	3518	3064
	Cost (m.u.)	7641	979	819	193	428	3127	1941	1006	876
Tow truck 23t	Distance (km)	31836	201	3989	2707	2794	16793	127	578	2930
	Cost (m.u.)	12098	76	1516	1029	1062	6381	48	220	1113
Total	Distance (km)	93094	30599	22720	5717	19857	74120	27979	19617	38355
	Cost (m.u.)	27545	7152	5921	1749	5008	19993	6750	4734	9303

4. NEW DELIVERY MANAGEMENT CONCEPT WITH PERIODIC REPLENISHMENT

Delivery management concept proposed in this paper implies a process of switching deliveries one or two days in advance or back. To do this, clusters and service areas should be defined first. Each regional center is

divided into 3 approximately equal clusters with many PTT locations. Clusters are each approximately equal in the number of pallets that need to be dispatched monthly with a maximum deviation of 5%. As mentioned above, PTT objects are served twice a week in such a way that one cluster is served on Mondays and Wednesdays, the second on Tuesdays and Thursdays, and the third on Wednesdays and Saturdays. When all clusters (delivery zones) of one regional center are known (structure of delivery locations and dedicated service days), all deliveries that were previously planned to be made in other days then the dedicated schedule are moved to "closer" day of delivery. For example, if delivery was realized on Tuesdays but the PTT location has been attributed to the cluster served on Mondays and Thursdays, delivery will be moved one day before - on Monday. Delivery that was realized on Wednesday, in the same cluster, will be realized a day later i.e. on Thursdays, and delivery on Saturdays may exceed either on Monday or Thursday, since the difference between the two days is the same. In such cases, delivery is always rescheduled two days later.

While forming a cluster, there are several issues that can be discussed, and they relate to the number of clusters, the size, the way clusters are formed, etc. The weekly number of customer services directly depends on the number of clusters, and by increasing the number of clusters the frequency of service decreases (Albareda-Sambola, 2014). In this paper, clusters were formed using a modified K-means algorithm. This algorithm works by selecting as many centroids as you need to form a cluster at the start of work. In this case, it is three centroids. In classical K-means, these centroids are located anywhere in the delivery area, while in this paper was used a modified algorithm which implies that the centroids are three random PTT nodes that need to be serviced. The next step is to assign all PTT locations to specific clusters. This is done by assigning each PTT object to the cluster with the nearest centroid. When assigning PTT locations to centroids, the capacity or size of the clusters should be considered to obtain approximately the same clusters by number of pallets. The next step is to find new centroids, which represent the medians of the clusters. The new centroid is PTT object that has a minimum total distance to all other PTT objects within the cluster. Each PTT object is again assigned to the cluster with the nearest centroid and this process is repeated if there are cluster changes. When the centroids and clusters remain unchanged from the previous step, the obtained solution is the best one from that iteration. The solution of each iteration is measured by the total distance from each PTT object to the centroid of the cluster in which it belongs. After several iterations, a final solution with a minimum total distance is obtained.

After applying the modified K-means algorithm to a set of PTT routing objects, clusters were obtained, and they got assigned a delivery day. An example of the clustering of PTT objects in regional center 107 is given in the left figure (Figure 2) where the PTT objects belonging to different clusters are indicated in different colours, while the depot is highlighted in red. Deliveries for each day were rescheduled in the manner previously explained, after which the vehicle routing was re-realized. On the right (Figure 2), new routes are shown for three consecutive days in this region. Green PTT locations are served on the first day, purple on the second, and blue on the third day of the week, while grey locations have no delivery requirements on observed days. In addition, the results related to the total travelled distance and the costs were re-presented (Table 2), but this time the results relate to the case after delivery management.

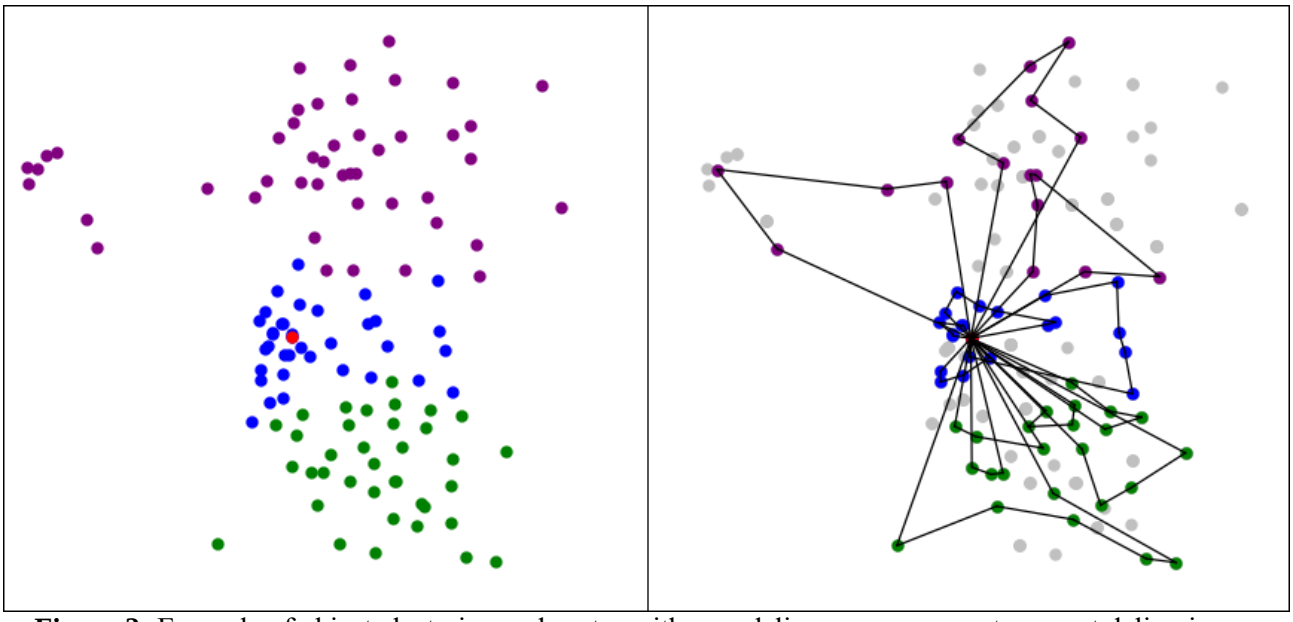


Figure 2: Example of object clustering and routes with new delivery management concept deliveries

Table 2: Results with new delivery management concept

Vehicle	Criteria	Regional center								
		100	**101**	**102**	**103**	**104**	**105**	**106**	**107**	**108**
Truck 4t	Distance (km)	24913	19483	9760	2087	11361	30848	16188	11694	20405
	Cost (m.u.)	5630	4403	2206	472	2568	6972	3658	2643	4612
Truck 10t	Distance (km)	32379	5415	3077	724	2024	14607	7441	3785	5266
	Cost (m.u.)	9260	1549	880	207	579	4178	2128	1083	1506
Tow truck 23t	Distance (km)	31863	201	3989	2707	2831	16793	254	693	2930
	Cost (m.u.)	12108	76	1516	1029	1076	6381	97	263	1113
Total	Distance (km)	89155	25099	16826	5518	16216	62248	23883	16172	28601
	Cost (m.u.)	26999	6028	4602	1707	4222	17531	5883	3989	7231

5. COMPARATIVE ANALYSIS

The efficiency of the model is primarily shown by the savings achieved in the total travelled distance by the vehicle as well as the cost savings of delivery. In order to best illustrate the effects of the model, the savings (Table 3) generated by the new delivery management concept are given. Beside total travelled distance and costs, Table 3 also shows saving in the number of routes that is necessary to realize.

Table 3: Effects of the New Delivery Management Concept - savings in total distance, costs and number of routes

Savings		Regional centers									∑
		100	**101**	**102**	**103**	**104**	**105**	**106**	**107**	**108**	
Distance	km	3939	5500	5894	199	3641	11872	4096	3445	9754	48340
	%	4,2	18,0	25,9	3,5	18,3	16,0	14,6	17,6	25,4	14,6
Costs	m.u.	546	1123	1319	42	785	2463	867	745	2072	9963
	%	2,0	15,7	22,3	2,4	15,7	12,3	12,8	15,7	22,3	11,3
Direct deliveries	number	-47	-46	-20	-7	-44	-80	-23	-16	-57	-47
	%	-11,5	-104,5	-32,3	-41,2	-51,2	-80,0	-46,0	-35,6	-86,4	-11,5
Multi stop deliveries	number	33	46	32	1	42	83	8	4	72	33
	%	23,9	29,1	39,5	4,8	29,8	38,6	8,2	4,0	46,8	23,9

* - positive values refers to the amount of savings, while negative value refers to the increase of values

Comparative analysis shows that savings are made in many of the observed parameters. The savings in the total travelled distance vary from 4,2% to 25,9%, and the total savings for all regional centers amounts to 14.6%, which means that with such delivery management company can reduce total travelled kilometres by almost 50000 kilometres in the observed period. It is important to note that the savings of travelled kilometres are only realized on smaller vehicles with a capacity of up to 4t, while in direct deliveries there is an increase in the mileage. The next and perhaps most important parameter to consider is cost. In total, for each regional center there are savings of around 10000 m.u. which is 11.3%. Like other parameters, costs vary widely, depending on the regional center. The smallest savings are made in Regional Center 100, which has the highest number of delivery requirements, as well as in Regional Center 103, which has the fewest requirements. It can be concluded that the least savings are made in extreme cases with a very small or large number of requests. Given that the costs are directly proportional to the mileage, savings occur only on small vehicles which are greater than the increase of direct deliveries costs (due to the consolidation of deliveries).

When it comes to the number of routes, the situation is slightly different. It also varies, there is always an increase in the total number of direct routes, while multi stop deliveries are being reduced. This is because managing deliveries in this way brings more deliveries into one. For example, one PTT object that was served over three days (Mondays, Tuesdays and Wednesdays) is now served once (Tuesdays). As a result, there is an increase in the amount of goods in delivery that often crosses the line between multi stop and direct deliveries. This PTT site, which had three smaller deliveries, now has enough supply of goods for one direct delivery, which is realized by a large truck or tow truck.

The result of the comparative analysis shows that managing deliveries reduce overall distribution costs. This is largely due to the shifting of deliveries, which contributes to the increase in direct deliveries which requires the use of larger vehicles. As vehicles with higher payloads are known to have a lower transport cost per t/km compared to small vehicles intended for routing, it is clear why the overall cost of goods distribution is significantly reduced.

6. CONCLUSION

The importance of managing deliveries in distribution is very high since quality management can bring many benefits to companies. This paper presents one of the models by which this can be achieved. The results obtained on the example, indicate the possibility of implementing the model in the company's distribution strategy. As expected, the cost of distributing goods can be significantly reduced, provided that such a distribution strategy can be implemented into the system. One of the next steps would be to analyse the possibility of putting the model into practice. The heuristic model itself solves the problem in just a few seconds and it is possible to further improve it by adding or changing certain algorithms. It could also be introduced further restrictions on rolling stock as well as driver's working hours in the future.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technical development of the Government of the Republic of Serbia through the project TR36006, for the period 2011-2019.

REFERENCES

[1] Toth, P., & Vigo, D. (Eds.) (2014). Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications, Second Edition. (MOS-SIAM Series on Optimization; No. 18). Philadelphia: SIAM.

[2] Teodorović, D., (2016). Transportne mreže, University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Serbia (on Serbian).

[3] Santana, R.M. (2016). Heuristic algorithms and Variants of the Vehicle Routing Problem for a Distribution Company: A Case Study. The European Master's Program in Computational Logic, Master's Thesis, Lisbon, Portugal.

[4] Mičeta, D., Ostojić, I., Marković, L., Stojanović, F., (2019). Periodic replenishment with zoning: A distribution company case study, Logic 2019, Belgrade, Serbia, 328-334.

[5] Kovač, M., Popović, D., Vidović, M., Bjelić, N., (2018). Aplication of Nearest Neighbour and Clarke-Wright algorithm for solving multi capacitated MVRP, Symopis 2018, Zlatibor, Serbia, 155-161.

[6] Albareda-Sambola, M., Fernández, E., Laporte, G., (2014). The dynamic multiperiod vehicle routing problem with probabilistic information, Computers & Operations Research No. 48, 31-39.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

SIMULATED ANNEALING APPROACH TO SOLVING VEHICLES SCHEDULING IN SIMULTANEOUS FULL TRUCKLOAD PICKUP AND DELIVERY PROBLEM WITH MULTIPLE TIME WINDOWS

PROBLEM RASPOREĐIVANJA PUNIH VOZILA NA ZADATKE ISTOVREMENOG SAKUPLJANJA I ISPORUKE SA VIŠESTRUKIM VREMENSKIM PROZORIMA: PRISTUP ZASNOVAN NA PRIMENI SIMULIRANOG KALJENJA

DRAGANA DRENOVAC, MILORAD VIDOVIĆ, NENAD BJELIĆ

Faculty of Transport and Traffic Engineering University of Belgrade
drenovac@sf.bg.ac.rs, m.vidovic@sf.bg.ac.rs, n.bjelic@sf.bg.ac.rs

Abstract: *This paper deals with the problem of optimal scheduling of a set of vehicles for simultaneous delivery of empty container and pickup of loaded one, after which it is delivered to a single depot, respecting multiple time windows. Each vehicle is equipped with a single container for performing more than one trip, which leads to a full truckload transportation. Multiple time windows assigned to customer locations depend on the intensity of container loading. The developed metaheuristic algorithm were validated on a set of smaler instances and it is shown that the developed algorithm could be considered as promissing for effective solving the problem.*

Keywords: *Pickup, Delivery, Full truckload, Simulated annealing.*

Rezime: *U ovom radu rešavan je problem optimalnog raspoređivanja skupa vozila od kojih svako istovremeno dostavlja prazan kontejner u proizvoljan čvor i preuzima već napunjen kako bi ga isporučilo u jedno skladište i to sve u okviru postojećih višestrukih vremenskih prozora. Svako vozilo više puta obilazi lokacije korisnika noseći uvek jedan kontejner a to određuje FTL koncept prevoza. Višestruki vremenski prozori dodeljeni lokacijama zavise od intenziteta utovara kontejnera. Razvijeni metaheuristički algoritam je testiran na skupu manjih instanci i pokazano je da je predloženi algoritam obećvajući u pogledu efikasnog rešavanja posmatranog problema.*

Ključne reči: *sakupljanje, isporuka, FTL prevoz, simulirano kaljenje.*

1. INTRODUCTION

The vehicle routing problem (VRP) is well-studied combinatorial optimization problem which arise in different transportation and logistics systems whenever it is necessary to distribute goods between depots and final users (customers) in a given time period by a fleet of vehicles which are located in one or more depots (Toth and Vigo, 2002). So far, a large number of variants of the VRPs, which differ in the route operational constraints, can be found in literature. For example, there could be realistic requirement that each vehicle perform either one or more than one trip. Typical examples when a vehicle performs more than one trip during its working time, known as Multi-trip Vehicle Routing Problem (MTVRP), are related to container pickup-delivery or collection of different agricultural products. The MTVRP is introduced by Fleischmann (1990) while the survey on the problem could be found in Cataruzza *et al*. (2016).

The VRP with Time Windows (VRPTW) is the extension of the VRP where the service at each customer must start within an associated time window. When each customer has one or more time windows in which it can be visited, the problem becomes the VRP with Multiple Time Windows. Ferreira *et al*. (2018) solve the problem by the VNS metaheuristics, while in the paper of Favaretto *et al*. (2007) Ant Colony System is proposed.

Another exstension, the VRP with Pickup and Delivery (VRPPD), assumes a set of pickup points and corresponding delivery points, with a given amount of goods to be transported between these locations by a fleet of vehicle. The VRPPD are of great practical importance in logistics and the examples could be found in Lin (2011) and Wassan and Nagy (2014).

Problem with the requirement that each vehicle could perform more than one trip and where the service at each customer must start within an associated time window is the Multi-trip Vehicle Routing Problem with Time Windows (MTVRPTW). The MTVRPTW is considered in Martinez and Amaya (2013), as well as in the paper of Cattaruzza *et al.* (2014). Customers are characterized with the amount of goods which could be delivered or collected at the customer.

Significant problems closely related to VRPs are vehicle scheduling problems (VSPs), which arise in public transport systems etc. The VSP deals with the scheduling of a fleet of vehicles which must perform some service in a set of locations with the objective to assign at least one tour to each vehicle so that each location is visited by exactly one vehicle in order to satisfy all restrictions and customer demands, while some criteria, such as total distance traveled or total time taken in servicing all locations, are optimized. A survey on the VSP could be found in Bodin and Golden (1981), Raff (1983), Bunte and Kleiwer (2009).

The main intention of this paper is to propose a method for optimal scheduling of a set of vehicles which serve for transport of empty containers to a set of customer locations and for transport of full containers from these locations to a single depot with multiple time windows. The fleet of vehicles is based at vehicles' depo. Each location is characterized by demand for transportation and by multiple time windows within which service should start. It is assumed that the time windows follow the intensity of container loading which results in sets of time windows assigned to customer locations. Each time window should contain service and no two vehicles can pick up loaded containers within the same time window in the same customer location. Each vehicle simultaneously delivers an empty container to a customer location and picks up container, already loaded at a customer location and transports to the depot, ending its trip to the vehicles' depo. The vehicles can only transport a single container at a time. Our objective is to find an optimal sequence of customer locations to be visited by each vehicle without violating any of the existing multiple time windows assigned to customer locations, so that the sum of differences between the completion of the previous and the beginning of the next trip of the vehicles in pickup and delivery process is minimized. Thus, the previous consideration leads to the multiple trip full truckload pickup and delivery problem with multiple time windows (MTFTLPDMTW). Potential application could be pure collection or pickup and delivery process, such as the collection of agricultural products or construction and demolition waste collection, respectively.

2. PROBLEM STATEMENT

Consider an area which consists of a set of customer locations which are characterized by demand for transportation (goods). In the area, there is a vehicles' depot where a vehicle fleet and a set of empty containers are located. Also, there is a depot where goods are delivered to. A vehicle visits a customer location, where the amount of goods is placed, delivers an empty container, picks up another container previously loaded with goods and transports to the depot where the container is being unloaded. Than, the vehicle returns to vehicles' depot with the empty container and it is ready for next task. The vehicles can only transport a single container at a time. It is assumed that at the beginning of the planning period each location has an empty container, so a vehicle picks up a loaded container immediately after delivering an empty one.

To collect and transport the total amount of goods to a depot, vehicles perform multiple visits, because a huge amount of goods are placed to customer locations for the collection. One vehicle tour is determined by one node visit and this process could be considered as full truckload transportation. Each customer location is assigned a time window within which service should start. It is assumed that the time windows follow the intensity of container loading. It means that two vehicles can not pick up two loaded containers within the same time window in the same customer location, as well as that all time windows of each customer contain service. The next vehicle visits the same location after a new empty container is loaded thus become ready to be taken.

A transportation network with a set N of customer locations and two depots is given in Figure 1. The node 0 is a vehicles' depot, the node |N|+1 is depot where goods are delivered to, while the nodes $i \in N \setminus \{0, |N|+1\}$ represent customer locations. There are a fleet of homogenous vehicles K, each equepped with an empty container where all containers have the same capacity, located in the vehicles' depot. Each customer location i must be visited n_i times (which presents multiple trips to the location).

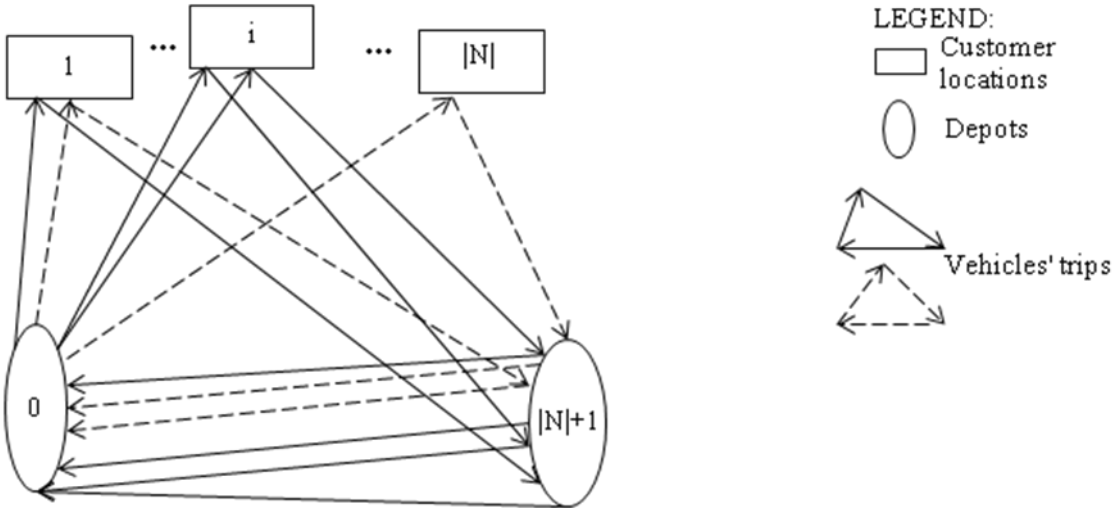


Figure 1: Configuration of the radial transport network representing an area with demands

Each vehicle starts a trip from the vehicles' depot, than it visits one of the customer locations, delivers an empty container, takes loaded container and transports it to the depot. This imply that the collection and delivery process is full truckload transport. During its working time T, each vehicle makes one or more trips.

The distance each vehicle travels as one trip includes empty container travel time t_e from a vehicles' depot to a network node $i \in N \setminus \{0, |N|+1\}$, travel time t_l of a loaded container from the node to a depot where goods are delivered and empty container travel time t_d from the goods' delivery depot to the vehicles' depot. Also, there is the time for loading of goods on a container t^L in a network node, while handling times without loss of generality can be neglected.

Hence, the problem of optimal scheduling of a fleet of vehicles which pick up loaded, while deliver empty container and transport it to a depot, without violating sets of time windows of customer locations, is considered as the multiple trip full truckload pickup and delivery problem with multiple time windows (MTFTLPDMTW), whose objective is to minimize the sum of differences between the completion of the previous and the beginning of the next trip of the vehicles in full truckload pickup and delivery process, respecting the existing multiple time windows. To solve the problem and obtain optimal vehicle schedule, we propose the the SA-based metaheuristic algorithm.

3. SIMULATED ANNEALING APPROACH

Simulated annealing (SA) is a discrete optimization technique of combining the principle of deterministic descends strategy with Monte Carlo approach. The SA is a family of algorithms based on the statistical thermodynamics algorithm presented in the paper of Metropolis *et al.* (1953), developed for simulation of the annealing process. This process involves heating some material up to a melting point, and its controlled cooling to achieve a crystallized solid state. Kirkpatrick *et al.* (1983) and Cherny (1985) independently pointed out the analogy between the activities of the thermodynamic system and the search for the global minimum in the problems of discrete optimization. In searching for the optimal solution, the SA utilizes a stochastic approach. Local optima are avoided through accepting non-improving solutions with a certain probability in each temperature.

The SA has been widely used to solve both the classic problems of discrete optimization and those problems in practice. The following applications can be found in the literature: problem of locomotive assignment (Wright 1989), synchronization of traffic in public transport (Domschke 1989), vehicle routing problem with cross docking (Birim 2016) etc. Alvarez *et al.* (2018) dealt with the inventory routing problem, while the Wei *et al.* (2018) dealt with the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints.

To solve the MTFTLPDMTW problem, we propose an algorithm based on the SA metaheuristics. Given a set of integers which represent network nodes to be visited. Since each network node *i* must be visited n_i

times, each integer in the solution must appear exactly n_i times. Additionally, there are dummy nodes $\{|N|+1,...,|N|+|K|-1\}$ in the set which serve as bounds between node sequences of the vehicles. A solution is encoded as a permutation of the elements of the set.

An example of solution representation is given in Figure 2. There are $|K|$=4 vehicles, $|N|=3$ network nodes which is visited $n_1=4, n_2=2, n_3=6$ times, respectively. The nodes 4, 5 and 6 are the dummy nodes. A sequence of nodes is assigned to each vehicle and the vehicle should visit it during its working time.

3	1	2	4	1	1	2	5	3	3	1	6	3	3	3
Vehicle 1				Vehicle 2				Vehicle 3				Vehicle 4		

Figure 2: An example of solution representation

The fitness function of the solution represents the sum of differences between the completion of the previous and the beginning of the next trip of the vehicles and should be minimized. The feasible initial solution of the proposed algorithm is obtained by random selection. The solution is define as feasible if none of the multiple time windows are violated and if the working time of the vehicles is not exceeded.

In the developed SA-based algorithm, three types of moves (*swap*, *reversion* and *insertion*) are employed. At each iteration, the next solution x' is randomly selected from the set of solutions neighboring a solution x. The *swap* rule replaces two randomly selected nodes from the current solution. *Reversion* rule changes the order of a sequence nodes between two randomly selected nodes. *Insert* rule interpolates random node to a randomly selected position, while omitting it on the preceding position.

The developed algorithm begins by reading input data which include the times for loading of containers, empty and loaded travel times, the time needed for unloading operations in the depot, the empty travel time from the depot to the vehicles' depot, required number of trips, time windows and the working times of the vehicles. Than, the setting the parameters, such as number of iterations (It), stage length (L), initial temperature (τ_0), cooling factor (α) and the probability distribution (p), is made.

After generating an initial solution x_0, the algorithm sets the current best solution x^* to x_0 and the current best objective function value F^* to be the objective value of x_0. The algorithm chooses a transformation rule randomly, applies it to the current solution x and creates a new feasible solution x'. The neighborhoods are chosen according the given probabilities $p_u, u=1,2,3, \sum_{u=1}^{3} p_u = 1$.

Let Δf be the difference between the values of the objective functions $f(x')$ and $f(x)$ for the new and the current solution, respectively. If $\Delta f < 0$, x is replaced with x'. Otherwise, x is replaced with x' with the probability of acceptance which equals $e^{\frac{-\Delta f}{k\tau}}$ where k is the Boltzmann's constant and τ is the temperature. The current temperature τ is used during L iterations and when they are completed, τ is decreased according to selected cooling schedule.

For the developed SA-based algorithm, the geometric cooling schedule is adopted and the temperature is decreased after L moves according to the scheme $\tau_{i+1} = \alpha\tau_i$.

The pseudo code of the proposed algorithm is given in Figure 3.

4. NUMERICAL EXPERIMENTS

The metaheuristic algorithm developed to solve the observed problem is tested on a set of numerical examples. In an area there are $|N|$=5 customer locations with demands, a depot for delivering goods from the customer locations ($|N|+1$) and a vehicles' depot (0) with $|K|$=4 vehicles. The working time of each vehicle *T* has two values, 16 hours and 14 hours (960 and 840 minutes). The travel times vehicle depot-customer location, t_e, and the customer location- goods' delivery depot, t_l, are given in Table 1, while the empty container travel time from the goods' delivery depot to the vehicles' depot is t_d=20 minutes.

The loading of containers lasts t^L=120 minutes. The number of trips vehicles have to perform in order to visit the customer locations for each of 4 examples is $|n_1|$ =4, $|n_2|$=3, $|n_3|$=3, $|n_4|$=2, $|n_5|$=4, respectively.

```
Procedure SA (input data, τ0 , α, It, L, p1, p2, p3)
Generate the initial feasible solution x0; x := x0; x* := x;
repeat
        i :=i+1;
        repeat
                j := j + 1;
                Generate random move;
                Generate a new solution x′ from x by applying chosen move;
                if x′ is feasible then
                        Calculate Δf = f(x′) − f(x);
                        if Δf < 0 then
                                x′ is accepted as a new state;
                                if f(x′) < f(x*) then x* := x′
                        else x′ is accepted with probability exp(−Δf/kτ)
                        if x′ is accepted then x := x′
        until j < L;
        τ := τ · α
until i<It
```

Figure 3: Pseudo code of the proposed SA algorithm

Table 1: The distances between depots and nodes

	Set 1 Distances		Set 2 Distances	
Customer location	t_e **(min)**	t_l **(min)**	t_e **(min)**	t_l **(min)**
1	24	30	20	26
2	32	40	15	19
3	34	46	28	36
4	38	45	18	23
5	26	38	23	30

It is assumed that containers are loaded uniformly at each location during the working time T. It means, for example, that at customer location 5, the working time of vehicle T=14 h is divided on $|n_5| = 4$ intervals of the same width, [0, 3.5], [3.5, 7], [7, 10.5], [10.5, 14] h. Since the duration of the loading of containers is 2 hours and it starts at a moment determined by the left bounds, the time windows within which a service should perform are [2, 3.5], [5.5, 7], [9, 10.5], [12.5, 14] h.

With these values, four numerical examples are created. In Table 2 the values of the objective function F obtained by the SA-based algorithm are given. The parameters for the SA-based algorithm are: τ_0 =1.37, α=0.99, It=200, L=20, with the probabilities of choosing one of three possible moves p_1=0.4, p_2=0.3, p_3=0.3, respectively.

Tabela 2: The values of the objective function

Numerical examples	**F (min)**
Set 1, T=16h	766.8
Set 1, T=14h	912
Set 2, T=16h	718.8
Set 2, T=14h	555

5. CONCLUSION

This paper proposes simulated annealing approach for optimal scheduling of a set of vehicles equipped with containers for simultaneous delivery of empty container and pickup of loaded one, after which it is delivered to a single depot. Each vehicle usualy performs more than one trip with a single container which leads to a full truckload transport. The locations are characterized with multiple time windows which depend on the intensity of container loading. The determined plan of loading of containers prevents unequitable taking of goods from a location, which is controlled by multiple time windows assigned to the location. It means that the moments of visiting a node capture all time windows of that node, while no two vehicles ocuppy the same time window. The developed metaheuristic algorithm were tested on a set of small instances and it is shown that the algorithm could be used for effective problem solving. More detailed analysis of the proposed

approach performances and consideration of additional real-life conditions should be future directions for research.

REFERENCES

[1] Birim, S. (2016). Vehicle Routing Problem with Cross Docking: A Simulated Annealing Approach. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 235, 149-158.

[2] Bodin, L., & Golden, B. (1981). Classification in vehicle routing and scheduling. Networks, 11, 97–108.

[3] Bunte, S., & Kliewer, N. (2009). An overview on vehicle scheduling models. Public Transp., 1, 299–317.

[4] Cattaruzza, A.D., Absi, N., & Feillet, D. (2016). Vehicle routing problems with multiple trips. 4OR: Q. J. Oper. Res., 14, 223-259.

[5] Cattaruzza, B.D., Absi, N., Feillet, D., & Vigo, D. (2014). An iterated local search for the multi-commodity multi-trip vehicle routing problem with time windows. Comput. Oper. Res., 51, 257-267.

[6] Cerny, V. (1985). A thermodynamical approach to the travelling salesman problem: An efficient simulation algorithm. J. Optim. Theory. Appl., 45, 41–51.

[7] Domschke, W. (1989). Schedule synchronization for public transit networks. Operations-Research Spektrum, 11, 17–24.

[8] Favaretto, D., E. Moretti & P. Pellegrini. (2007). Ant colony system for a vrp with multiple time windows and multiple visits. Journal of Interdisciplinary Mathematics, 10, 263–284.

[9] Ferreira H.S., Bogue, E.T., Noronha, T.F., Belhaiza, S., & Prins, C. (2018). Variable Neighborhood Search for Vehicle Routing Problem with Multiple Time Windows. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 66, 207–214.

[10] Fleischmann, B. (1990). The vehicle routing problem with multiple use of vehicles. Working paper, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Universitat Hamburg.

[11] Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., & Vecchi M.P. (1983). Optimization by simulated annealing. Science, 220, 671–680.

[12] Lin, C.K.Y. (2011). A vehicle routing problem with pickup and delivery time windows, and coordination of transportable resources. Computers & Operations Research, 38, 1596–1609.

[13] Martinez, L., & Amaya, C.A. (2013). A vehicle routing problem with multi-trips and time windows for circular items. Journal of the Operational Research Society, 64, 1630–1643.

[14] Metropolis, N., Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M.N., Teller, A.H., & Teller, E. (1953). Equation of State Calculations by Fast Computing Machines. The Journal of Chemical Physics, 21, 1087-1092.

[15] Raff, S. (1983). Routing and scheduling of vehicles and crews: the state of the art. Comput. Oper. Res., 10, 63–211.

[16] Toth, P., & Vigo D. (2002). An Overview of Vehicle Routing Problems. In P. Toth, & D. Vigo (Eds.), The Vehicle Routing Problem (1-26). SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, Philadelphia, PA.

[17] Wassan, N.A., & Nagy, G. (2014). Vehicle Routing Problem with Deliveries and Pickups: Modelling Issues and Meta-heuristics Solution Approaches. International Journal of Transportation, 2, 95-110.

[18] Wei, L., Zhang, Z., Zhang, D., & Leung, S.C.H. (2018). A simulated annealing algorithm for the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. Eur. J. Oper. Res., 265, 843-859.

[19] Wright, M.B. (1989). Applying Stochastic Algorithms to a Locomotive Scheduling Problem. J. Opt Res. Soc., 40, 187-192.

MATHEMATICAL PROGRAMMING

MATEMATIČKO PROGRAMIRANJE

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

PARAMETRIC ALGORITHM FOR THE FISHER EXCHANGE MODEL WITH SPENDING CONSTRAINTS

Vadim I. Shmyrev[1]

[1] Sobolev Institute of Mathematics, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, shmyrev.vadim@mail.ru

Abstract: *The linear exchange model with fixed budgets (Fisher model) and financial limits on purchases (spending constraints) is considered. This consideration extends the author's original polyhedral complementarity approach to the equilibrium problem in a linear exchange model and its variations. The approach has no analogs and made it possible to obtain finite algorithms for such models. This is due to the monotonicity properties inherent in the linear exchange models. In the Fisher model the emerging fixed-point problems also have the potentiality properties, which makes obtained algorithms especially simple. But for considered model with spending constraints there is a problem of start. Here we propose a new algorithm that is devoid of this disadvantage.*

Keywords: *Exchange model, economic equilibrium, polyhedral complementarity, spending constraints, algorithm.*

1. INTRODUCTION

The first finite algorithm for equilibrium problem of the linear exchange model was proposed by B.C. Eaves [1]. In this algorithm a reduction of the initial problem to a linear complementarity one has been used. The polyhedral complementarity approach [2] is based on a fundamentally different idea, that reflects more the character of economic equilibrium as a concordance the consumers' preferences with financial balances. It has no analogues and makes it possible to obtain the finite algorithms not only for the linear exchange model [3], but also for some of it's variations [4]. The simplest algorithms are those for a model with fixed budgets, known more as Fisher problem [5]. The convex programming reduction of it , given by E.Eisenberg and D.Gale [6], is well known . This result has been used by many authors to study computational aspects of the problem. The polyhedral complementarity approach gives an alternative reduction of the Fisher problem to a convex program [2],[7].
This result makes it possible to develop two finite algorithms [8] for the model with financial limits on purchases (spending constraints [9]). The disadvantage of these algorithms is the problem of start. Here we propose a new algorithm, which is deprived of these shortcomings. It is based on a parametric approach and uses as a starting state the equilibrium of the model without spending constraints.

2. THE FISHER MODEL

The Fisher model is a special case of the general linear exchange model, which has following description.

There are n commodities(goods) and m participants(consumers). Let $J = \{1,\dots,n\}$ and $I = \{1,\dots,m\}$ be the index sets of commodities and consumers respectively. Each consumer $i \in I$ possesses a vector of initial endowments $w^i \in R^n_+$. The consumer wants to change his set of goods to a new one, and has to choose a vector of consumption $x^i \in R^n_+$, maximizing his linear utility function (c^i, x^i). The exchange of goods is realized with respect to some nonnegative prices p_j, forming a price vector $p \in R^n_+$.

The consumer i receives a budget (p, w^i) selling its initial stock at prices p.

The problem of consumer i is:

$$\begin{gathered}(c^i, x^i) \to \max,\\ (p, x^i) \le (p, w^i),\\ x^i \ge 0.\end{gathered}$$

In what follows we normalize the initial endowment of each commodity to 1, i. e., $\sum_i w^i = (1,\dots,1) = \theta \in R^n$.

Let $\tilde{x}^i$ be a vector x^i that solves the problem of consumer i . A price vector $\tilde{p} \ne 0$ is an *equilibrium price vector* if there exist solutions $\tilde{x}^i$, $i = 1,\dots,m$, for the individual optimization problems such that

$$\sum_{i \in I} \tilde{x}^i = \theta \tag{1}$$

Since the budget constraint is homogeneous in p, we can normalize the price vector, limiting its change to the unit simplex $\sigma = \{p \in \mathbb{R}^n_+ | (p,\theta) = 1\}$.

Thus, $(p,\theta) = 1$ for all considered price vectors p.

We will have the Fisher model, if $w^i = \lambda_i \theta$ for some λ_i. In this case, $(p,w^i) = \lambda_i (p,\theta) = \lambda_i$. Thus, in the Fisher model the participants have fixed budgets.

Here we consider the Fisher model with additional restrictions (spending constraints) of the form:

$$p_j x^i_j \le \beta_{ij}, \quad i \in I, j \in J \tag{2}$$

It is natural to assume that

$$\sum_{j \in J} \beta_{ij} \ge \lambda_i, \quad i \in I.$$

For the sake of simplicity assume $c^i > 0, \forall i \in I$. It is sufficient for existence of equilibrium [10].

3. THE MAIN IDEA OF THE POLYHEDRAL COMPLEMENTARITY APPROACH

The proposed in [2] polyhedral complementarity approach is based on consideration two polyhedral complexes in duality [11].

We say that a family ω of polyhedrons is *polyhedral complex*, if each face of a polyhedron from ω is also in ω. For the polyhedrons of the complex (cells) we have a natural partial order : $\Omega_1 \prec \Omega_2$ if Ω_1 is a face of Ω_2.

Let two polyhedral complexes ω and ξ with the same number of cells r be given and $R \subset \omega \times \xi$ is a one-to-one correspondence: $R = \{(\Omega_i, \Xi_i)\}_{i=1}^r$ with $\Omega_i \in \omega$, $\Xi_i \in \xi$.

We say that the complexes ω and ξ are *in duality by* R if the partial order in ω and the partial order in ξ are opposite each other:

$$\Omega_i \prec \Omega_j \Longleftrightarrow \Xi_i \succ \Xi_j.$$

The polyhedral complementarity problem is to find a point that belongs to both cells of some pair (Ω_i, Ξ_i):

$$p^* \text{ is the solution } \Longleftrightarrow p^* \in \Omega_i \cap \Xi_i \text{ for some } i.$$

Polyhedral complexes in the equilibrium problem of the original exchange model are generated by the different *structures* of the model. For the Fisher model the notion of structure is as follows :

Definition 1. *A set $\mathcal{B} \subset I \times J$ is a structure, if for each $i \in I$ there exists $(i,j) \in \mathcal{B}$.*

This notion is analogous to the *basic index set* in linear programming.

The definition changes for the considered model with spending constraints:

Definition 2. *A pair $U = \{\mathcal{B}, W\}$ is a structure for the model with spending constraints, if $\mathcal{B}$ is a structure in the former sense* (Definition 1) *and $W \subset I \times J$, $\mathcal{B} \cap W = \emptyset$.*

The considered structures are connected with a spatial *parametric transportation problem*. For considered model it has the form:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} z_{ij} \ln c^i_j \to \max \tag{3}$$

under conditions:

$$\sum_{j \in J} z_{ij} = \lambda_i \quad i \in I, \tag{4}$$

$$\sum_{i \in I} z_{ij} = p_j, \quad j \in J, \tag{5}$$

$$0 \le z_{ij} \le \beta_{ij}, \quad (i,j) \in I \times J. \tag{6}$$

The equations of this problem represent the financial balances for the consumers and commodities. The variables z_{ij} are introduced by $z_{ij} = p_j x^i_j$.

This is the classical transportation problem with upper bounds for the variables z_{ij}. It should be noted that

this transportation problem can be unsolvable for some $p \in \sigma$, but it can be sown that the solvability set D is nonempty and it is a polyhedron. The vector $p \in D$ is a parameter of the problem.

Note, that the set U in the Definition 2 is the set of variables z_{ij}, which must be fixed on their upper bounds β_{ij}.

We consider a collection $\mathfrak{B}$ of all dual feasible basic index sets of this transportation problem and of all their subsets being structures.

Two sets of the price vectors can be associated with each structure $\mathcal{B} \in \mathfrak{B}$: $\Xi(\mathcal{B})$ is the *preference zone* of $\mathcal{B}$, and $\Omega(\mathcal{B})$ is the *balance zone* of $\mathcal{B}$.

$\Xi(\mathcal{B})$ is the set of prices by which the participants prefer the connections given by the structure, without taking into account budget constraints and balances of goods.

$\Omega(\mathcal{B})$ is the set of prices by which the budget conditions and balances of goods are possible when the connections of the structure are respected, without taking into account the preferences of the participants.

Now it is clear that

$$p \text{ is an equlibrium price vector } \Longleftrightarrow (\exists \mathcal{B} \in \mathfrak{B}) \quad p \in \Xi(\mathcal{B}) \cap \Omega(\mathcal{B}).$$

The sets $\Omega(\mathcal{B}), \mathcal{B} \in \mathfrak{B}$, are polyhedrons and form the polyhedral complex ω on the price simplex σ. The sets $\Xi(\mathcal{B}) \in \mathfrak{B}$ are polyhedrons too, but on the relative interior of the simplex σ°. They form the polyhedral complex ξ .

These two complexes are in duality: the subordination of cells in the complexes are opposite to each other. Thus the equilibrium problem is equivalent to the arising polyhedral complementarity one.

4. CRITERIONS OF EQUILIBRIUM

Let $f(p)$ be the function that indicates the optimal value of the problem.For $p \notin D$ we set $f(p) = -\infty$. For $p > 0$ introduce $(p, \ln p) = \sum p_j \ln p_j$ and consider the function $\varphi(p) = (p, \ln p) - f(p)$.

Theorem 1 [8] *The minimization of the function $\varphi(p) = (p, \ln p) - f(p)$ on σ° is equivalent to the equilibrium problem of the model.*

Another criterion of equilibrium can be obtained using the conjugate function

$$f^*(y) = \inf_x \{(y,x) - f(x)\}.$$

Introduce for $q > 0$ the function $\psi(q) = f^*(\ln q)$. It can be shown that this function is concave.

Theorem 2 [8] *The maximum point of the function $\psi(q)$ on σ° gives an equilibrium price vector of the model.*

These two theorems make it possible to develop finite algorithms for searching the equilibrium prices. The algorithms obtained by this way [8] are based on the ideas of suboptimization like algorithms of quadratic programming. In considered case we exploit the fact that the complexes ω and ξ define the cells structures on σ° similar to the facial structure of a polyhedron.

However, in these algorithms, there are some problems caused by the start of the process. Here, we propose a very robust and easy realizing algorithm, which is based on a parametric approach.

5. PARAMETRIC ALGORITHM

The idea of the parametric approach is that the original model is immersed in a family of models with variable spending constraints, which are linear functions of a single parameter. Thus, we obtain a parametric exchange model. An equilibrium of the model is known by the initial value of the parameter. The algorithm allows for obtaining the equilibrium as a function of the parameter when the parameter changes. The original model corresponds to the final value of the parameter.

To start the process, we find the equilibrium in the model without any spending constraints using one of the polyhedral complementarity algorithms [7, 5]. Let $\tilde{\mathcal{B}}$ be the obtained equilibrium structure, $\tilde{p}$ the found equilibrium price vector, and $\tilde{z}_{ij}$ the corresponding costs. We arbitrarily choose $\hat{\beta}_{ij} \geq \tilde{z}_{ij}$. It is clear that the obtained equilibrium is also an equilibrium in the model with spending constraints $z_{ij} \leq \hat{\beta}_{ij}$. If the values β^0_{ij} are the bounds of the costs in the initial model, we put $\beta_{ij}(\tau) = \beta^0_{ij} + \tau(\hat{\beta}_{ij} - \beta^0_{ij})$, and consider the model with such parameterized spending constraints. For $\tau = 1$ we have the chosen bounds. We must reduce the value of parameter from 1 to 0, where we will have the bounds in the initial model. Taking $\mathcal{B}_0 = \tilde{\mathcal{B}}$, $W_0 = \emptyset$, and

$U_0 = (\mathcal{B}_0, W_0)$, we obtain the start of the process.
On k-th step we have the structure $\mathcal{B}_k$, which rests the equilibrium one for some interval $[\alpha_k, \beta_k]$ - *equilibrium interval of the structure*. At $\tau = \alpha_k$ a new structure $\mathcal{B}_{k+1}$ is formed. The equilibrium interval $[\alpha_{k+1}, \beta_{k+1}]$ of the new structure is adjacent to the existing interval $[\alpha_k, \beta_k]$: $\beta_{k+1} = \alpha_k$.
Thus the equilibrium intervals of two adjacent structures do not intersect by inner points.

The full description of the algorithm and its justification can be seen in [11].

6. CONCLUSION

A new development of the author's original approach to the equilibrium problem in a linear exchange model and its variations is presented. It is natural to study applicability of the approach for more general models. Here the model with financial limits on purchases (spending constraints) is considered. Such a model can be used when the model with piecewise linear preference functions is studied. A finite algorithm is proposed. A new parametric algorithm is proposed to solve the problem of start.

Acknowledgment

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project 16-01-00108.

REFERENCES

[**1**] Eaves, B. C. (1976). A finite algorithm for linear exchange model. J. Math. Econom. 3(2), 197–204.
[**2**] Shmyrev V. I. (1983). On an approach to the determination of equilibrium in elementary exchange models, Sov. Math. Dokl. 27, 1, 230–233.
[**3**] Shmyrev, V. I. (1985). An algorithm for the search of equilibrium in the linear exchange model. Sibirian Math. J. 26, 288–300.
[**4**] Shmyrev, V. I. (2008). A generalized linear exchange model. J. Appl. Indust. Math. 2, 1, 125–142.
[**5**] Shmyrev V. I. (2009). An algorithm for finding equilibrium in the linear exchange model with fixed budgets. J. Appl. Indust. Math. 3, 4, 505–118.
[**6**] E. Eisenberg and D. Gale. (1959). Consensus of subjective probabilities: The pari-mutuel method. The Annals of Mathematical Statistics 30(1), 165–168.
[**7**] Shmyrev, V. I. (2006). An algorithmic approach for searching an equilibrium in fixed budget exchange models. In: Driessen, T. S., van der Laan, G. , Vasil'ev, V. A., Yanovskaya, E. B. (eds.) Russian Contributions to Game Theory and Equilibrium Theory. Springer, Berlin, 217–235.
[**8**] Shmyrev, V. I. (1989). About the searching in the linear exchange model with fixed butgets and additional restrictions on purchases (in Russian). Optimization 45(62), 66–86.
[**9**] Vazirani V. V. (2010). Spending constraint utilities, with applications to the adwords market. Mathematics of Operations Research, 35(2).
[**10**] Gale, D. (1976). The linear exchange model. J. Math. Econom. 3(2), 205–209.
[**11**] Shmyrev V. I. (2019). Parametric Algorithm for a Linear Exchange Model with Spending Constraints. Far East Journal of Applied Mathematics, 101, 1, 29-51.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

A MIXED INTEGER NONLINEAR PROGRAMMING MODEL FOR THE DESIGN OF A BLOOD BANK NETWORK

ONUR KAYA[1], DOGUS OZKOK[2]

[1] Department of Industrial Engineering, Eskisehir Technical University, Eskisehir, Turkey, *onur_kaya@eskisehir.edu.tr*

[2] Department of Industrial Engineering, Koc University, Istanbul, Turkey, dozkok@ku.edu.tr

Abstract: *Design of an efficient supply chain network for a blood bank system is an important issue in the healthcare system to satisfy the needs of hospitals in a timely manner. In the current system in Istanbul, hospitals keep their own inventory and procure bloods from a main blood bank. We propose an alternative model, in which, some of the hospitals are selected as local blood banks (LBBs) and serve the hospitals that are assigned to them. We develop a model for this system and aim to solve a complex problem which includes to find the optimal number and locations of LBBs, assignment of hospitals to opened LBBs and the weekly and daily routes between these facilities. We formulate a mixed integer nonlinear programming model to combine these decisions to minimize total system cost and propose a simulated annealing heuristic approach to find near optimal solutions. Performances of the developed model and the heuristic are analyzed via detailed numerical studies. It is observed that significant improvements can be obtained with the proposed model compared to the current system.*

Keywords: *Nonlinear Programming, Network Design, Facility Location, Inventory, Routing*

1. Introduction

In many healthcare systems, blood is generally collected at blood centers and blood stations spread over a region and then it is processed at the blood banks or at donation centers. Needs of hospitals are then supplied from these blood banks within their regional area. Several vehicles with different routes originating from the blood banks are used to fulfill the demand of the hospitals. Hospitals generally keep a certain level of their own inventory of blood that are prone to overstock and stockout risks. Furthermore managing inventory to maintain a high service level is a problem for the entire system. We suggest localization of blood banks to increase efficiency, and benefit from risk pooling advantages. We aim to design a blood bank network considering facility location, inventory and vehicle routing decisions. In the proposed distribution network, some of the hospitals will be selected as local blood banks (LBBs) to monitor and serve the nearby hospitals. The daily demand of hospitals will be consolidated and satisfied by these LBBs via daily shipments.

The framework of the blood bank distribution system is also applicable, with some modifications, to the optimization of other supply chain network design problems (SCNDPs). Our problem can be considered as a SCNDP to determine the optimal number and locations of distribution centers (DCs), assignment of retailers to DCs, inventory levels at the DCs and the routes of vehicles to supply the facilities. It is observed that location, inventory and routing decisions are generally analyzed separately in literature. There are various studies analyzing inventory-routing (see Moin and Salhi [5]), location-routing (e.g. Wu et al. [8]) or location-inventory (e.g. Diabat et. al [2]) decisions simultaneously. Dror and Ball [3] employ the standard routing algorithms by reducing the long-term version of the inventory-routing problem to a single-period problem. Chien [1] proposes an approximate approach for location-routing problems that uses sequential procedures that incorporate two robust route length estimators. Nagy and Salhi [6, 7] propose a nested method in which they treat routing as a sub-problem. Hiassat et al. [4] is one of the few studies that consider location, inventory and routing decisions at the same time.

In this study, we develop a mixed integer nonlinear programming (MINLP) model that combines the strategic (optimal number and location of distribution centers), tactical (assignment of the retailers to DCs and inventory levels in the DCs) and operational level decisions (daily and weekly transportation route decisions) to design a blood bank network and distribution system. Our study differs from the literature by combining these decisions in a complex supply chain network. Since the complex nature of the problem makes it impossible to solve medium and large sized instances, we also develop an efficient heuristic method to solve this problem.

2. Model

The analyzed system is composed of a main blood bank that serves N different hospitals in the blood distribution network. In the current system, each hospital keeps a certain level of their own inventory and receive shipments directly from the main blood bank in a weekly basis. The proposed model aims to change the current system by adding a new layer (LBBs) in order to decrease the total system cost and increase the responsiveness of the system for blood demand. In the proposed system, the main blood bank acts as the supplier in the network and ships blood to local blood banks (LBBs) and then the local blood banks serve the hospitals on a daily shipment basis. The inventory will be pooled at the LBBs instead of keeping them at each hospital separately.

We develop a MINLP model to determine which hospitals should be selected as LBBs, which hospitals should be allocated to each LBB and what are the optimal routes and inventory levels for each LBB. We model this problem using a mixed integer nonlinear program. The problem parameters and decision variables are stated as follows:

Index Set

O: denotes the main blood bank indexed by o,
I: set of hospitals indexed by i,
J: set of candidate DC (local blood bank) sites indexed by j,
$\tilde{J}$: $J \bigcup O$
L: set of all replenishment vehicles, indexed by l,
$\tilde{I}$: $I \bigcup J \bigcup O$

Parameters

μ_i: mean daily demand at hospital i,
σ_i: standard deviation of daily demand at hospital i,
d_{ij}: distance between location i and j,
f_j: fixed annual cost of locating a local blood bank at hospital j,
v_j: variable cost for a unit processed at local blood bank j,
h: inventory holding cost at a local blood bank,
L_e: Lead time for inventory replenishment, in days,
CSL: required service level to satisfy the demand for blood (i.e. probability of not stocking out during a replenishment cycle)
β: unit transportation cost of weekly replenishment vehicle,
θ: unit transportation cost of daily replenishment vehicle,
γ: cost of owning and running a replenishment vehicle,
C_r: Capacity of weekly replenishment vehicle,
C_d: Capacity of daily replenishment vehicle,

Decision Variables

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{If hospital j is selected as a local blood bank} \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \qquad j \in J$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{If hospital i is served by a local blood bank j} \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \qquad \forall i \in I, \forall j \in J$$

$$U_{ikj} = \begin{cases} 1 & \text{If hospital k is visited immediately after hospital i in a route of blood bank j} \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \qquad \forall i,k \in I, \forall j \in J$$

$$W_{jm} = \begin{cases} 1 & \text{If blood bank m is visited immediately after blood bank j in a cycle} \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \qquad \forall j,m \in \tilde{J}$$

$$Z_{jl} = \begin{cases} 1 & \text{If blood bank j is assigned to replenishment vehicle l} \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \qquad \forall j \in J, \forall l \in L$$

D_j: mean demand assigned to local blood bank j,
S_j: standard deviation of demand assigned to local blood bank j,
SS_j: safety stock at local blood bank at hospital i,
FD_{ij}: truckload out of hospital i on a route of blood bank j,
FW_{jl}: truckload out of blood bank j of replenishment vehicle l,

Then, the model is stated as follows:

Minimize

$$\sum_{\forall j\in J} f_j X_j + h(\sum_{\forall j\in J}[D_j + SS_j]) + \sum_{\forall j\in J} v_j D_j + \sum_{\forall j\in J}\gamma W_{oj} + \sum_{\forall j,m\in\tilde{J}}\beta d_{jm} W_{jm} + \sum_{\forall j\in J}\sum_{\forall i\in I}\sum_{\forall k\in I}\theta d_{ik} U_{ikj} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{\forall i\in I} Y_{ij} \le MX_j, \qquad \forall j\in J \quad (2)$$

$$\sum_{\forall j\in J} Y_{ij} = 1, \qquad \forall i\in I \quad (3)$$

$$\sum_{\forall k\in I} U_{ikj} = Y_{ij}, \qquad \forall i\in I, \forall j\in J \quad (4)$$

$$\sum_{\forall k\in I} U_{kij} = Y_{ij}, \qquad \forall i\in I, \forall j\in J \quad (5)$$

$$\sum_{\forall k\in I} U_{ikj} = \sum_{\forall k\in I} U_{kij}, \qquad \forall i\in I, \forall j\in J \quad (6)$$

$$X_j = \sum_{\forall i\in I} U_{jij}, \qquad \forall j\in J \quad (7)$$

$$X_j = \sum_{\forall i\in I} U_{ijj}, \qquad \forall j\in J \quad (8)$$

$$X_j = \sum_{\forall l\in L} Z_{jl}, \qquad \forall j\in J \quad (9)$$

$$X_j = \sum_{\forall m\in\tilde{J}} W_{mj}, \qquad \forall j\in J \quad (10)$$

$$\sum_{\forall m\in\tilde{J}} W_{mj} = \sum_{\forall m\in\tilde{J}} W_{jm}, \qquad \forall j\in J \quad (11)$$

$$W_{mj} + Z_{ml} - Z_{jl} \le 1, \qquad \forall m\in\tilde{J}, \forall j\in\tilde{J}, \forall l\in L \quad (12)$$

$$W_{jm} + Z_{ml} - Z_{jl} \le 1, \qquad \forall m\in\tilde{J}, \forall j\in\tilde{J}, \forall l\in L \quad (13)$$

$$D_j = \sum_{\forall i\in I} \mu_i Y_{ij}, \qquad \forall j\in J \quad (14)$$

$$\sum_{\forall j\in J} Z_{jl} D_j \le C_r, \qquad \forall l\in L \quad (15)$$

$$S_j = \sqrt{L_e \sum_{\forall i\in I} \sigma_i^2 Y_{ij}}, \qquad \forall j\in J \quad (16)$$

$$SS_j = z_{CSL} S_j, \qquad \forall j\in J \quad (17)$$

$$FD_{ij} - FD_{kj} \ge \mu_k - C_d(1 + X_k - U_{ikj}), \qquad \forall i,k\in I, \forall j\in J \quad (18)$$

$$FW_{ml} - FW_{jl} \ge D_j - C_r(1 - W_{mj}), \qquad \forall m,j\in J, \forall l\in L \quad (19)$$

$$X_j, Y_{ij}, U_{ikj}, W_{mj}, Z_{jl} \in \{0,1\}, \qquad \forall i,k\in I, \forall m,j\in\tilde{J}, \forall l\in L \quad (20)$$

$$D_j, S_j, SS_j, FD_{ij}, FW_{jl} \ge 0 \qquad \forall i\in I, \forall j\in\tilde{J}, \forall l\in L \quad (21)$$

The objective function (1) includes the fixed cost of locating an LBB, cost of owning replenishment vehicles, inventory costs at LBBs, variable costs of LBBs, transportation cost of weekly deliveries and daily deliveries while satisfying the constraint set between (2) - (21). Observe that D_j denotes the average amount of blood demanded from a blood bank j and $D_j + SS_j$ denotes the total inventory kept at that blood bank.

Constraint (2) states that a hospital can be allocated only to a selected local blood bank. Constraint (3) ensures that all hospitals are assigned to a local blood bank. Constraints (4) and (5) state that if hospital i is assigned to LBB j, then in a daily route of LBB j, a hospital k is succeeded by hospital i, and i is succeeded by hospital k. Constraint (6) guarantees that number of daily vehicles that enters and leaves hospital i is the same. Constraint set (7) and (8) indicates that if a LBB j is opened, then there is a daily vehicle that enters the LBB j and respectively a vehicle leaves j. Constraint (9) shows that a weekly replenishment vehicle is assigned

to every LBB. Similarly, (10) states that there must be an inbound flow from an LBB or main blood bank in a weekly replenishment route if LBB j is opened. Constraint (11) is a flow balance constraint for each LBB j. Constraint set (12) and (13) force to combine routing and vehicle assignment components such that if LBB m succeed LBB j in a weekly replenishment route, same vehicle must be assigned to LBB m and j. Constraint (14) is the calculation of aggregated demand in LBB j. Constraint (15) guarantees that capacity of the weekly replenishment vehicle cannot exceed the total demand assigned to itself. Constraint set (16) and (17) indicate the standard deviation and safety stock calculations of LBB j. Constraint set (18) and (19) are the classical flow constraints used for sub-tour elimination. Finally, (20) and (21) are the nonnegativity and integrality constraints.

In the proposed model, a daily shipment vehicle travels through assigned hospitals of an LBB and return back to that LBB after satisfying their demands. In addition to daily shipments, our model considers weekly shipments between the main supplier and LBBs. The weekly replenishment vehicle is dispatched from the main blood bank and satisfies the demand of the LBBs on its route. Therefore, we try to find daily and weekly shipment routes. Even though the inventory holding costs of all the hospitals will be decreased by centralizing the safety stock locations, newly emerging daily routes which occur between the new LBBs and the hospitals which are assigned to them increases the system costs. Therefore, there is a tradeoff between inventory costs and daily routing costs and we aim to determine the optimal number and locations of LBBs as well as the assignments of hospitals to these LBBs and the distribution routes in order to minimize the total system costs.

3. Solution Methodology

The problem in this study is a combination of location, inventory and routing problems and thus is in the class of NP-Hard problems. Finding an exact solution to these problems in a reasonable time is seen to be very difficult in literature for medium and large sized instances. Moreover, our model has non-linear terms which make it more difficult to solve. We use GAMS/BARON solver to solve small sized instances of this problem and use simulated annealing (SA) heuristic to find good solutions to mid and large sized problem instances. We design the SA algorithm in a way that it uses four consecutive phases to find the best solution to our problem. These are Initialization, Location-Allocation, Weekly Route Improvement and Daily Route Improvement phases.

The initialization phase of the SA algorithm starts with the "Random facility open" procedure to open LBBs randomly with respect to minimum facility limitation. Then, "Allocation" procedure assigns the hospitals to opened LBBs based on shortest distances. Then, "Big Route Algorithm" and "Small Route Algorithm" construct the initial routes for weekly and daily vehicle routes, respectively. Finally, "Savings Algorithm" and "2-Opt Algorithm" are applied to weekly and daily routes to improve the initial solutions.

In the location-allocation phase, first SA parameters are set and initial solution from the first phase is accepted as current and best solution. Then, initial solution is improved by searching the neighborhood solutions through different moves such as Add-Drop, Swap, Insert etc. At each iteration one of the moves are selected and applied upon the dynamic probability selection rule. Probability of the moves are close to each other at the beginning of the iterations, but probabilities change dynamically at upcoming iterations. If the selected move is applied and current solution is improved, then the probability of the move increases and vice versa. Best solution found during the iterations are recorded and becomes the input for the next phases.

In the third phase, optimal number and location of LBBs and hospital assignments are taken as inputs and "Big Route Algorithm" constructs the best weekly distribution routes from main blood bank to opened LBBs. Then, "2-Opt Algorithm" is applied until there is no more improvement in the solution. In the final phase, daily route improvements are considered. At each iteration, an insertion move is applied after the feasibility check and best daily distribution route found during the iterations is returned as the final solution.

4. Computational Studies

For numerical experiments, we create different instances with different problem sizes. We collect and use real life data about the parameters in this problem considering the hospitals in the Asian side of Istanbul. In order to test the effectiveness of heuristic parameters, we first made test runs and the final parameter values are selected based on the results of these test runs. Moreover, current distribution system is also studied and total system costs are compared with the proposed system costs. Solutions obtained by the exact method and the heuristic algorithm are represented in Table 1:. For problems with 20 or more hospitals, we applied 8 hour time limit for the exact solution method, however we could not find any feasible solution within this time.

For the medium and large sized problem instances we use the heuristic method to find solutions. The costs of the current distribution network is also calculated to compare with the proposed new system. As Table 1: indicates, significant cost improvements over the current system can be achieved by using the proposed

Table 1: Test Results for the Base Case

	Exact Solution		Heuristic Solution		Current System	
Problem Size	Cost	CPU time	Cost	CPU time	Cost	% Improvement
10x10	2624.67	3240	2624.67	0.03	2865.19	8.39%
20x20	-	-	4463.09	0.21	5658.00	21.12%
50x50	-	-	14204.24	1.63	23607.73	39.83%
75x75	-	-	22846.87	7.12	39232.07	41.76%
100x100	-	-	31195.36	27.23	57446.91	45.70%

model. The improvement percentage increases as the problem size increase. Thus, we conclude that risk pooling advantage for this problem is greater than the cost disadvantage caused by the daily routing for this instance. Cost improvements change from 8.39% to 45.70%.

We also do a sensitivity analysis by introducing different problem instances. The performance of the model is evaluated by comparing the cost of the current system with the best solution found after 30 replications of heuristic solution. As Table 2: presents, proposed system is better than current in all of the instances. In problems with size 50x50, improvements range from 14,59% to 59,12%. Improvement percentage increases as the number of hospitals in the system increase as seen from the table below.

Table 2: Test Results for 50x50 and 100x100 problem sizes

	50x50 Problem Size			100x100 Problem Size		
	Current System	Proposed System		Current System	Proposed System	
Instance	Cost	Cost	% Difference	Cost	Cost	% Difference
1	23607,71	14204,22	39,83%	57446,91	31195,36	45,70%
2	24747,14	17590,91	28,92%	60903,71	38117,32	37,41%
3	23038,00	12137,42	47,32%	55718,52	30551,79	45,17%
4	57255,11	23408,57	59,12%	140410,36	56738,93	59,59%
5	12391,92	10583,86	14,59%	29792,44	25029,53	15,99%
6	23607,71	16125,25	31,69%	57446,91	33393,02	41,87%
7	23607,71	13950,86	40,91%	57446,91	32922,12	42,69%
8	34884,90	18340,08	47,43%	85213,00	39148,61	54,06%
9	12397,50	10350,89	16,51%	29798,02	23893,54	19,82%
10	46557,80	24293,63	47,82%	111917,74	54798,77	51,04%
11	12180,97	10082,46	17,23%	30516,46	22136,09	27,46%
12	27825,41	16574,05	40,44%	68242,08	34580,88	49,33%
13	21661,24	13573,86	37,34%	53043,25	31492,21	40,63%

5. Conclusion

In this study, we consider the blood distribution network in Istanbul, which is considered to be a complex supply chain network. We integrate the strategic, tactical and operational level decisions in this system in order to integrate the facility location, inventory and routing decisions. We propose a new system for blood distribution network and develop a mixed integer nonlinear programming model for the proposed system. The proposed model aims to determine the optimal number and locations of LBBs, assign hospitals to open LBBs, decide safety stock levels in opened LBBs and weekly and daily distribution routes, together. We use two different methods to solve this model. Firstly, we use the exact solution method by using commercial solvers like GAMS/Baron. Since exact methods can only solve the small sized problem instances, we also develop a simulated annealing based heuristic to solve the model for mid and large sized problem instances. The performance of the heuristic is evaluated with computational experiments and is seen to provide improved solutions compared to the current system. The proposed system is seen to be able to decrease the total system costs by about 30% on average.

REFERENCES

[**1**] Chien, T.W. (1993). Heuristic Procedures for practical-sized uncapacitated location-capacitated routing problems, Decision Sciences, 24, 995-1021.

[**2**] Diabat, A., Battaia, O., Nazzal, D. (2015). An improved Lagrangian relaxation-based heuristic for a joint location-inventory problem, Computers and Operations Research, 61, 170-178.

[**3**] Dror, M., Ball, M. (1987). Inventory/routing: Reduction from an annual to a short period problem. Naval Research Logistics, 34, 891-905.

[**4**] Hiassat, A., Diabat, A., Rahwan, I. (2017). A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products, Journal of Manufacturing Systems, 42, 93-103.

[**5**] Moin, N.H., Salhi, S., 2007. Inventory routing problems: A logistical overview. Journal of the Operational Research Society, 58(9), 1185-1194.

[**6**] Nagy, G., Salhi, S. (1996a). Nested heuristic methods for the location-routing problem. Journal of Operational Research Society, 47, 1166- 1174.

[**7**] Nagy, G., Salhi, S. (1996b). A nested location-routing heuristic using route length estimation. Studies in Locational Analysis, 10, 109-127.

[**8**] Wu, T.H., Low, C., Bai, J.W. (2002). Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems, Computers and Operations Research, 29, 1393-1415.

SOFT AND BEHAVIORAL OPERATIONAL RESEARCH

MEKA I BIHEVIORALNA OPERACIONA ISTRAŽIVANJA

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ODREĐIVANJE PREFERENCIJA STUDENATA PRILIKOM ODABIRA POSLA PRIMENOM *CONJOINT* ANALIZE

DETERMINATION OF STUDENTS' JOB SELECTION PREFERENCES USING CONJOINT ANALYSIS

SOFIJA BUNDALO[1], ZORAN RAKIĆEVIĆ[2], MARIJA KUZMANOVIĆ[3]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, sofija.bundalo29@gmail.com
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, zoran.rakicevic@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, marija.kuzmanovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Predmet istraživanja ovog rada je merenje preferencija studenata smera Operacioni menadžment (OM) prilikom odabira posla. Ideja za ovo istraživanje proistekla je iz želje da se dođe do odgovora na pitanje šta je to što je studentima smera OM najvažnije prilikom odabira određenog posla. Često se javlja dilema da li su prilikom biranja posla značajniji finansijski uslovi, međuljudski odnosi, poslovno okruženje ili mogućnost napredovanja. Rezultati ovog istraživanja upravo daju odgovor na pitanje koliki značaj studenti pridaju određenim karakteristikama jednog posla. Ispitanici u ovom istraživanju bili su, osim diplomiranih studenata, i studenti završne godine studija koji su u procesu traženja prvog posla. Shodno tome cilj ovog istraživanja, osim određivanja najvažnijih faktora koji utiču na donošenje odluke studenata prilikom konkurisanja za određeni posao, jeste i sagledavanje razlike između preferencija studenata koji već imaju radnog iskustva i onih koji traže svoje prvo zaposlenje.*

Ključne reči: *Preferencije, Conjoint analiza, Operacioni menadžment, Studenti.*

Abstract: *The subject of this paper is measuring the operations management students' preferences towards choosing future jobs. The idea for this research came from the desire to answer the question about the most important factors in choosing a particular job for the operations management students. There is often a dilemma whether financial conditions, interpersonal relationships, business environment or the possibility of promotion are more important when choosing a job. The results of this research just give an answer to the question about students' importance attach to certain characteristics of a job. Besides graduate students, respondents in this study were also the students of the final year of studies which are in the process of seeking first job opportunity. Therefore, apart from determining the most important factors influencing students' decision making when applying for a particular job, the aim of this research is also to look at the difference between the students' preferences who already have work experience and those who seek their first job.*

Keywords: *Preferences, Conjoint analysis, Operations management, Students.*

1. UVOD

Područje istraživanja u ovom radu tiče se ispitivanja preferencija studenata prilikom konkurisanja za posao. Ispitanici u ovom istraživanju su sadašnji i bivši studenti studijske grupe Operacioni menadžment, Fakulteta organizacionih nauka. Često se na razgovorima za posao dovodi u pitanje ko je operacioni menadžer, koja su njegova znanja i veštine, šta ga izdvaja od drugih kandidata. Studijska grupa Operacioni menadžment je u nekoliko poslednjih godina postala veoma tražena na Fakultetu organizacionih nauka. Razlog naglog povećanja interesovanja za ovom studijskom grupom može se pronaći u činjenici da se operacioni menadžeri nakon završetka studija vrlo brzo zapošljavaju u najboljim firmama u Srbiji.

U nastavku se prikazuju najvažniji dosadašnji relevantni rezultati istraživanja u predmetnoj oblasti koji su pronađeni tokom pregleda literature: Autori *Guillot-Soulez* i *Soulez* (2014) se u svom radu bave istraživanjem preferencija diplomiranih studenata generacije Y iz Francuske prema poslu i organizacionim atributima budućeg poslodavca [1]. U ovom radu se analiza preferencija vrši uz pomoć *Conjoint* analize. Kako bi se izvršila analiza ukupno je ispitano 592 studenta istih godina, istih karijernih puteva i iste nacionalnosti. Isti autori zaključuju da iako svi diplomirani studenti generacije Y preferiraju sigurnost posla i opuštenu radnu atmosferu, njihove preferencije su ipak heterogene [1].

Autori *Montgomery* i *Ramus* (2003) su predstavili studiju koja je uključivala 279 studenata na master programu poslovne administracije (eng. *MBA - Master of Business Administration*) iz dve evropske i tri severnoameričke poslovne škole [2]. Oni su došli do zaključka da su atributi vezani za brigu o zaposlenima, za održivost životne sredine, za odnos između zajednice i stakeholder-a i atributi vezani za etičnost proizvoda i usluga važni u odlučivanju pri izboru određenog posla. Oni koriste *Conjoint* analizu da bi otkrili relativnu težinu nove grupe atributa koja opisuju društveno odgovorne poslove, uključujući i tradicionalne atribute kao što su finansijski uslovi, lokacija, itd. Rezultati *Montgomery* i *Ramus* (2003) pokazuju da bi više od 90% *MBA* studenta u uzorku bilo spremno da se odrekne finansijskih koristi kako bi radili za organizaciju sa boljom reputacijom kada je u pitanju društvena odgovornost i poslovna etika [2].

Baum i *Kabst* (2013) su kroz *Conjoint* analizu testirali uticaj različitih karakteristika organizacije i posla. Simulacijom kroz *Conjoint* analizu su došli do zaključka da je u razmatranju ponude za poslom, najvažniji faktor zarada (tvrdi faktor) a zatim slede mogućnosti napredovanja i radno okruženje (meki faktor) [3]. Ova tri faktora su imala značajni uticaj u odnosu na ostale faktore: mogućnosti za treningom, fleksibilni radni sati, uravnoteženost posla i slobodnog vremena, radni raspored, kompatibilnost između organizacije i kandidata (engl. *person organization fit*), lokacija, atraktivnosti radnih zadataka, sigurnost zaposlenja [3]. *Baum* i *Kabst* (2013) takođe ukazuju da je zarada u negativnoj korelaciji sa ostalim faktorima i na taj način predstavlja kompenzaciju a ne komplementarnu snagu i podršku za ostale faktore [3]. Dakle veća plata je potrebna ukoliko ostali faktori poput pozitivne radne klime i fleksibilnih radnih sati nisu obezbeđeni. Baum i Kabst (2013) tvrde da kada posao obezbeđuje odlične meke faktore, kandidati mogu prihvatiti i nižu zaradu [3]. Pošto je zarada najistaknutija i objektivno merljiva karakteristika posla, može se smatrati i univerzalnim kompenzacionim faktorom za ostale manje merljive faktore. Takođe, kandidati često koriste nivo zarade kako bi rešili uočenu nejednakost između različitih ponuda za poslom [3].

Wiswall, & Zafar, (2016) ispitivali su uticaj polova na preferencije za poslom i pokazali da žene u proseku imaju veće preferencije ka fleksibilnim radnim satima i skraćenim radnim vremenom i stabilnim poslom u odnosu na muškarce koji imaju veće preferencija ka poslovima sa većim primanjima[4].

Nakon uvodnog poglavlja, u drugom delu rada će biti objašnjena *Conjoint* metoda za merenje preferencija. U trećem poglavlju će biti prikazana metodologija dizajniranja studije, sa objašnjenjem izabrane liste ključnih atributa i generisanih nivoa atributa. Nakon opisa problema i primenjenog modela, četvrti deo predstavlja prikazane rezultate dobijene *Conjoint* analizom, tj. kakav profil posla preferiraju ispitanici istraživanja. Na samom kraju rada prikazani su i izvedeni zaključci i mogući pravci za dalje istraživanje.

2. *CONJOINT* ANALIZA

Hair, Anderson, i *Tatham* (1998) su definisali *Conjoint* analizu kao: „multivarijacionu tehniku koja se koristi za razumevanje načina na koji potrošači razvijaju preferencije za proizvode ili usluge“ [5]. Takođe, *Conjoint* analiza je bazirana na jednostavnoj premisi da potrošači ocenjuju vrednost proizvoda, usluge, koncepta ili ideje kombinovanjem pojedinačnih vrednosti koje obezbeđuje svaki od atributa kojim je opisan proizvod, usluga, koncept, odnosno ideja [5]. Iako se temelji *Conjoint* analize mogu naći još u dvadesetim godinama 19. veka, generalno je dogovoreno da 1964. godina bude godina kad je počelo korišćenje *Conjoint* mere, koja je te godine prvi put spomenuta u radu *Luce*-a, i *Tukey*-a [6]. Prema prvoj definiciji koju su dali *Green* i *Srinivasan* 1978. godine, *Conjoint* analiza se odnosi na bilo koju dekompozitnu metodu koja procenjuje strukturu potrošačkih preferencija, uzimajući u obzir njegove ili njene sveukupne evaluacije skupa alternativa koje su prikazane preko nivoa različitih atributa [7]. Posao analitičara je da nađu sklop parcijalnih korisnosti za individualne atribute koji opisuju dati proizvod, odnosno uslugu, a koje su najviše konzistentne sa sveukupnim preferencijama ispitanika. Parcijalne korisnosti atributa definišu se kao numeričke vrednosti koje odražavaju koliko su poželjne različite karakteristike proizvoda/usluge [8]. *Conjoint* analiza je metodologija koja u osnovi obuhvata četiri osnovne faze [8]:

1. Dizajniranje studije – u ovoj fazi potrebno je odrediti listu ključnih atributa, zatim odabrati *Conjoint* metodologiju i napraviti upitnik koji podrazumeva kreiranje profila, izbor metode za evaluaciju profila i definisanje broja zadataka u upitniku.
2. Implementacija studije – ova faza podrazumeva definisanje uzorka koji će biti ispitivan i definisanje njegove veličine, zatim izbor metode za prikupljanje podataka i na kraju prikupljanje podataka sa terena.
3. Analiza podataka – u trećoj fazi se bira metoda za analizu podataka a zatim se prelazi na analizu u kojoj se određuju korisnosti nivoa atributa i značajnosti atributa.
4. Simulacija tržišta – u poslednjoj fazi bira se simulacioni model, simulira se tržište korišćenjem izabranog modela i primenjuje se „Šta-ako“ analiza nad podacima.

3. METODOLOGIJA DIZAJNIRANJA STUDIJE

Istraživanje u radu je formulisano tako da se do rezultata dolazi kroz više etapa. Prvo je sprovedeno predistraživanje, sa ciljem prikupljanja relevantnih informacija za pravilno definisanje liste atributa koje će se koristiti u *Conjoint* analizi. Nakon ovoga je usledilo samo istraživanje u kojem je primenjena *Conjoint* analiza čiji rezultati će pokazati preferencije ispitanika prema određenom hipotetičkom radnom mestu. Generisanim rezultatima potrebno je dobiti odgovore na određena pitanja i potvrditi odnosno opovrgnuti postavljene tvrdnje. Neka od pretpostavki koje se nameću a na koje je potrebno dati odgovore jesu:

- Pretpostavlja se da je prilikom izbora posla najbitniji faktor zarada.
- Pretpostavlja se da ukoliko ispitanik bira između posla sa velikom zaradom i lošim ostalim uslovima i posla sa niskom zaradom a odličnim ostalim uslovima, da će izabrati drugi.

Takođe mogu se postaviti i pitanja koja su karakteristična za dileme:

- Da li je ispitanicima bitnija plata ili međuljudski odnosi?
- Kada je plata za dva posla ista, da li su bitniji međuljudski odnosi ili mogućnost napredovanja?
- Koliko brzo operacioni menadžeri napreduju na poslu?
- Da li postoji razlika u preferencijama prilikom izbora posla između studenata koji tek traže prvi posao i onih koji imaju radno iskustvo?

Istraživanje sprovedeno u ovom radu specifično je po tome što su ciljna grupa ispitanika studenti 4. godine i diplomirani studenti smera Operacioni menadžment. Iz tog razloga, demografski podaci kao što su broj godina, nivo stečenog obrazovanja, prosečna mesečna primanja, bračni status, itd. nisu bila potrebna niti relevantna kako bi se došlo do odgovora na postavljene pretpostavke i istraživačka pitanja. Neka od dopunskih pitanja, pored obaveznih *Conjoint* pitanja, a koja su bitna za analizu i za shvatanje odabira određene kombinacije karakteristika jednog posla, odnose se na: prosečnu ocenu tokom studija; radni status (zaposleni, student), zadovoljstvo trenutnim poslom, radna pozicija, vreme napredovanja u preduzeću, itd.

Prilikom sprovođenja istraživanja korišćena je *online Conjoint.ly* platforma [9]. Ova platforma u svojoj osnovi koristi Metodu diskretnih izbora (engl. *Choice-Based-Conjoint*). Ova metoda vrši izbor načina na koji će alternative biti predstavljene ispitanicima u cilju evaluacije tj. izbora najbolje iz skupa više ponuđenih alternativa. Ispitanicima se ne postavljaju direktna pitanja o karakteristikama, već im se nude profili koji sadrže različite kombinacije atributa (karakteristika) proizvoda a od njih se traži da izaberu onaj koji smatraju najboljim.

Dalje se u nastavku objašnjavaju svi atributi i njihovi nivoi (Tabela 1), kao i razlog njihovog izbora u analizi preferencija studenata prilikom odabira posla:

- Zarada – Jedan od najbitnijih faktora u ovom istraživanju. Atribut zarada se sastoji od 4 nivoa koji su izabrani na osnovu ispitivanja tržišta (razgovorom sa nekoliko zaposlenih diplomiranih studenata smera OM), i uzeti su kao relevantni pokazatelj trenutnih plata na srpskom tržištu rada, pri čemu je kao najmanja plata uzeta vrednost od 35 000 dinara a kao najveća vrednost 95 000 dinara. Ovaj atribut spada u kvantitativne atribute.
- Tip zaposlenja – atributu su dodeljena dva nivoa, na osnovu toga koji tip ugovora se najčešće potpisuje u preduzećima u Srbiji. Pod ugovorom na određeno podrazumeva se i praksa u trajanju od 3 meseca, 6 meseci ili godinu dana. Ovo je ordinalni atribut jer je moguće pretpostaviti koji nivo atributa će racionalan ispitanik uvek preferirati.
- Sati rada – atribut je opisan pomoću 3 nivoa. Nivo od 8 sati rada je podrazumevan, a ostala dva nivoa su dodata jer je dobro poznato da mnogi zaposleni nemaju uvek osmočasovno radno vreme i da često ostaju duže na svom poslu, pri čemu taj prekovremeni rad može biti plaćen a i ne mora. Ovaj atribut je takođe ordinalni kao i prethodni.
- Međuljudski odnosi – ovaj atribut igra bitnu ulogu prilikom odabira određenog posla i spada u ordinalne atribute. Pretpostavlja se da će nekim ispitanicima ovaj faktor biti bitniji od faktora plate. Ovaj atribut ima 2 nivoa koji se odnose na to da li su međuljudski odnosi hladni i strogo poslovni ili su sa druge strane topli i prijateljski.
- Mogućnost napredovanja – Ovaj ordinalni atribut dodat je u istraživanje, na osnovu informacije da je u nekim preduzećima napredovanje veoma sporo. Potrebno je da zaposleni radi isti posao dve do tri godine da bi napredovao.

Tabela 1: Atributi poslova i njihovi nivoi

Atributi	Nivoi	Parcijalna korisnost	Značajnost atributa
Zarada	35 000 dinara	27,75	**47,54%**
	55 000 dinara	-4,96	
	75 000 dinara	12,91	
	95 000 dinara	19,80	
Tip zaposlenja	Ugovor na neodređeno vreme	3,57	**7,15%**
	Ugovor na određeno vreme	-3,57	
Sati rada	Povremen prekovremeni rad, ali plaćen	3,66	**8,45%**
	8 sati rada	1,14	
	Povremen prekovremeni rad, ali neplaćen	-4,80	
Međuljudski odnosi	Formalna komunikacija, hladni i poslovni odnosi	-9,79	**19,59%**
	Neformalna komunikacija, topli i prijateljski odnosi	9,79	
Mogućnost napredovanja	Postoji	8,63	**17,27%**
	Ne postoji u prve dve do tri godine	-8,63	

Conjoint.ly softver u istraživanju primenom metode diskretnih izbora je generisao 6 blokova od po 8 pitanja (zadataka), pri čemu je svaki ispitanik 8 puta birao između 2 opcije i svaki sedmi ispitanik je dobijao istu kombinaciju pitanja. Ovakav način generisanja zadataka se primenjuje kako bi se smanjio minimalan uzorak. Na Slici 1. prikazan je izgled jednog *Conjoint* zadatka iz ankete, u formi u kojoj su zadaci bili predstavljeni ispitanicima.

Slika 1: Izgled jednog *Conjoint* zadatka iz ankete – prikaz u softveru

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je sprovedeno tokom jula i avgusta meseca 2018. godine i prikupljeno je ukupno 193 odgovora od čega je 7 ispitanika isključeno iz *Conjoint* analize, što podrazumeva da je validnih odgovora ukupno bilo 186 studenata. Od ukupnog broja ispitanika čak 71,5% čini ženska populacija, naspram samo 28,5% muške populacije, što trenutno potpuno oslikava strukturu populacije studenata na studijskoj grupi Operacioni menadžment. Takođe u posmatranom uzorku, 59,7 % su bili diplomirani studenti a ostalih 40,3% aktivni studenti. Jedno od veoma bitnih pitanja za dalju analizu odnosilo se na trenutnu zaposlenost (zaposlenost u struci, van struke i nezaposlenost). Pretpostavlja se da se preferencije razlikuju u odnosu na to da li je ispitanik zaposlen, da li je na praksi ili još uvek nije zaposlen. Najveći procenat ispitanika je zaposlen u struci (48,9%), dok 26,3% nije zaposlen. Više od polovine ispitanika imaju prosečnu ocenu iznad 8,5 (52,4%). Što se tiče zadovoljstva ispitanika poslom na Likert skali od 1 do 5 (1 znači „Uopšte nisam zadovoljan/na“, a 5 „U potpunosti sam zadovoljan/na“), srednja vrednost je iznosila 3,8. Na pitanje „Koliko brzo operacioni menadžeri napreduju na poslu?“ posmatrani su odgovori ispitanika koji su napredovali. Od ukupno 135 zaposlenih ispitanika, 51,86% u preduzećima u kojima rade je napredovao. Prosečno vreme napredovanja po odgovorima ispitanika je bilo 13 meseci, što predstavlja vrlo dobar prosek i uspešnost diplomiranih studenata operacionog menadžmenta.

Rezultati istraživanja koji se nešto kasnije navode dobijeni su korišćenjem softvera *Conjoint.ly* koji u svojoj pozadini za analizu rezultata koristi hijerarhijsku Bajesovu metodu. Hijerarhijska Bajesova metoda se bazira na proceni parametara definisanih modelom slučajnih koeficijenata (*Random Coefficients Model - RCM*) [8]. Koristeći ovu metodu moguće je proceniti parametre na individualnom nivou, čak i kada postoji izvesna kolinearnost u ispitanikovim evaluacijama, odnosno u ocenama alternativa (profila). Relativne vrednosti parcijalnih korisnosti nivoa atributa kao i značajnosti atributa na agregatnom nivou za ceo uzorak

predstavljene su u Tabeli 1. Relativne značajnosti atributa predstavljaju meru uticaja atributa na studentov izbor. Kvantitativna mera preferencija u odlukama studenata naziva se korisnost. Parcijalne korisnosti omogućavaju dublji uvid u to koji nivoi u okviru atributa određuju izbor ispitanika. Što je pozitivnija vrednost parcijalne korisnosti to znači da je taj nivo poželjniji u očima ispitanika (Tabela 1). Važi i suprotno – nivoi koji nisu poželjni imaće veoma izražene negativne parcijalne vrednosti [8]. Takođe, bitno je napomenuti da su sve vrednosti parcijalnih korisnosti relativne, odnosno da se mogu menjati uvođenjem novih nivoa atributa. Tako su i vrednosti atributa relativne jer odražavaju korisnosti atributa u odnosu na ponuđene atribute, ne i odnosu na one koji bi mogli naknadno da se uvedu.

Na osnovu podataka iz Tabele 1 se može zaključiti da je ispitanicima koji su birali između različitih profila poslova, najznačajniji atribut "Plata", čija prosečna značajnost iznosi 47,54%, što je bilo i očekivano. Drugi najznačajniji atribut je "Međuljudski odnosi" sa prosečnom značajnošću na agregatnom nivou od 19,59%. Neočekivano, ovaj atribut ima duplo manju značajnost od plate, što opovrgava određene pretpostavke da su međuljudski odnosi važniji od finansijskih aspekata posla. Treći atribut po značajnosti, koji ima značajnost približno istu kao i prethodno pomenuti, je "Mogućnost napredovanja" (17,27%). Dva najmanje značajna atributa su atributi „Sati rada" (8,45%), i „Tip zaposlenja" (7,15%). Po odgovorima se može videti da ispitanici čak više preferiraju prekovremen rad, ukoliko će on biti plaćen, nego da rade osmočasovno radno vreme (parcijalna korisnost za prekovremeni plaćeni rad je 3,66, dok je za 8 sati rada samo 1,14).

Na osnovu odgovora na pitanje „Da li ste zaposleni?" napravljena je podela ispitanika na one koji su zaposleni (zaposleni u struci, zaposleni ali ne u struci, praktikanti) – 73,66% i one koji to nisu – 26,34%. Gledajući značajnosti atributa i parcijalne korisnosti nivoa atributa za ova dva segmenta može se primetiti da ne postoji značajna razlika. Pozivajući se na hipoteza koja je glasila „Da li postoji razlika u preferencijama prilikom izbora posla između studenata koji tek traže prvi posao i onih koji su zaposleni?". U Tabeli 2 dat je uporedni prikaz značajnosti svih atributa za zaposlene i one koji nisu zaposleni, pa odgovor na prethodno pitanje glasi da ne postoji razlika.

Tabela 2: Značajnosti atributa za segmente „Zaposleni" i „Nezaposleni"

Atributi	**Značajnost atributa**	
	Zaposleni	Nezaposleni
Mogućnost napredovanja	17.46%	16.73%
Međuljudski odnosi	19.51%	19.82%
Radno vreme	8.18%	9.23%
Tip zaposlenja	7.39%	6.46%
Plata	47.46%	47.77%

Razlike kod značajnosti atributa „Plata" i „Međuljudski odnosi" skoro da i nema, prilikom poređenja zaposlenih i nezaposlenih. Kad su u pitanju ostali atributi, „Zaposleni" manje vrednuju radno vreme od „Nezaposlenih", dok više vrednuju mogućnost napredovanja i tip zaposlenja.

Pored prethodnog definisane su i dodatna hipoteza i istraživačko pitanje:

- Pretpostavlja se da ukoliko ispitanik bira između prvog posla sa velikom platom i lošim ostalim uslovima i drugog posla sa malom platom a odličnim ostalim uslovima, da će izabrati drugi.
- Da li su bitniji međuljudski odnosi ili mogućnost napredovanja, kada je ponuđena plata za oba posla ista?

U pronalaženju odgovora na ovo pitanje koristi se simulacija koja omogućava *Conjoint.ly*. Ova simulacija se najčešće koristi za određivanje tržišnog udela nekog hipotetičkog proizvoda odnosno usluge, uzimajući veličinu uzorka od 100 ispitanika. Simulacija će u ovom istraživanju biti korišćena za određivanje procenta ispitanika koji bi između dva ponuđena posla izabrali hipotetički „Posao 1" ili „Posao 2". „Posao 1" imaće za potrebe simulacije sledeće karakteristike: plata u iznosu od 95000 dinara, ugovor na određeno vreme, povremen prekovremeni rad ali neplaćen, formalna komunikacija, hladni i poslovni odnosi, i mogućnost napredovanja na ovom poslu postoji tek nakon 2 do 3 godine. „Posao 2" ima sledeće karakteristike: plata od 35000 dinara, ugovor na neodređeno vreme, povremen prekovremeni rad ali plaćen, neformalna komunikacija, topli i prijateljski odnosi i na ovom poslu moguće je napredovanje za manje od 2 godine. Pokretanjem simulacije za ova dva hipotetička posla dobijamo sledeće rezultate: 50% ispitanika bi pre izabralo posao sa malom platom a odličnim ostalim uslovima, dok bi njih 40% izabralo hipotetički posao na kojem je zarada iznosi 95000 dinara a ostali uslovi su loši. Samim tim može da se potvrdi postavljenu hipotezu „Ispitanik će uvek odabrati posao sa manjom zarado i boljim radnim uslovima.

Za dobijanje odgovora na drugo postavljeno pitanje, nivoi atributa u hipotetičkim poslovima bili su isti za sve atribute, osim za nivoe atributa „Međuljudski odnosi“ i „Mogućnost napredovanja“. Za „Posao 1“ izabrani su nivoi „Formalna komunikacija, hladni i poslovni odnosi“ i „Postoji“ mogućnost napredovanja, dok je za „Posao 2“ izabran nivo „Neformalna komunikacija, topli i prijateljski odnosi“ i mogućnost napredovanja postoji tek posle 2 do 3 godine. Kada se pokrene simulacija dobijeni rezultati pokazuju da ispitanici više preferiraju bolje međuljudske odnose sa sporijim napredovanjem nego poslove gde su lošiji međuljudski odnosi ali se brže napreduje. Zaključak je da su ispitanicima bitniji međuljudski odnosi od mogućnosti napredovanja kada je plata za oba posla ista. Ovaj rezultat se podudara i sa prethodno dobijenim značajnostima atributa (19,59% značajnost atributa „Međuljudski odnosi“ i 17,27% značajnost atributa „Mogućnost napredovanja“).

5. ZAKLJUČAK

Može se primetiti da mnogi poslodavci u oglasima za posao nude iste uslove rada i traže određene veštine, znanja i karakteristike od kandidata. Ono što se razlikuje od poslodavca do poslodavca jesu međuljudski odnosi, mogućnost napredovanja i visina plate. Autori ovog rada su želeli da kroz istraživanje provere opšte poznate pretpostavke, da su finansijski karakteristike posla i zarada najbitnije prilikom zapošljavanja kandidata. Cilj istraživanja je bio da se korišćenjem *Conjoint* analize, ispitaju preferencije studenata prema uslovima na radnom mestu, odnosno da se istraži koje je to idealno radno mesto na kome bi zaposleni želeli da rade. Na osnovu odgovora na pitanja, studenti su kao idealno radno mesto odabrali posao sa sledećim atributima: najviša ponuđena zarada, ugovor na neodređeno vreme; povremen prekovremeni rad ali plaćen; neformalna komunikacija, topli i prijateljski međuljudski odnosi; izvesna mogućnost napredovanja. Primenom *Conjoint* analize nad prikupljenim podacima potvrđena je pretpostavka da je nivo zarade najznačajniji faktor prilikom odabira određenog posla, a zatim međuljudski odnosi pa mogućnost napredovanja, time je potvrđen zaključak takođe iznet u radu [3]. Međutim kada se atribut dobre zarade, u simulaciji na dva hipotetička primera, sučeli sa atributima poput međuljudskih odnosa i mogućnosti napredovanja, zanimljiv je rezultat da ispitanici pre biraju posao koji ima manju platu ali dobre međuljudske odnose i veliku mogućnost napredovanja u odnosu na posao sa manjom platom na kojem su ostali uslovi loši. U budućim istraživanjima na sličnu temu u planu je međusobno poređenje različitih generacija sa studijske grupe operacioni menadžment prema preferencijama u odabiru posla, a slično istraživanje se može sprovesti i na uzorku koji obuhvata sve studijske grupe Fakulteta organizacionih nauka.

LITERATURA

[1] Guillot-Soulez, C., & Soulez, S. (2014). On the heterogeneity of Generation Y job preferences. Employee Relations. Employee Relations, 319-332.

[2] Montgomery, D., & Ramus, C. (2003). Corporate Social Responsibility Reputation Effects on MBA Job Choice. Stanford: Stanford University.

[3] Baum, M., & Kabst, R. (2013). Conjoint implications on job preferences: The moderating role of involvement. The International Journal of Human Resource Management, *24*(7), 1393-1417.

[4] Wiswall, M., & Zafar, B. (2016). Preference for the workplace, human capital, and gender (No. w22173). National Bureau of Economic Research.

[5] Hair, J. F., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (1998). Multivariate data analysis. Upper Saddle River.

[6] Luce, D. R., & Tukey, J. W. (1964). Simultaneous Conjoint Measurement: A New Type of Fundamental Measurement. Journal of Mathematical Psychology, 1-27.

[7] Green, P. E., & Srinivasan, V. (1990). Conjoint Analysis in Marketing: New Developments with Implications for Research and Practice. Journal of Marketing, 3-19.

[8] Kuzmanović, M. (2006). Kvantitativne metode u upravljanju marketingom: primena Conjoint analize: monografija. Društvo operacionih istraživača Jugoslavije.

[9] *Online Conjoint.ly* platforma. Link: https://conjoint.online/conjoint-analysis/

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

IDENTIFIKOVANJE KLJUČNIH FAKTORA KOJI UTIČU NA IZBOR FITNES CENTRA PRIMENOM CONJOINT ANALIZE

USING CONJOINT ANALYSIS TO IDENTIFY THE KEY FACTORS INFLUENCING FITNESS CENTER CHOICE

ANA RAKIĆEVIĆ[1], ANDRIJANA BAČEVIĆ[2], MARIJA KUZMANOVIĆ[3], BISERA ANDRIĆ GUŠAVAC[4]

[1] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, ana.rakicevic95@gmail.com
[2] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, andrijana.bacevic@fon.bg.ac.rs
[3] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, marija.kuzmanovic@fon.bg.ac.rs
[4] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, bisera.andric.gusavac@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Sve veći broj ljudi teži zdravom i aktivnom životu, često kroz bavljenje sportskim aktivnostima i rekreaciju, uzrokujući rastuću popularnosti fitnes centara. Cilj ovog rada je da se utvrde najvažniji faktori koji utiču na izbor fitnes centra. Primenom istraživačke tehnike Conjoint analiza, kao najvažniji faktori na agregatnom nivou identifikovani su čistoća i radno vreme. Na osnovu rezultata analize definisan je idealan fitnes centar iz ugla ispitanika. Dopunskom analizom su otkrivene razlike između preferencija pojedinaca koji već imaju iskustva sa korišćenjem fitnes centara i početnika koji ih do sada nisu koristili.*

Ključne reči: *Fitnes centar, Conjoint analiza, Preferencije, Segmentacija, Simulacija.*

Abstract: *An increasing number of people are striving for a healthy and active life, often through sport activities and recreation, causing the growing popularity of fitness centers. The aim of this paper is to identify the most important factors that influence the choice of fitness center. Using the Conjoint analysis technique, cleanliness and working hours were identified as the most important factors at the aggregate level. Based on the results of the analysis, an ideal fitness center from the respondents' point of view was defined. The additional analysis revealed differences between preferences of individuals already experienced in using fitness centers and beginners who have not used them so far.*

Keywords: *Fitness Center, Conjoint Analysis, Preferences, Segmentation, Simulation.*

1. UVOD

Fizička aktivnost je osnovna potreba ljudskog organizma. Međutim, nivo fizičke aktivnosti je u današnje vreme na nedovoljnom nivou za zadovoljavanje osnovnih ljudskih potreba. Svakodnevni život pruža vrlo malo prilika za fizičku aktivnost, a sedelački način života je poprimio obim epidemije (Bratić, 2013). Zbog svega navedenog treba naći kompromis i uz svakodnevne obaveze potrebno je izdvojiti vreme za rekreaciju i fizičku aktivnost. Jedan od načina za to je pronalaženje odgovarajućeg fitnes centra, gde se na savremeni način mogu zadovoljiti osnovne potrebe čoveka.

Fitnes industrija se brzo razvija, pa tako raste i broj klijenata širom sveta koji koriste fitnes centre kako bi povećali svoju fizičku aktivnost (Heroux, 2017). S obzirom na to, zahteva se i stalno unapređenje programa i sadržaja koji bi fitnes centri mogli da pruže (Nićin, 2003). Osnovna usluga koju pružaju ukombinovana sa dobro utemeljenim korporativnim vrednostima fitnes centra značajno utiče na zadovoljstvo klijenata. Za uspešnu marketing strategiju jednog fitnes centra potrebno je identifikovati ciljnu grupu i zatim razviti elemente marketing miksa, koji će zadovoljiti potrebe ciljne grupe na najbolji mogući način (Heroux, 2017).

Yong Jang i Choi (2018) su istraživali faktore koji utiču na izbor pri učlanjenju u fitnes centre, na uzorku od 283 klijenata fitnes centara iz Seula, Južne Koreje. Za merenje preferencija ispitanika su koristili Conjoint analizu, a agregatni rezultati pokazuju da je iznos članarine najbitniji faktor, pa zatim okruženje, pristupačnost i na kraju opremljenost fitnes centra. Takođe, autori su izvršili segmentaciju ispitanika prema iskustvu koje imaju sa vežbanjem u fitnes centrima, ali je za sve tri identifikovane podgrupe, poredak važnosti atributa bio isti kao na agregatnom nivou.

Predmet istraživanja ovog rada je ispitivanje preferencija građana Srbije prilikom izbora fitnes centra. Cilj je da se identifikuju najvažniji faktori prilikom odabira fitnes centra i utvrdi da li postoje razlike u preferencijama između polova ispitanika, kao i u zavisnosti od godina iskustva koje imaju sa vežbanjem.

Na osnovu ključnih atributa i njihovih nivoa generisan je plan eksperimenta koji obuhvata skup hipotetičkih profila fitnes centara koje su ispitanici evaluirali metodom ocenjivanja. Kao alat za generisanje efikasnog (ortogonalnog) plana eksperimenta korišćen je statistički paket IBM SPSS 25.0 i njegova komponenta *Orthoplan*. Od ukupno 729 mogućih profila (3^6), što predstavlja *kompletan faktorski plan*, generisano je 18. Dodata su i dva kontrolna profila u cilju provere kvaliteta dobijenih rezultata.

Podaci su prikupljeni putem elektronske ankete koja je sadržala tri grupe pitanja: 1) socio-demografska pitanja (pol, starosno doba, mesto stanovanja, visina primanja, bračni status), 2) pitanja vezana za navike ispitanika (koliko godina iskustva imaju sa vežbanjem u fitnes centru, koliko provode vremena u fitnes centru na nedeljnom nivou, sa kim ga najčešće posećuju i šta ih motiviše) i 3) 20 ponuđenih fitnes centara iz efikasnog plana eksperimenta koje su ispitanici ocenjivali na petostepenoj Likertovoj skali, gde 1 znači „ne sviđa mi se", a 5 „sviđa mi se".

2.3. Model preferencija

Kada se kao metoda za evaluaciju alternativa izabere metoda ocenjivanja profila, individualne preferencije se mogu modelirati pomoću linearne aditivne funkcije, tzv. funkcije parcijalnih korisnosti :

$$U_{ij} = \sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{L_k} \beta_{ikl} x_{jkl} + \varepsilon_{ij}, \quad i = 1,..,I, \;\; j = 1,..,J \tag{1}$$

gde U_{ij} predstavlja ukupnu korisnost profila j za i-tog ispitanika, tj. percipiranu vrednost profila od strane svakog ispitanika pojedinacno, β_{ikl} predstavlja procenjenu korisnost l-tog nivoa k-tog atributa (k = 1,2,..., K*;* l = 1,2,..., L_k) za i-tog ispitanika (parcijalna korisnost). Binarna promenljiva x_{jkl} ukazuje na pristustvo odnosno odsustvo l-tog nivoa k-tog atributa u j-tom profilu. Stohastička greška je označena sa ε_{ij}.

Za računanje parcijalnih korisnosti u Conjoint analizi baziranoj na ocenjivanju, najčešće se koristi metoda najmanjih kvadrata (Kuzmanović & Obradović 2010). Parcijalne korisnosti se dalje mogu upotrebiti za dobijanje niza korisnih informacija u vezi sa preferencijama ispitanika, kao što su relativne značajnosti atributa, funkcije korisnosti ispitanika, udeli preferencija, ali i za definisanje marketing simulacionih modela. Na osnovu zbira parcijalnih korisnosti dobijenih za određene nivoe atributa, koji su zastupljeni u generisanom profilu, može se izračunati njegova ukupna korisnost i zatim odrediti najpoželjniji profil tj. profil koji ima najveću korisnost za ispitanike (Kuzmanović, 2006). Korisnost u ovom primeru predstavlja percipiranu vrednost ponuđenih usluga, koje pruža fitnes centar. Parcijalne korisnosti nivoa atributa se mogu koristiti i za tzv. *post hoc* segmentaciju (Popović et al. 2016).

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je sprovedeno tokom maja i juna meseca 2019. godine putem elektronske ankete koja je napravljena pomoću Google Forms alata. Analiza podataka izvršena je u softverskom paketu IBM SPSS 25.0 pomoću modula za Conjoint analizu (*Conjoint Procedure*).

3.1. Opis uzorka

Uzorkom je obuhvaćeno ukupno 219 ispitanika koji su odgovorili na pitanja iz upitnika. Prilikom preliminarne analize podataka utvrđeno je 27 nevalidnih odgovora koji su isključeni iz dalje analize.

Od ukupnog broja ispitanika 63% čine žene, dok preostalih 37% ispitanika čine muškarci. Najveći broj ispitanika, čak 85%, ima između 19 i 26 godina, njih 10% ima između 27 i 34 godina, a svega 5% ima više od 34 godina. Svi ispitanici su državljani Srbije, među kojima ima najviše iz Beograda (65%), zatim Centralne Srbije (22%), Vojvodine (11%) i na kraju sa Kosova i Metohije (2%). Jedno od bitnih pitanja za analizu rezultata ovog istraživanja se odnosi na primanja po članu domaćinstva i status. Pretpostavlja se da se preferencije pri izboru fitnes centra razlikuju u odnosu na visinu primanja po članu domaćinstva koju ispitanik ima, i u odnosu na to da li je po statusu student, zaposleno ili nezaposleno lice. Studenata ima najviše, 59%, dok zaposlenih lica ima oko 39%. Tačno polovina ispitanika ima visoka prosečna primanja po članu domaćinstva (više od 50.000 dinara), 36% ispitanika ima primanja između 25.000 i 50.000 dinara, dok svega 14% ima niska primanja (ispod 25.000 dinara).

Osim demografskih pitanja, anketa je sadržala i pitanja koja se odnose na navike ispitanika kako bi se mogle posebno analizirati preferencije ispitanika koji nemaju iskustva sa treniranjem u fitnes centrima. Većini ispitanika (71%) je glavni motiv održavanje kondicije i estetskog izgleda, zatim 19% njih se izjasnilo da ne posećuje fitnes centre, 9% ispitanika je navelo zdravstvene razloge kao glavni motiv, svega 1% posećuje fitnes centre iz hobija i zbog socijalizacije (upoznavanja novih ljudi).

3.2. Agregatne preferencije

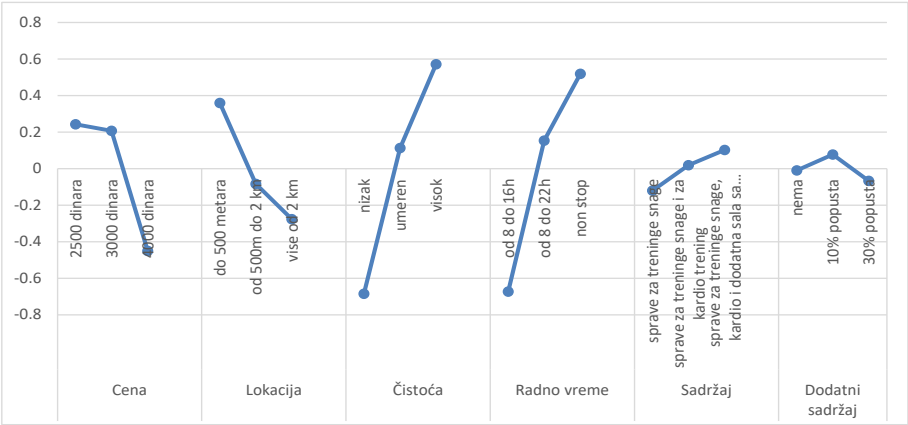
Kao rezultat analize dobijene su prosečne značajnosti atributa na agregatnom nivou tj. celom uzorku i one su prikazane u Tabeli 1. Najznačajniji atribut na agregatnom nivou je *Čistoća* čija prosečna značajnost iznosi 24,51%. Atribut *Cena* se neočekivano nalazi na trećem mestu po značajnosti (16,50%), što opovrgava postavljenu hipotezu da je cena najbitniji faktor pri izboru fitnes centra. Iako cena ne predstavlja najznačajniji atribut, rezultati studije pokazuju da kod ispitanika ipak postoji cenovna osetljivost na osnovu vrednosti parcijalnih korisnosti nivoa kod atributa. Najmanje značajni atributi su „Sadržaj“ i „Dodatni sadržaj“ čije prosečne značajnosti iznose 11,63% i 9,44%, respektivno što znači da su ispitanici indiferentni prema opremljenosti fitnes centra i tome na koji način će trenirati i uz pomoć kakvih sprava. Uzimajući u obzir sve ove pokazatelje, najbolje i najlošije ocenjena ponuda fitnes centra data je u Tabeli 1.

Tabela 1: Karakteristike najbolje i najlošije ocenjenog fitnes centra

Atribut	*Značajnost*	*Najbolje ocenjena ponuda*	*Najlošije ocenjena ponuda*
Nivo čistoće	24,50%	visok	nizak
Radno vreme	22,71%	non stop	od 8 do 16h
Cena	16,50%	2500 din	4000 din
Lokacija	15,20%	do 500 m	više od 2 km
Sadržaj	11,63%	sprave za treninge snage, kardio i dodatna sala sa strunjačama i tegovima	sprave za treninge snage
Dodatni sadržaj	9,44%	10% popusta	30% popusta

Za različite raspone vrednosti atributa, osetljivost preferencija ispitanika može da varira, a uvid u to omogućava funkcija korisnosti (Slika 1). Što je ova funkcija ravnija to ukazuje na manju osetljivost i obrnuto. Na primer, ako posmatramo atribut *Cena*, korisnost opada mnogo brže u intervalu 3000 dinara-4000 nego u intervalu 2500 dinara-3000 dinara. Na osnovu tih vrednosti se vidi da, pored 2500 dinara kao najniže cene, je ispitanicima prihvatljiva i cena od 3000 dinara U slučaju atributa *Lokacija*, samo najpoželjniji nivo (do 500 metara od mesta stanovanja) povećava ukupnu korisnost, dok je nivoi ostala dva smanjuju. Ova dva nivoa imaju negativan predznak vrednosti pacijalne korisnosti.

Validnost odgovora ispitanika procenjena je pomoću Pearson R i Kendall tau statistika kojima se meri korelacije između posmatranih i procenjenih preferencija. Pearson-ov koeficijent u ovoj studiji iznosi 0,986 što znači da dobijeni rezultati imaju visok nivo značajnosti. Vrednost Kendall-ovog koeficijenta od 0,935 ukazuje na visok nivo korelacije između ulaznih i procenjenih parametara. Kendall-ov koeficijent za kontrolna pitanja iznosi 1 što je dodatni pokazatelj da su dobijeni podaci visokog kvaliteta.



Slika 1: Funkcije parcijalnih korisnosti atributa na agregatnom nivou

3.3. Segmentacija na osnovu unapred definisanih segmenata

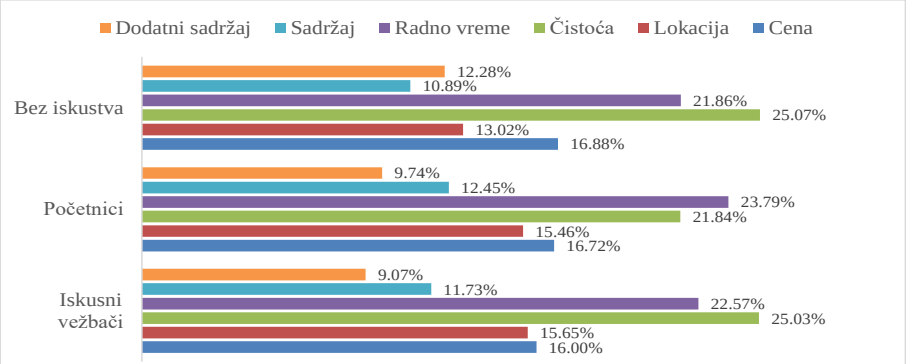
Radi dalje analize rezultata i dobijanja odgovora na postavljena istraživačka pitanja, u ovom radu izvršena je tzv. *a priori* segmentacija ispitanika prema polu i prema iskustvu sa vežbanjem u fitnes centrima, bez korišćenja rezultata primarnog istraživanja.

Prva segmentacija na osnovu demografskih podataka je prema polu: žene (63%) i muškarci (37%). Rezultati odgovora idu u korist postavljene hipoteze da je čistoća bitnija ženama nego muškarcima. Kod žena se na prvom mestu nalazi ovaj atribut sa prosečnom značajnošću koja iznosi 25,31%, dok se

muškarcima na prvom mestu nalazi atribut *Radno vreme* čija prosečna značajnost iznosi 25,68%, a *Čistoća* se nalazi na drugom mestu sa prosečnom značajnošću 20,80%.

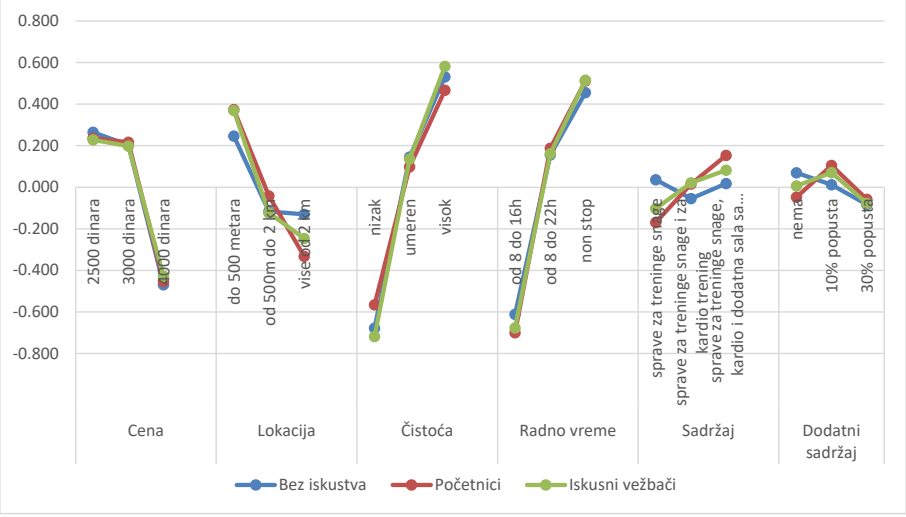
U ovom istraživanju je izvršena još jedna segmentacija ispitanika, na osnovu godina iskustva koje imaju sa vežbanjem u fitnes centru. Prvu grupu odnosno „iskusne vežbače“, čine ljudi koji imaju više od 2 godine iskustva i oni čine 41% od ukupnog broja ispitanika. Druga grupa ispitanka su „početnici“, koji imaju do 2 godine iskustva, i oni čine 43% od ukupnog broja ispitanika. Preostalih 16% ispitanika do sada nisu imali iskustva sa treniranjem u fitnes centru.

Na Slici 2 su uporedo prikazane značajnosti atributa za odabrane segmente. Dobijeni rezultati pokazuju da se preferencije tri grupe ispitanika minimalno razlikuju, međutim ako se gleda poredak tri najvažnija atributa prema značajnosti, može se videti da su preferencije iskusnih i neiskusnih iste, dok se kod početnika nešto malo razlikuje taj poredak.



Slika 2: Prosečne značajnosti atributa za segmente

Sa Slike 3 se može uočiti da svi atributi imaju visok nivo osetljivosti na promene nivoa. Ako posmatramo atribut *Lokacija*, korisnost opada mnogo brže u intervalu od 500 m do 2 km kod – više od 2 km kod drugog nego kod prvog segmenta. U slučaju atributa *Sadržaj* čija je prosečna značajnost kod sva tri segmenta približno isto, sa grafika se mogu uočiti razlike u parcijalnim korisnostima. Grupa ispitanika koji nemaju iskustva kao najmanje poželjan izdvajaju drugi nivo dok je isti kod preostale dve grupe ispitanika srednje poželjan. Kao najpoželjniji nivo izdvajaju prvi, dok je kod preostale dve grupe treći nivo najpoželjniji.



Slika 3: Funkcije parcijalnih korisnosti atributa

3.4. Simulacija

Završni deo analize čini simulacija kako bi se odredio tržišni udeo hipotetičke usluge koju pruža fitnes centar što je ujedno poslednji i najvažniji korak Conjoint analize. Simulacijom tržišta omogućava se otkrivanje skrivenih efekata koji mogu imati veliki uticaj na preferencije prema proizvodu/usluzi, a koji se ne mogu odrediti samo pomoću prosečnih parcijalnih korisnosti (Kuzmanović, 2006).

Za potrebe simulacije korišćena su dva hipotetička fitnes centra (Tabela 2) koji se razlikuju po iznosu mesečne članarine i lokaciji, dok su ostale karakteristike one koje su prema rezultatima na agregatnom nivou prihvatljive ispitanicima.

Tabela 2: Karakteristike dva hipotetička fitnes centra

	Fitnes centar 1	*Fitnes centar 2*
Cena	4000 din	2500 din
Lokacija	do 500 m	više od 2 km
Nivo čistoće	umeren	umeren
Radno vreme	od 8 do 22h	od 8 do 22h
Sadržaj	sprave za treninge snage i za kardio trening	sprave za treninge snage i za kardio trening
Dodatni sadržaj	nema	nema

Nakon izvršene simulacije, iako se minimalno razlikuju, rezultati idu u korist „Fitnes centra 2“. Ukupna korisnost druge ponude bi bila 2.952 dok bi za prvu ponudu ona iznosila 2.893. Što se tiče udela preferencije, 51,6% ispitanika bi izabralo „Fitnes centar 2“, dok bi 48,4% njih odabralo „Fitnes centar 1“. Nakon ove simulacije dobijen je odgovor na istraživačko pitanje - da je ispitanicima ipak bitnija cena u odnosu na lokaciju, što je i logičan zaključak jer 59% ispitanika ove studije čine studenti koji nemaju sopstvena primanja. Međutim, ukoliko prvi fitnes centar promeni samo radno vreme na 24h, a drugi radi skraćeno od 8 do 16h, tržišni udeo se povećava za skoro 20%.

4. ZAKLJUČAK

Može se primetiti da su mnogi fitnes centri uglavnom sličnog koncepta i da korisnicima nude manje-više iste uslove korišćenja. Ono po čemu mogu da se razlikuju je lokacija na kojoj se nalaze, veličina objekta ili njihova mesečna članarina. Međutim te razlike se mogu prevazići, tj, uvek će se naći osobe kojima odgovara i fitnes centar koji nije u centru grada, ili onaj koji je manji, ili čak i onaj skuplji. Da bi jedan fitnes centar bio konkurentniji na tržištu, potrebno je uvesti neke dodatne sadržaje ili pogodnosti koji će privući ljude da požele da postanu njegovi korisnici. Cilj ovog istraživanja je bio da se metodom Conjoint analize ispitaju preferencije ljudi i tako odrede ključni faktori koji bi izdvojili taj jedan fitnes centar od ostalih, konkurentskih. U ovom istraživanju su ispitanici ocenjivali različite hipotetičke profile fitnes centara, koji su bili kombinovani od 6 atributa od kojih je svaki objašnjen sa po jednim od tri moguća nivoa, ocenama od 1 do 5. Negativna strana upotrebe skale za ocenjivanje je što po svojoj važnosti izdvaja manji broj atributa, nego u slučaju poređenja parova (Kuzmanović, 2006). U ovoj studiji, četiri atributa su se izdvojila kao značajni, dok su preostala dva (sadržaj i dodatni sadržaj) bili manje značajni. Iz ovog razloga autori smatraju da bi u budućem istraživanju trebalo potpuno isključiti dodatni sadržaj iz analize jer se pokazalo da nema značajnog uticaja pri izboru fitnes centra. Što se tiče samog sadržaja fitnes centra, trebalo bi umesto kvalitativnog analizirati kvantitativni sadržaj fitnes centra tj. opremljenost spravama.

S obzirom na veličinu uzorka, i na činjenicu da je istraživanje sprovedeno samo u Beogradu potrebno je sprovesti istraživanje i za ostale, manje, gradove u Srbiji, da bi se dobila realnija slika i da bi se istražile sličnosti i razlike među faktorima koji su značajni pri izboru jednog fitnes centra. Takođe, kako bi se stekao uvid u heterogenost preferencija prema nivoima atributa potrebno je uraditi i segmentaciju na osnovu preferencija ispitanika, tzv. post hoc segmentaciju.

LITERATURA

[1] Bratić, M. (2013). Fizička aktivnost - stanje, trend, potreba i preporuke. *Treća međunarodna konferencija "Sportske nauke i zdravlje"* (pp. 10-24). Banja Luka: Panevropski univerzitet "APEIRON".

[2] *FitPass*. (2019). (Emergo Sport d.o.o) Retrieved avgust 2019, from FitPass: https://fitpass.rs/en

[3] Heroux, L. (2017). Comparative marketing strategies of fitness clubs in the United States and Canada. *Economics World*, 529-538.

[4] Kuzmanović, M. (2006). *Kvantitativne metode u upravljanju marketingom - primena Conjoint analize.* Beograd: Društvo operacionih istraživača Jugoslavije.

[5] Kuzmanović, M., & Obradović, T. (2010). Uloga conjoint analize u istraživanju cenovne osetljivosti. *Management - časopis za teoriju i praksu menadžmenta, 15*(54), 51-58.

[6] Nićin, Đ. (2003). *Fitness*. Beograd: Fakultet za menadžment u sportu Univerziteta "Braća Karić".

[7] Popović, M., Vagić, M., Kuzmanović, M., Anđelković Labrović, J. (2016). Understanding heterogeneity of students' preferences towards English medium instruction: A conjoint analysis approach. *Yugoslav Journal of Operations Research, 26*(1), 91-102.

[8] Yong Jang, W., & Choi, K. (2018). Factors influencing choice when enrolling at a fitness center. *Social behavior and personality*, 1043-1056.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PREFERENCIJE STUDENATA FON-A PREMA STRUČNOJ PRAKSI

STUDENTS' PREFERENCES TOWARDS INTERNSHIP

MARIJA KUZMANOVIĆ[2], DRAGANA MAKAJIĆ-NIKOLIĆ[1], ANDRIJANA BAČEVIĆ[3]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, marija.kuzmanovic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, makajic-nikolic.dragana@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, andrijana.bacevic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Stručne prakse omogućavaju uključivanje studenata u radno okruženje, čime preduzeća dobijaju mogućnost da zaposle kompetentne mlade stručnjake. U ovom radu ispituju se preferencije studenata FON-a prema karakteristikama stručne prakse. U tu svrhu korišćena je Conjoint analiza koja je u praksi našla široku primenu za merenje individualnih preferencija ispitanika. Studenti studijskog programa ISIT i MEN kao najznačajniji atribut izdvajaju novčanu nadoknadu, dok je studentima ISIT-a trajanje prakse važnije nego tip preduzeća u kome se obavlja praksa, što nije slučaj kod studenata Menadžmenta. Dopunskom analizom nisu uočene velike razlike između preferencija studenata sa i bez radnog iskustva. Na osnovu rezultata analize definisan je idealan format stručne prakse iz ugla studenata.*

Ključne reči: *Stručna praksa, Conjoint analiza, Preferencije, Segmentacija.*

Abstract: *Internships allow students the opportunity to be involved in work environment, and on the other hand, employers to hire competent young professionals. This paper aims to identify the preferences of FON students towards internship characteristics, using Conjoint analysis. Students of ISIT and MEN study programs allocate financial compensation as the most important attribute, while the duration of internship for ISIT students is more important than the type of company where internship is held, which is not the case for Management students. The additional analysis didn't show any significant difference between the preferences of students with and without work experience. Based on the results of the analysis, an ideal format of internship from the students' perspective was defined.*

Keywords: *Internship, Conjoint Analysis, Preferences, Segmentation.*

1. UVOD

Visokoškolske ustanove (VU), pored akademskih znanja, treba da obezbede studentima i sticanje praktičnih veština koje će povećati mogućnost njihovog zapošljavanja. Razlog za to je dvojaki: potreba da se zadovolje zahtevi tržišta rada i uticaj mogućnosti zapošljavanja studenata VU na upis budućih studenata (Silva et al, 2016). Uključivanje praktičnog obrazovanja u nastavne programe je postalo predmet komparativne i konkurentne razlike između VU, iako je, kratkoročno posmatrano, ovakav način nastave skuplji od tradicionalnog (Bennett, 2008). Jedan od načina da studenti steknu praktične veštine su stručne prakse. Pored evidentnog interesa VU i poslodavaca, stručna praksa daje aktivnim, a sve češće i svršenim studentima priliku da za kratko vreme sagledaju perspektive potencijalnih karijera koje im njihovo obrazovanje omogućava (Rothman & Sisman, 2016), a često predstavlja i prvi korak ka stalnom zaposlenju u organizaciji u kojoj se praksa obavlja. Pored toga, istraživanja su pokazala da studenti koji ne obavljaju stručnu praksu imaju niži prosek ocena, verovatnije je da će koristiti strategije plitkog učenja i više su ekstrinzično motivisani u odnosu na učenike koji stiču radno iskustvo (Drysdale & McBeath, 2018).

Termin "stručna praksa" u literaturi ima veliki broj sinonima a najčešće se javlja pod generičkim nazivom "integrisano učenje" (*Work-integrated learning* - WIL) koje objedinjuje termine poput: *cooperative education programme, practicum, internship* itd. (Fleming & Haigh, 2017). Veliki broj istraživanja je objavljen na temu uticaja WIL na sticanje praktičnih veština i mogućnost zapošljavanja (Jackson, 2015; Jackling & Natoli, 2015; Koo et al. 2016), kao i na temu zadovoljstva praksom ili očekivanja koje studenti imaju od WIL (Waryszak, 1999; Moghaddam, 2011; Taylor & Geldenhuys, 2019).

Predmet istraživanja ovog rada su preferencije koje studenti imaju prema pojedinim atributima stručne prakse prilikom njenog izbora. Jedno od prvih istraživanja na ovu temu, objavljeno u (Stewart & Stewart, 1996), se odnosilo na izbor institucije u kojoj će studenti psihologije obavljati stručnu praksu. Studenti su

vršili izbor poređenjem parova profesionalnih atributa, poput profesionalnog interesovanja, mogućnosti rotacije između odeljenja, radnog vremena, reputacije institucije, i ličnih atributa, poput lokacije, socijalnog osiguranja itd. Main i drugi (2015) su ispitivali faktore koji utiču na izbor stručne prakse studenata tehničkih nauka i utvrdili da su glavni kriterijumi za izbor: profesionalno interesovanje, trajanje prakse i izvesnost zapošljavanja. Leversha i Stewart (2016) su utvrdili da su najvažniji faktori pri izboru stručne prakse kod studenata farmacije: lokacija, mogućnost dobijanja dobrog praktičnog iskustva i mišljenje o lancu apoteka u kome se obavlja praksa. Studenti medicine, kojima je praksa obavezni deo obrazovanja, kao glavne faktore ističu: ličnu profesionalnu orijentaciju, finansijsku nadoknadu i lokaciju institucije (Saoji et al, 2016).

Sva navedena istraživanja preferencija studenata prema pojedinim atributima su vršena sprovođenjem anketa i statističkom obradom dobijenih rezultata. U ovom radu korišćena je Conjoint analiza, istraživačka tehnika bazirana na multivarijacionoj analizi, koja je u praksi našla široku primenu za merenje individualnih preferencija ispitanika, kao i za razumevanje i predviđanje njihovog ponašanja u novim situacijama.

2. EMPIRIJSKA STUDIJA

Cilj ovog istraživanja je da se identifikuju ključne karakteristike stručne prakse koju bi studenti Fakulteta organizacionih nauka (FON) pohađali nakon završenih studija kao i da opiše najpoželjniji format stručne prakse. Osnovne pretpostavke od kojih se pošlo u ovom istraživanju je da je novčana nadoknada najbitniji faktor prilikom izbora stručne prakse, zatim da postoji razlika u preferencijama između studenata na programima Informacioni sistemi i tehnologije (ISIT) i Menadžment (MEN), kao i između studenata koji imaju radno iskustvo i onih koji nemaju.

Za merenje preferencija, u radu je korišćena istraživačka dekompozitna tehnika poznata pod nazivom Conjoint analiza (CA). Osnovna pretpostavka na kojoj se bazira CA je da pojedinci evaluiraju ukupnu korisnost proizvoda/usluge kombinovanjem pojedinačnih parcijalnih korisnosti nivoa atributa koji opisuju dati proizvod. Na osnovu ukupnih sudova potrošača moguće je proceniti parcijalne korisnosti za određene nivoe atributa koristeći neko od pravila kompozicije (Kuzmanović, 2006). Prednosti CA u odnosu na druge metode za merenje preferencija su brojne. Zadaci ocenjivanja u CA su mnogo realniji i njihova prednost se ogleda upravo u snazi da nateraju ispitanika da evaluira konfliktne atribute i da se utvrdi koliko su spremni da se odreknu jednog, zarad drugog atributa. Rezultati koji se dobijaju u CA su individualne preferencije ispitanika koje se mogu koristiti za klaster analizu, ali i kao ulaz u simulacione modele i šta-ako analizu.

Osnovni koraci u implementaciji CA su: (1) identifikovanje ključnih atributa i njhovih nivoa, (2) kreiranje plana eksperimenta; (3) prikupljanje podataka – evaluacija profila iz plana eksperimenta, (4) analiza podataka metodom najmanjih kvadrata, (5) simulacija.

Prva faza u primeni CA je identifikovanje ključnih atributa, koji opisuju dati format prakse, i njihovih nivoa odnosno karakteristika koje utiču na zadovoljstvo ispitanika stručnom praksom. Na osnovu pregleda literature i intervjua sa studentima, za ovo istraživanje izabrana su 4 ključna atributa: (1) Tip preduzeća u kome se održava praksa, (2) Trajanje prakse, (3) Vrsta prakse, i (4) Novčana nadoknada.

Jedna od pretpostavki u ovom istraživanju je da postoji razlika u preferencijama ispitanika kada je u pitanju tip preduzeća u kome se održava praksa. Stoga su za ovaj atribut definisana tri nivoa i to multinacionalna kompanija koja posluje u više zemalja, kompanija koja posluje samo u Srbiji, ili je u pitanju malo/srednje preduzeće. Druga pretpostavka je da trajanje prakse, bilo da je plaćena ili neplaćena, takođe igra važnu ulogu u odabiru iste, te je za ovaj atribut definisano tri nivoa i to trajanje od 3, 6 ili 12 meseci. Kada je u pitanju vrsta prakse, generalno preovlađuju dva tipa. Prvi podrazumeva da se praksa obavlja u više sektora pri čemu se praktikant u svakom od sektora zadržava izvesno vreme (više sektora sa rotacijom). Ideja ovog pristupa je da se praktikant upozna sa kompletnim procesom rada u preduzeću. Drugi pristup podrazumeva da se praksa obavlja isključivo u jednom sektoru sa idejom da se praktikant upozna sa aktivnostima koje se obavljaju samo u okviru jednog sektora. Postojanje novčane nadoknade i njen iznos je jedan od faktora za koji se očekuje da igra važnu ulogu u odabiru prakse i utiče na zadovoljstvo ispitanika. Na osnovu pregleda stanja na tržištu, za ovaj atribut izabrano je 5 nivoa: bez nadoknade, sa nadoknadom u iznosu od 15000, 30000, 45000 ili 60000 dinara.

Sledeći korak je generisanje *plana eksperimenta* koji u CA obuhvata skup profila (kombinacija nivoa atributa) koje ispitanici evaluiraju, i može biti kompletan (skup svih mogućih profila) ili redukovani faktorski plan. S obzirom da je *ukupan broj* profila u ovoj studiji 90 (3×3×2×5), u istraživanju je korišćen *redukovani faktorski plan*, generisan pomoću *Orthoplan* komponente statističkog paketa IBM SPSS 22.0. Na ovaj način generisan je ortogonalni plan od 25 profila, čime je osigurano odsustvo multikolinearnosti između atributa.

Podaci su prikupljeni putem elektronske ankete koja je sadržala 3 bloka pitanja: (1) socio-demografska pitanja (pol, uzrast, visina primanja, status itd.), (2) lista kriterijuma koje su ispitanici ocenjivali na petostepenoj Likertovoj skali gde 1 znači „apsolutno se ne slažem“ a 5 „u potpunosti se slažem“, (3) 25

pitanja iz efikasnog CA plana eksperimenta koje su ispitanici u okviru upitnika ocenjivali na Likertovoj skali gde 1 znači „sigurno ne bih izabrao/la“ a 5 „sigurno bih izabrao/la“.

Za prevođenje ocena U_{ij} koju je svaki od ispitanika I ($i = 1,..,I$) dodelio svakom od 25 profila iz efikasnog plana eksperimenta ($j = 1,..,25$) u individualne preferencije, u ovom radu je korišćen tzv. aditivni model parcijalnih korisnosti:

$$U_{ij} = \sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{L_k} \beta_{ikl} x_{jkl} + \varepsilon_{ij}, \qquad i = 1,...,I, \;\; j = 1,...,25, \tag{1}$$

gde β_{ikl} predstavlja korisnost l-tog nivoa k-tog atributa ($k = 1,2,..., 4$; $l = 1,2,..., L_k$) za i-tog ispitanika (parcijalna korisnost). Binarna promenljiva x_{jkl} ukazuje na prisustvo odnosno odsustvo l-tog nivoa k-tog atributa u j-tom profilu. Stohastička greška je označena sa ε_{ij}.

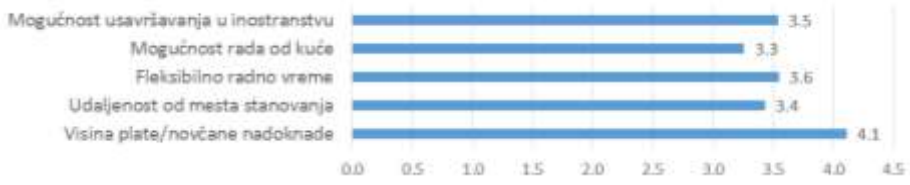
Parametri modela, procenjeni pomoću metode najmanjih kvadrata , predstavljaju kvantitativnu meru preferencije svakog nivoa atributa, pri čemu veće vrednosti odgovaraju većim preferencijama. Ove vrednosti se dalje mogu koristiti za određivanje ukupne korisnosti bilo koje kombinacije nivoa atributa (profila). Na osnovu vrednosti parcijalnih korisnosti nivoa atributa, za svaki atribut je moguće izračunati i njegovu relativnu značajnost koja predstavlja meru uticaja datog atributa na ispitanikov izbor. Relativna značajnost je jednaka udelu razlike najveće i najmanje korisnosti nivoa datog atributa u sumi razlika svih atributa obuhvaćenih analizom. Korišćenjem ovih podataka se mogu otkriti i skriveni efekti koji mogu imati uticaj na preferencije ispitanika, a koji se ne mogu odrediti samo pomoću prosečnih parcijalnih korisnosti. U Conjoint simulaciji tržišta mogu se koristiti različiti modeli u zavisnosti od konkretne situacije i svrhe u koju se koristi. Za određivanje udela preferencija proizvoda najčešće se koristi *Logit model*. Ovaj model ne podrazumeva da se ispitanici uvek odlučuju za proizvod koji ima najveću ukupnu korisnost zbog činjenice da ispitanici ne vrše detaljna računanja prilikom donošenja odluke (Kuzmanović, 2006).

3. REZULTATI

Istraživanje je sprovedeno u maju i junu 2019. godine anketiranjem aktivnih i svršenih studenata FON-a putem elektronske ankete koja je napravljena pomoću Google Forms alata. Nakon prikupljanja podataka o individualnim preferencijama ispitanika, pristupa se analizi odgovora. Za analizu podataka korišćen je statistički paket IBM SPSS 22.0 i njegova komponenta *Conjoint Procedure*. Parametri su procenjeni za svakog ispitanika u uzorku pojedinačno (individualne preferencije), a u radu su prikazane agregatne preferencije za celokupan uzorak (prosečne preferencije).

Uzorkom je obuhvaćeno 300 aktivnih i svršenih studenata FON-a. Prilikom preliminarne analize, utvrđeno je 49 nevalidnih odgovora i oni su isključeni iz dalje analize. Od ukupnog broja ispitanika (251), 69,3% čine žene, od kojih 56,7% studira na studijskom programu MEN, a preostalih 30,7% čine muškarci od kojih 63,3% studira na studijskom programu ISIT. Prosečan uzrast je 22,5 godina (SD=1.48), pri čemu je najmlađi ispitanik uzrasta 19, a najstariji 30 godina. Polovinu uzorka čine studenti treće godine osnovnih studija (50,2%), za kojima slede studenti četvrte godine (22,7%), apsolventi (11,6%) i svršeni studenti (10,8%). Tek 4,8% ispitanika su studenti prve dve godine osnovnih studija. Najveći procenat ispitanika ima prosečna mesečna primanja (po članu domaćinstva) u intervalu od 21 do 42 hiljade dinara. Više od 42000 dinara ima čak 51,4% svih ispitanika, dok samo 12,4% ima mesečna primanja manja od 21000 dinara.

Od ukupnog uzorka, 66 ispitanika (26,3%) navodi da ima dovoljno materijalnih sredstava da pokrije osnovne životne potrebe, ali i putovanja, zabavu i usavršavanje u zemlji ili u inostranstvu. S druge strane, samo 30 ispitanika (12%) navodi da je u mogućnosti da prihodima domaćinstva pokrije samo osnovne životne potrebe. Na pitanje da li bi pristali da rade posao koji nije u njihovoj struci niti je na nivou njihovih kvalifikacija, isti procenat ispitanika je odgovorio potvrdno i negativno (po 22.3%), dok 55.4% njih nisu sigurni. Odgovori na direktna pitanja u vezi sa značajem određenih kriterijuma prilikom odabira prakse/posla su (osim za nadoknadu) prilično ujednačeni, i prosečne ocene date su na Slici 1.



Slika 1: Rezultati ocenjivanja kriterijuma prilikom odabira prakse/posla

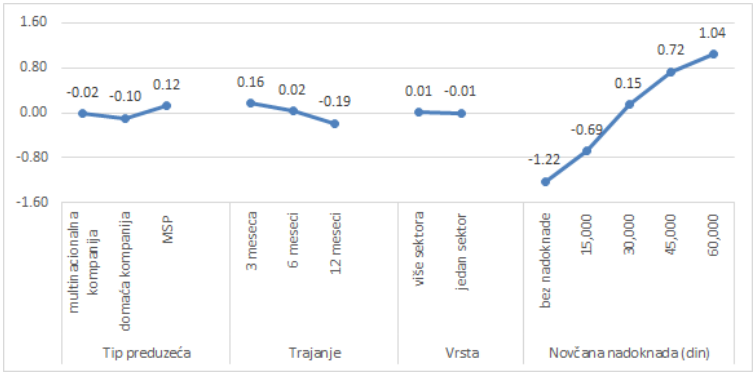
Detaljnija analiza pokazuje da većina ispitanika svakom od kriterijuma dodeljuje ocenu 4, što je i očekivano kada se ispitanici direktno pitaju da ocene kriterijume. U ovakvoj postavci pitanja, od ispitanika se

ne očekuje da rade „trade off“ odnosno nije moguće identifikovati koliko su spremni da se odreknu neke karakteristike, zarad neke druge.

3.1. Agregatne preferencije

S obzirom da zadaci iz CA plana eksperimenta kognitivno zahtevni, validnost odgovora ispitanika je procenjena pomoću Pearson-ove R i Kendall-ove tau statistike kojima se meri korelacija između posmatranih i procenjenih preferencija. Visoke vrednosti ove dve statistike (0,983 i 0,933, respektivno), ukazuju na visok nivo kvaliteta procenjenih vrednosti parametara modela. Ukupna greška regresionog modela iznosi 3,403.

Preferencije ispitanika na agregatnom nivou (parcijalne korisnosti), prikazane su na Slici 2. Može se primetiti da za različite raspone vrednosti atributa, osetljivost nivoa varira, a uvid u to omogućava upravo funkcija korisnosti. Što je ova funkcija ravnija to ukazuje na manju osetljivost atributa i obrnuto. Na primer, ako posmatramo atribut *Tip preduzeća* samo najpoželjniji nivo (MSP) povećava ukupnu korisnost, dok je ostala dva smanjuju. Ova dva nivoa imaju negativan predznak vrednosti parcijalne korisnosti. Značajnost nivoa atributa *Novčana nadoknada* je skoro linearna funkcija (R^2=0,9804), sa koeficijentom nagiba od 0,592 (koristeći ovu vrednost, može se odrediti korisnost bilo koje druge vrednosti novčane nadoknade, npr. nadoknada od 35000 dinara bi imala korisnost 0,145+0,592/3=0,342).



Slika 2: Funkcije parcijalnih korisnosti atributa na agregatnom nivou

Na osnovu parcijalnih korisnosti koje pokazuju poželjnost određenih karakteristika prakse, izračunate su i značajnosti atributa na agregatnom nivou. Prema dobijenim rezultatima uočava se da je ispitanicima najbitnija *Novčana nadoknada* (61,17%), što je i očekivano s obzirom da 89,3% od ukupnog broja ispitanika čine aktivni studenti koji nemaju sopstvena primanja. Pored toga, drugi i treći po značajnosti su *Tip preduzeća* i *Trajanje prakse*, koji imaju približno istu vrednost 15,99% i 15,74%, respektivno. Najmanje značajan atribut je *Vrsta prakse* (7,1%). Parcijalna korisnost kod najmanje značajnog atributa ukazuje na to da ispitanici, u proseku, više preferiraju obavljanje prakse u više različitih sektora dok obavljanje prakse u jednom sektoru ima negativan predznak. Uzimajući u obzir ove pokazatelje, najbolje i najlošije ocenjene prakse predstavljene su u Tabeli 1.

Što se tiče udela preferencija (Logit model), 88,5% ispitanika bi izabralo najbolje ocenjenu, a 11,5% najlošije ocenjenu praksu. Smanjenje nadoknade na 30000 dinara smanjuje ukupnu korisnost na 3.880, a udeo preferencija na 81,7%. Ukoliko bi pak novčana nadoknada kod najlošije ocenjene prakse iznosila 30000 dinara, ukupna korisnost bi porasla na 3,268, a udeo preferencija na 23,5%.

Tabela 1: Karakteristike najbolje i najlošije ocenjene prakse

Atribut	*Relativna značajnost*	*Najbolje ocenjena praksa*	*Najlošije ocenjena praksa*
Novčana nadoknada	61,17%	60 000 dinara	bez nadoknade
Tip preduzeća	15,99%	MSP (mala i srednja preduzeća)	domaća kompanija
Trajanje prakse	15,74%	3 meseca	6 meseci
Vrsta prakse	7,1%	više sektora sa rotacijom	jedan sektor
Ukupna korisnost		4,726	1,954
Udeo preferencija		88,5%	11,5%

3.2. Preferencije segmenata

Da bi se utvrdilo da li postoji razlika u preferencijama između određenih grupa studenata, urađena je tzv. *a priori* segmentacija. Ispitanici su grupisani na osnovu nekih demografskih karakteristika, nakon čega su izračunate prosečne preferencije segmenata. Ova analiza je urađena na bazi toga da li ispitanici imaju prethodno radno iskustvo ili ne, i na osnovu studijskog programa na kojima studiraju ili su završili. Od ukupnog broja ispitanika većina (65,3%) nema prethodno radno iskustvo, a skoro polovina (49,8%) su

studenti ISIT-a. U Tabeli 2 je prikazana razlika u preferencijama studenata koji pripadaju različitim, unapred definisanim segmentima.

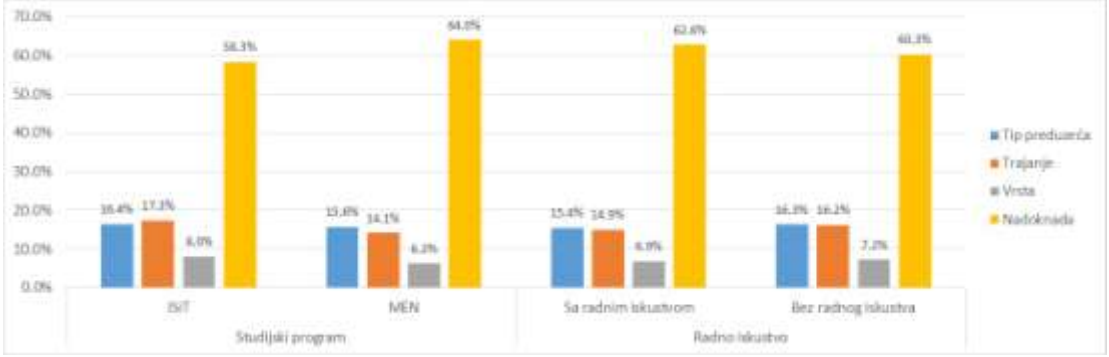
Tabela 2: Agregatne preferencije ispitanika prema karakteristikama stručne prakse

Atribut	Nivo atributa	*Studijski program*		*Radno iskustvo*	
		ISIT (*n* = 125)	MEN (*n* = 126)	Sa (*n* = 87)	Bez (*n* = 164)
Tip preduzeća (mesto održavanja prakse)	Multinacionalna kompanija	-0,068	0,025	-0,041	-0,011
	Domaća kompanija	-0,049	-0,143	-0,091	-0,099
	MSP	0,117	0,118	0,132	0,110
Trajanje prakse	3 meseca	0,162	0,162	0,130	0,179
	6 meseci	0,009	0,039	0,030	0,021
	12 meseci	-0,171	-,201	-0,159	-0,200
Vrsta prakse	Više sektora sa rotacijom	-0,004	0,019	-0,001	0,012
	Jedan sektor	0,004	-,019	0,001	-0,012
Novčana nadoknada	Bez nadoknade	-1,059	-1,381	-1,310	-1,173
	15000 dinara	-0,570	-0,800	-0,791	-0,629
	30000 dinara	0,088	0,202	0,152	0,141
	45000 dinara	0,608	0,840	0,818	0,674
	60000 dinara	0,933	1,140	1,131	0,987
(Konstanta)		3,337	3,468	3,337	3,438

Kada je u pitanju značajnost atributa, nisu uočene velike razlike između segmenata (Slika 3). Studenti studijskog programa ISIT i MEN kao najznačajniji atribut izdvajaju *Novčanu nadoknadu*, dok je studentima ISIT-a drugi po rangu *Trajanje prakse* važniji od *Tipa preduzeća* što je slučaj kod studenata Menadžmenta. Parcijalna korisnost kod atributa *Vrsta prakse* ukazuje na to da studenti ISIT-a, u proseku, više preferiraju obavljanje prakse u okviru jednog sektora dok studenti Menadžmenta više preferiraju obavljanje prakse u više različitih sektora. Takođe, kod atributa *Tip preduzeća* korisnost opada u intervalu multinacionalna-domaća kompanija dok kod druge grupe ispitanika korisnost raste. Na osnovu tih vrednosti zaključuje se da je studentima Menadžmenta prihvatljiva praksa i u multinacionalnoj kompaniji i u MSP za razliku od studenata ISIT-a kojima je najpoželjniji nivo praksa u MSP. Kod obe grupe ispitanika vrednosti parcijalnih korisnosti u slučaju prakse bez novčane nadoknade i sa nadoknadom od 15000 dinara imaju negativan predznak što znači da im je prihvatljiva nadoknada koja iznosi više od 30000 dinara. Korisnost brže raste u slučaju nadoknade u intervalu od 30000-60000 dinara kod studenata Menadžmenta.

Idealan format stručne prakse je ostao isti kao na agregatnom nivou dok se najnepoželjniji format prakse razlikuje kod studenata ova dva studijska programa. Studenti ISIT-a izdvajaju kao najnepoženjiju praksu u multinacionalnoj kompaniji u trajanju od 12 meseci, sa rotacijom kroz više sektora i bez novčane nadoknade. Sa druge strane studenti Menadžmenta izdvajaju kao najnepoželjniju praksu u domaćoj kompaniji u trajanju od 6 meseci, u jednom sektoru, takođe bez novčane nadoknade.

Kod podele ispitanika na grupe sa i bez radnog iskustva takođe nisu uočene velike razlike. Prosečne značajnosti atributa prikazane su na Slici 3, a na osnovu parcijalnih korisnosti se može primetiti da postoji razlika između ove dve grupe ispitanika kada je vrsta prakse u pitanju. Naime, ispitanici koji su imali prethodno radno iskustvo više preferiraju obavljanje prakse u okviru jednog sektora dok ispitanici koji nisu imali prethodno radno iskustvo više preferiraju format prakse koji podrazumeva više razlčitih sektora. Takođe, obe grupe izdvajaju kao najpoželjinji tip preduzeća MSP dok ostala dva nivoa imaju negativan predznak vrednosti parcijalne korisnosti. U slučaju novčane nadoknade se primećuje visok nivo osetljivosti na promene nivoa. Kod obe grupe ispitanika je prihvatljiva nadoknada koja iznosi više od 30000 dinara. Korisnost brže raste u slučaju nadoknade u intervalu od 30000-60000 dinara kod ispitanika koji imaju prethodno radno iskustvo.



Slika 3: Relativne značajnosti atributa za segmente

Slika 3: Relativne značajnosti atributa za segmente

4. ZAKLJUČAK

Unapređenje modela, sistema i kvaliteta studentske stručne prakse kroz sagledavanje dobrih inostranih primera i iskustava dovodi do povećanja efikasnosti kako kod studenata, tako i u organizaciji u kojoj student obavlja praksu, što rezultira obostranim interesima. Cilj ovog istraživanja je bio da se identifikuju ključne karakteristike stručne prakse koju bi studenti FON-a pohađali nakon završenih studija kao i da opiše najpoželjniji format stručne prakse. U tu svrhu korišćena je Conjoint analiza. Ispitanici su ocenjivali različite hipotetičke profile praksi, koji predstavljaju kombinaciju 4 atributa (novčana nadoknada, tip preduzeća, trajanje prakse, vrsta prakse) od kojih je svaki objašnjen sa po jednim od definisanih nivoa, na petostepenoj Likertovoj skali. Prema prosečnim rezultatima kako na agregatnom nivou tako i kod segmentacije na osnovu radnog iskustva i studijskog programa, atributi tip i trajanje prakse su se izdvojili kao umereno značajni dok je vrsta prakse imala najmanju, a novčana nadoknada najveću prosečnu značajnost. Kako bi se stekao uvid u heterogenost preferencija prema nivoima atributa potrebno je uraditi i tzv. *post hoc* segmentaciju, na osnovu preferencija ispitanika.

S obzirom da su uzorak činili samo studenti Fakulteta organizacionih nauka potrebno je sprovesti istraživanje i na ostalim fakultetima istog ili sličnog profila da bi se dobila realnija slika i da bi se istražile sličnosti i razlike među faktorima koji su značajni pri odabiru stručne prakse.

LITERATURA

[1] Bennett, K. C. (2008). Managing experiential education: Work-integrated learning in the context of a cost-benefit analysis. *Journal of Cooperative Education and Internships*, 42(2), 34-44.

[2] Drysdale, M. T., & McBeath, M. (2018). Motivation, self-efficacy and learning strategies of university students participating in work-integrated learning. *Journal of Education and Work*, 31(5-6), 478-488.

[3] Fleming, J., & Haigh, N. J. (2017). Examining and challenging the intentions of work-integrated learning. *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*, 7(2), 198-210.

[4] Jackling, B., & Natoli, R. (2015). Employability skills of international accounting graduates: Internship providers' perspectives. Education+ Training, 57(7), 757-773.

[5] Jackson, D. (2015). Employability skill development in work-integrated learning: Barriers and best practice. Studies in Higher Education, 40(2), 350-367.

[6] Kuzmanović, M. (2006). *Kvantitativne metode u upravljanju marketingom - primena Conjoint analize*. Beograd: Društvo operacionih istraživača Jugoslavije.

[7] Koo, G. Y., Diacin, M. J., Khojasteh, J., & Dixon, A. W. (2016). Effects of internship satisfaction on the pursuit of employment in sport management. Sport Management Education Journal, 10(1), 29-42.

[8] Leversha, A., & Stewart, K. (2016). Factors influencing pharmacy students' internship site choice. *Journal of Pharmacy Practice and Research*, 46(3), 209-215.

[9] Main, J., Ohland, M., Ramirez, N., Fletcher, T. L., & Davis, J. (2015). Factors Associated with Student Participation in Cooperative Education Programs (Co-Ops). *In 2015 ASEE Annual Conference & Exposition*. http://docs.lib.purdue.edu/enepubs/23

[10] Moghaddam, J. M. (2011). Perceived effectiveness of business internships: Student expectations, experiences, and personality traits. International Journal of Management, 28(4), 287.

[11] Saoji, A., Deoke, A., Kasturwar, N., Mitra, A., & Saoji, P. (2016). Feedback concerning Compulsory Rotatory Internship Programme (CRIP) and specialty preference among Medical Interns. Journal of Education Technology in Health Sciences, 3(2), 50-53.

[12] Silva, P., Lopes, B., Costa, M., Seabra, D., Melo, A. I., Brito, E., & Dias, G. P. (2016). Stairway to employment? Internships in higher education. Higher Education, 72(6), 703-721.

[13] Stewart, A. E., & Stewart, E. A. (1996). A decision-making technique for choosing a psychology internship. Professional Psychology: Research and Practice, 27(5), 521.

[14] Taylor, T. & Geldenhuys, S (2019). Using Partial Least Squares to Measure Tourism Students' Satisfaction with Work-Integrated Learning, IntechOpen, doi: 10.5772/intechopen.82048.

[15] Waryszak, R. Z. (1999). Students' expectations from their cooperative education placements in the hospitality industry: an international perspective. Education+ Training, 41(1), 33-40.

SOFT COMPUTING

MEKO RAČUNARSTVO

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

X-RAY IMAGE SEGMENTATION USING PRODUCT-TYPE AGGREGATION OF DISTANCE FUNCTIONS

LJUBO NEDOVIĆ[1], ENDRE PAP[2], NEBOJŠA RALEVIĆ[1], MARIJA DELIĆ[1]

[1] University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, nljubo@uns.ac.rs / nralevic@uns.ac.rs / marijadelic@uns.ac.rs

[2] Singidunum University, Department for Postgraduate Studies, epap@singidunum.ac.rs

Abstract: *In clustering algorithms, distance function represent a criterion based on which the objects are divided into predefined number of clusters. The applied distance function, as the criterion for grouping pixels into segments, can be constructed by the usage of different aggregation operators and pixel descriptors. In this paper, we present a construction of distance function by using product-type aggregation operator. The application of such a distance function is shown through the segmentation of one X-ray image in Fuzzy c-means clustering algorithm.*

Keywords: *Extended aggregation operator, extended powers product, distance function, X-ray image segmentation, fuzzy c-means clustering algorithm.*

1. INTRODUCTION

In image segmentation algorithms, by choosing a distance function we model the criterion for classifying pixels into the segments. This mean that the choice of distance function is essential for clusters formation. By varying the distance functions in the segmentation algorithm, the different set of clusters are obtained. In this paper, we present one segmentation of X-ray image through *fuzzy c-means clustering algorithm* (FCM), see [1, 2, 15], where used distance function is constructed by *powers product* extended aggregation function applied on pixel gray-level value and two suitable pixel descriptors.

In Section 2, some properties of distance functions and the extended aggregation functions are presented. We note that under our consideration are only properties relevant to the image segmentation tasks. The basic results about the construction of a new distance functions and metrics by using the aggregation operators are published in [15]. In Section 3, the properties of powers product extended aggregation function are presented, together with properties of distance function constructed by applying this aggregation operator on the initial distance functions. Considered properties of powers product extended aggregation function are examined and proved in [6]. In Section 4, we present two pixel descriptors that are further used in construction of a distance function. These two descriptors are introduced in [14] and [6]. Section 5 shows one application of powers product aggregated distance functions in X-ray segmentation by FCM algorithm. The experimental results show that excellent performance can be obtained by using the presented method. Section 6 contains conclusions and comments regarding the results of the research.

2. PRELIMINARIES

In this section, we give some basic concepts related to distance functions, see [3, 5, 7], and aggregation functions, see [4, 9, 10, 12, 16]. There are many types of aggregation functions and other fuzzy operators which have very significant role in decision making and information fusion process, see [9, 11, 16].

► **Definition 1** (Distance function)**.** Let $X \neq \emptyset$ be an arbitrary set. Distance function on the set X is a function $d : X^2 \to [0,\infty[$ with the following properties:
(d01) $\forall x,y \in X,\ d(x,y) = d(y,x)$ (*symmetry*),
(d02) $\forall x \in X,\ d(x,x) = 0$ (*reflexivity*).
Ordered pair (X,d) is then a *distance space*.

► **Definition 2.** On a non-empty space X, distance function $d : X^2 \to [0,\infty[$ may have following additional properties:
(d03) $\forall x,y \in X,\ d(x,y) = 0 \Rightarrow x = y$,
(d04) $\forall x,y,z \in X,\ d(x,z) \leq d(x,y) + d(y,z)$ (*triangle inequality*),
(d05) $\exists a > 0,\ d : X^2 \to [0,a]$ (*boundedness*).

(d06) $\exists C \in [1,\infty),\ \forall x,y,z \in X,\ d(x,y) \le C(d(x,z)+d(z,y))$ (*C-triangle inequality*).
A distance function $d : X^2 \to [0,\infty[$ is a *metric* on the set X if it satisfy the implication (d03) and the triangle inequality (d04).

► Remark. In paper [15], it is proved that for bounded distance function $\overline{d} : X^2 \to [0,a]$ and $a > 0$, function d defined on X by $d(x,y) = \frac{1}{a}\overline{d}(x,y)$, $x,y \in X$ is a distance function with values in $[0,1]$. It is also proved that function d inherit properties (d03) and (d04) from function $\overline{d}$.

► **Definition 3** (Aggregation function)**.** For fixed number $n \in \mathbb{N}$, an *n-ary aggregation function* is a function $A : [0,1]^n \to [0,1]$ with the following properties.
(a01) Boundary conditions $A(0,\ldots,0) = 0$ and $A(1,\ldots,1) = 1$ hold.
(a02) A function A is monotonically non-decreasing in each component, i.e.,
$\forall i \in \{1,\ldots,n\},\ a_i \le b_i \quad \Rightarrow \quad A(a_1,\ldots,a_n) \le A(b_1,\ldots,b_n)$
hold for all $(a_1,\ldots,a_n),(b_1,\ldots,b_n) \in [0,1]^n$.
In case $n = 1$, $A(x) = x$ for all $x \in [0,1]$.

The notion of aggregation for various number of input values leads us to the definition of extended aggregation function, see [4].

► **Definition 4** (Extended aggregation function)**.** An *extended aggregation function* is a mapping $A : \bigcup_{n=1}^{\infty} [0,1]^n \to [0,1]$ such that the restriction $A_{[n]} : [0,1]^n \to [0,1]$ of this mapping, for every $n \in \mathbb{N}$, is an n-ary aggregation function.

Aggregation functions can have many additional properties. In the following definition we list some of them which are relevant for construction of a distance function by applying an aggregation function, see [6, 15].

► **Definition 5.** Extended aggregation function $A : \bigcup_{n=1}^{\infty} [0,1]^n \to [0,1]$ can have the following properties.
(a03) Every restriction $A_{[n]}$ (aggregation function) is continuous.
(a04) Function A is symmetric in each component, i.e., for each $n \in \mathbb{N}$, each n-tuple $(a_1,\ldots,a_n) \in [0,1]^n$ and each permutation p of the set $\{1,\ldots,n\}$ hold $A_{[n]}(a_1,\ldots,a_n) = A_{[n]}(a_{p(1)},\ldots,a_{p(n)})$.
(a05) Function A is idempotent, i.e., for each $n \in \mathbb{N}$, and all $(a,\ldots,a) \in [0,1]^n$ hold $A_{[n]}(a,\ldots,a) = a$.
(a06) Function A is additive, i.e., for each $n \in \mathbb{N}$, and all $(a_1,\ldots,a_n) \in [0,1]^n$, $(b_1,\ldots,b_n) \in [0,1]^n$ that satisfy $(a_1+b_1,\ldots,a_n+b_n) \in [0,1]^n$ hold $A_{[n]}(a_1+b_1,\ldots,a_n+b_n) = A_{[n]}(a_1,\ldots,a_n) + A_{[n]}(b_1,\ldots,b_n)$.
(a07) Function A is subadditive, i.e., for each $n \in \mathbb{N}$, and all $(a_1,\ldots,a_n) \in [0,1]^n$, $(b_1,\ldots,b_n) \in [0,1]^n$ that satisfy $(a_1+b_1,\ldots,a_n+b_n) \in [0,1]^n$ hold $A_{[n]}(a_1+b_1,\ldots,a_n+b_n) \le A_{[n]}(a_1,\ldots,a_n) + A_{[n]}(b_1,\ldots,b_n)$.
(a08) Function A is positively homogeneous, i.e., for each $t \ge 0$, each $n \in \mathbb{N}$, and all $(a_1,\ldots,a_n) \in [0,1]^n$ that satisfy $(ta_1,\ldots,ta_n) \in [0,1]^n$ hold $A_{[n]}(ta_1,\ldots,ta_n) = tA_{[n]}(a_1,\ldots,a_n)$.
(a09) Function A is positively subhomogeneous, i.e., for each $t \ge 0$, each $n \in \mathbb{N}$, and all $(a_1,\ldots,a_n) \in [0,1]^n$ that satisfy $(ta_1,\ldots,ta_n) \in [0,1]^n$ hold $A_{[n]}(ta_1,\ldots,ta_n) \le tA_{[n]}(a_1,\ldots,a_n)$.
(a10) For each $n \in \mathbb{N}$, holds: $A_{[n]}(a_1,\ldots,a_n) = 0 \ \Rightarrow\ \forall i \in \{1,\ldots,n\},\ a_i = 0$.
(a11) For each $n \in \mathbb{N}$, holds: $A_{[n]}(a_1,\ldots,a_n) = 0 \ \Rightarrow\ \exists i \in \{1,\ldots,n\},\ a_i = 0$.

Further, we briefly present a construction of a new distance function by applying an aggregation function on the sequence of initial distance functions. This method is introduced in [15].

Let $A : \bigcup_{n=1}^{\infty} [0,1]^n \to [0,1]$ be an extended aggregation function. Let $X \neq \emptyset$ be an arbitrary set, and let $d_i : X^2 \to [0,1]$, $i \in \mathbb{N}$, be a sequence of bounded functions. For each $n \in \mathbb{N}$, let us consider the function $d_{[n]} : X^2 \to [0,1]$ defined by

$$d_{[n]}(x,y) = A_{[n]}(d_1(x,y),\ldots,d_n(x,y)), \quad x,y \in X \tag{1}$$

which maps X^2 into $[0,1]$, as well as initial functions d_i. It is interesting to consider, which properties the constructed function $d_{[n]}$, $n \in \mathbb{N}$ inherit from initial functions d_i, $i \in \{1,2,\ldots,n\}$, depending on the properties of applied aggregation function $A_{[n]}$. In [15], together with other similar statements, the following theorem is proved.

► **Theorem 6.** *Let $d_i : X^2 \to [0,1]$, $i \in \mathbb{N}$ be arbitrary distance functions, and let $A : \bigcup_{n=1}^{\infty} [0,1]^n \to [0,1]$ be an arbitrary extended aggregation function. Then, for functions $d_{[n]} : X^2 \to [0,1]$, $n \in \mathbb{N}$ defined by* (1)*, the following statements hold.*

(i) *Function $d_{[n]}$ is a distance function.*

(ii) *If each of the functions d_i, $i \in \{1,\ldots,n\}$ have the property* (d03) *and aggregation function $A_{[n]}$ has the property* (a11)*:* $A(a_1,\ldots,a_n) = 0 \;\Rightarrow\; \exists i \in \{1,\ldots,n\}, a_i = 0$*, then function $d_{[n]}$ also has the property* (d03)*.*

(iii) *If at least one of the considered distance functions d_i, $i \in \{1,\ldots,n\}$ have the property* (d03) *and aggregation function $A_{[n]}$ has the property* (a10)*:* $A(a_1,\ldots,a_n) = 0 \;\Rightarrow\; \forall i \in \{1,\ldots,n\}, a_i = 0$*, then function $d_{[n]}$ also has the property* (d03)*.*

(iv) *Let each of the functions d_i, $i \in \{1,\ldots,n\}$ be metric. Let $A : \bigcup_{n=1}^{\infty} [0,\infty[^n \to [0,\infty[$ be subadditive function* (a07) *whose restriction on the set $\bigcup_{n=1}^{\infty} [0,1]^n$ is an extended aggregation function. If, for $n \in \mathbb{N}$, the function A additionally has the property* (a11)*, then $d_{[n]}$ is a metric.*

(v) *Assume that for each of the distance functions d_i, $i \in \{1,\ldots,n\}$ the C-triangle inequality* (d06) *holds. Let $A : \bigcup_{n=1}^{\infty} [0,\infty[^n \to [0,\infty[$ be the function whose restriction on the set $\bigcup_{n=1}^{\infty} [0,1]^n$ is an extended aggregation function with properties* (a07) *and* (a09) *for $n \in \mathbb{N}$. Then for the function $d_{[n]}$, the C-triangle inequality* (d06) *holds.*

Several extended aggregation functions are examined in [6, 13, 14, 15].

3. EXTENDED POWERS PRODUCT AGGREGATION FUNCTION

In the paper [6], two new extended aggregation function are defined, *extended powers product* and *extended weighted arithmetic mean of powers*, and their properties relevant for distance functions construction are examined. It is shown that *extended weighted arithmetic mean of powers* can be very suitable for application in image segmentation.

In Section 5, we show that application of *extended powers product* operator in the mentioned way produce excellent results in image segmentation. In this section, we present the definition of *extended powers product* operator, as well as its properties related to the Theorem 6.

► **Definition 7** (Extended powers product)**.** For arbitrary family of non-negative coefficients $\omega = \{\omega_{n,i} > 0 \,|\, n \in \mathbb{N},\ i \in \{1,\ldots,n\}\}$,

function $\prod_{\omega} : \bigcup_{n=1}^{\infty} [0,1]^n \to [0,1]$ is defined by

$$\prod\nolimits_{\omega}(a_1,\ldots,a_n) = \prod_{i=1}^{n} a_i^{\omega_{n,i}}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad (a_1,\ldots,a_n) \in [0,1]^n, \tag{2}$$

and it is called *extended powers product*. For the family of non-negative coefficients ω with the property $\forall n \in \mathbb{N},\ \sum_{i=1}^{n} \omega_{n,i} = 1$, the operator $\prod_{\omega}$ is called *extended 1-powers product* and it is denoted by $\prod_{|\omega|}$.

► Remark. For coefficients $\omega_{n,i} \equiv 1$, $n \in \mathbb{N}$, $i \in \{1,\ldots,n\}$, extended powers product operator is reduced to well known extended product aggregation function.

In [6], it is shown that *extended powers product* is an extended aggregation function with properties (see Definition 5) presented in Table 1:.

4. USED PIXEL DESCRIPTOR

In various image processing methods, pixel descriptors are widely used for describing pixel characteristics. Pixel descriptors can measure different relations between pixel and its neighbors. In papers [6] and [14] two

Table 1: Properties of extended powers product aggregation functions

	(a03):	(a04):	(a05):	(a06):	(a07):	(a08):	(a09):	(a10):	(a11):
$\prod_{\omega}$	YES	no	no	no	no	no	no	no	YES
$\prod_{\lvert\omega\rvert}$	YES	no	YES	no	no	YES	YES	no	YES

suitable pixel descriptors were introduced. These two pixel descriptors are used in experimental Section 5, where through experiments is shown that together with application of extended powers product aggregation function, they significantly contribute to excellent image segmentation results.

The first pixel p descriptor present the normalized mean value of gray-levels $\mathsf{NA}(p)$ for observed 8-neighbors of the central pixel p, see [14]. The second pixel p descriptor is normalized α-indicator counter $\mathsf{IC}_{\alpha}(p)$, which represent a number of 8-neighbors that differ in gray-level from the central pixel for at most $\alpha \in \{0,\ldots,255\}$, see [6].

► **Definition 8.** For an arbitrary pixel $p_{i,j}$, the selected threshold value $\alpha \in \{0,\ldots,255\}$, and each of the neighboring pixels n_k, $k \in \{1,\ldots,8\}$, α-*similarity indicator* $I_{i,j;\alpha}(k) \in \{0,1\}$ is defined by

$$I_{i,j;\alpha}(k) = \begin{cases} 0 & , \quad |p_{i,j} - n_k| \leq \alpha \\ 1 & , \quad |p_{i,j} - n_k| > \alpha \end{cases}, \quad k \in \{1,\ldots,8\},$$

where $p_{i,j}, n_k \in \{0,\ldots,255\}$ are single-byte gray-scale levels of pixels. For the pixel $p_{i,j}$ that is on the edge or in the corner of the image and hence does not have some of the neighbors n_k, we define $I_{i,j;\alpha}(k) = 1$.

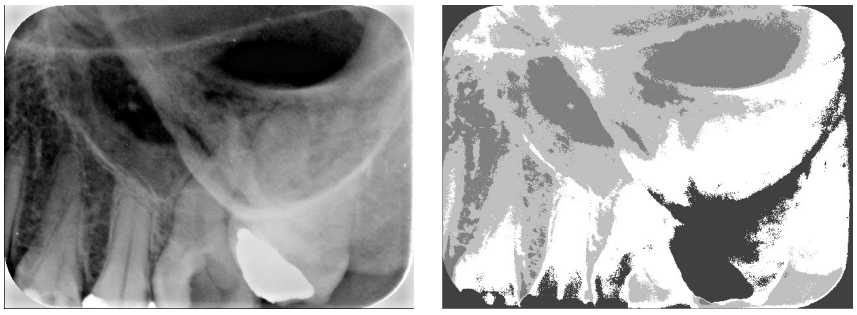
For the selected threshold level $\alpha \in \{0,\ldots,255\}$ and pixel $p_{i,j}$, the number of 0 values in the indicator function $I_{i,j;\alpha}(k)$ for $k \in \{1,\ldots,8\}$, represents the number of neighbor pixels which differ in the gray-scale level from the central one $p_{i,j}$, for at most α. This means that we count pixels from the neighborhood which are α-similar to the central pixel. That number is called α-*indicator counter*.

► **Definition 9.** For an arbitrary pixel gray-scale level $p_{i,j}$ and selected threshold value $\alpha \in \{0,\ldots,255\}$, the α-*indicator counter* is defined by the following equation:

$$\mathsf{IC}_{\alpha}(p_{i,j}) = \frac{1}{8}\sum_{k=1}^{8}(1 - I_{i,j;\alpha}(k)) = 1 - \frac{1}{8}\sum_{k=1}^{8} I_{i,j;\alpha}(k).$$

5. APPLICATION IN IMAGE SEGMENTATION

In this section we present an application of extended powers product aggregated distance function in X-ray image segmentation through FCM algorithm, see [1, 2]. Original X-ray image is shown in Figure 1a. In image



(a) Original picture **(b)** Euclidean segmentation

Figure 1 Original and Euclidean segmented picture

segmentation distance function represents a criterion by which pixels are classified into segments, see [8]. Next to the image, input parameters of the FCM algorithm are the following.

- Number $c \in \mathbb{N}$ of clusters that are going to be acquired by segmentation, we select $c = 4$.
- Intuitively selected weight coefficient $m > 1$, which affects the quality and speed of segmentation. We choose $m = 2.0$ in our experiments.
- Bounded distance function $d : P^2 \to [0,1]$, which defines mathematical model for desired segmentation criterion, where P is the set of pixels of image.

As most significant measure of quality of obtained segmentation, we use *performance index* PI as a measure of the compactness of the obtained clusters, see [1]. The lower value of PI means a stronger grouping of pixels, i.e., more compact clusters. We also consider the number IT of performed iterations in FCM algorithm, as well as the execution time RT of the algorithm, in seconds.

The applied FCM algorithm is coded in MATLAB, R2012b, 32-bit (win32). Testing is preformed on PC with Intel(R) processor Core(TM)2 Duo CPU E8400 3.00 GHz, 3.25 GB of RAM, and operating system Microsoft Windows XP, Professional, Version 2002.

Pixel is represented as $p_{i,j} = (c_{i,j}, n_{i,j}, s_{i,j}) \in P$, $P = \{0,\ldots,255\} \times [0,1] \times [0,1]$, where $c_{i,j}$ is a gray-scale level, and $n_{i,j} = \mathsf{NA}(p_{i,j})$ and $s_{i,j} = \mathsf{IC}_\alpha(p_{i,j})$ are pixel descriptors from Section 4. Value $\alpha = 20$ is selected in performed experiments.

As initial distance functions (metrics) we use:

- $d_1 : P^2 \to [0,1]$, $d_1(p_{i,j}, p_{k,l}) = \dfrac{1}{255}\,|c_{i,j} - c_{k,l}|$, as a measure of the difference between pixels gray-scale values,
- $d_2 : P^2 \to [0,1]$, $d_2(p_{i,j}, p_{k,l}) = |x_{i,j} - x_{k,l}|$, as a measure of the difference between pixel descriptors, where descriptor $x_{i,j}$ is either $n_{i,j}$ or $s_{i,j}$ described above.

This initial distance function are aggregated by powers product operator $\prod_\omega : [0,1]^3 \to [0,1]$ defined with equation (2) and coefficients $\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3) \in \{0.5, 1.0, 2.0\}^3$. The distance function applied in FCM algorithm, $d_\omega : P^2 \to [0,1]$ is

$$d_\omega(p_{i,j}, p_{k,l}) = d_1^{\omega_1}(p_{i,j}, p_{k,l}) \cdot d_2^{\omega_2}(p_{i,j}, p_{k,l}) \cdot d_2^{\omega_3}(p_{i,j}, p_{k,l}). \tag{3}$$

Using referent Euclidean metric ($d_E = 255 \cdot d_1$) in image segmentation, performance index value $\mathsf{PI} = 1007.5$ is obtained, and segmentation result is shown in Figure 1b. Using d_ω distance functions in image segmentation, for all of 27 set of parameters $\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3) \in \{0.5, 1.0, 2.0\}^3$ we obtain performance index values PI that are all less than 24, and most of them are less than 0.1. For example, by using parameters

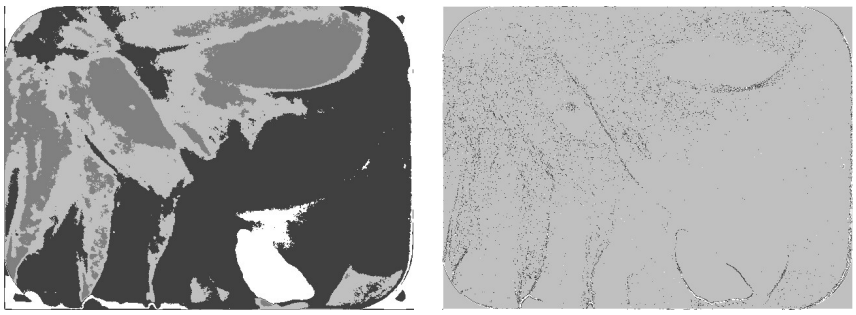
$\omega_A = (2.0, 2.0, 2.0)$, $\omega_B = (0.5, 2.0, 2.0)$,

in equation 3, Table 2: shows the quality of obtained segmentation measures, together with the output parameters for referent Euclidean segmentation.

Table 2: Parameters which measure quality of segmentation

	d_E	d_{ω_A}	d_{ω_B}
PI:	1007.5	0.000012702	0.0021
IT:	24	35	17
RT:	31	929	447

Image segmentation results obtained with d_{ω_A} and d_{ω_B} distance functions are shown in Figures 2a and 2b, respectively.



(a) d_{ω_A} segmentation **(b)** d_{ω_B} segmentation

Figure 2 Segmentations by using powers product aggregated distance functions

6. CONCLUSION

Based on the obtained evaluation shown in Table 2:, we can conclude the following.

1. Powers product extended aggregation function used for distance function construction produces excellent results in image segmentation algorithm, compared to Euclidean metric.
2. Specified method with the application of descriptors from Section 4, significantly contributes to the quality of segmentation results.

As the key guidelines for future research, authors point out that presented construction of distance function can be applied in other various image processing algorithms and other information fusion and decision making process. Authors also emphasize the possibility of applying the pixel descriptor from Section 4 in image denoising or for identifying and processing the image textures.

Acknowledgement

Authors acknowledge the financial support of the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, in the frame of Projects applied under No. TR 34014 (the first and third author), 174009 (the second and third author), 174008 (the fourth author).

REFERENCES

[**1**] Bezdek, J. C., Ehrlich, R., and Full, W. (1984). FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. Computers & Geosciences, 10(2):191–203.

[**2**] Bezdek, J. C., Keller, J., Krisnapuram, R., and Pal, N. (1999). Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing. The Handbooks of Fuzzy Sets. Springer US.

[**3**] Bloch, I. (1997). Fuzzy geodesic distance in images, pages 153–166. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

[**4**] Calvo, T., Mayor, G., and Suñer, J. (2015). Globally Monotone Extended Aggregation Functions, pages 49–66. Springer International Publishing, Cham.

[**5**] Ćurić, V. (2014). Distance Functions and Their Use in Adaptive Mathematical Morphology. PhD dissertation, Uppsala.

[**6**] Delić, M., Nedović, L., and Pap, E. (2019). Extended power-based aggregation of distance functions and application in image segmentation. Information Sciences, 494:155–173.

[**7**] Deza, M. M. and Deza, E. (2012). Encyclopedia of Distances. SpringerLink : Bücher. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[**8**] Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2006). Digital Image Processing (3rd Edition). Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA.

[**9**] Grabisch, M., Marichal, J.-L., Mesiar, R., and Pap, E. (2009). Aggregation Functions. Encyclopedia of Mathematics and its Applications (127). Cambridge University Press, Cambridge.

[**10**] Grabisch, M., Marichal, J.-L., Mesiar, R., and Pap, E. (2011). Aggregation functions: Construction methods, conjunctive, disjunctive and mixed classes. Information Sciences, 181(1):23–43.

[**11**] Klement, E. P., Mesiar, R., and Pap, E. (2000). Triangular Norms, volume 8. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

[**12**] Mesiar, R., Kolesárová, A., Calvo, T., and Komorníková, M. (2008). A review of aggregation functions, pages 3–104. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Springer, Berlin, Heidelberg.

[**13**] Nedović, L. and Delić, M. (2018). Image segmentation by applying medianaggregated distance functions. In Proc. of The Third Conference on Mathematics in Engineering: Theory and Applications, pages 1–6. Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu.

[**14**] Nedović, L., Delić, M., and Ralević, N. M. (2018a). OWA-aggregated distance functions and their application in image segmentation. In Proc. of 16th IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), pages 311–316, Subotica. IEEE, IEEE Hungary Section.

[**15**] Nedović, L., Ralević, N. M., and Pavkov, I. (2018b). Aggregated distance functions and their application in the fuzzy c-means algorithm. Soft Computing, 22:4723–4739.

[**16**] Pap, E. (1997). Pseudo-analysis as a mathematical base for soft computing. Soft Computing, 1:61–68.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

THE NEWTON METHOD FOR SOLVING NONLINEAR EQUATIONS BASED ON AGGREGATION OPERATORS

NEBOJŠA M. RALEVIĆ[1], DEJAN ĆEBIĆ[2]

[1] Faculty of Engineering, Belgrade nralevic@uns.ac.rs
[2] Faculty of Mining and Geology, Belgrade, cebicd@gmail.com

Abstract: *A new modification of Newton's method based on aggregation operator for solving nonlinear equations is proposed. Some existing modifications of Newton's method, based on arithmetic, geometric, harmonic and root-power mean are the special cases of this method. The convergence properties of the proposed method are discussed and it is shown that the order of convergence for simple roots is three. by this method converges to roots, for any initial iteration sufficiently close to root. Theoretical results are verified on some relevant nonlinear equations.*

Keywords: *Nonlinear equation, Newton's method, Aggregation operator, Third-order of convergence.*

1. INTRODUCTION

The problem of numerical determination of a real root α of nonlinear equation

$$f(x)=0, \quad f: I \subseteq \mathbb{R} \to \mathbb{R}. \tag{1}$$

is considered. The root α is said to be *simple* if $f(\alpha)=0$ and $f'(\alpha)\neq 0$. If $f(\alpha)=f'(\alpha)=\ldots=f^{(k-1)}(\alpha)=0$ and $f^{(k)}(\alpha)\neq 0$ for $k\geq 1$ then α is of *multiplicity* k.

If the sequence $\{x_n\}$ tends to a limit α such that

$$\lim_{n\to\infty}\frac{x_{n+1}-\alpha}{(x_n-\alpha)^q}=C, \tag{2}$$

for some $C\neq 0$ and $q\geq 1$, then the *order of convergence* of the sequence $\{x_n\}$ is q, and C is know as the *asymptotic error constant* (AEC) (see [15]). If $q=1$, $q=2$ or $q=3$, the convergence is said to be *linear*, *quadratic* or *cubic*, respectively. Let $e_n=x_n-\alpha$ be the error in the nth iteration of the method which produces the sequence $\{x_n\}$. Then, the relation (2) can be rewritten as

$$e_{n+1}=Ce_n^q+O(e_n^{q+1})=O(e_n^q)$$

which is called the *error equation*. The value of q is called the *order of convergence*.

The best known numerical method for solving the equation (1) is the classical Newton's method (shortly N method) given by

$$x_{n+1}=x_n-\frac{f(x_n)}{f'(x_n)}, \quad n=0,1,\ldots, \tag{3}$$

where x_0 is an initial approximation sufficiently close to α. The convergence order of the classical Newton's method is quadratical for simple roots with the error equation

$$e_{n+1}=\frac{f''(\alpha)}{2f'(\alpha)}\cdot e_n^2+O(e_n^3).$$

Let α be a root of the function f and suppose that sequence $\{x_n\}$ converges to α. Then the order of convergence can be approximated by the *computational order of convergence* (COC) given by the following formula

$$\text{COC}=\frac{\ln|f(x_{n+1})/f(x_n)|}{\ln|f(x_n)/f(x_{n-1})|}. \tag{4}$$

Some well-known Newton-like methods can be considered as a two-step iterative scheme defined by

$$x_{n+1}=x_n-\frac{f(x_n)}{F(f'(x_n),f'(\tilde{x}_n))}, \quad \text{where} \quad \tilde{x}_n=x_n-\frac{f(x_n)}{f'(x_n)}, \ n=0,1,\ldots. \tag{5}$$

The first method defined by (5) where $F(a,b)=A(a,b)=\frac{a+b}{2}$ was introduced by Weerakoon and Fernando in [16] it is known as *arithmetic mean Newton's method* (shortly AN method). The method introduced by Özban in [10] which is called *harmonic mean Newton's method* (shortly HN method) uses $F(a,b)=H(a,b)=\frac{2ab}{a+b}$. Lukić and Ralević in [8] developed *geometric mean Newton's method* (shortly GN method) where $F(a,b)=G(a,b)=\sqrt{ab}$. Also Ralević and Lukić in [13],[9] proposed *root-power mean Newton's method* (shortly RPN method) where $F(a,b)=M_p(a,b)=(\frac{a^p+b^p}{2})^{1/p}$ $(p\neq 0)$. Certain generalizations, modifications, improvements and further analysis of the mentioned mean-based methods one can find in [1, 3, 4, 5, 11, 12].

For reasons of feasibility of the method, the authors of [8, 9] and [13] take $\text{sign}(f'(x_0))G(|f'(x_n)|,|f'(\tilde{x}_n)|)$ and $\text{sign}(f'(x_0))M_p(|f'(x_n)|,|f'(\tilde{x}_n)|)$ instead of $G(f'(x_n),f'(\tilde{x}_n))$ and $M_p(f'(x_n),f'(\tilde{x}_n))$ in given methods, respectively.

It is easy to see that the first three methods mentioned above are special cases of the RPN method. Specially, for $p=1$ and $p=-1$ the RPN method are equal to the AN and HN method, respectively. If $p\to 0$, we obtain the GN method, by reason $\lim\limits_{p\to 0}\sqrt[p]{\frac{a^p+b^p}{2}}=\sqrt{ab}$.

2. A QUASI AGGREGATION OPERATOR

In this section a brief recall of definitions, examples and properties of aggregation operators are presented.

Definition 2.1 An $n-$ary **aggregation operator** is a function $A^{(n)}:I^n\to I$ such that

i) $A^{(n)}(x_1,...,x_n)\leq A^{(n)}(y_1,...,y_n)$ whenever $x_i\leq y_i$ for all $i\in\{1,...,n\}$ (A is monotonically increasing function in all its arguments),

ii) $\inf\limits_{x\in I^n}A^{(n)}(x)=\inf I$ and $\sup\limits_{x\in I^n}A^{(n)}(x)=\sup I$, $x=(x_1,...,x_n)$ (boundary condition).

An **aggregation operator** is a function $A:\bigcup\limits_{n\in\mathbb{N}}I^n\to I$ such that for $n=1$ holds $A(x)=x$, for all $x\in I$, whose restriction is $A|_{I^n}=A^{(n)}$, for any $n\in\mathbb{N}$.

It is customary to take the $I=[0,1]$. In this case boundary condition reduces to $A(0,...,0)=0$ and $A(1,...,1)=1$. For aggregation operator is required to comply with additional features such as

iii) $A(x,x,...,x)=x$ for all $x\in[0,1]$ (A is idempotent function).

iv) $A(x_1,...,x_n)=A(x_{p_1},...,x_{p_n})$ for any permutation $(p_1,...,p_n)$ of set $\{1,...,n\}$ (A is symmetric function in all its arguments).

v) A is continuous function.

vi) $A\in C^{\ell}((0,1))$ (The operator A has continuous derivatives up to the order ℓ in all variables).

Some examples of best known aggregation operators are:

- Product operator $\quad\Pi(a_1,\ldots,a_n)=\prod_{i=1}^n a_i$.
- Minimum operator $\quad Min(a_1,\ldots,a_n)=\min(a_1,\ldots,a_n)$.
- Maximum operator $\quad Max(a_1,\ldots,a_n)=\max(a_1,\ldots,a_n)$.
- Arithmetic mean $\quad A(a_1,a_2,...,a_n)=\frac{a_1+a_2+...+a_n}{n}$.
- Weighted arithmetic means $\quad W(a_1,a_2,\ldots,a_n)=\sum_{i=1}^n w_ia_i$, associated with weighting vector $w=(w_1,...,w_n)\in[0,1]^n$, $\sum w_i=1$.
- Harmonic mean $\quad H(a_1,a_2,...,a_n)=\frac{n}{\frac{1}{a_1}+\frac{1}{a_2}+...+\frac{1}{a_n}}$.
- Geometric mean $\quad G(a_1,a_2,...,a_n)=\sqrt[n]{a_1a_2\cdots a_n}$.
- Quasi-arithmetic mean $\quad M_f(a_1,a_2,\ldots,a_n)=f^{-1}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n f(a_i)\right)$, where $f:[0,1]\to[-\infty,+\infty]$ continuous and strictly monotonic function.
- Root-power means $\quad M_p(a_1,a_2,...,a_n)=(\frac{a_1^p+a_2^p+...+a_n^p}{n})^{1/p}$, $(p\neq 0)$.

Marginal members of these classes are $M_0=G=M_{\log a}$, which is the geometric mean, while $M_\infty=Max$ and $M_{-\infty}=Min$ which are not in class of quasi-arithmetic means. It is easy to note that root-power operator is a special case of quasi-arithmetic means.

- Contraharmonic mean $\quad C(a_1,a_2,...,a_n)=\frac{a_1^2+a_2^2+...+a_n^2}{a_1+a_2+...+a_n}$.

- Heinz means $Z_p(a,b) = \frac{a^p b^{1-p} + a^{1-p} b^p}{2}$, $(0 \leqslant p \leqslant \frac{1}{2})$.
- Generalized Heron means $H_p(a_1,a_2) = (\frac{a_1^p + (a_1 a_2)^{p/2} + a_2^p}{3})^{1/p}$, $(p \neq 0)$.
- Symmetric means $Q_p(a_1,a_2) = \frac{a_1^s a_2^t + a_1^t a_2^s}{2}$, $(s = \frac{1+\sqrt{p}}{2}, t = \frac{1-\sqrt{p}}{2})$.
- Generalized Contraharmonic means $C_p(a_1,a_2,...,a_n) = \frac{a_1^p + a_2^p + ... + a_n^p}{a_1^{p-1} + a_2^{p-1} + ... + a_n^{p-1}}$.

The weakest aggregation operator, in designation A_w, and the strongest aggregation operator A_s, are given by following:

$$A_w(a_1,\ldots,a_n) = 0, \text{ for any } (a_1,\ldots,a_n) \neq (1,\ldots,1), \quad \text{while } A_w(1,\ldots,1) = 1,$$
$$A_s(a_1,\ldots,a_n) = 1, \text{ for any } (a_1,\ldots,a_n) \neq (0,\ldots,0), \quad \text{while } A_s(0,\ldots,0) = 0.$$

Aggregation operators between each other can compare like functions with n-variables. For any aggregation operator A the inequality $A_w \leq A \leq A_s$ is satisfied.

In the following text, a definition, some examples and properties of aggregation operators are goinig to be presented (see [2, 6, 7]). The aggregation operators are considered as the functions of two variables in described methods.

The methods obtained for a given aggregation operator will be given the appropriate name. Thus, the quadratic and cubic mean give *quadratic mean Newton's method* (shortly QN method) and *cubic mean Newton's method* (shortly CN method). The contraharmonic mean, generalized contraharmonic mean, Heinz mean, Heron mean, symmetric mean, give *contraharmonic mean Newton's method* (shortly CHN method), *generalized contraharmonic mean Newton's method* (shortly GCHN method), *Heinz mean Newton's method* (shortly HZN method), *Heron mean Newton's method* (shortly HRN method) and *symmetric mean Newton's method* (shortly SMN method), respectively.

Definition 2.2 A quasi aggregation operator of class ℓ is a function $A : I^n \to I$, $n \in \mathbb{N}$ (where I is the interval of real numbers) such that A is idempotent, symmetric and $A \in C^{\ell}(I)$, $\ell \in \mathbb{N}$.

Lemma 2.1 If $A : I^n \to I$, $n \in \mathbb{N}$ is a quasi aggregation operator of class ℓ, then

i) $A_{x_i}(x,x,...,x) = A_{x_j}(x,x,...,x)$, $x \in I$, $i,j = 1,...,n$.

ii) $A_{x_i}(x,x,...,x) = \frac{1}{n}$, $x \in I$, $i,j = 1,...,n$,

where A_{x_i} is $\frac{\partial A}{\partial x_i}$.

Lemma 2.2 If $A : \bigcup_{n\in\mathbb{N}} I^n \to I$ is a quasi aggregation operator of class ℓ, (signed $\frac{\partial A}{\partial x_i}$ with A_{x_i}) then holds

i) $A_x(x,y) = A_y(y,x)$;
ii) $A_{xx}(x,y) = A_{yy}(y,x)$;
iii) $A_{xy}(x,y) = A_{yx}(y,x)$;
iv) $A_{xy}(x,y) = A_{xy}(y,x)$ (A_{xy} is symetric function);
v) $A_{xxy}(x,y) = A_{yyx}(y,x)$;
vi) $A_{xxx}(x,y) = A_{yyy}(y,x)$.

The proof is straightforward for both lemmas due to the properties defined in Definition 2.2.

3. DEFINITION OF THE METHOD AND CONVERGENCE ANALYSIS

Let A be quasi aggregation operator of class ℓ. Hence, the method defined by

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{A(f'(x_n), f'(\tilde{x}_n))}, \quad \text{where } \tilde{x}_n = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}, \quad n = 0,1,\ldots \tag{6}$$

is under consideration, which is called **aggregation Newton's method** (shortly ANM) in the rest of the paper.

Theorem 3.1 Let $f : I \subseteq \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ where I is an open interval. Assume that f is sufficiently differentiable function in the interval I and f has a simple root $\alpha \in I$. If x_0 is sufficiently close to α, then ANM converges cubically and satisfies the following error equation:

$$e_{n+1} = e_n^3 \Big(c_2^2 \big(2f'(\alpha) A_{xx}(f'(\alpha), f'(\alpha)) + 1\big) + \frac{1}{2} c_3 \Big) + o(e_n^3), \tag{7}$$

where $e_n = x_n - \alpha$, $c_j = \frac{f^{(j)}(\alpha)}{j!f'(\alpha)}$ for $j = 1,2,3,\ldots$ are constants, and A is a quasi aggregation operator of class 3.

Proof. By Taylor's expansion of $f(x_n)$ at α, one can get (in some neighbourhood of α)

$$\begin{aligned} f(x_n) &= f(\alpha) + f'(\alpha)e_n + \tfrac{1}{2!}f''(\alpha)e_n^2 + \tfrac{1}{3!}f^{(3)}(\alpha)e_n^3 + o(e_n^3) \\ &= f'(\alpha)[e_n + c_2e_n^2 + c_3e_n^3 + o(e_n^3)], \end{aligned} \tag{8}$$

because α is a simple root of equation $f(x) = 0$ (i.e. $f(\alpha) = 0$ and $f'(\alpha) \neq 0$). Similarly, it is easy to obtain

$$\begin{aligned} f'(x_n) &= f'(\alpha) + f''(\alpha)e_n + \tfrac{1}{2!}f'''(\alpha)e_n^2 + \tfrac{1}{3!}f^{(4)}(\alpha)e_n^3 + o(e_n^3) \\ &= f'(\alpha)[1 + 2c_2e_n + 3c_3e_n^2 + 4c_4e_n^3 + o(e_n^3)]. \end{aligned} \tag{9}$$

Dividing (8) by (9) yields

$$\begin{aligned} \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} &= [e_n + c_2e_n^2 + c_3e_n^3 + o(e_n^3)][1 + 2c_2e_n + 3c_3e_n^2 + 4c_4e_n^3 + o(e_n^3)]^{-1} \\ &= e_n - c_2e_n^2 + 2(c_2^2 - c_3)e_n^3 + o(e_n^3), \end{aligned}$$

and

$$\tilde{x}_n = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} = \alpha + c_2e_n^2 + 2(c_3 - c_2^2)e_n^3 + o(e_n^3). \tag{10}$$

Thus

$$\begin{aligned} f'(\tilde{x}_n) &= f'(\alpha) + f''(\alpha)(\tilde{x}_n - \alpha) + o(\tilde{x}_n - \alpha) \\ &= f'(\alpha)[1 + 2c_2^2e_n^2 + 4(c_2c_3 - c_2^3)e_n^3 + o(e_n^3)]. \end{aligned} \tag{11}$$

Let Ω be an open set in $\mathbb{R}^2$, $(x_0, y_0) \in \Omega$, and let $A : \Omega \to \mathbb{R}$ be a function of class $C^3(\Omega)$. Then the Taylor's expansion of the function of two variables has the form

$A(x,y) = A(x_0,y_0) + \frac{1}{1!}[A_x(x_0,y_0)(x-x_0) + A_y(x_0,y_0)(y-y_0)] + \frac{1}{2!}[A_{xx}(x_0,y_0)(x-x_0)^2 + 2A_{xy}(x_0,y_0)(x-x_0)(y-y_0) + A_{yy}(x_0,y_0)(y-y_0)^2] + o(\|(x-x_0,y-y_0)\|^2)$, holds, where $\|(x-x_0,y-y_0)\| = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$.

Taking $x_0 = y_0 = f'(\alpha)$, and $x = f'(x_n)$, $y = f'(\tilde{x}_n)$, we obtain

$A(f'(x_n), f'(\tilde{x}_n)) = A(f'(\alpha), f'(\alpha)) + \frac{1}{1!}[A_x(f'(\alpha), f'(\alpha))(x - f'(\alpha)) + A_y(f'(\alpha), f'(\alpha))(y - f'(\alpha))] + \frac{1}{2!}[A_{xx}(f'(\alpha), f'(\alpha))(x - f'(\alpha))^2 + 2A_{xy}(f'(\alpha), f'(\alpha))(x - f'(\alpha))(y - f'(\alpha)) + A_{yy}(f'(\alpha), f'(\alpha))(y - f'(\alpha))^2] + o(\|(x - f'(\alpha), y - f'(\alpha))\|^2)$.

Based on idempotency of quasi aggregation operator A and Lemma 2.2, we have $A(f'(\alpha), f'(\alpha)) = f'(\alpha)$ and $A_x(f'(\alpha), f'(\alpha)) = A_y(f'(\alpha), f'(\alpha)) = \frac{1}{2}$. Using equalities

$x - f'(\alpha) = f'(\alpha)[2c_2e_n + 3c_3e_n^2 + 4c_4e_n^3 + o(e_n^3)] = f'(\alpha)[2c_2e_n + o(e_n)]$,
$y - f'(\alpha) = f'(\alpha)[2c_2^2e_n^2 + 4(c_2c_3 - c_2^3)e_n^3 + o(e_n^3)]$,

we get

$$\begin{aligned} A(f'(x_n), f'(\tilde{x}_n)) &= f'(\alpha) + \tfrac{1}{2}\Big(f'(\alpha)[2c_2e_n + 3c_3e_n^2 + 4c_4e_n^3 + o(e_n^3)] \\ &\quad + f'(\alpha)[2c_2^2e_n^2 + 4(c_2c_3 - c_2^3)e_n^3 + o(e_n^3)]\Big) \\ &\quad + \tfrac{1}{2}\Big(A_{xx}(f'(\alpha), f'(\alpha))(f'(\alpha)[2c_2e_n + o(e_n)])^2 + 2A_{xy}(f'(\alpha), f'(\alpha))o(e_n^2) \\ &\quad + A_{yy}(f'(\alpha), f'(\alpha))o(e_n^2)\Big) + o(e_n^2) \\ &= f'(\alpha)(1 + S), \end{aligned}$$

where $S = c_2e_n + \left(\frac{3}{2}c_3 + c_2^2 + 2c_2^2A_{xx}(f'(\alpha), f'(\alpha))f'(\alpha)\right)e_n^2 + o(e_n^2)$.

Further shows that

$$\begin{aligned} \frac{1}{A(f'(x_n), f'(\tilde{x}_n))} &= \frac{1}{f'(\alpha)} \cdot \frac{1}{1+S} \\ &= \frac{1}{f'(\alpha)} \cdot (1 - S + S^2 + o(S^2)) \\ &= \frac{1}{f'(\alpha)}\Big[1 - \Big(c_2e_n + \left(\tfrac{3}{2}c_3 + c_2^2 + 2c_2^2A_{xx}(f'(\alpha), f'(\alpha))f'(\alpha)\right)e_n^2 + o(e_n^2)\Big) \\ &\quad + \Big(c_2^2e_n^2 + o(e_n^2)\Big) + o(e_n^2)\Big] \\ &= \frac{1}{f'(\alpha)}\Big[1 - c_2e_n - \Big(2c_2^2A_{xx}(f'(\alpha), f'(\alpha))f'(\alpha) + \tfrac{3}{2}c_3\Big)e_n^2 + o(e_n^2)\Big] \end{aligned}$$

From the previous expression one can get

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n - \tfrac{f(x_n)}{A(f'(x_n),f'(\tilde{x}_n))} \\ &= x_n - \Big[e_n + c_2 e_n^2 + c_3 e_n^3 + o(e_n^3)\Big]\cdot \\ &\quad \Big[1 - c_2 e_n - \big(2c_2^2 f'(\alpha)A_{xx}(f'(\alpha),f'(\alpha)) + \tfrac{3}{2}c_3\big)e_n^2 + o(e_n^2)\Big] \\ &= x_n - \Big[e_n - \Big(c_2^2(2f'(\alpha)A_{xx}(f'(\alpha),f'(\alpha)) + 1) + \tfrac{1}{2}c_3\Big)e_n^3 + o(e_n^3)\Big], \end{aligned}$$

$$e_{n+1} = \Big[c_2^2\Big(2f'(\alpha)A_{xx}(f'(\alpha),f'(\alpha)) + 1\Big) + \frac{1}{2}c_3\Big]e_n^3 + o(e_n^3),$$

which is error equation (7). □

Example: For $A(x,y) = M_p(xy) = (\frac{x^p+y^p}{2})^{\frac{1}{p}}$, the error equation of the described method is $e_{n+1} = \frac{1}{2}\big((p+1)c_2^2 + c_3\big)e_n^3 + o(e_n^3)$.

4. NUMERICAL RESULTS

Tables 1 and 2 show the computational results of some relevant numerical tests to compare the efficiencies of the proposed aggregation methods (as well as Newton's method). Both tables display the number of iterations and the number of functional evaluations, denoted by n and N_f, respectively, required to satisfy the stopping criterion $|x_{n+1} - x_n| + |f(x_{n+1})| < 10^{-7}$ within the maximum number of iterations 500. Also, the computational order of convergence COC given by (4) has been calculated for each method.

All computational results have been carried out by the *Mathematica* programming package. Each test function has been examined twice by the same method for two different initial approximations x_0.

Test functions:

$$\begin{aligned} f_1(x) &= x^3 + 4x^2 - 10, && \alpha = 1.36523..., \\ f_2(x) &= xe^{x^2} - \sin^2 x + 3\cos x + 5, && \alpha = -1.20764..., \\ f_3(x) &= \sin^2 x - x^2 + 1, && \alpha = -1.40449..., \\ f_4(x) &= (x-2)^2(x+1), && \alpha = -1, \\ f_5(x) &= (\sin x - \tfrac{\sqrt{2}}{2})^2(x+1), && \alpha = -1, \\ f_6(x) &= e^{-x^2+x+2} - 1, && \alpha = -1, \\ f_7(x) &= \ln x + \sqrt{x} - 5, && \alpha = 8.30943..., \end{aligned}$$

Table 1: Numerical results for ANM

		N			AN			HN			GN			QN			CN		
f	x_0	n	N_f	COC	n	N_f	COC	n	N_f	COC	n	N_f	COC	n	N_f	COC	n	N_f	COC
1	0.1	10	20	1.9977	9	27	3.0014	6	18	3.0038	5	15	3.0537	10	30	3.0147	11	33	3.0017
1	2	5	10	1.9975	4	12	2.9884	4	12	3.0008	4	12	2.9943	4	12	2.9819	4	12	2.9750
2	−2	8	16	1.9989	6	18	2.9895	5	15	2.9552	6	18	2.9985	6	18	2.9639	6	18	2.9214
2	−3	14	28	1.9999	10	30	2.9957	8	24	2.9524	9	27	2.9839	10	30	2.9137	11	33	2.9889
3	−1	6	12	1.9996	4	12	3.0870	4	12	3.0056	4	12	3.0219	4	12	3.1586	5	15	3.0029
3	−3	6	12	1.9990	4	12	2.9967	4	12	2.8488	4	12	3.0255	4	12	2.9572	4	12	2.9040
4	−1.5	5	10	1.9968	4	12	2.9858	4	12	3.0010	4	12	2.9930	4	12	2.9778	4	12	2.9695
4	−2.5	6	12	1.9937	5	15	2.9967	4	12	2.9975	4	12	2.8431	5	15	2.9912	5	15	2.9826
5	−0.8	5	10	1.9992	4	12	3.0045	3	9	3.3502	3	9	3.4059	4	12	3.0084	4	12	3.0124
5	−0.6	6	12	1.9997	4	12	3.0827	4	12	2.9376	4	12	2.9610	4	12	3.1872	5	15	3.0024
6	−0.5	6	12	1.9998	4	12	2.9473	4	12	2.9970	4	12	2.9737	4	12	2.9176	4	12	2.8865
6	−0.85	5	10	1.9997	4	12	2.9979	3	9	2.9189	3	9	2.8140	4	12	2.9968	4	12	2.9956
7	8.9	4	8	1.9999	3	9	3.0051	3	9	3.0026	3	9	3.0042	3	9	3.0056	3	9	3.0060
7	12	5	10	2.0000	4	12	3.0008	4	12	3.0002	4	12	3.0005	4	12	3.0012	4	12	3.0017

Table 2: Numerical results for ANM

		CHN			HZN ($p=1/4$)			HRN			SMN ($p=9$)			GCHN ($p=3$)		
f	x_0	n	N_f	COC	n	N_f	COC	n	N_f	COC	n	N_f	COC	n	N_f	COC
1	0.1	12	36	3.0037	6	18	3.0273	8	24	3.0027	482	1146	3.0107	12	36	3.0212
1	2	4	12	2.9746	4	12	2.9929	4	12	2.9904	5	15	2.9996	4	12	2.9593
2	-2	7	21	2.9994	6	18	2.9973	6	18	2.9939	8	24	2.9655	7	21	2.9934
2	-3	11	33	2.9725	9	27	2.9617	10	30	2.9992	16	48	2.9512	12	36	2.9830
3	-1	5	15	3.0038	4	12	3.0357	4	12	3.0629	6	18	3.0024	5	15	3.0120
3	-3	4	12	2.8978	4	12	3.0175	4	12	3.0044	5	15	2.9536	5	15	2.9968
4	-1.5	4	12	2.9690	4	12	2.9913	4	12	2.9883	5	15	2.9993	4	12	2.9504
4	-2.5	5	15	2.9812	5	15	2.9988	5	15	2.9978	6	18	2.9949	5	15	2.9509
5	-0.8	4	12	3.0128	3	9	3.3906	3	9	3.4165	4	12	3.0487	4	12	3.0219
5	-0.6	5	15	3.0039	3	9	3.2855	4	12	3.0470	6	18	3.0098	5	15	3.0138
6	-0.5	4	12	2.8837	4	12	2.9675	4	12	2.9565	5	15	2.9853	5	15	2.9979
6	-0.85	4	12	2.9955	3	9	2.8018	4	12	2.9983	4	12	2.9859	4	12	2.9928
7	8.9	3	9	3.0060	3	9	3.0045	3	9	3.0048	3	9	3.0073	3	9	3.0065
7	12	4	12	3.0017	4	12	3.0006	4	12	3.0007	4	12	3.0048	4	12	3.0026

5. CONCLUSION

Since all computed COC values of the aggregation methods are very close to 3, it is obvious that the numerical results confirm the theoretical results described in previous sections. Although it is hard to declare any particular aggregation operator as the best, for this choice of test functions the aggregation method based on harmonic mean shows very good numerical results.

REFERENCES

[**1**] D. K. R. Babajee, M. Z. Dauhoo, An analysis of the properties of the variants of Newton's method with third order convergence. Applied Mathematics and Computation, 183(1)(2006), 659–684.

[**2**] M. Grabisch, J. L. Marichal, R. Mesiar, E. Pap, Aggregation Functions, Cambridge University Press, (2009).

[**3**] Dj. Herceg, D. Herceg, Third-order modifications of Newton's method based on Stolarsky and Gini means. Journal of Computational and Applied Mathematics, 245 (2013), 53–61.

[**4**] D. Herceg, D. Herceg, Means based modifications of Newton's method for solving nonlinear equations. Applied Mathematics and Computation, 219(11)(2013), 6126–6133.

[**5**] H. H. H. Homeier, A modified Newton method for rootfinding with cubic convergence, J. Comput. Appl. Math. 157 (1) (2003), 227–230.

[**6**] E. P. Klement, R. Mesiar, E. Pap, Triangular Norms, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (2000)

[**7**] G. J. Klir, B. Yuan, Fuzzy sets and fuzzy logic, theory and applications, Prentice Hall, New Jersey (1995)

[**8**] T. Lukić, N. M. Ralević, Geometric Mean Newton's Method for Simple and Multiple Roots, Applied Mathematics Letters 21 (2008), 30–36.

[**9**] T. Lukić, N. M. Ralević, A. Lukity, Application of Aggregation Operators in Solution of Nonlinear Equations, 4th Serbian-Hungarian Joint Symposium on Intelligent Systems, September 29-30, 2006, Subotica, Serbia and Montenegro (2006), 329–339.

[**10**] A. Y. Özban, Some new variants of Newton's method, Appl. Math. Lett. 17 (2004), 677–682.

[**11**] N. M. Ralević, D. Ćebić, The properties of modifications of Newton's method for solving nonlinear equations, IEEE 11th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), (2013), 341–345.

[**12**] N. M. Ralević, D. Ćebić, I. Pavkov, The third order mean-based Jarratt-type method for finding simple roots of nonlinear equation, IEEE 13th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), (2015), 123–126.

[**13**] N. M. Ralević, T. Lukić, Modification of Newton's Method Based on Root-Power Mean, Applied Linear Algebra 2005, October 13-15, Palić, Serbia and Montenegro (2005).

[**14**] W. Rudin, Functional analysis, McGraw-Hill, (1991).

[**15**] R. Wait, The numerical Solution of Algebraic Equations, John Wiley & Sons, (1979).

[**16**] S. Weerakoon and T. G. I. Fernando, A variant of Newton's method with accelarated third-order convergence, Appl. Math. Lett. 13 (2000), 87–93.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

OPTIMALNE VREDNOSTI HIPERKUBNE KONTURNE FUNKCIJE

OPTIMUM VALUE HIPERCUBIC CONTOUR FUNCTION

DUŠKO LETIĆ[1], IVANA BERKOVIĆ[2], DESNICA ELEONORA[3], BRANISLAVA RADIŠIĆ[4]

[1,2,3,4] Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet "M. Pupin", Đ. Đakovića bb, Zrenjanin, dletic@mts.rs

Rezime: *U radu se iznose rezultati teorijskih istraživanja funkcije hiperkocke nastale na bazi uopštavanja dve poznate funkcije koje se odnose na hiperpovrš i hiperzapreminu kocke (za $a = 2r$). Na osnovu uvedena dva stepena slobode k i n izvršena je generalizacija poznatih hipergeometrijskih funkcija čime se dobila specijalna kontinualna funkcija ili generalizovana hiperkubna funkcija $HC(k,n,r)$.*

Ključne reči: *Operaciona istraživanja, Geometrijska optimizacija, Hiperkocka.*

Abstract: *In this paper are presented the results of theoretical researches of hypercube function on the basic of generalization of two know functions referring to hypersurface and hypervolume of cylindric (for $a = 2r$). On the basic of the two introduced freedom degrees k and n is perfomed the generalization of these functions. So, we have get a special continual function, i.e. generalized hypercube function $HC(k,n,r)$.*

Keywords: *Operational Research, Optimization Geometric, Hypercybe*

1. UVOD

Hiperkubna funkcija (HC) je hipotetička funkcija vezana za višedimenzioni prostor. Pripada grupi specijalnih funkcija, te se njeno ispitivanje vrši na bazi poznatih funkcija tipa: Γ-gama, ψ -psi, *ln*-logaritamske, *exp*-eksponencijalne funkcije i sl. Uvođenjem dva stepena slobode: k i n, postignuto je njeno uopštavanje od diskretnosti ka kontinuumu [25], [20]. Pored toga može se sa polja prirodnih celobrojnih vrednosti dimenzija - stepena slobode geometrije kocke, preći na skup realnih i necelobrojnih vrednosti, čime se stiču uslovi za sažetiju matematičku analizu ove funkcije $HC(k,n,r)$. U radu se ova analiza fokusira na primenu infinitezimalnog računa hiperkubne funkcije koja je data u generalizovanom obliku. Razvoju teorije višedimenzionih funkcija posebno su doprineli: Bowen [1], Coxeter [3], Dewdney [4], Neville [17], Manning [14], Gardner [9], Ruskey and Savage [18], Conway [2], Sloane [19], Maunder [15], Hinton [6], Hocking and Young [7], Fink [8] i drugi. Danas su istraživanja hiperkubne funkcije zastupljena kako u geometriji i topologiji tako i u drugim oblastima matematike i fizike kao što su: Bulova algebra, operaciona istraživanja, Fuzzy logika, teorija algoritama i grafova, kombinatorna analiza, nuklearna i astrofizika, molekularna dinamika i sl.

2. DERIVACIONE HIPERKUBNE FUNKCIJE

2.1 Hiperkubne funkcionalna matrica

Dosadašnji rezultati [12], kao što je poznato, predstavljaju funkcije hiperkubne površi ($n = 2$), odnosno zapremine ($n = 3$), te imamo respektivno da je:

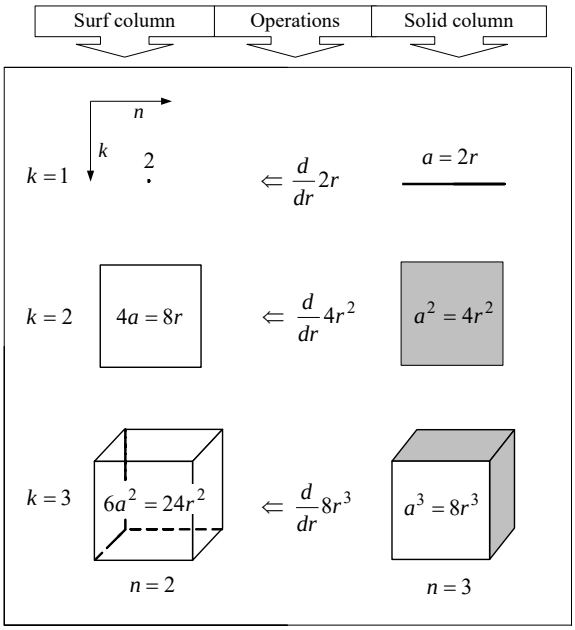
$$HC(k,2,r) = 2k\,r^{k-1} = \frac{\partial}{\partial r} HC(k,3,r) \qquad \text{ili} \qquad HC(k,3,r) = \int_0^r HC(k,2,r)\,dr = (2r)^k . \tag{1}$$

Na bazi prethodnih rekurentnih relacija formulisan je opšti oblik hiperkubne funkcije [14].

Definicija 1. Generalizovana hiperkubna funkcija definisana je jednakošću:

$$HC(k,n,r)=\frac{2^k r^{k+n-3}\Gamma(k+1)}{\Gamma(k+n-2)} \quad (k,n\in\Re, r\in N). \tag{2}$$

Ovde je r poluivica hiperkocke. Ove funkcija trebaju biti funkcije tri promenljive i to sa: dva stepena slobode k i n i radijusom hiperkocke r. Kod realnih kubnih entiteta kao što su na primer dužina ivice, obim ili površ kvadrata; zatim površ i zapremina kocke egistira samo promenljiva - poluivica r (*sl. 1*).



Slika 1: Kretanje kroz vektor realnih površina (kolona surfa): oduzimanjem jednog stepena slobode k od površinske kocke dobija se obim kvadrata, a za dva broj 2. Kretanje kroz vektor realnih solida (kolona solida): oduzimanjem jednog stepena slobode k od pune kocke dobija se puni kvadrat, a za dva linijski segment
ili ivica ($a=2r$)

Uvažavajući svojstvo da se izvodima po poluivici r generišu nove funkcije (kolone HC matrice), vrši se "kretanja" ka nižim ili višim stepenima slobode. Ovo se vrši od polaznog n-tog stepena slobode, na osnovu rekurentnih relacija sledećeg tipa

$$\frac{\partial}{\partial r}HC(k,n,r)=HC(k,n-1,r) \qquad \text{odnosno} \qquad HC(k,n+1,r)=\int_0^r HC(k,n,r)\,dr\,. \tag{3}$$

Prethodne osobine su fundamentalne i hipotetičke su prirode. Važeće su za objekte i van ove submatrice od šest elemenata (*sl. 1* i *2*). Na primer derivacije (4, levo) pokazuje da se postigao nulti ($n=0$) stepen slobode, ako je izvršena derivacija n-og stepena. Određenim stepenom izvoda HC funkcija se izračunava i za kompleksni domen hiperkubne matrice: Naime, tada je postignuto da je izraz jednak (4, desno)

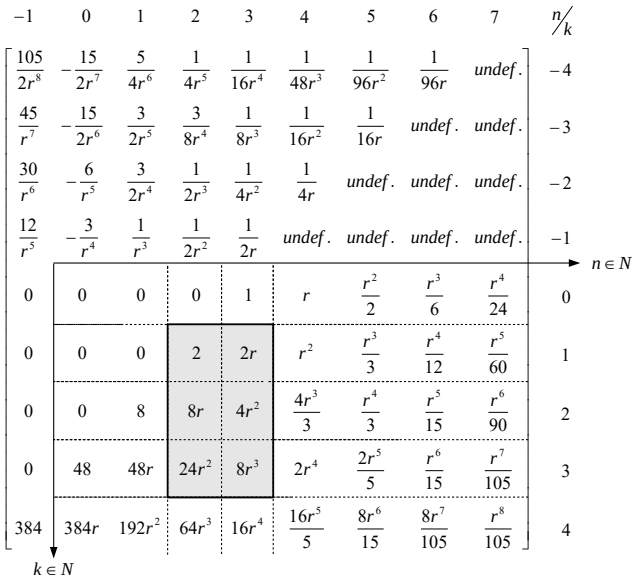
$$\frac{\partial^n}{\partial r^n}HC(k,n,r)=HC(k,0,r) \qquad \text{ili} \qquad \frac{\partial^{2n}}{\partial r^{2n}}HC(k,n,r)=HC(k,-n,r)\,. \tag{4}$$

Zbog poznatih karakteristika gama funkcije i na bazi uopštavanje relacija (3) i (4) dolazi se do diferencijalne jednačine oblika

$$\frac{\partial^n}{\partial r^n}\sum_{k=0}^{\infty}HC(k,n,r)-\sum_{k=0}^{\infty}HC(k,0,r)=0 \qquad \text{ili} \qquad \frac{\partial^{2n}}{\partial r^{2n}}\sum_{k=0}^{\infty}HC(k,n,r)-\sum_{k=0}^{\infty}HC(k,-n,r)=0\,. \tag{5}$$

Tako se na osnovu rekurentne relacije uspostavlja veza između pozitivnog stepena slobode n i njemu simetričnog negativnog stepena ($-n$), putem diferencijalne jednačine kojom je opisana relacija između kolona hiperkubne matrice za $k,n\in\Re$ (6). Dakle, na osnovu opšte hiperkubne funkcije (2) razvija se odgovarajuća matrica $M[HC]_{kxn}$ ($k,n\in\Re$), gde slede i konkretne vrednosti za izabranu submatricu 9x9.

$$M[HC]_{kxn}= \tag{6}$$



Slika 2: Submatrica funkcije $HC(k,n,r)$ koja pokriva jednu oblast realnih stepena slobode ($k,n\in\Re$). Uočljive su i koordinate šest karakterističnih stvarnih kubnih funkcija (undef. su nedefinisane, najčešće singularne vrednosti $\pm\infty$, dok su 0 nule $HC(k,n,r)$ funkcije)

Matrica $M[HC]_{kxn}$ je zasnovana na osobini da joj je svaki vektor $(n-1)$-e kolone (u oznaci $<n-1>$) jednak izvodu po poluivici r narednog vektora ($<n>$) u redosledu prema *sl. 2*. Ova karakteristika rekurzije proizilazi od početnih pretpostavki (3). Tako imamo da je:

$$\left[M\right]^{<n-1>}=\frac{\partial}{\partial r}\left[M\right]^{<n>}. \tag{7}$$

Interesantni rezultati mogu se dobiti na bazi *horizontalnih* (n) ili *vertikalnih* (k) *stepena slobode* (poređanih u 6) i generalizovane HC funkcije, npr. za nivo površine (surf), kao:

$$k2^k r^{k-1}\Big|_{k=3}\vee\frac{8r^{n-1}}{\Gamma(n)}\Big|_{n=2}\vee\frac{2^k r^{k+n-3}\Gamma(k+1)}{\Gamma(k+n-2)}\Big|_{k=3\wedge n=2}\Rightarrow 24r^2\equiv 6a^2. \tag{8}$$

ili za nivo solida

$$(2r)^k\Big|_{k=3}\vee\frac{48r^n}{\Gamma(n+1)}\Big|_{n=3}\vee\frac{2^k r^{k+n-3}\Gamma(k+1)}{\Gamma(k+n-2)}\Big|_{k=3\wedge n=3}\Rightarrow 8r^3\equiv a^3. \tag{9}$$

Dakle, ova osobina je značajna, jer može dovesti do istog rezultata na osnovu dve posebne formule, ili koristeći samo jednu opštu.

2.2 Ekstremne vrednosti *HC* funkcije sa stanovišta stepena slobode *k*

Funkcija $hc1(k,n,r)$ ima posebno značenje (*sl. 6*) kod određivanja ekstremnih vrednosti hiperkubnih funkcija, npr. za jedinični radijus i domen $k\in\Re$. Pri tome, na bazi poznatih kriterijuma, za svaku iz familije derivacionih funkcija se mogu odrediti minimalne vrednosti HC funkcija, izjednačavanjem njenog izvoda sa nulom. Pored minimuma sledi odgovarajuća vrednost stepena slobode k_0, kao "optimalna".

$$hc1(k,n,r)=0\ \text{i}\ \frac{\partial}{\partial k}hc1(k,n,r)>0\quad\Rightarrow\min HC(k,n,r)\ \wedge\ k_0. \tag{10}$$

Primer '1: Za površinsku hiperkubnu funkciju, sa poluivicom $r=1$, derivaciona funkcija je posle sređivanja oblika:

$$hc1(k,2,1)=HC(k,2,1)\left[\ln 2+\psi_0(k+1)-\psi_0(k-1)\right]=0. \tag{11}$$

S obzirom da je $\psi_0(k+1-\psi_0(k-1)=\frac{1}{k}$, ovaj izraz se može racionalizovati kao: $hc1(k,2,1)$ $= HC(k,2,1)\left(\ln 2+\frac{1}{k}\right)=0$. Izjednačenjem sa nulom izraza u zagradi $\ln 2+\frac{1}{k}=0 \Rightarrow k_0=-\frac{1}{\ln 2}\approx -1{,}44269$. dobija se simboličko rešenje za "optimalnu" dimenziju (11), (*sl. 3*): Simbolička i numerička vrednost ovog ekstrema iznosi

$$HC(k_0,n,1)=-\frac{1}{\ln 2^e}\approx -0{,}53074\,. \tag{12}$$

Na osnovu prethodnih izraza (11) ili (12) određuje se najmanja površina kocke za "optimalnu" dimenziju k_0. Pri tome proizilazi da je $k_0\approx -1{,}44269$, kojoj odgovara površina omotača od $\min HC(k_0,n,1)\approx -0{,}53074$ (Tabela 1:). Za ostale hiperkubne funkcije, takođe se mogu odrediti vrednosti minimuma, ali čisto na numeričkim osnovama. Međutim, za stepene slobode $n\geq 3$ minimum se svodi na nulu. Najveće vrednosti razmatranih funkcija su beskonačne, kada je $k_0=\infty$.

Tabela 1: Dimenzije *n* /optimalne vrednosti po *k*

Dimenzija *n*	**Optimalna dimenzija k_0**	**min*HC***	**Greška**
–1	2.680571494	–6.278620556	$4.293\cdot10^{-12}$
0	1.648207317	–1.1780735642	$1.940\cdot10^{-11}$
1	0.584187070	–0.3641730147	$-1.836\cdot10^{-12}$
2	–1.442695041	–0.5307378454	$5.191\cdot10^{-13}$
3	$-\infty$	0	0
. . .	. . .	. . .	. . .
n	$-\infty$	0	0

2.3 Izvodi *ch*1 funkcije *HC* u odnosu na stepen slobode *n*

Kako je funkcija $HC(k,n,r)$ funkcija dve promenljive (ne uzimajući u obzir radijus r), mogu se odrediti i parcijalni izvodi po stepenu slobode n, te se respektivno postavljaju izvodi. Opšte rešenje je:

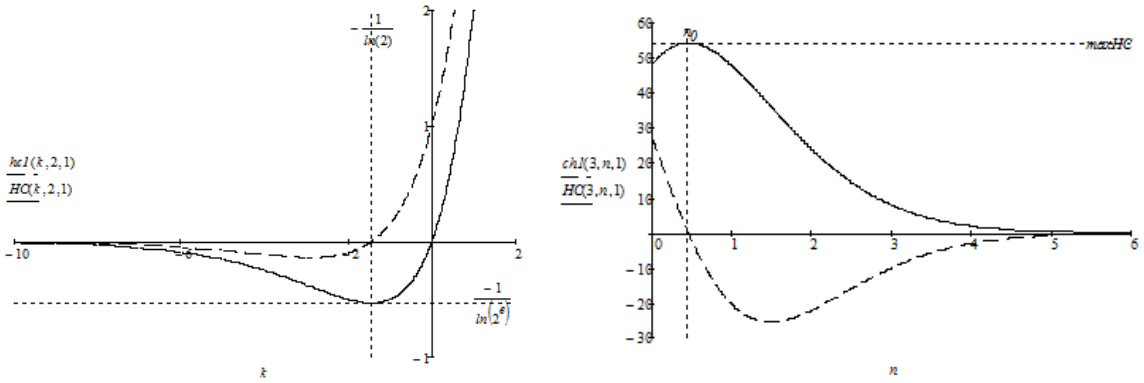
$$ch1(k,n,r)=\frac{\partial}{\partial n}HC(j,n,r)\;=HC(k,n,r)\left[\ln r-\psi_0(k+n-2)\right]. \tag{13}$$

Ove funkcije mogu imati ulogu kod daljeg istraživanja hiperkubne funkcija. Ekstremne vrednosti ovih konturnih funkcija $HC(k,n,r)$ (gde je k poznato) mogu se predstaviti u sledećoj tabeli, a vizuelno su predstavljene na graficima.

Tabela 2: Dimenzije *k* / optimalne vrednosti po *n*

Dimen-zija *k*	**Optimalna dimenzija n_0**	**max*HC***	**Greška**
0	3.461632145	1.129017388	$6.619\cdot10^{-15}$
1	2.461632145	2.258347771	$3.818\cdot10^{-14}$
2	1.461632145	9.033391083	$-3.179\cdot10^{-12}$
3	0.461632145	54.20034650	$-2.964\cdot10^{-11}$
4	0	384	0
n	…	…	…

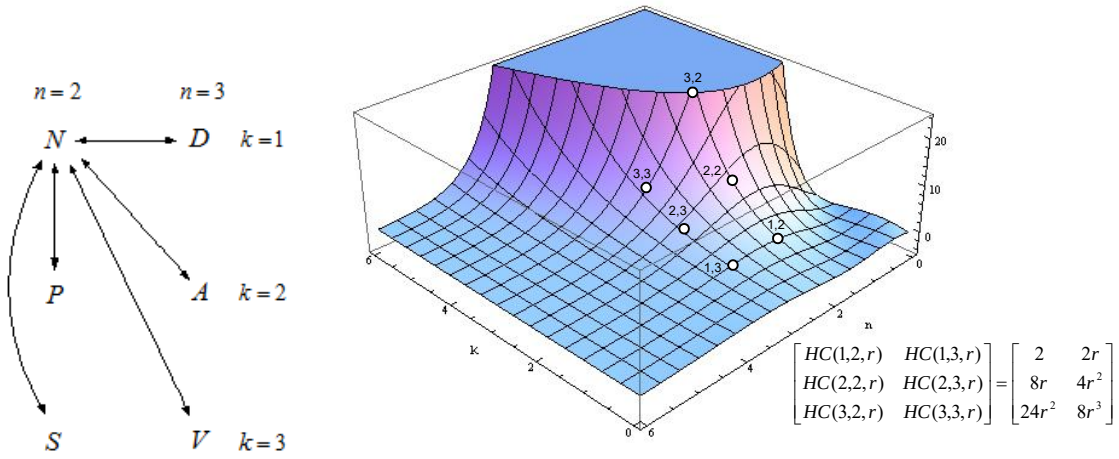
Ortogonalne funkcije po stepenu slobode *k* i *n* mogu se predstaviti u sledećim oblicima:



Slika 3: Hiperkubna funkcija i njena funkcija izvoda sa lokacijom maksimuma HC i optimuma stepena slobode $n_0 \approx 0{,}46163$ (u domenu $n \in \Re$), za stepen slobode $k = 3$ (u domenu $k \in \Re$), uz jediničnu poluivicu

3. TRODIMENZIONALNI GRAFICI HIPERKUBNE FUNKCIJE

Odnos tačke i realnih kubnih primitiva: Tačka je jedan matematički pojam koji sa epistemiološkog stanovišta ima određeno teorijsko i praktično značenje. Ovde tačka predstavlja solid-kocku kojoj su oduzeta dva stepena slobode tipa k i jedan tipa n. Naravno da se tačka može da definiše i na drugi način, što nije analizirano u prethodnim postupcima. Ovde se ove relacije posebno razmatraju, a za to su razvijeni specifični operatori. Na bazi rekurentnog operatora $\lambda(\Delta k, \Delta n, 0)$, mogu da se predstave sve rekurentne relacije između pet ključnih geometrijskih entiteta (dati na sledećoj slici). Ti entiteti su: N -tačka, D -ivica, P -obim kvadrata, A -kvadrat, S -površina i V -zapremina kocke. Pored grafovskog, prezentacija ovih entiteta može da bude i grafička, kao na *sl. 4.*



Slika 4: Kubični entiteti i orijentisani graf njihovih međusobnih veza sa tačkom N (node). Pozicije kubnih entiteta na 3D grafiku HC funkcije za $r = 1$

Na osnovu uspostavljenog grafa, formiraju se sve moguće relacije. Njih ima ukupno dvadesetdve i neke od njih su predstavljene sledećom tabelom.

Tabela 3: Odnosi između čvorova orijentisanog grafa

$D \to A$	$D \to V$	$D \to N$	$D \to S$	$N \to S$	$P \to A$	$N \to V$	$A \to S$	$A \to V$	$S \to V$
$A \to D$	$V \to D$	$N \to D$	$S \to D$	$S \to N$	$A \to P$	$V \to N$	$S \to A$	$V \to A$	$V \to S$

4. ZAKLJUČAK

Kada se dobiju HC funkcije m-og izvoda uočava se izvesna zakonitost rasporeda koeficijenata uz poligame funkcije. Uopšteno, hiperkubne funkcija m-tog izvoda po argumentu n se može definisati na bazi proizvoda poligama (*psi*) polinoma m -tog stepena i hiperkubne funkcije. Njena opšta forma je sledeća

$$chm(k,n,1) = \frac{\partial^m}{\partial n^m} HC(k,n,r) = HC(k,n,r) \cdot f^m\left\{\psi_{(m-1)}(k+n-2), r\right\}. \quad (14)$$

Razmatrana analiza višedimenzionalnog objekta-hiper kocke i formula ove geometrije navodi na zaključak o njegovoj složenosti i veze sa specijalnim funkcijama i ostalim oblastima geometrije. Posebne pitanja koja za koje u radu nisu dati odgovori odnose se na racionalne i opšte forme izvoda po dva stepena slobode, dok je opšti izvod (-) / integral (+) po argumentu r nađen [12] i iznosi.

$$\frac{\partial^{\pm m}}{\partial r^{\pm m}} HC(k,n,r) = \frac{2^k r^{k+n\mp m-3}\Gamma(k+1)}{\Gamma(k+n\mp m-2)}. \quad (15)$$

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva obrazovanje, nauke i tehnološki razvoj Republike Srbije u okviru projekta TR32044 “Razvoj softverskih alata za analizu i poboljšanje poslovnih procesa”, 2011-2019.

LITERATURA

[1] Bowen, J. P.: *Hypercubes*, Practical Computing 5 (4): pp. 97–99, April, 1982.
[2] Conway, J. H.: *Sphere packing, lattices and groups*, 2nd ed. New York: Springer-Verlag, p. 9, 1993.
[3] Coxeter, H. S. M.: *Regular polytopes*, 3rd ed, New York: Dover, 1973.
[4] Dewdney, A. K.: *Computer a program for rotating for hypercubes indices four-dimensional dementia*, *Sci. Amer*. 254, 14-23, Mar. 1986.
[6] Hinton, C. H.: *The fourth dimenzion*, Pomeroy, WA: Health Research, 1993.
[7] Hocking, J. G., Young, G. S.: *Topology*, New York: Dover, 1988.
[8] Fink, J.: *Perfect matchings extend to Hamiltonian cycles in hypercubes*, Journal of Combinatorial Theory, Series B 97: p: 1074–1076, 2007.
[9] Gardner, M.: *Hypercubes*, Ch. 4 in Mathematical Carnival: A New Round-Up of Tantalizers and Puzzles from Scientific, New York: Vintage Books, pp. 41-54, 1977.
[10] Gomez, A. P., Hougen, F. S.: *Genetic Algorithms for Hunting Snakes in Hypercubes: Fitness Function Analysis and Open Questions*, Seventh ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing (SNPD'06), ISBN: 0-7695-2611-X, 2006.
[11] Harary, F., Hayes, P. J., Wu, H-J.: *A survey of the theory of hypercube graphs*, Computers & Mathematics with Applications Volume 15, Issue 4, p: 277-289, 1988.
[12] Letić, D., Cakić, N., Davidović, B., and Berković, I. and Desnica E., *Some Certain Properties of the Generalized Hypercubical Functions*, Advances in Difference Equations, Accepted December 2011, Journal Hindawi, Springer, (2012), pages 14
[13] Letić, D.,Cakić, N. *Srinivasa Ramanujan, The Prince of Numbers*, Computer Library, (ISBN 976-86-7310-452-2), Belgrade, 2010.
[14] Manning, H.: *Geometry of fourth dimension*, New York: Dover, 1956.
[15] Maunder, C. R. F.: *Algebraic Topology*, New York: Dover, 1997.
[16] Mills, W. H.: *Some complete cycles on the n-cube*, Proceedings of the American Mathematical Society 14: 640–643, 1963.
[17] Neville, E. H.: *The Fourth Dimension*, Cambridge, England: Cambridge University Press, 1921.
[18] Ruskey, F., Savage, C.: *Matchings extend to Hamiltonian cycles in hypercubes,* on Open Problem Garden. 2007.
[19] Sloane, A. J. N: *Sequences A000079/M1129, A001787/M3444, A001788/M4161, A001789/M4522, and A091159* in "The On-Line Encyclopedia of Integer Sequences."

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.
UNIVERZITET U BEOGRADU FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

SISTEM ZA ALGORITAMSKO TRGOVANJE ZASNOVAN NA FAZI KONTROLERU

AN ALGORITHMIC TRADING SYSTEM BASED ON FUZZY CONTROLER

VLADIMIR RAJIĆ[1], NATALIJA JOVANOVIĆ[2], PAVLE MILOŠEVIĆ[3], ALEKSANDAR RAKIĆEVIĆ[4], BRATISLAV PETROVIĆ[5]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, vladimir.rajic95@gmail.com
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, natalijajov94@gmail.com
[3] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, pavle.milosevic@fon.bg.ac.rs
[4] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, aleksandar.rakicevic@fon.bg.ac.rs
[5] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, bratislav.petrovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Fazi logika omogućava izgradnju sistema koji oponašaju ljudsko zaključivanje, zbog čega je našla primenu u mnogim oblastima. Jedna od njih je u oblasti algoritamskog trgovanja. U ovom radu, predložen je sistem za algoritamsko trgovanje na bazi fazi kontrolera. Fazi kontroler predstavlja centralnu komponentu sistema koja opisuje strategiju za trgovanje korišćenjem fazi pravilima zaključivanja. Kao ulazne promenljive koriste se indikatori tehničke analize, na osnovu kojih kontroler (strategija) donosi investicionu odluku. Predloženi sistem je testiran sa različitim vrednostima parametara nad akcijama izabranih američkih kompanija iz S&P 500 tržišnog indeksa.*

Ključne reči: *fazi logika, fazi kontroler, sistem za algoritamsko trgovanje, strategija za trgovanje, tehnička analiza.*

Abstract: *Fuzzy logic enables construction of systems that resembles human reasoning, and for this reason it has been applied in many different areas. One possible application is for algorithmic trading. In this paper, the algorithmic trading system based on fuzzy controller is proposed. The fuzzy controller is a central component of the system, that describes the trading strategy using fuzzy inference rules. Techincal analysis indicators are used as input variables for fuzzy contoller (strategy) to make an investment decision. The proposed system was tested with different values of parameters on the selected US equities from the S&P 500 market index.*

Keywords: *fuzzy logic, fuzzy controller, algorithmic trading system, trading strategy, technical analysis.*

1. UVOD

Berzanska tržišta karakterišu kompleksnost i dinamičnost – veliki broj učesnika (agenata) sa asimetričnim informacijama, različitim mehanizmima vrednovanja i vremenskim okvirima posmatranja (minutni, satni, dnevni, nedeljni, mesečni itd.). Iako se na prvi pogled čini da je tržišna cena akcije rezultat slučajnog procesa, ona predstavlja rezultat tržišnog mehanizma koji apsorbuje (ugađuje u cenu) tržišne informacije. Dakle, cena je rezultat informacija koje dolaze sa tržišta. Zbog toga, mnogi autori pokušavaju, koristeći neke od tržištnih informacija, da naprave modele i sisteme koji bi mogli da predvide njeno kretanje i trguju na osnovu tih predviđanja – sisteme za algoritamsko trgovanje.

Od početka ovog veka primetan je porast interesovanja akademske zajednice za sisteme za algoritamsko trgovanje zasnovane na računarskoj inteligenciji. Postoji veliki broj primera sistema za algoritamsko trgovanje zasnovanih na neuronskim mrežama [7,9] i evolutivnim algoritmima [3,4]. Ovi sistemi ne koriste ekspertsko znanje za izgradnju modela, već isti formiraju na osnovu istorijskih podataka.

Ipak, najveći broj sistema za algoritamsko trgovanje zasnovan je na fazi logici. Fazi logika je u stanju da, na čoveku blizak način, matematički opiše ekspertsko znanje. Ona je pogodna za izgradnju sistema za trgovanje [8]. Najveći broj ovakvih sistema koristi Takagi-Sugeno-Kang (TSK) tip kontrolera [1,2,6], a manji broj Mamdanijev tip [8]. TSK kontroleri se mogu iskoristiti za izgradnju adaptivnih neuro-fazi sistema za trgovanje [5].

U izgradnji sistema za algoritamsko trgovanje, najčešće se kao ulazne promenljive koriste tehnički indikatori [1,2,4,5,8]. U značajno manjoj meri zastupljeni su sistemi zasnovani na fundamentalnim pokazateljima [9], kao i oni koji koriste kombinaciju više pristupa [6,7].

U ovom radu predstavljen je sistem za algoritamsko trgovanje zasnovan na fazi kontroleru tj. fazi kontroleru. Fazi kontroler koristi ekspertsko znanje izraženo kroz fazi pravila zaključivanja da procesuira ulazne vrednosti tehničkih indikatora, sa ciljem da proizvede signal za trgovanje na osnovu koga se donosi investiciona odluka (kupi, prodaj, ne radi ništa). Fazi skupovi i fazi logika su korišćeni kao tehnika pogodna da adekvatno modeluje ljudsko rezonovanje. Predloženi sistem testiranje nad akcijama izabranih američkih kompanija iz informatičkog sektora koje se nalaze u sastavu tržišnog indeksa *S&P 500*.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju su izložene teorijske osnove tehničke analize i fazi logike. U trećem poglavlju prikazana je arhitektura predloženog sistema i opisane njegove komponente. Posebna pažnja posvećena je opisu fazi kontrolera koji predstavlja centralnu komponentu sistema i definiše strategiju za trgovanje. U četvrtom poglavlju prikazani su rezultati optimizacije i testiranja predloženog sistema, dok su osnovni zaključci izneti u poslednjem poglavlju rada.

2. TEORIJSKE OSNOVE

U ovom delu rada izloženi su teorijski koncepti neophodni za razumevanje strukture i načina rada predloženog sistema za algoritamsko trgovanje. Najpre su objašnjeni korišćeni tehnički indikatori, a zatim i osnovni pojmovi fazi logike i kontrolera baziranih na njoj.

2.1. Tehnička analiza i indikatori

Tehnička analiza (eng. *technical analysis*, TA) je tehnika koja se koristi za analizu tržišta sa ciljem identifikacije obrazaca i mogućnosti za trgovanje na osnovu istorijskih podataka [11]. Osnovna pretpostavka TA je da će se istorija ponoviti, odnosno da se izučavanjem prošlih cena mogu doneti zaključci o budućnosti. TA se fokusira na grafikone kretanja cena i koristi različite analitičke alate kako bi procenila rast ili pad cene analiziranog finansijskog instrumenta. Tehnički indikatori (eng. Technical indicators) su najčešće korišćeni alati u tu svrhu. Fazi kontroler, koji će biti opisan u nastavku rada, koristi tri tehnička indikatora: razliku pokretnih proseka, stohastički oscilator i indeks relativne snage. Detaljna objašnjenja indikatora data su u Tabeli 1.

Tabela 1: Tehnički indikatori korišćeni u radu

Naziv	Formula	Objašnjenje
Razlika pokretnih proseka	$SMA_t(n) = \frac{\sum_{i=t-n+1}^{n} P_i}{n}$, $EMA_t(n) = \alpha \cdot P_t - (1-\alpha) \cdot EMA_{t-1}(n)$, gde su P_i cene tokom poslednjih n dana, t aktuelni vremenski trenutak, a α težinski parametar.	Pokretni prosek je jedan od najpopularnijih indikatora u tehničkoj analizi koji služi za određivanje pravca kretanja trenda. Prosti pokretni prosek (eng. *Simple Moving Average*, SMA) se računa kao prosečna vrednost cene u okviru fiksnog pokretnog prozora [10]. Eksponencijalni pokretni prosek (eng. *Exponential Moving Average*, EMA) skorijim cenama daje eksponencijalno veću težinu u okrivu pokretnog prozora. U ovom radu korišćena je razlika dva pokretna proseka, pri čemu je SMA korišćen da opiše dugoročni trend, a EMA kratkoročni.
Stohastički oscilator	$Stoch_t(n) = 100 \cdot \frac{C_t - L_t(n)}{H_t(n) - L_t(n)}$, gde je C_t cena na zatvaranju u trenutku posmatranja, a $L_t(n)$ i $H_t(n)$ najniža i najviša cena u trenutku t za poslednjih n dana.	Stohastički oscilator (eng. *Stochastic Oscillator*, Stoch) ima za cilj da odredi gde se trenutna cena nalazi u odnosu na cenovni opseg istorijskih cena. Vrednost ovog indikatora je dat u intervalu od 0 do 100. Smatra se je cena blizu „dna“ ukoliko je vrednost ovog indikatora niža od 20, odnosno blizu „vrha“ ukoliko je vrednost viša od 80 [10].
Indeks relativne snage	$RSI_t(n) = 100 - \frac{100}{1 + RS_t(n)}$, gde je RS_t odnos prosečnog dobitka i gubitka u trenutku t za poslednjih n dana.	Indeks relativne snage (eng. *Relative Strength Index,* RSI) pokušava da otkrije da li se tržište nalazi u stanju prekomerne ponude ili tražnje. On meri brzinu promene cene, a vrednost mu se kreće u intervalu od 0 do 100. Smatra se da je tržište u stanju prekomerne ponude ukoliko je vrednost RSI niža od 30, a da je u stanju prekomerne tražnje ukoliko je ona viša od 70 [10].

2.2. Fazi logika i fazi kontroler

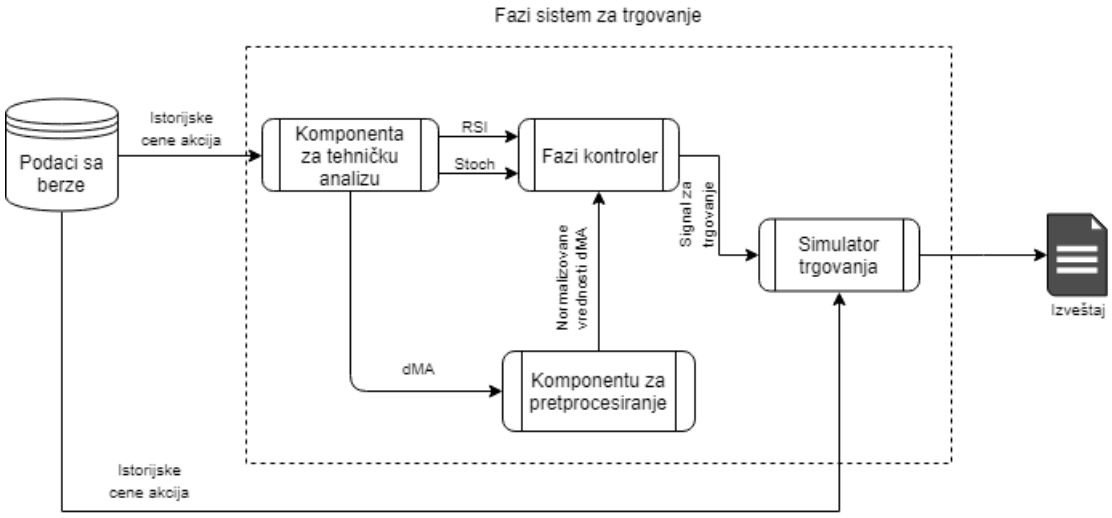
Fazi logika je oblik viševrednosne logike u kojoj istinitosna vrednost promenljive može biti bilo koji realni broj između 0 i 1 [12]. Operacije fazi konjunkcije i disjunkcije su realizovane pomoću različitih funkcija nazvanih *t*-norme i *t*-konorme. Lofti Zade, tvorac fazi logike, je za *t*-normu i *t*-konormu predložio operatore *min()* i *max()*, koji i danas predstavljaju polaznu osnovu u mnogim istraživanjima. Najčešće korišćen operator fazi negacije je $\overline{A} = 1 - A$.

Suštinski, fazi logika predstavlja generalizaciju klasične, dvovrednosne, logike razvijeno nad teorijom fazi skupova. Fazi skup je skup koji nema jasno definisane granice, tj. može sadržati elemente koji samo jednim svojim delom pripadaju njemu [12], gde se stepen pripadnosti određuje na osnovu funkcije pripadnosti (eng. *membership function*). Funkciju pripadnosti svaku tačku originalnog ulaza fazifikuje dodeljući joj određeni stepen pripadnosti, odnosno vrednost između 0 i 1.

Fazi kontroler, ili fazi sistem zaključivanja (eng. *fuzzy inference system*, FIS). FIS je ekspretski sistem koji povezuje ulaze i izlaze predstavljene u obliku fazi skupova pomoću mehanizma zasnovanog na „ako-onda“ pravilima u obliku viševrednosnih logičkih izraza. Fazi proces zaključivanja predstavlja mehanizam za donošenje odluka i sastoji se iz pet koraka: a) fazifikacija ulaza, b) primena fazi operatora, c) implikacija, odnosno preslikaanje ulaza u izlaz, d) agregacija fazi skupova sa ciljem dobijanja rešenja u obliku jednog fazi skupa, e) defazifikacija, odnosno izvlačenje jedinstvene numeričke vrednosti koja predstavlja konačno rešenje procesa.

3. PREDLOŽENI SISTEM ZA ALGORITAMSKO TRGOVANJE

U ovom poglavlju objašnjena je struktura predloženog fazi sistema za algoritamsko trgovanje. Sistem se sadrži iz sledećih redno vezanih komponenti (Slika 1): komponente za tehničku analizu, komponente za pretprocesiranje, fazi kontrolera i simulatora trgovanja.



Slika 1: Struktura sistema za algoritamsko trgovanje

U okviru prve komponente sistema izračunavaju se vrednosti tehničkih indikatora, na osnovu kojih je definisana strategija za trgovanje. Korišćeni su sledeći indikatori: razlika između eksponencijalnog i prostog pokretnog proseka, stohastičkog oscilatora i indeksa relativne snage. Detaljan opis ovih indikatora i njihove formule opisani su u okviru drugog poglavlja (Tabela 1).

U okviru komponente za pretprocesiranje podataka vrši se normalizacija vrednosti tehničkih indikatora. S obzirom da vrednosni opseg prvog tehničkog indikatora direktno zavisi od cenovnog opsega analizirane akcije, potrebno je izvršiti normalizaciju vrednosti kako bi se mogao konstruisati jedinstveni fazi kontroler za trgovanje. Za normalizaciju je korišćena sledeća funkcija:

$$dMA_{norm} = \frac{EMA - SMA}{SMA} \cdot 100 \quad (1)$$

Srž sistema čini fazi kontroler koji opisuje logiku trgovačke strategije. Koristeći normalizovane vrednosti tehničkih indikatora kao ulaze, fazi kontroler definiše investicione odluke (kupi, prodaj, ne radi ništa) i

prosleđuje ih narednoj komponenti sistema koja vrši simulaciju trgovanja nad istorijskim podacima. Detaljan opis fazi kontrolera biće dat u Poglavlju 3.1.

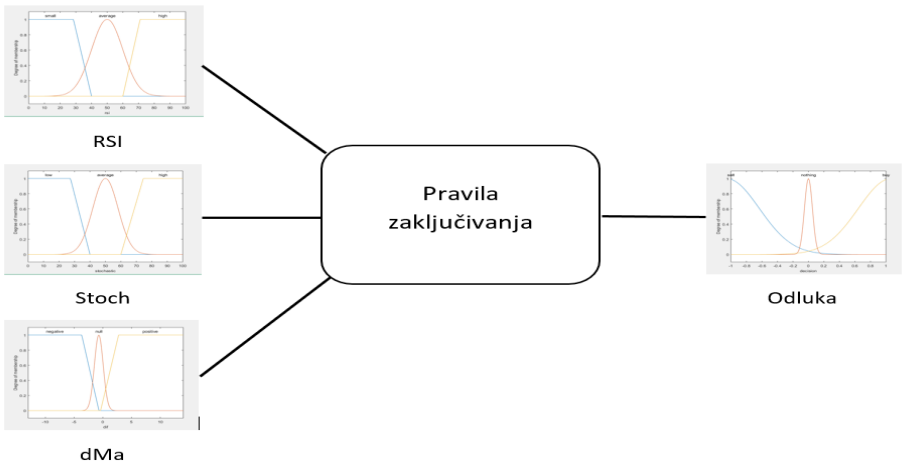
Komponenta za simulaciju trgovanja koristi dobijeni signal za trgovanje (iz fazi kontrolera) i na osnovu njega formira investicionu odluku, korišćenjem unapred definisanog praga. Dobijene investicione odluke (kupi, prodaj, ne radi ništa) se potom simuliraju nad istorijskim podacima, nakon čega se generiše izveštaj o uspešnosti (profitabilnosti) sistema.

3.1. Fazi kontroler

U okviru fazi kontrolera nalazi se logika strategije za trgovanje. Strategija je zasnovana na tri tehnička indikatora (ulazne promenljive) na osnovu kojih se izračunava signal za trgovanje tj. odluka (izlazna promenljiva). Logika strategije je definisana sledećim pravilima zaključivanja:

- Ukoliko je razlika eksponencijalnog i prostog pokretnog proseka cene pozitivna i ukoliko su vrednosti stohastičkog oscilatora i indeksa relativne snage visoke, onda se tržište nalazi u fazi prekomerne tražnje i potrebno je izvršiti prodaju akcija
  ***AKO** (RSI je visok) **I** (Stoch je visok) **I** (dMA je pozitivna) **ONDA** (Odluka je kupi)*
- Suprotno, ukoliko je razlika dva pokretna proseka negativna, i vrednosti stohastičkog oscilatora i indeksa relativne snage niske, onda je tržište u fazi prekomerne ponude i potrebno je izvršiti kupovinu akcija.
  ***AKO** (RSI je nizak) **I** (Stoch je nizak) **I** (dMA je negativna) **ONDA** (Odluka je prodaj)*
- U svim ostalim slučajevima, sistem ostaje pasivan – ne kupuje, niti prodaje.

Korišćeni fazi kontroler je tipa mamdani (Slika 2). Za logičke operatore konjunkcije (AND) i disjunkcije (OR) korišćene su funkcije *min* i *max*. Kao operator implikacije korišćena je funkcija *min*, a za agregaciju funkcija *sum*. Konačno, defazifikacija je vršena metodom centroida.



Slika 2: Predloženi fazi kontroler

Ulazne i izlazne promenljive predstavljene su sa po tri fazi skupa koja su opisana trapezoidnim i Gausovim funkcijama pripadnosti. Kod indikatora RSI, mali indeks snage (funkcija „small“) opisan je trapezoidnom funkcijom sa parametrima [0, 0, 30, 40], što znači da funkcija ima jediničnu pripadnost kada je RSI u od 0 do 30, nakon čega linearno opada dok RSI ne dostigne vrednost 40 (nulta pripadnost skupu “small”). Srednji indeks snage (funkcija „average“) opisan je Gausovom funkcijom sa parametrima [50, 10], koji predstavljaju srednju vrednost i standardnu devijaciju Gausove krive. Visok indeks snage (funkcija „high“) opisan je trapezoidnom funkcijom sa parametrima [60, 70, 100, 100]. Granice skupova definisane su ekspertski.

Na sličan način definisane su funkcije pripadanja i za indikator Stoch. Mali indeks snage (funkcija „small“) opsian je trapezoidnom funkcijom sa parametrima [0, 0, 30, 40]. Srednji indeks snage (funkcija „average“) opisan je Gausovom funkcijom sa parametrima [50, 10], dok je visok indeks snage (funkcija „high“) opisan je trapezoidnom funkcijom sa parametrima [60, 75, 100, 100]. Granice skupova definisane su ekspertski.

Za indikator razlike pokretnih proseka (dMA) granice funkcija pripadnosti definisane su primenom standardne devijacije nad istorijskim podacima o kretanju indikatora. Granice nulte vrednost razlike

(funkcija „null“) definisane su korišćenjem formule $\overline{dMA} \pm \sigma_{dMA}$, gde je $\overline{dMA}$ istorijska srednja vrednost indikatora, a σ_{dMA} istorijsko standardno odstupanje. Pozitivne vrednosti izvan ovog opsega definišu funkciju “positive”, a negativne funkciju „negative“.

Investiciona odluka, odnosno izlazna promenljiva, definisana je sa tri Gausove funkcije pripadnosti u vrednosnom opsegu od -1 do 1. Odluka o prodaji (funkcija „sell“) definisana je parametrima [-1, 0,42], a kupovna odluka (funkcija „buy“) parametrima [1, 0,42]. Funkcija koja se nalazi između prethodne dve funkcije („doNothing“) definisana je parametrima [0, 0,05] i opisuje neutralnu odluku – sistem ne kupuje, niti prodaje akcije.

4. SIMULACIONI REZULTATI

Predloženi fazi sistem testiran je nad istorijskim cenovnim podacima izabranih američkih kompanija iz S&P 500 indeksa (eng. *Standard & Poor 500 index*). Korišćeni su dnevni podaci o kretanju cene akcija sledećih kompanija AT&T, IBM, Amazon, Apple i Google. Analiziranim skupom podataka pokriven je vremenski period od 1994. do 2013. godine. Sve izabrane kompanije su svetski poznate kompanije iz informatičke industrije, a kao dodatni kriterijum za izbor kompanija korišćen je njihov istorijski trend kretanja cene. Da bi rezultati testranja sistema bili što realniji, pored onih sa stabilnim rastućim dugoročnim trendom, izabrane su i kompanije sa promenljivim istorijskim kretanjem cene akcija.

Za potrebe simulacije trgovanja pretpostavljeno je početno stanje novčanih sredstava u iznosu od 1.000.000 američkih dolara. U simulaciju su uključeni i potencijalni troškovi trgovanja u iznosu od 0,3% po transakciji. U Tabeli 2. prikazani su rezultati trgovanja za različite pragove signala za trgovanje, koji predstavlja granicu na osnovu koje sistem određuje da li će postupiti po predloženoj investicionoj.

Tabela 2: Rezultati trgovanja za različite pragove signala za trgovanje

Akcija	Prag signala za trgovanje	Profit ($)	Profit (%)	Broj transakcija
AT&T	0,2	$ 118.727	11,87%	1.857
	0,3	$ 355.904	35,59%	1.607
	0,4	$ 763.462	76,34%	1.224
	0,5	$ 694.518	69,45%	519
IBM	0,2	$ 187.241	18.72%	2278
	0,3	$ 357.755	35.78%	2019
	0,4	$ 1,956.469	195.65%	1640
	0,5	$-785.432	-78.54%	915
Amazon	0,2	$ -1.010.131	-101.01%	1925
	0,3	$ -2.142.895	-214.29%	1717
	0,4	$ -1.426.821	-142.68%	1370
	0,5	$ -1,001.617	-100.16%	686
Apple	0,2	$ -1.212.688	-121.27%	1859
	0,3	$ -1.102.636	-110.26%	1656
	0,4	$ -2.137.760	-213.78%	1327
	0,5	$ -1.000.741	-100.07%	923
Google	0,2	$ -916.282	-91.63%	1270
	0,3	$ -896.771	-89.68%	1163
	0,4	$ -881.709	-88.17%	995
	0,5	$ -624.636	-62.46%	608

Primetno je da je na prvi pogleda da je predloženi sistem za trgovanje beležio pozitivan profit na prve dve akcije (AT&T i IBM), dok je na ostale tri zabeležen gubitak. Najveći dobitci su zabeleženi za prag trgovanja 0,4, dok su rezultati kod gubitničkih strategija prilično ujednačeni.

Dobijene rezultate je potrebno staviti u kontekst kretanja cena u posmatranom periodu. Naime, akcije AT&T i IBM jesu rasle u periodu od 1994. do 2013. godine, ali je taj rast značajno slabiji od rasta ostalih akcije. Takođe, cena akcija AT&T i IBM je imala velike i nagle promene sredinom dvehiljaditih i naročito u periodu svetske ekonomske krize (posle 2008. godine). Cene ostale tri akcije (Amazon, Apple i Google) mahom imaju periode snažnog rasta cene. Turbulencije cene su značajno manjeg intenziteta i kraće traju. Na osnovu toga može se zaključiti da predloženi sistem za trgovanje zasnovan na FIS-u daje bolje rezultate na akcijama čije cene osciluju, dok se nije dobro pokazao na akcijama čije su cenom u snažnom trendu.

Treba napomenuti da je broj ostvarenih transakcija za dozvoljene pragove signala za trgovanje izuzetno velik. To svakako nije dobro u slučaju akcija čije su cene u jakom trendu, nad kojima se klasična „kupi i zadrži“ strategija (eng. *Buy&Hold*) pokazala kao izuzetno dobrom. Stoga, ideja za dalji rad je testiranje predloženog sistema za veće vrednosti praga signala za trgovanje, sa idejom da se prepoznaju samo najizvesnije prilike za profit i da se tada izvrše transakcije. Takođe, drugi pravac rada je „fina“ optimizacija praga za trgovanje, pošto predstavljeni rezultati daju samo grubu sliku o performansama predloženog sistema

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu ilustrovana je upotreba fazi logike u okviru sistema za algoritamsko trgovanje. Razlog upotrebe fazi logike u ovu svrhu jeste činjenica da ona na izuzetno jednostavan način dobro opisuje ljudsko razmišljanje. Samim time, ona je podesna za modelovanje predloga trgovačkih odluka na osnovu podataka sa tržišta. Naime, odabrani tehnički indikatori su fazifikovani i njihove vrednosti su obrađene na osnovu ekspertskih pravila, Rezultat fazi kontrolera predstavlja signal da li u datom momentu treba izvršiti određenu transakciju ili ne. Predloženi sistem je testiran za različite pragove signala za trgovanje na skupu izabranih američkih kompanija iz S&P 500 indeksa. Dobijeni rezultati, iako su obećavajući, otvaraju čitav spektar ideja i mogućnosti za dalji rad, koji se pre svega svode na proširenje intervala za optimizaciju parametra, kao i „finiju“ optimizaciju praga za trgovanje.

LITERATURA

[1] Chang, P. C., Wu, J. L., & Lin, J. J. (2016). A Takagi–Sugeno fuzzy model combined with a support vector regression for stock trading forecasting. Applied Soft Computing, 38, 831-842.

[2] Esfahanipour, A., & Aghamiri, W. (2010). Adapted neuro-fuzzy inference system on indirect approach TSK fuzzy rule base for stock market analysis. Expert Systems with Applications, 37(7), 4742-4748.

[3] Hu, Y., Liu, K., Zhang, X., Su, L., Ngai, E. W. T., & Liu, M. (2015). Application of evolutionary computation for rule discovery in stock algorithmic trading: A literature review. Applied Soft Computing, 36, 534-551.

[4] Jovanović, P., Rakićević, A., & Petrović, B. (2016). Application of genetic algorithm in automated trading. In O. Jaško & S. Marinković (Eds.), Proceedings of the XV International Symposium SymOrg 2016: Reshaping the Future through Sustainable Business Development and Entrepreneuship, Zlatibor (Serbia), June 10-13, 2016 (pp. 626-634). Faculty of Organizational Sciences, Belgrade.

[5] Kablan, A. (2009). Adaptive neuro-fuzzy inference system for financial trading using intraday seasonality observation model. World Academy of Science, Engineering and Technology, 58(2009), 479-488.

[6] Lincy, G. R. M., & John, C. J. (2016). A multiple fuzzy inference systems framework for daily stock trading with application to NASDAQ stock exchange. Expert Systems with Applications: An International Journal, 44(C), 13-21.

[7] Milekić, M., Rakićević, A., & Milošević, P. (2018). Neural networks in market sentiment analysis for automated trading: The case of Bitcoin. In N. Žarkić-Joksimović, & S. Marinković (Ed.), XVI International Symposium SymOrg 2018 – Doing Business in the Digital Age: Challenges, Approaches and Solutions (pp. 305-312). Zlatibor, 07-10 June 2018: University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences.

[8] Naranjo, R., Meco, A., Arroyo, J., & Santos, M. (2015). An intelligent trading system with fuzzy rules and fuzzy capital management. International Journal of Intelligent Systems, 30(8), 963-983.

[9] Rakićević, A., Milovanović, A., & Aničić, R. (2016). An application of neural networks and fundamental analysis for automated trading: Belgrade stock exchange case. In O. Jaško & S. Marinković (Eds.), Proceedings of the XV International Symposium SymOrg 2016: Reshaping the Future through Sustainable Business Development and Entrepreneuship, Zlatibor (Serbia), June 10-13, 2016 (pp. 626-634). Faculty of Organizational Sciences, Belgrade.

[10] Rosillo, R., De la Fuente, D., & Brugos, J. A. L. (2013). Technical analysis and the Spanish stock exchange: testing the RSI, MACD, momentum and stochastic rules using Spanish market companies. Applied Economics, 45(12), 1541-1550.

[11] Taylor, M. P., & Allen, H. (1992). The use of technical analysis in the foreign exchange market. Journal of International Money and Finance, 11(3), 304-314.

[12] Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8(3), 338-353.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.
UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

ZATVARANJE TRANSPORTNOG PROBLEMA U POTPUNO INTUICIONOM FAZI OKRUŽENJU
TRANSFORMATION THAT BALANCES A TRANSPORTATION PROBLEM IN FULLY INTUITIONISTIC FUZZY ENVIRONMENT

BOGDANA STANOJEVIĆ[1], MILAN STANOJEVIĆ[2]

[1] Matematički institut SANU, Kneza Mihaila 36, Beograd, Srbija, bgdnpop@mi.sanu.ac.rs

[2] Fakultet organizacionih nauka, Jove Ilića 154, Beograd, Srbija, milan.stanojevic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U novijoj literaturi se može naći širok spektar pristupa rešavanju transportnih problema u fazi okruženju. Prema saznanju autora, u tim radovima se polazi od zatvorenog transportnog problema i date su samo kratke naznake o tome da transportni problem koji nije zatvoren, treba zatvoriti. U fazi okruženju, zatvaranje transportnog problema nije trivijalno kao u klasičnom slučaju zato što fazi oduzimanje nije inverzna operacija fazi sabiranju. U ovom radu je prikazan način zatvaranja jedne klase potpuno intuicionog fazi transportnog problema, u kome su upravljačke promenljive, ponuda i potražnja zadati kao trapezoidni intuicioni fazi brojevi.*

Ključne reči: *transportni problem, intuicioni fazi broj*

Abstract: *A wide variety of solution approaches to transportation problems in fuzzy environment are proposed in the recent literature. As far as we know only balanced transportation problems were addressed, and only brief clues on the need to transform unbalanced problems were given. In fuzzy environment the transformation of unbalanced problems to balanced ones is not trivial as in classic environment for the simple reason that the well-known fuzzy subtraction is not an inverse operation to the fuzzy addition. In this paper, we provide a way to balance a fully intuitionistic fuzzy transportation problem, i.e. a transportation problem with decision variables, supplies and demands represented by trapezoidal intuitionistic fuzzy numbers.*

Key words: *transportation problem, intuitionistic fuzzy number*

1. UVOD

Optimizacioni problemi u fazi okruženju su široko izučavani u novijoj naučnoj literaturi (videti na primer [1, 2, 3]). Inspirisani radom [1] u kome je prikazan nov pristup rešavanju zatvorenog transportnog problema sa svim koeficijentima i upravljačkim promenljivim izraženim intuicionim fazi brojevima, mi uvodimo postupak za zatvaranje transportnog problema koji koristi intuicione fazi brojeve i za fiktivnu ponudu i za fiktivnu potražnju.

Ostatak rada je organizovan na sledeći način: u drugoj glavi je dat pregled nekih osnovnih koncepata teorije intuicionih fazi skupova korišćenih u daljem tekstu. U glavi 3 su prikazani problemi na koje se nailazi prilikom zatvaranja transportnog problema u potpuno intuicionom fazi okruženju, dok je u glavi 4 prikazan naš novi algoritam koji rešava ove probleme. U glavi 5 dat je ilustrativni numerički primer, a u glavi 6 su dati zaključci i ideje za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

2. TERMINOLOGIJA

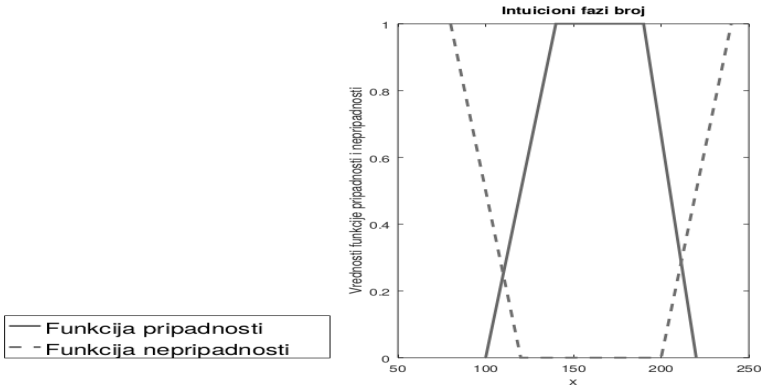
U ovoj glavi uvodimo neke osnovne koncepte i notaciju za intuicione fazi brojeve, koji su korišćeni dalje u tekstu. Sve definicije su usvojene iz [1].

► Definicija 1. Neka X označava univerzalni skup. Fazi skup $\tilde{A}$ nad X je definisan skupom uređenih parova $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \,|x \in X\}$ gde $\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$ predstavlja stepen pripadnosti x u $\tilde{A}$ i naziva se funkcija pripadnosti skupa $\tilde{A}$.

► Definicija 2. Intuicioni fazi skup $\tilde{A}^I$ nad X je definisan skupom uređenih trojki $\tilde{A}^I = \{(x, \mu_{\tilde{A}^I}(x), \nu_{\tilde{A}^I}(x)) \,|x \in X\}$ gde funkcije $\mu_{\tilde{A}^I} : X \to [0,1]$ i $\nu_{\tilde{A}^I} : X \to [0,1]$ respektivno predstavljaju stepen pripadnosti i stepen nepripadnosti x u $\tilde{A}^I$ i za svaki element $x \in X$ važi $0 \leq \mu_{\tilde{A}^I}(x) + \nu_{\tilde{A}^I}(x) \leq 1$.

► Definicija 3. Intuicioni fazi skup $\tilde{A}^I = \{(x, \mu_{\tilde{A}^I}(x), \nu_{\tilde{A}^I}(x)) \,|x \in X\}$ je normalan ako za bilo koje $x_0 \in X$ važi $\mu_{\tilde{A}^I}(x_0) = 1$ (konsekventno $\nu_{\tilde{A}^I}(x_0) = 0$).

Slika 1 Grafička prezentacija funkcija pripadnosti i nepripadnosti trapezoidnog intuicionog fazi broja $(a_1,a_2,a_3,a_4;a_1',a_2',a_3',a_4')$.



► Definicija 4. Intuicioni fazi skup $\tilde{A}^I = \{(x,\mu_{\tilde{A}^I}(x),\nu_{\tilde{A}^I}(x))\,|x\in X\}$ je konveksan ako je njegova funkcija pripadnosti kvazi-konveksna, tj.

$$\forall x_1,x_2\in X,\forall\lambda\in[0,1],\mu_{\tilde{A}^I}(\lambda x_1+(1-\lambda)x_2)\geq\min\{\mu_{\tilde{A}^I}(x_1),\mu_{\tilde{A}^I}(x_2)\}$$

i ako je njegova funkcija nepripadnosti kvazi-konkavna, tj.

$$\forall x_1,x_2\in X,\forall\lambda\in[0,1],\nu_{\tilde{A}^I}(\lambda x_1+(1-\lambda)x_2)\leq\max\{\nu_{\tilde{A}^I}(x_1),\nu_{\tilde{A}^I}(x_2)\}.$$

► Definicija 5. Intuicioni fazi skup $\tilde{A}^I = \{(x,\mu_{\tilde{A}^I}(x),\nu_{\tilde{A}^I}(x))\,|x\in R\}$ nad skupom realnih brojeva R se naziva intuicioni fazi broj (IFB) ako:

1. $\tilde{A}^I$ je normalan i konveksan,
2. $\mu_{\tilde{A}^I}$ je poluneprekidna odozgo, i $\nu_{\tilde{A}^I}$ je poluneprekidna odozdo,
3. $Support\left(\tilde{A}^I\right)=\{x\in R|\nu_{\tilde{A}^I}(x)<1\}$ je ograničen.

► Definicija 6. Trapezoidni intuicioni fazi broj (TIFB) $\tilde{A}^I=(a_1,a_2,a_3,a_4;a_1',a_2',a_3',a_4')$ je poseban IFB sa sledećim funkcijama pripadnosti i nepripadnosti:

$$\mu_{\tilde{A}^I}(x)=\begin{cases}\dfrac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1\leq x<a_2,\\ 1, & a_2\leq x<a_3,\\ \dfrac{a_4-x}{a_3-a_4}, & a_3\leq x<a_4,\\ 0, & \text{u suprotnom,}\end{cases}\qquad \nu_{\tilde{A}^I}=\begin{cases}\dfrac{a_1'-x}{a_2'-a_1'}, & a_1'\leq x<a_2',\\ 0, & a_2'\leq x<a_3',\\ \dfrac{x-a_4'}{a_3'-a_4'}, & a_3'\leq x<a_4',\\ 1, & \text{u suprotnom,}\end{cases}$$

gde važi $a_1'\leq a_1\leq a_2'\leq a_2\leq a_3\leq a_3'\leq a_4\leq a_4'$ (videti sliku 1).

► Definicija 7. Neka su data dva TIFB $\tilde{A}^I=(a_1,a_2,a_3,a_4;a_1',a_2',a_3',a_4')$ i $\tilde{B}^I=(b_1,b_2,b_3,b_4;b_1',b_2',b_3',b_4')$. Aritmetičke operacije sabiranja i oduzimanja $\tilde{A}^I$ i $\tilde{B}^I$ su definisane na sledeći način:

1. $\tilde{A}^I+\tilde{B}^I=(a_1+b_1,a_2+b_2,a_3+b_3,a_4+b_4;a_1'+b_1',a_2'+b_2',a_3'+b_3',a_4'+b_4')$,
2. $\tilde{A}^I-\tilde{B}^I=(a_1-b_4,a_2-b_3,a_3-b_2,a_4-b_1;a_1'-b_4',a_2'-b_3',a_3'-b_2',a_4'-b_1')$,

Da bi izbegli nepotrebnu dodatnu notaciju, u radu se koriste uobičajeni simboli za sabiranje i oduzimanje, iako se odnose na intuicione fazi brojeve.

► Definicija 8. Dva TIFB $\tilde{A}^I=(a_1,a_2,a_3,a_4;a_1',a_2',a_3',a_4')$ i $\tilde{B}^I=(b_1,b_2,b_3,b_4;b_1',b_2',b_3',b_4')$ su jednaka, tj. $\tilde{A}^I=\tilde{B}^I$ ako i samo ako $a_1=b_1$, $a_2=b_2$, $a_3=b_3$, $a_4=b_4$, $a_1'=b_1'$, $a_2'=b_2'$, $a_3'=b_3'$, $a_4'=b_4'$.

► Definicija 9. TIFB $\tilde{A}^I=(a_1,a_2,a_3,a_4;a_1',a_2',a_3',a_4')$ je nenegativan ako i samo ako $a_1'\geq 0$.

3. FORMULACIJA PROBLEMA

Optimizacija transporta homogenog proizvoda iz m lokacija snabdevanja (ishodišta) do n lokacija potražnje (odredišta) se naziva transportni problem (TP). U svakom ishodištu se nalazi ograničena količina $((a_i)_{i=1,\ldots,m})$ proizvoda, a u svakom odredištu postoji potražnja za određenom količinom proizvoda $((b_j)_{j=1,\ldots,n})$. Transport je moguć isključivo direktno od određenog ishodišta do određenog odredišta. Uobičajeno je u TP da je cilj minimizacija ukupnih troškova transporta. Funkcija cilja može biti bilo linearna ili nelinearna.

Standardni matematički model TP koji odgovara tzv. zatvorenom TP, tj. TP kod koga je ukupna količina robe u ishodištima $\alpha = \sum_{i=1}^{m} a_i$ jednaka ukupnoj količini robe koja se potražuje u odredištima $\beta = \sum_{j=1}^{n} b_j$, je:

$$\begin{aligned} &\min \quad f(x) \\ &\text{p.o.} \\ &\qquad \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i, \quad i = 1,\ldots,m, \\ &\qquad \sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j, \quad j = 1,\ldots,n, \\ &\qquad x_{ij} \geq 0 \qquad\quad i = 1,\ldots,m, j = 1,\ldots,n. \end{aligned} \tag{1}$$

gde je x_{ij} količina robe koju treba transportovati iz i-tog ishodišta do j-tog odredišta.

Otvoreni TP (kada je $\alpha \neq \beta$) se transformiše u zatvoreni, uvođenjem fiktivnog ishodišta (kada je $\alpha < \beta$) ili fiktivnog odredišta (kada je $\alpha > \beta$), čime se otvoreni TP transformiše u zatvoreni TP, odnosno kažemo da se TP zatvara. U prvom slučaju, „raspoloživa količina robe" u fiktivnom ishodištu treba da „zadovolji" višak potražnje $(\beta - \alpha)$, dok u drugom, fiktivno odredište treba da „primi" višak ponude $(\alpha - \beta)$. Nova promenljiva $x_{m+1,j}$ koja odgovara fiktivnom ishodištu predstavlja količinu robe koja nedostaje u j-om odredištu, $j = 1,\ldots,n$, a nova promenljiva $x_{i,n+1}$ koja odgovara fiktivnom odredištu prestavlja količinu robe koja preostaje u i-tom ishodištu, $i = 1,\ldots,m$.

3.1. TRANSPORTNI PROBLEM U POTPUNO INTUICIONOM FAZI OKRUŽENJU (PIF-TP)

U potpuno intuicionom fazi optimizacionom problemu, i parametri i promenljive su predstavljene pomoću IFB koji su izraženi svojim funkcijama pripadnosti i nepripadnosti, kako je opisano definicijom 6. Da bi olakšali opis i interpretaciju postupka, u ovom radu koristimo trapezoidne brojeve za parametre i promenljive problema.

Posmatrajmo zatvoreni potpuno intuicioni fazi transportni problem

$$\begin{aligned} &\min \quad f(\widetilde{x}) \\ &\text{p.o.} \\ &\qquad \sum_{j=1}^{n} \widetilde{x}_{ij} = \widetilde{a}_i, \quad i = 1,\ldots,m, \\ &\qquad \sum_{i=1}^{m} \widetilde{x}_{ij} = \widetilde{b}_j, \quad j = 1,\ldots,n, \\ &\qquad \widetilde{x}_{ij} \geq \widetilde{0} \qquad\quad i = 1,\ldots,m, j = 1,\ldots,n. \end{aligned} \tag{2}$$

Možemo pretpostaviti da su sve promenljive i svi parametri problema (2) koji predstavljaju količinu robe (x, a i b) nenegativni trapezoidni intuicioni fazi brojevi.

Kao i u slučaju realnih parametara i promenljivih, problem (2) će imati dopustiva rešenja ako i samo ako je ukupna ponuda $\sum_{i=1}^{m} \widetilde{a}_i$ jednaka ukupnoj potražnji $\sum_{j=1}^{n} \widetilde{b}_j$. U realnim problemima, TP je obično otvoren. Šta više, u fazi okruženju, može se desiti da ne postoji nenegativan intuicioni fazi broj $\widetilde{e}$ takav da važi bilo $\sum_{i=1}^{m} \widetilde{a}_i + \widetilde{e} = \sum_{j=1}^{n} \widetilde{b}_j$ ili $\sum_{i=1}^{m} \widetilde{a}_i = \sum_{j=1}^{n} \widetilde{b}_j + \widetilde{e}$. U takvim slučajevima moramo uvesti i fiktivno ishodište (s indeksom $m+1$) i fiktivno odredište (s indeksom $n+1$) u model da bismo ga zatvorili. Zbog toga, u intuicionom fazi okruženju zatvaranje transportnog problema nije trivijalno kao u slučaju klasičnog TP.

U interpretaciji optimalnog rešenja, pozitivne vrednosti promenljivih $x_{m+1,j}$, $j \neq n+1$ predstavljaju nezadovoljenju potražnju ishodišta j, dok pozitivne vrednosti promenljivih $x_{i,n+1}$, $i \neq m+1$ predstavljaju neisporučenu ponudu ishodišta i. Vrednost promenljive $x_{m+1,n+1}$ nema interpretaciju, ali za sva dopustiva rešenja TP zatvorenog našim algoritam, obezbeđuje se da je $x_{m+1,n+1} = (0,0,0,0;0,0,0,0)$.

4. ZATVARANJE PIF-TP

Neka $\widetilde{g}$ i $\widetilde{h}$ označavaju intuicione fazi vrednosti $\sum_{i=1}^{m} \widetilde{a}_i$ i $\sum_{j=1}^{n} \widetilde{b}_j$ respektivno. Pretpostavimo da važi $\widetilde{g} \neq \widetilde{h}$. Imajući u vidu da u fazi okruženju oduzimanje nije inverzna operacija sabiranju (tj. $\widetilde{g} - \widetilde{h} = \widetilde{e} \not\Leftrightarrow \widetilde{g} = \widetilde{h} + \widetilde{e}$), postupak zatvaranja klasičnog TP se ne može primeniti po analogiji na PIF-TP.

U slučaju da su $\widetilde{g}$ i $\widetilde{h}$ takvi da $(g_i \leq h_i)_{i=1,\ldots,4} \wedge (g'_i \leq h'_i)_{i=1,\ldots,4}$, postoji intuicioni fazi broj

$$\widetilde{e} = \left((h_i - g_i)_{i=1,\ldots,4}; (h'_i - g'_i)_{i=1,\ldots,4} \right)$$

takav da važi jednakost $\widetilde{g} + \widetilde{e} = \widetilde{h}$. Tada, uvođenjem fiktivnog ishodišta i postavljanjem njegove ponude na $\widetilde{e}$, vršimo zatvaranje PIF-TP. Po analogiji, kada su $(h_i \leq g_i)_{i=1,\ldots,4} \wedge (h'_i \leq g'_i)_{i=1,\ldots,4}$, postoji intuicioni fazi broj

$$\widetilde{e} = \left((g_i - h_i)_{i=1,\ldots,4}; (g'_i - h'_i)_{i=1,\ldots,4} \right)$$

takav da jednakost $\widetilde{h} + \widetilde{e} = \widetilde{g}$ važi. Tada, uvođenjem fiktivnog odredišta sa potražnjom jednakom $\widetilde{e}$, ponovo zatvaramo PIF-TP. Treba napomenuti da se čak ni u ova dva posebna slučaja intuicioni fazi broj $\widetilde{e}$ ne dobija operacijom oduzimanja, tj. kao $\widetilde{h} - \widetilde{g}$ ili $\widetilde{g} - \widetilde{h}$. Kumar i Husain [3] ukratko spominju samo ovakav jednostavan način za zatvaranje PIF-TP koji važi samo u ova dva specijalna slučaja.

U opštem slučaju, polazeći od datih $\widetilde{g}$ i $\widetilde{h}$, korišćenjem procedure „Zatvaranje" opisane algoritmom 1, dobijaju se dva intuiciona fazi broja od kojih prvi predstavlja ponudu fiktivnog ishodišta, a drugi potražnju fiktivnog odredišta. Dodavanjem oba, i fiktivnog ishodišta i fiktivnog odredišta (i odgovarajućih promenljivih) polaznom problemu, PIF-TP se zatvara, tj. važi $\sum_{i=1}^{m+1} \widetilde{a}_i = \sum_{j=1}^{n+1} \widetilde{b}_j$.

Algoritam 1 Procedura „Zatvaranje"

Input: Otvoren PIF-TP.

1: Izračunati $\widetilde{g} = (g_1, g_2, g_3, g_4; g'_1, g'_2, g'_3, g'_4)$ i $\widetilde{h} = (h_1, h_2, h_3, h_4; h'_1, h'_2, h'_3, h'_4)$.
2: Sortirati komponente ulazih TIFB po neopadajućem redosledu, tj. konstruisati vektore $\Phi = (\varphi_i)_{i=1,\ldots,8} = (g'_1, g_1, g'_2, g_2, g_3, g'_3, g_4, g'_4)$ i $\Psi = (\psi_i)_{i=1,\ldots,8} = (h'_1, h_1, h'_2, h_2, h_3, h'_3, h_4, h'_4)$.
3: **for** $k = 1, \ldots, 8$ **do**
4: **if** $\varphi_k < \psi_k$ **then**
5: $\Gamma^k \leftarrow \left(0_{1\times(k-1)}, (\psi_k - \varphi_k) \cdot 1_{1\times(8-k+1)}\right)$
6: $\Delta^k \leftarrow 0_{1\times 8}$
7: **else**
8: $\Gamma^k \leftarrow 0_{1\times 8}$
9: $\Delta^k \leftarrow \left(0_{1\times(k-1)}, (\varphi_k - \psi_k) \cdot 1_{1\times(8-k+1)}\right)$
10: **end if**
11: $\Phi \leftarrow \Phi + \Gamma^k$
12: $\Psi \leftarrow \Psi + \Delta^k$
13: **end for**
14: Konstruisati vektore $Q = (q_i)_{i=1,\ldots,8} = \sum_{k=1}^{8} \Gamma^k$ i $R = (r_i)_{i=1,\ldots,8} = \sum_{k=1}^{8} \Delta^k$.
15: $\widetilde{a}_{m+1} = (q_2, q_4, q_5, q_7; q_1, q_3, q_6, q_8)$; $\widetilde{b}_{n+1} = (r_2, r_4, r_5, r_7; r_1, r_3, r_6, r_8)$.
16: Dodati fiktivno ishodište sa ponudom $\widetilde{a}_{m+1}$ i fiktivno odredište sa potražnjom $\widetilde{b}_{n+1}$ u inicijalni otvoren PIF-TP.

Output: Zatvoren PIF-TP.

Osnovna ideja našeg algoritma je u sledećem: Umesto TIBF $\widetilde{g}$ i $\widetilde{h}$, procedura „Zatvaranje" se obavlja korišćenjem njihovih sortiranih permutacija $\Phi = (\varphi_i)_{i=1,\ldots,8}$ i $\Psi = (\psi_i)_{i=1,\ldots,8}$ takvih da uvek važi $\varphi_i \leq \varphi_{i+1}$ i $\psi_i \leq \psi_{i+i}$, $i = 1,\ldots,7$, tj. $\Phi = (g'_1, g_1, g'_2, g_2, g_3, g'_3, g_4, g'_4)$ i $\Psi = (h'_1, h_1, h'_2, h_2, h_3, h'_3, h_4, h'_4)$. Da bi dobili dva ekvivalentna TIBF, potrebno je da su im svi elementi jednaki, tj. potrebno je da važi $\varphi_i = \psi_i \ \forall i = 1,\ldots,8$. Transformacija počinje poređenjem para φ_1 i ψ_1. Njihova razlika se dodaje manjem od njih, a da bi vektori ostali sortirani, ta razlika se dodaje i svim ostalim elementima vaktora čiji je prvi element manji. Kada izjednačimo prve elemente, prelazi se na druge (φ_2 i ψ_2). Njihova razlika se dodaje manjem elementu i svim elementima istog vektora koji ga slede. Isti postupak se ponavlja za sve elemente $i = 1,\ldots,8$. Vektori čiji elementi predstavljaju zbir svega što je dodato elementima polaznih vektora Φ i Ψ, predstavljaju sortiranu permutaciju fiktivne ponude $\widetilde{a}_{m+1}$ i fiktivne tražnje $\widetilde{b}_{n+1}$.

Obe vrednosti $\widetilde{a}_{m+1}$ i $\widetilde{b}_{n+1}$ dobijene procedurom „Zatvaranje" su najmanji nenegativni TIFB koji mogu se upotrebiti za zatvaranje polaznog otvorenog PIF-TP.

5. PRIMER

Tabela 1 Ponuda i potražnja otvorenog TP sa dva ishodišta i tri odredišta.

$\widetilde{a}_1$	60	80	110	120	50	70	110	130
$\widetilde{a}_2$	40	60	80	100	30	50	90	110
$\sum_{i=1}^{2} \widetilde{a}_i$	**100**	**140**	**190**	**220**	**80**	**120**	**200**	**240**
$\widetilde{b}_1$	30	50	70	90	20	40	80	100
$\widetilde{b}_2$	20	30	40	50	15	25	45	55
$\widetilde{b}_3$	50	60	70	80	45	55	75	85
$\sum_{j=1}^{3} \widetilde{b}_j$	**100**	**140**	**180**	**220**	**80**	**120**	**200**	**240**

Tabela 1 prikazuje ponudu i potražnju transportnog problema sa dva ishodišta i tri odredišta. Oni su izraženi kao trapezoidni intuicioni fazi brojevi. Ukupna ponuda i potražnja nisu jednaki, tako da je TP otvoren.

Iako se TIFB koji predstavljaju ove vrednosti razlikuju samo po jednoj komponenti, da bi se TP zatvorio neophodno je dodati i fiktivno ishodište i fiktivno odredište. Njihove karakteristike su prikazane u tabeli 2.

Tabela 2 Ponuda i potražnja zatvorenog TP iz tabele 1.

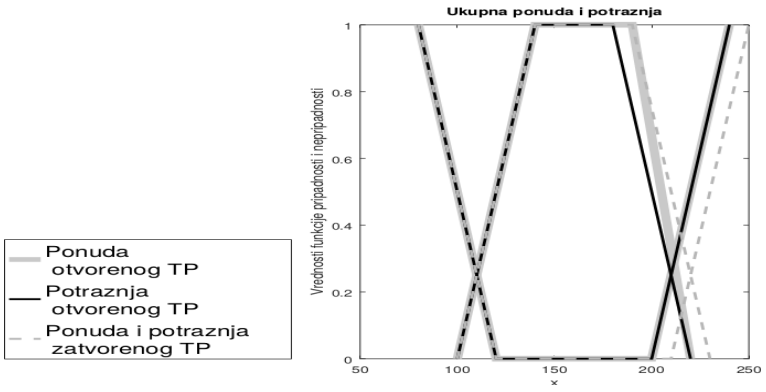
$\widetilde{a}_1$	60	80	110	120	50	70	110	130
$\widetilde{a}_2$	40	60	80	100	30	50	90	110
$\widetilde{a}_3$	0	0	0	10	0	0	10	10
$\sum_{i=1}^{3} \widetilde{a}_i$	**100**	**140**	**190**	**230**	**80**	**120**	**210**	**250**
$\widetilde{b}_1$	30	50	70	90	20	40	80	100
$\widetilde{b}_2$	20	30	40	50	15	25	45	55
$\widetilde{b}_3$	50	60	70	80	45	55	75	85
$\widetilde{b}_4$	0	0	10	10	0	0	10	10
$\sum_{j=1}^{4} \widetilde{b}_j$	**100**	**140**	**190**	**230**	**80**	**120**	**210**	**250**

Na slici 2 su prikazani TIFB koji predstavljaju ukupnu ponudu i ukupnu potražnju polaznog problema, kao i ove dve veličine nakon zatvaranja TP.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu smo prikazali metodu za zatvaranje potpuno intuicionog fazi transportnog problema, tj. TP u kome su sve količine transportovane robe prikazane trapezoidnim intuicionim fazi brojevima. U opštem slučaju, algoritam određuje iznos ponude za najviše jedno fiktivno ishodište i iznos potražnje za najviše jedno fiktivno odredište čime se obezbeđuje zatvaranje polaznog otvorenog PIF-TP.

Slika 2 Ukupna ponuda i potražnja pre i posle zatvaranja TP zadatih tabelom 1



Isti postupak je primenljiv i za neke druge TP kod kojih su količine robe koja se tansportuje neizvesne i kada se ove vrednosti mogu prikazati vektorima sa predefinisanim odnosom između komponenti (npr. intervali, trapezoidni fazi brojevi i sl.).

U našim budućim istraživanjima bavićemo se algoritmom za nalaženje optimalnog rešenja realnih transportnih problema u uslovima neizvesnosti, a procedura za zatvaranje PIF-TP će biti deo tog algoritma.

Napomena

Ovo istraživanje je delom podržano od strane Ministarstva obrazovanja i nauke Republike Srbije i deo je projekata TR36006 i TR32013.

LITERATURA

[**1**] Ebrahimnejad, A., Verdegay, J.L. (2018). A new approach for solving fully intuitionistic fuzzy transportation problems. Fuzzy Optim. Decis. Making 17(4), 447-474.

[**2**] Das, S.K., Mandal, T., Edalatpanah, S.A. (2017). A new approach for solving fully fuzzy linear fractional programming problems using the multi-objective linear programming RAIRO-Oper. Res., 51(1), 285-297.

[**3**] Kumar, P.S., Hussain, R.J. (2016). Computationally simple approach for solving fully intuitionistic fuzzy real life transportation problems, Int J Syst Assur Eng Manag 7(1), 90-101.

MANAGEMENT

MENADŽMENT

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

HAOTIČNI MODEL RASTA MONOPOLSKOG PROFITA I REKLAMIRANJE

THE CHAOTIC MONOPOLY PROFIT GROWTH MODEL AND ADVERTISING

VESNA JABLANOVIĆ

Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni faklutet, Beograd, vesnajab@ptt.rs

---

Rezime: *Osnovni cilj ovog rada je konstruisanje relativno jednostavnog modela rasta monopolskog profita koji ima mogućnost da generiše stabilnu ravnotežu, cikluse ili haos. Troškovi reklamiranja su uključeni u analizu. Faktori koji utiču na lokalnu stabilnost rasta monopolskog profita su: (i) elastičnost tražnje u odnosu na promene troškova reklamiranja; (ii) cenovna elastičnost tražnje; (iii) koeficijent funkcije ukupnih troškova monopola; (iv) koeficijent inverzne funkcije tražnje;i (v) koeficijent koji objašnjava relaciju izmedju outputa i profita koji je ostvaren u prethodnom periodu.*

Ključne reči: Monopol, profit, reklamiranje, haos

Abstract*: The basic aim of this paper is to construct a relatively simple chaotic monopoly profit growth model that is capable of generating stable equilibria, cycles, or chaos. The advertising expenditure is included in the analysis. Factors that affect local growth stability of the monopoly profit are: (i) the advertising elasticity of demand; (ii) the price elasticity of demand; (iii) the coefficient of the total cost function of the monopoly firm; (iv) the coefficient of the inverse demand function; and (v) the coefficient which explains the relation between output and the profit gained in the previous period.*

Keywords: *Monopoly, Profit, Advertising, Chaos*

1. INTRODUCTION

Advertising is any paid form of non-personal presentation and promotion of goods, services, or ideas by an identified sponsor [Kotler, 1999]. Advertising involves making decisions on five Ms: (i) Mission (the objectives of the advertisement); (ii) Money (how much can be spent); (iii) Message (what is the message to be sent to get the desired answer?); (iv) Media (what media should be used?) and (v) Measurement (what are the ways to measure advertising impact).

Why would a monopolist advertise? Monopolies needs to advertises for the following reasons : (i) to increase market share; (ii) to increase profits; (iii) to reduces costs. The profit maximizing advertising to sales ratio is equal in magnitudeto the ratio of the advertising and price elasticities of demand.

Chaos theory attempts to reveal structure in unpredictable dynamic systems. Deterministic chaos refers to irregular or chaotic motion that is generated by nonlinear systems evolving according to dynamical laws that uniquely determine the state of the system at all times from a knowledge of the system's previous history.

Chaos embodies three important principles: (i) extreme sensitivity to initial conditions; (ii) cause and effect are not proportional; and (iii) nonlinearity. Chaos theory states that small changes can result in large differences. Chaotic system is unpredictable. Namely, a slight difference, in the decimal place, resulted in prediction failure. Chaotic systems exhibit a sensitive dependence on initial conditions: seemingly insignificant changes in the initial conditions produce large differences in outcomes. This is very different from stable dynamic systems in which a small change in one variable produces a small and easily quantifiable systematic change.

Chaos theory started with Lorenz's [1963] discovery of complex dynamics arising from three nonlinear differential equations leading to turbulence in the weather system. Li and Yorke [1975] discovered that the simple logistic curve can exibit very complex behaviour. Further, May [1976] described chaos in population biology. Chaos theory has been applied in economics by Benhabib & Day [1981,1982], Day [1982, 1983], Grandmont [1985], Goodwin [1990], Medio [1993], Medio&Lines [2001] Lorenz [1993], Jablanovic [2011, 2013,2016], among many others.

The basic aim of this paper is to construct a relatively simple chaotic growth model of the monopoly profit that is capable of generating stable equilibria, cycles, or chaos. A rule of thumb for advertising is included in the analysis.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

COMPOSITE INDICATORS AS TOOLS TO EVALUATE TOURISM COMPETITIVENESS

VICTOR E. PÉREZ LEÓN[1], FLOR M. GUERRERO CASAS[1], RAFAEL CABALLERO[2]

[1]Department of Economics, Quantitative Methods and Economic History, University Pablo de Olavide, Seville, Spain veperleo@alumno.upo.es, fguecas@upo.es
[2]Department of Applied Economics (Mathematics), University of Málaga, Málaga, Spain. rafael.caballero@uma.es

Abstract:*This study presents different ways to measure tourism destination competitiveness by means of composite indicators. The use of different aggregation methods makes it possible to create rankings and offers considerable contributions to the decision making process. We use the combination of dissimilar algorithms such as DP_2 distance, Data Envelopment Analysis, Principal Component Analysis and Goal Programming to achieve these rankings and Borda Count to merge them into a single order to compare these destinations. Results shows different ways to measure competitiveness using the overall information contained in a set of initial indicators. In addition, it was demonstrated the feasibility of the proposed approaches to attain a rank similar to the Travel and Tourism Competitiveness Index with less information. The research was carried outin countries from Central America and The Caribbean Region.*

Keywords:*Composite Indicators, Principal Component Analysis, DP_2 distance, Data Envelopment Analysis, Goal Programming.*

1. INTRODUCTION

Theuseofcompositeindexeshasemergedinthefieldoftourismcompetitivenessmeasurement(de la Peña *et al.*, 2019; Gómez-Vega & Picazo-Tadeo, 2019).As a consequence, the most frequently used simple and composite indicators intourism are those referring to destination competitiveness(Mendola & Volo, 2017). Moreover, the methodological steps in their construction should be carefully developed(Mendola & Volo, 2017; Gómez-Vega & Picazo-Tadeo, 2019), including weights and aggregation process(Becker *et al.*, 2017).

The present study aims to propose new different methods to measure destinations competitiveness. They are building combining Principal Component Analysis (Mazziotta & Pareto, 2018)the DP_2 – distance(Somarriba Arechavala & Zarzosa Espina, 2019) Goal Programming (Blancas *et al.*, 2010)and Data Envelopment Analysis (González *et al.*, 2018). These methodologies has been previously used to create composite indicators within tourism(Blancas *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2017), and others fields aside from tourism(Díaz-Balteiro & Romero, 2004; Somarriba Arechavala & Zarzosa Espina, 2019). This demonstrates their ability to obtain reliable composite indicators.

Differing from previous studies, this research includes the achievement of a competitiveness ranking using three dissimilar methods and the study of their differences according to the weights and aggregation methodologies. Additionally, a meta-index is obtained by means of the Borda Count method allowing decision makers to achieve a global ranking representative of the overall competitiveness degree for the compared destinations. This is a novel approach in the achievement of meta-indexes, allowing us to take into account the strengths of the composite indicators while trying to reduce their weaknesses.

The study involves 17 destinations from Central America and The Caribbean, because of the importance for their economic development.

2. AGGREGATION PROCEDURES

2.1DP_2 composite index

This index was created by the modification of Ivanovic distance, adding the determinant coefficient to the weighting system (Pena, 1978; Somarriba Arechavala & Zarzosa Espina, 2019). In effect, the DP_2-Distance for a destination is defined as:

$$DP_2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\sigma_i}\left(1 - R^2_{i,i-1,i-2,\dots,1}\right) \; with \; R^2_1 = 0 \qquad (1)$$

For i= 1,…, n, d_i is the distance between the observed unit and the reference situation for the ith indicator and σi is the standard deviation of the ith indicator. The di dividing the standard deviation of each indicator eliminates the problems associated with the measurement units. $R^2_{i,i-1,i-2,\dots,1}$ is the determination coefficient

and the term 1- $R^2_{i,i-1,i-2,\ldots,1}$ is the correction factor that represents the variability percentage of the ith indicator that is not lineally explained for the previous i-1 indicators. In this way, the problem of information duplicity is solved because this coefficient eliminates the information contained in the ith indicator contributed in the i-1 indicators previously added. The weights represent the amount of new information added for each indicator included in the calculation process. Therefore, this index weights the differences between the indicators and their reference values for the percentage of new information that each indicator added to the global measure provides.

2.2 Composite Indicator using Data Envelopment Analysis

2.2.1 First Step: Distance-Principal Component Indicator (DPC)

This indicator combines PCA with the concept of distance to a reference point based onmulticriteria decision-making philosophy and is defined as follow:

$$DPC_i = \sum_{j=1}^{q}\left[VE_j\left(\sum_{k=1}^{p} IN_{ik}\,\left|Corr_{jk}\right|\right)\right] \quad (2)$$

for *i = 1, 2, . . ., n*, where *n* is the number of observations, *p* is the number of original indicators, *q* is the number of components selected, VE_j is the variance explained by the *j*th component, and $Corr_{jk}$ is the correlation between the *jth* component and the *k*th indicator. IN_{ik} is the normalized value of the *i*th observation in the *k*th indicator, which is needed to normalize the data such that the measuring units used for each indicator have no effect on the results. This procedure involves dividing the distance to the anti-ideal point by the difference between the maximum and the minimum value:

$$IN_{ik} = \frac{I_{ik} - Min}{Max - Min} \quad (3)$$

Where I_{ik} is the value of the *i*th observation in the *k*th indicator. We have taken the minimum value of each indicator as the reference point, bearing in mind that higher values indicate that the destination is assumed to be more sustainable. Thus, when measuring the distance to the minimum value, we obtain the distance to an anti-ideal point; when this distance is larger, the destination's sustainability is higher.

2.2.2 First Step: Goal Programming Synthetic Index (GPSI)

The GPSI is found from the procedure of Blancas et al. (2010), supported in Diaz-Balteiro and Romero (2004) considering a set of *m* initial indicators (I_j with *j*=1, 2,…, *m*), for *n* units (U_i, with *i*= 1, 2,…, *n*) where X_{ij} represents the value of the *i*th unit valued in the *j*th indicator with $1 \le i \le n$ and $1 \le i \le m$.

We differentiate between positive and negative indicators, depending on the improvement direction ("more is better" or "less is better"). The indicator is considered positive (I_{ij}^{+}) when a higher value represents an improvement in sustainability in the area. In contrast, the indicator is negative (I_{ik}^{-}) when a higher value represents deterioration in competitiveness. The proposed procedure requires us to identify the improvement direction of each indicator, but without the need to convert all of them into the same type, positive or negative. This facilitates the interpretation and management of the results, as no conversion is required.

Then we determine the aspiration levels for each indicator, $u_j^{+}$for the positive and u_k^{-} for the negative. Later we create the goals introducing the deviation variables to measure the difference between the indicator value and the aspiration level:

For positive indicator: $I_{ij}^{+} + n_{ij}^{+} - p_{ij}^{+} = u_j^{+}$ with $n_{ij}^{+}, p_{ij}^{+} \ge 0, n_{ij}^{+} \cdot p_{ij}^{+} = 0$ (4)

For negative indicator: $I_{ik}^{-} + n_{ik}^{-} - p_{ik}^{-} = u_k^{-}$with $n_{ik}^{-}, p_{ik}^{-} \ge 0,\ n_{ik}^{-} \cdot p_{ik}^{-} = 0$ (5)

Where n_{ij}^{+} is the undesirable variable for positives indicator and p_{ik}^{-} the undesirable variable for negatives. Higher values of these variables reveal absence of competitiveness. This procedure allows obtaining several indexes and we choose the Net Goal Programming Synthetic Index $GPSI^N$, for its compensatory character among the strength and weaknesses for each unit under evaluation. This composite indicator evaluates the relative situation of each unit without demanding the execution of all the aspiration level to determine the competitiveness degree for a destination versus their competitors. The $GPSI^N$ for a unit is defined as:

$$GPSI_i^N = \sum_{j\in J} \frac{w_j^{+}\left(p_{ij}^{+} - n_{ij}^{+}\right)}{u_j^{+}} + \sum_{k\in K} \frac{w_k^{-}\left(n_{ik}^{-} - p_{ik}^{-}\right)}{u_k^{-}}, \forall i \in \{1, 2, \ldots, n\} \quad (6)$$

w_j^{+}andw_k^{-} are the weights for positive y negative indicators respectively. The first sum exposes the difference between the strengths and weaknesses for positive indicators and similarly the second sum does this for the negative indicators.Once we have obtained the dimensional indicators, the second stage involves the use of DEA to generate a global index, as we mentioned before.

2.2.3 Second Step: DEAPC and DEAGP global indicators

For this stage, the initial information was previously obtained by the dimensional indicators for each destination. They are positive and can be employed as outputs to obtain the global synthetic index. We can use a single dummy input with value unity for each destination; the global index value is the virtual output. This model is formally equivalent to the original input-oriented, constant-returns-to-scale DEA model. In this way, the global synthetic index for the i_0 observation is obtained by solving the following Linear Programming problem:

$$DEA_{i_0} = Max_w \sum_{j=1}^{d} w_j^{i_0} DI_{i_0 j} \quad (7)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^{d} w_j^{i_0} DI_{ij} \leq 1 \ \ \forall i = 1, \dots, n \ (\text{normalization constraint}) \quad (8)$$

$$\frac{w_j^{i_0} DI_{ij}}{\sum_{j=1}^{d} w_j^{i_0} DI_{ij}} \geq \omega \ \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, d \ (\text{virtual output constraint}) \quad (9)$$

$$w_j^{i_0} \geq 0 \ \forall j = 1, \dots, d \ (\text{non} - \text{negativity constraint}) \quad (10)$$

Where $w_j^{i_0}$ are the weights for the observation i_0, *DI* represents the *j*th dimension indicator for the *i*th observation, DPC if the global index refers to Data Envelopment Analysis after distance-Principal Component (DEAPC) (Pérez *et al.*, 2013)or the GPSI if the global measurement represents Data Envelopment Analysis after Goal Programming (DEAGP) (Pérez *et al.*, 2017).*d* is the number of dimensions considered (the subindexes comprised in the TTCI index), and ω is a real number that represents the minimum value allowed for the *j*th virtual output for the *i*th observation. The constraint (9) involves the implication of all the dimensions in the global composite index. Furthermore, each virtual output should be representative of, at least, a minimum required percentage of the outputs for each destination.

2.3 Borda Count

The Borda Count method uses mapping from a set of individual rankings to create a combined ranking that leads to the most relevant decision. In Borda Count, a voter ranks all candidates in a strict order by assigning different points according to the rank order.

This method assigns zero points to a voter's least preferred option, 1 point for the next option, and (*n* - 1) points for the most preferred (where *n* is the number of alternatives). However, the way of assigning zero point to the least candidate is unfavorable to implement the analytical calculation (Lawrence et al. 2012). The Borda ranking is then determined by ordering the Borda scores.It has been used as a data fusion technique for combining ranked lists.

3. RESULTS

The scores and rankings for the global indexes appear in Table 1. Comparing the results with the TTCI ranking, the DP_2 seems to be the most similar to the WEF ranking. Seven destinations maintain the same positions, with an average variation of 1.18 positions between these two rankings. The maximum variation registered was 4 positions for Colombia and Mexico, both with worsening movements. Colombia's worsening is because non-well scores in indicators A4.03 and C12.03 included in the global DP_2 indicator. These were the 11th and the 2nd indicators according to the importance level. Mexico's decreasing position was caused by low scores in the 6th and 7th indicators according to their weights. The indicator C10.04 and D13.05. The dimensional indicators DEAPC and DEAGP were less similar. Both with 5 and 4 invariable destinations and an average variation of more than 3 positions.

Even though both indexes has been calculated with the same method on the second stage, the dimensional indicators from them they were built only achieved their higher correlation within the subindex "Natural and Cultural Resources" (D). This subindex was the least weighted by the DEA approach for both global indexes. In this sense, the similarity between the DEAPC and the DEAGP responds to the fact that for both rankings, higher contribution to the scores comes from the subindexes C and A. As a result, the most competitive destinations in these global rankings are those that best behavior achieved in "Enabling Conditions" and "Infrastructure".

Haiti was the only one destination that maintain the same position (last) in all rankings. Trinidad and Tobago was the one who does not remain in the same position neither in a single comparison and Suriname was the most variable destination across rankings with an average variation of 5.83 units, even higher than Trinidad and Tobago.

Despite the similarity between the indexes, there are differences among the rankings. It is not possible to establish an overall competitiveness ranking. The Borda Count Approach was them applied to the results of the DP_2, the DEAPC and the DEAGP. The order can be found in the last column of Table 1were also appears all global rankings and the TTCI order.

The punctuation of the Borda Count Method situates Panama and Mexico as the most competitive destinations, both with the same score. As a breaking tie procedure, was selected the amount of times that these destinations appear within the most competitive group (first quartile) among all the rankings and subindexes. This is considered as a suitable approach because involves all the subindexes and the outputs of the proposed approaches. As a result, Panama was selected the most competitive, because is placed in the first quartile for all the rankings analyzed. While, Mexico is situated in the first quartile only six times. Two more ties were found within Borda Count's outputs: Honduras and Suriname in the 7th position and Jamaica and Venezuela in the 11th. The tie breaking method used was the same than for Mexico and Panama.

Table 1. Global Rankings

Destinations	TTCI		DP_2		DEAPC		DEAGP		Borda Count
	Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank	Score	Rank	Rank
Barbados	4.08	4	14.454	4	0.591	8	0.530	7	**5**
Colombia	3.73	6	9.636	10	0.809	4	0.788	4	**4**
Costa Rica	4.10	3	14.897	2	0.932	3	0.849	3	**3**
Dominican Republic	3.50	10	10.435	8	0.459	12	0.420	12	**10**
El Salvador	3.41	12	9.321	12	0.408	15	0.364	14	**15**
Guatemala	3.51	9	9.821	9	0.607	7	0.515	9	**9**
Guyana	3.26	15	7.161	15	0.358	16	0.278	16	**16**
Haiti	2.75	17	3.525	17	0.268	17	0.251	17	**17**
Honduras	3.41	11	9.416	11	0.650	6	0.531	6	**7**
Jamaica	3.59	8	11.533	7	0.451	13	0.369	13	**11**
Mexico	4.36	1	12.915	5	1	1	1	1	**2**
Nicaragua	3.37	13	7.866	14	0.504	11	0.445	11	**14**
Panama	4.28	2	14.727	3	0.986	2	0.878	2	**1**
Puerto Rico	3.91	5	16.643	1	0.572	10	0.506	10	**6**
Suriname	3.28	14	8.496	13	0.671	5	0.558	5	**8**
Trinidad and Tobago	3.71	7	11.714	6	0.414	14	0.337	15	**13**
Venezuela	3.18	16	4.251	16	0.575	9	0.527	8	**12**

Panama is the most competitive destination. This is the only destination that remains within the first quartile in all the rankings proposed. It main strengths corresponds to "Air Transport Infrastructure" pillar, included within the "Infrastructure" subindex. It has great scores for "Available seat kilometers, international" (C10.03) and "Aircraft Departures" (C10.04).Moreover, this destination also has a good reputation according to the "Presence of major car rental companies" (C12.03) included within the "Tourist service infrastructure" pillar in the same subindex. The worst position occupied by Panama in the 12 rankings was the fourth, for the DPC and the GPSI in subindex A: "Enabling Environment", affected by low values in issues (A3.02) (A4.07).Mexico, the second most competitive, is located 5 times in the first quartile, with its best position in the first place for all the rankings in the last subindex "Natural and Cultural resources". This good location was because the great difference with the remaining competitors in the Number of World Heritage cultural sites (D14.01). Nevertheless, it was positioned five times within the second and third quartile in all the rankings corresponding to the subindexes "Enabling environment" and "Travel and Tourism policy and enabling conditions".

Costa Rica is the third. Eight times among the most competitive destinations and four times in the second group. Its main strengths are located in the "Travel and Tourism policy and enabling conditions" subindex; specifically in International Openness and Environmental sustainability. It was one with the best valuation in this topic. Furthermore, it was placed the second in the DP_2 and the DPC rankings in the subindex representative of the Natural and Cultural resources.Colombia, the fourth, with the worse position the 10th in the DP_2, and 4th in the DEAPC and the DEAGP, is comprised among the five most competitive in four of the

12 rankings created for method and subindex and among the 50% central destinations in six times. Colombia's best achievement are from subindex D: "Natural and Cultural Resources" which wasdominated for Barbados. The best position of Colombia in this subindex was the second for the GPSI methodology. This attainment was due to its amount of World Heritage Cultural Sites (D14.01).

Despite the differences between the ranking of the WEF and the ranking obtained with the Borda Count method, there is a great similarity. First, a value of 0.838 for Spearman's rho correlation coefficient indicates their high statistical relationship (Table 2).These values reveal a great similarity among rankings, except from the differences among the DP_2 and the DEAPC and DEAGP respectively. Nevertheless, all are correlated at 0.01 significance level with the global ranking proposed by the WEF (TTCI).

Table 2. Spearman's rho Correlations (Global Positions)

	TTCI	*DP_2*	*DEAPC*	*DEAGP*	*Borda Count*
TTCI	1				
DP_2	.929**	1			
DEAPC	.637**	0.475	1		
DEAGP	.620**	0.456	.990**	1	
Borda Count	.838**	.740**	.917**	.914**	1

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

A comparison of the changes within quartiles was also developed and 8 destinations experimented a change across quartiles. Only Puerto Rico leaved the first quartile moving to the second and Colombia changed from the second to the first. Trinidad and Tobago and Jamaica get worse and moved from the second to the following. Also El Salvador moved negatively, from the third to the fourth. Meanwhile, Honduras improved from third to the second. Suriname registered the most favorable exchange, from the last quartile (14th) to the second (8th) and Venezuela also improved, but in a less degree, from the fourth to the third position.

Moreover, four destinations remains in the same position: Costa Rica (3rd), Dominican Republic (10th), Guatemala (9th) and Haiti (17th). One of the first quartile, two intermediate, located among the 50% central observations according their competitiveness, and Haiti in the least competitive quartile. The maximum variation of six units was for Suriname and Trinidad and Tobago, with an improvement and a worsening with the Borda Count ranking, respectively. Furthermore, an average variation of 2 units between the TTCI and the meta-index.

A pair comparison of the rankings reveals that the most similar are the DEAPC and the DEAGP. The better and worse five destinations remains within these groups for both rankings. Twelve destinations (70%) remain in the same place and there is an average mean variation between them of 0.35, lower than one position. The higher variation was only two movements registered for Guatemala.

5. CONCLUSION

From the proposed methods, the DP_2- Distance and the Distance Principal Component composite indicators are based on the distance to a reference point. They does not allow touse all the indicators but, the information selection process allows included the wider amount of information in a smaller set of indicators. The use of internal weights reduce the introduction of subjective information, which is a non-desirable characteristic in composite indicators building. Furthermore, the problem of duplicity of information is solved with the DP_2, by means of the way indicators are added to the composite measure. In the case of the DPC index, the duplicity of information should be arrange during the indicators' choice. Notwithstanding, allows include all the information contained in the indicators included.

The GPSI permits the inclusion of all the indicators in the composite measure. This is a most flexible approach and also compensatory. Furthermore, facilitates the inclusion of external information through the goals and the weights. This flexibility allows us to use the same weights as the TTCI, giving the same importance to all the indicators. It has more explanatory power than the previous indexes due to for the possibility to reveal directly the strengths and weaknesses of each destination involved by means of the deviation variables. Moreover, this method allows obtaining different results and, therefore, their combination allows to enrich the analysis of the outputs. The used in this study was the Net Goal Programming Synthetic Indicator.

The use of DEA in the second step brings flexibility to the procedure and allows us to identify the contribution of each dimension to the overall sustainability value for the involved destinations. The

introduction of the additional restriction guaranteed the inclusion of all the subindexes in the global index. Notwithstanding, despite its inclusion, it was still possible for each unit to search the better set of weights for its global measure, which is one of the main advantages of this methodology. Additionally, the possibility of this method for identify those dimensions that represent a strength or a weakness for each destination according to weights assignation.

The Borda Count Approach allow us to establish the competitiveness ranking of the destination from Central America and The Caribbean included in the Travel and Tourism Competitiveness Report (2015) of the World Economic Forum with less than the 33% of the information contained in the original ranking. The indicators used were representative al the 4 subindexes and the 14 pillars of the original index.

Even though, different approaches were used, the obtained dimensional rankings had a great similarity from a statistical point of view. A Spearman's Rho value higher than 0.83 in all cases except from the 0.551 (significant at 0.05 level) for the second subindex "T&T Policy and Enabling Conditions", which is the second in number of indicators for the TTCI. All the global rankings obtained were also close to the TTCI ranking and the Meta index has a strong correlation with the TTCI ranking of 0.838, which demonstrates the validity of the proposed measures.

As a result, the closeness of the rankings obtained to the original proposed by the WEF allows affirming that the proposed methodologies may be used to create feasible competitiveness indexes. First, the indicators choose by each proposal are representative of the underlying concept and, therefore, the 30 indicators used were valid to achieve a ranking similar to the TTCI. Second, any of the used methods guarantee a good result in terms of tourism destination competitiveness. Finally, the analysis of each subindex and the global rank were also close to the conclusions obtained in the TTCI.

This is a great finding for other developing countries from the region which are excluded from the WEF ranking because of data unavailability. This investigation demonstrates the possibility to obtain an approximation of the global competitiveness ranking with only the 30% of the information contained in the original version. Furthermore, the strong relation of the International Tourism Receipts and the rankings obtained demonstrates its capacity for be considered as a great explanatory of the TDC.

REFERENCES

[1] Becker, W. E., Paruolo, P., Saiana, M., & Saltelli, A. (2017). Weights and Importance in Composite Indicators: Mind the Gap. Ecological Indicators, 80, 12-22.

[2] Blancas, F. J., Caballero, R., González, M., Lozano-Oyola, M., & Pérez, F. (2010). Goal programming synthetic indicators: An application for sustainable tourism in Andalusian coastal counties. Ecological Economics, 69, 2158-2172.

[3] de la Peña, M. R., Núñez-Serrano, J. A., Turrión, J., & Velázquez, F. J. (2019). A New Tool for the Analysis of the International Competitiveness of Tourist Destinations Based on Performance. Journal of Travel Research, 58(2), 207-223.

[4] Díaz-Balteiro, L., & Romero, C. (2004). In search of a natural systems sustainability index. Ecological Economics, 49(3), 401-405.

[5] Gómez-Vega, M., & Picazo-Tadeo, A. (2019). Ranking world tourist destinations with a composite indicator of competitiveness: To weigh or not to weigh? Tourism Management, 72, 281-291.

[6] González, E., Cárcaba, A., & Ventura, J. (2018). Weight Constrained DEA Measurement of the Quality of Life in Spanish Municipalities in 2011. Social Indicators Research, 136(3), 1157-1182.

[7] Mazziotta, M., & Pareto, A. (2018). Measuring Well-Being Over Time: The Adjusted Mazziotta–Pareto Index Versus Other Non-compensatory Indices. Social Indicators Research, 136(3), 967-976.

[8] Mendola, D., & Volo, S. (2017). Building composite indicators in tourism studies: Measurements and applications in tourism destination competitiveness. Tourism Management, 59, 541-553.

[9] Pena, J. A. (1978). La distancia P: un método para la medición del bienestar. Revista española de Economía, 8, 49-89.

[10] Pérez, V., Guerrero, F., González, M., Pérez, F., & Caballero, R. (2013). Composite indicator for the assessment of sustainability: The case of Cuban nature-based tourism destinations. Ecological Indicators, 29, 316-324.

[11] Pérez, V., Hernández, A., Guerrero, F., León, M. A., da Silva, C. L., & Caballero, R. (2017). Measuring the sustainability of Cuban tourism destinations considering stakeholders' perceptions. International Journal of Tourism Research, 19, 318-328.

[12] Somarriba Arechavala, N., & Zarzosa Espina, P. (2019). Quality of Life in the European Union: An Econometric Analysis from a Gender Perspective. Social Indicators Research, 142(1), 179-200.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

STILOVI LIDERSTVA U JAVNOJ UPRAVI: SLUČAJ PET LOKALNIH ZAJEDNICA IZ REPUBLIKE SRPSKE

NIKOLA MATIJAŠEVIĆ[1], BOJAN BAŠKOT[2]

[1]Uprava za Indirektno oporezivanje Bosne i Hercegovine, matijasevic.nikola@yahoo.com
[2]Centralna Banka Bosne i Hercegovine, bbaskot@cbbh.ba

Rezime: *Rad se bavi stilovima liderstva u pet opština i gradskih uprava u Republici Srpskoj. Anketno ispitivanje zaposlenih pokazalo je da zaposleni najčešće svojim rukovodiocima pripisuju osobina autokratskog stila liderstva. To ostavlja određene posljedice na efikasnost u upravljanju u posmatranim slučajevima, što na kraju ostavlja svoj politički i fiskalno-finansijski pečat. Primijenili smo model logaritamske regresije, budući da zavisana promjenljiva ima dihotoman ishod.*

Ključne reči: *upravljanje u javnoj upravi, logaritamska regresija, marginalne vjerovatnoće, autokratski stil*

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.
UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

UPRAVLJANJE ZNANJEM KAO DETERMINANTA USPEHA UPRAVLJANJA ODNOSIMA S POTROŠAČIMA

KNOWLEDGE MANAGEMENT AS A DETERMINANT OF CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT SUCCESS

ALEKSANDRA STOJILJKOVIĆ[1], MARIJANA PETROVIĆ[2]

[1]Student doktorskih studija, Ekonomski fakultet u Subotici, Univerzitet u Novom Sadu, aleksandra.stojiljkovic@gmail.com
[2]Student doktorskih studija, Ekonomski fakultet u Subotici, Univerzitet u Novom Sadu, marijana.petrovic@ict.edu.rs

Rezime: *Imajući u vidu značajnu ulogu koju upravljanje znanjem i upravljanje odnosima s potrošačima ima u savremenoj ekonomiji, ovo istraživanje ispituje uticaj upravljanja znanjem na uspeh upravljanja odnosima s potrošačima. Pregledom literature o ovoj temi, naišli smo na mnoga istraživanja koja pokazuju ključnu ulogu koju upravljanje znanjem ima u uspešnom upravljanju odnosima s potrošačima, ali neka istraživanja pokazuju i neuspeh ove strategije. Razlog za to leži u nepostojanju integrisanog konceptualnog okvira koji bi obezbedio uspešnu implementaciju upravljanja znanjem i upravljanja odnosima s potrošačima. Ovaj rad ima za cilj da pokuša da doprinese rešavanju ovog problema.*

Ključne reči: *upravljanje znanjem, upravljanje odnosima s potrošačima, uspeh CRM-a.*

Abstract: *Bearing in mind the significant role of knowledge management and customer relationship management in the contemporary economy, this research examines the impact of knowledge management on the success of customer relationship management. Having reviewed the literature on this subject, we have found many research papers which indicate the key role of knowledge management in successful customer relationship management, while some papers present this strategy as unsuccessful. The underlying reason for this is the lack of integrated conceptual framework which would secure successful implementation of knowledge management and customer relationship management. The aim of this paper is to contribute to solving this problem.*

Keywords: *Knowledge management, Customer relationship management, CRM success.*

1. UVOD

U doba „ekonomije zasnovane na znanju“, znanje predstavlja ključni resurs kompanije. One kompanije koje uspešno prepoznaju, grade i unapređuju svoje znanje biće uspešne i smatraće se kompanijama koje raspolažu znanjem. Ove kompanije segmentiraju svoja tržišta ne samo na osnovu svojih proizvoda i usluga, već i na osnovu znanja o svojim kupcima (Nejatian, Sentosa, Piaralal i Bohari 2011). U tom kontekstu neophodna je suštinska orijentacija kompanija ka kupcima. Stvaranje dugoročnih i dobrih odnosa sa kupcima još jedan je od imperativa savremene ekonomije, a to se može postići samo udruživanjem ova dva koncepta.

Pravo upravljanje odnosima s potrošačima može se postići samo integrisanjem sa upravljanjem znanjem, što za rezultat ima unapređenje poslovnih procesa kompanije i bolju procenu zadovoljstva, profitabilnosti i lojalnosti potrošača, u nastojanju da se ostvare poslovni ciljevi kompanije (Bose i Sugumaran 2003).

Značaj upravljanja znanjem i upravljanja odnosima s potrošačima i njihove integracije, prepoznat je od strane brojnih istraživača. Garrido-moreno i Padilla-Melendez proučavali su odnos između upravljanja znanjem i upravljanja odnosima s potrošačima (CRM) kao dva strateški važna koncepta, u svom istraživanju (Garrido-Moreno i Padilla-Meléndez 2011), gde su razmatrali elemente kao što su orijentacija prema kupcima, CRM tehnologija i iskustvo u implementaciji CRM-a kao determinante uspeha CRM-a, i došli do zaključka da svi ovi elementi imaju pozitivan uticaj na razvoj odnosa s potrošačima. Nejatian i dr (2011) sproveli su istraživanje u 201 ICT kompaniji u Maleziji u cilju konfigurisanja elemenata znanja kupca i CRM performansi. Ovo istraživanje je identifikovalo znanje “za” kupca, znanje “od” kupca i znanje “o” kupcu kao elemente znanja kupca, a perspektivu finansijskih, korisničkih, internih procesa i inovacija kao elemente CRM performansi. Mohseni, Danesh i Chirani (2014) sproveli su empirijsko istraživanje o uticaju znanja na uspeh CRM-a u iranskoj Pasargad banci na uzorku od 223 menadžera, asistenata i stručnjaka

banke. Rezultati istraživanja pokazali su da upravljanje znanjem ima pozitivne i značajne efekte na upravljanje odnosima s potošačima kroz različite varijable kao što je briga o kupcima, sticanje i primena znanja u praksi, kao i promenljivi organizacioni faktori. Hassani, Aghaalikhani, Hassanabadi i Rad (2013) takođe su sproveli ovakvo istraživanje u jednoj od iranskih banaka, na uzorku od 384 radnika banke. Rezultati ovog istraživanja potvrdili su da znanje pozitivno utiče na CRM u smislu zadovoljstva kupaca, lojalnosti kupaca i poverenja.

Međutim, iako ova i druga istraživanja identifikuju upravljanje znanjem kao ključnu determinantu uspeha upravljanja odnosima s potrošačima, pregledom literature pronađene su i brojne studije koje su pokazale visoke stope neuspeha (Garrido-Moreno, Padilla-Meléndez i Águila-Obra 2010). Iz ovoga proizilazi da još uvek ne postoji integrisani konceptualni okvir koji bi vodio kompanije ka uspešnoj implementaciji upravljanja znanjem i upravljanja odnosima s potrošačima (Bose i Sugumaran 2003).

Zasnovano na ovome ovaj rad se bavi istraživanjem odnosa između upravljanja znanjem i upravljanja odnosima s potrošačima i analizom uticaja uravljanja znanjem na upravljanje odnosima s potrošačima, u cilju identifikovanja pozitivnih efekata upravljanja znanjem na upravljanje odnosima s potrošačima i davanja konceptualnog okvira i preporuka za uspešnu integraciju i primenu ova dva koncepta, kako bi se stvorili lojalni kupci i stekla konkurentska prednost.

2. UPRAVLJANJE ZNANJEM

Iako je, kao što je već istaknuto, koncept upravljanja znanjem zbog svog značaja za poslovne procese bio predmet interesovanja brojnih istraživača, i dalje ne postoji konsenzus oko njegove definicije. Neki autori se fokusiraju na specifične aspekte ovog koncepta kao što su znanje, inovacije ili učenje, dok drugi smatraju da je upravljanje znanjem usko povezano sa konceptima poput organizacionog učenja i organizacione memorije. Talet (2012) definiše upravljanje znanjem kao skup upravljačkih aktivnosti koje imaju za cilj dizajniranje, stvaranje i integrisanje znanja, što podrazumeva procese razmene znanja koji se pojavljuju kao jedna od najznačajnijih novijih praksi kompanija, bilo da se radi o znanju i iskustvu pojedinca ili znanju ugrađenom u procese i praksu kompanije.

Grupa autora (Garrido-Moreno i dr. 2010, Garrido-Moreno i Padilla-Meléndez 2011) definiše upravljanje znanjem kao proces sticanja, integrisanja, kombinovanja, skladištenja, deljenja, primene i institucionalizovanja znanja unutar kompanije u cilju izgradnje i održavanja konkurentske prednosti.

Prema Talet (2012) upravljanje znanjem predstavlja ključni koncept za uspešno poslovanje kompanije iz dva razloga. Prvo, pomaže u rešavanju pitanja vezanih za razvoj, upravljanje i održavanje tehničke infrastrukture koja je potrebna za posedovanje i deljenje znanja i, drugo, poboljšava poslovne rezultate tako što maksimizira upotrebu informacija i znanja, i održava sposobnost učenja na način da podstiče inovativnost i konkurentnost. Isti autor govori i o ciljevima upravljanja znanjem, i navodi tri osnovna cilja upravljanja znanjem (Talet 2012): (a) Potpuna upotreba znanja, (b) Omogućavanje kontinuirane inovacije i njene kapitalizacije i (c) Povećanje stručnosti zaposlenih unutar kompanije čime bi se postigla veća konkurentnost. Međutim, ovi ciljevi upravljanja znanjem ne bi mogli biti ostvareni na pravi način bez njihove ugradnje u CRM procese.

3. UPRAVLJANJE ODNOSIMA S POTROŠAČIMA

Upravljanje odnosima s potrošačima (customer relationship management – CRM) predstavlja poslovnu strategiju koja u centar pažnje stavlja kupca i usmerava sve poslovne procese kompanije prema kupcu, koji predstavlja njenu ključnu "imovinu" (Garrido-Moreno i dr. 2010), a koja ima za cilj maksimiziranje profita i zadovoljstva potrošača.

Empirijska istraživanja pokazuju da je zadovoljstvo potrošača, što je jedan od imperativa CRM koncepta, kritični faktor u postizanju i zadržavanju konkurentske prednosti, kao i da je zadržavanje postojećih potrošača mnogo jeftinije od pokušaja privlačenja novih. Zadovoljstvo potrošača neminovno vodi ka lojalnosti brendu i ponovnim kupovinama, odnosno zadržavanju kupca. Najbolji način da se kupac zadrži je zadovoljiti kupca. Stefanou, Sarmaniotis i Stafyla (2003) smatraju da je zadovoljstvo kupca povezano sa percipiranim performansama i očekivanjima. Ako se performanse poklapaju sa očekivanjima ili ih premašuju, kupac je zadovoljan ili veoma zadovoljan. Ako performanse ne ispune očekivanja, kupac je nezadovoljan. Dous, Salomann, Kolbe i Brenner (2005) ističu da se kompanije koje se na ozbiljan način bave CRM-om fokusiraju na zadržavanje kupca, a ne isključivo na prodaju. Zadržavanje kupca je povezano sa profitabilnošću, i fokusira se na iskorišćavanje moći interakcija s kupcem kako bi se maksimalno povećalo zadovoljstvo kupca, osiguralo ponovno poslovanje i na kraju povećala profitabilnost (Xu i Walton 2005).

Predložene definicije u literaturi koja se bavi ovim konceptom, se mogu svesti na sledeće: CRM je poslovna strategija koja ima za cilj da zasnovano na znanju uspostavi i razvija odnose sa kupcima, koristeći informacionu tehnologiju kao sredstvo za unapređenje tih procesa, i gde CRM zahteva redizajn organizacije i njenih procesa kako bi ih orijentisala prema kupcu, i kako bi personalizovanjem svojih proizvoda i usluga, kompanija mogla optimalno da zadovolji potrebe kupca i na taj način ostvari dugoročne, uzajamno korisne i lojalne odnose (Garrido-Moreno i dr. 2010).

Stefanou i dr. (2003) smatraju da se odnos kompanije sa kupcima može značajno poboljšati korišćenjem informacione tehnologije (IT). Ona može olakšati i poboljšati odnose sa kupcima na različite načine, ali uglavnom omogućava kompanijama da postignu prilagođavanje i suštinsku orijentaciju prema kupcu, kroz implementaciju sofisticiranih sistema za upravljanje odnosima s kupcima. Međutim, ne sme se zanemariti ljudska dimenzija ovog koncepta upravo zato što se radi o odnosima sa kupcima koji su po svojoj prirodi osetljivi i zahtevaju posebnu pažnju i posvećenost svih zaposlenih u kompaniji. O čemu će biti više reči u nastavku rada.

4. UPRAVLJANJE ZNANJEM I CRM

U poslednjih par godina, kompanije su integrisale upravljanje znanjem sa upravljanjem odnosima s potrošačima (CRM), jer su postale svesne značaja koji upravljanje znanjem ima za uspeh CRM-a. U procesu integracije, tehnologija može da pomogne, ali i drugi faktori kao što su organizacioni faktori, orijentacija ka kupcu i sama CRM tehnologija, takođe mogu imati direktan ili indirektan uticaj na uspeh CRM-a (Mohseni i dr. 2014). Za uspešno upravljanje odnosima sa kupcima nužno je suštinsko razumevanje kupaca. S obzirom da se CRM procesi baziraju na velikim količinama znanja, CRM se bavi upravljanjem znanjem o kupcima kako bi kompanije bolje razumele i uslužile svoje kupce, za šta je neophodno postojanje dovoljnog i kontinuirano ažuriranog znanja o kupcima, kako bi se obezbedio efikasan CRM sistem (Garrido-Moreno i dr. 2010).

Postoje sličnosti i razlike u konceptu upravljanja znanjem i CRM-a. Faed, Radmand i Talevski (2010) smatraju da je implementacija CRM-a pretežno stvar tehnologije, dok je implementacija upravljanja znanjem više stvar organizacije. Na upravljanju znanjem je da identifikuje, verifikuje, pronađe, distribuira i koristi znanje u organizaciji, dok je CRM više okrenut marketingu, prodaji i uslugama kako bi se postigli ciljevi poslovne strategije kompanije i uspostavili dugoročni odnosi sa kupcima. Prema tome, upravljanje znanjem podrazumeva informacije i znanje, a CRM podrazumeva funkcije. Međutim, oba koncepta su usmerena na zajednički cilj, a to je kontinuirano i stalno, sveobuhvatno unapređenje odnosa sa kupcima, kako bi se poboljšale poslovne performanse i stekla konkurentska prednost.

4.1. Tokovi znanja u CRM procesu

Jasno je da procesi upravljanja znanjem igraju ključnu ulogu u uspehu CRM-a, i autori Gebert, Geib, Kolbe i Brenner (2003), Bueren, Schierholz, Kolbe i Brenner (2005), Salomann, Dous, Kolbe i Brenner (2006) definišu tri vrste tokova znanja koje igraju važnu ulogu u interakciji između kompanije i njenih kupaca: znanje "za", znanje "od" i znanje "o" kupcima:

Znanje „za" kupce podrazumeva informacije o proizvodima, tržištima i dobavljačima i primarno se procesuira kroz CRM usluge. Ova dimenzija znanja utiče i na percepciju potrošača o kvalitetu usluge, koja je identifikovana kao važna determinanta zadovoljavajućeg finansijskog rezultata.

Znanje „od" kupaca kompanija mora da inkorporira u inovacije proizvoda i usluga, stvaranje novih ideja, kao i u stalno poboljšanje proizvoda i usluga. Prikupljanje znanja od kupaca i uključivanje kupaca u proces inovacija može se postići na različite načine na primer, putem odgovarajućih sistema za povratne informacije kako bi se omogućilo sistematsko poboljšanje i inoviranje proizvoda.

Prikupljanje i analiza znanja „o" kupcima svakako predstavlja jedan od najstarijih oblika aktivnosti upravljanja znanjem u kontekstu CRM-a. Pored ključnih podataka o kupcu i njegovim prethodnim kupovinama, znanje o kupcu obuhvata i znanje o njegovim trenutnim potrebama i zahtevima, budućim željama, relacijama, kupovinama i finansijskim mogućnostima. Znanje o kupcima se prikuplja kroz procese CRM usluga i podrške i analizira kroz procese CRM analize.

Analizom toka znanja u CRM procesima bave se i autori Lingbo i Kaichao (2012), koji dele tok znanja na dva tipa toka znanja: zatvoreni tok (koji je određen) i otvoreni tok (koji je neodređen), prema njihovoj otvorenosti i logici toka znanja. U zatvorenom toku znanja postoje dva tipa znanja: (a) Znanje kupaca koje je pripremljeno za kupce, i odnosi se na proizvod, uslugu i tržišnu poziciju kompanije, i služi da pomogne kupcima da bolje razumeju kompaniju, proizvode i usluge, čime i kompanija bolje razume kupce i (b) Znanje o kupcima koje se odnosi na opšte informacije o kupcima, uključujući statističke podatke, istoriju kupovine i

ostalo. U otvorenom toku znanja tok znanja je neizvestan, i može se desiti u bilo kom trenutku. Ovaj tip znanja uglavnom se odnosi na znanje od kupca i uključuje povratne informacije o proizvodu i uslugama kompanije ili njenih konkurenata i uglavnom se prikuplja putem povratnih informacija (on-line), call-centara i postprodajnih aktivnosti (Lingbo i Kaichao 2012). Ovakvo znanje bi moglo da poboljša sposobnost preduzeća da odgovori na zahteve kupaca i postane pokretač inovacija.

U ovom procesu od velike pomoći bi mogla da bude i analiza sentimenta (engl. sentiment analysis) ili rudarenje mišljenja (engl. opinion mining), kao jedan od najnovijih pristupa prikupljanju znanja o kupcima u digitalnoj eri koju karakteriše sve veća upotreba društvenih mreža na kojima se kupci susreću i dele svoja mišljenja, osećanja, evaluacije, procene, stavove i emocije prema proizvodu ili usluzi ili kompaniji, i iznose svoje probleme u nastojanju da pronađu rešenja kroz iskustva drugih članova zajednice. Kompanije mogu da iskoriste ove medije i veliki protok javno dostupnih informacija kako bi analizirale iskazana mišljenja, pri tome se fokusirajući na ona koja izražavaju ili impliciraju pozitivan i negativan sentiment, kako bi ih iskoristile za donošenje na znanju zasnovanih odluka u CRM-u, u cilju unapređenja upravljanja odnosima s potrošačima.

4.2. Faze znanja u CRM procesu

Bose i Sugumaran (2003) predlažu okvir upravljanja znanjem sastavljen od četiri glavna procesa: (a) identifikovanje i generisanje znanja, (b) kodifikacija i skladištenje znanja, (c) distribucija znanja, i (d) korišćenje znanja i povratnih informacija.

Proces identifikovanja i generisanja znanja podrazumeva prepoznavanje i stvaranje novog znanja. Fokusira se na identifikovanje relevantnog znanja o kupcima, procesima i oblastima potrebnim za uspešno obavljanje CRM aktivnosti i prikupljnje ili generisanje tog znanja kroz praćenje aktivnosti kupaca i drugih aktera u industriji.

Proces kodifikacije i skladištenja znanja uključuje pretvaranje znanja u mašinski čitljiv oblik i njegovo čuvanje za buduću upotrebu. Konkretno, bavi se arhiviranjem novog znanja dodajući ga postojećem skladištu znanja i koje mogu koristiti sve zainteresovane strane. Ovaj proces se sastoji od prevođenja znanja u odgovarajuće forme, njegovog predstavljanja i čuvanja u skladištu znanja.

Proces deljenja (delegiranja, širenja) znanja odnosi se na distribuciju znanja kroz organizaciju. Diseminacija znanja može se sprovesti pomoću različitih tehnologija u zavisnosti od kulture i organizacione infrastrukture.

Proces korišćenja znanja i povratnih informacija podrazumeva upotrebu znanja i pružanje povratnih informacija. Ovaj proces omogućava zainteresovanim stranama da identifikuju i dođu do relevantnog znanja potrebnog za rešavanje određenog problema, što može dovesti do stvaranja dodatnog znanja, koje može biti sačuvano u skladištu znanja za buduću upotrebu. Zainteresovane strane mogu pružiti povratne informacije u vezi sa kvalitetom znanja sačuvanog u skladištu, kao i koliko je jednostavno doći do njega. Pored toga oni mogu da identifikuju novo znanje koje je potrebno prikupiti u skladu sa strateškim ciljevima i promenama u okruženju.

5. PREDUSLOVI ZA USPEŠAN CRM

Napredak informacionih tehnologija (IT) i informacionih sistema (IS) bio je katalizator razvoja CRM sistema, te u tom pogledu Stefanou i dr. (2003) ističu značaj tehnoloških faktora, i da u tom kontekstu CRM predstavlja integraciju tehnologija koje rade zajedno, poput skladišta podataka, veb lokacije, intraneta i ekstraneta, sistema za telefonsku podršku, računovodstva, prodaje, marketinga i proizvodnje, i da što je viši nivo razvoja IT-a, to je bolja integracija CRM-a u informacionu arhitekturu kompanije i efikasnije je i efektivnije upravljanje odnosima s kupcima što vodi ka boljem profilisanju kupaca i personalizaciji.

Faed i dr. (2010) skreću pažnju na nedostatak holističkog pristupa istraživača, koji pomaže organizaciji da efikasno održi porast baze kupaca kroz kanale komunikacije.

Druga grupa naučnika (Garrido-Moreno i dr. 2010, Garrido-Moreno i Padilla-Meléndez 2011, Mohseni i dr. 2014) se u svojim istraživanjima bavila faktorima kao što su upravljanje znanjem, organizacioni faktori, tehnologija i usmerenost na kupca i ispitivala njihov uticaj na uspešnu implementaciju CRM koncepta kroz četiri istraživačke hipoteze: H1: orijentacija ka kupcu ima pozitivan i značajan uticaj na uspeh CRM-a; H2: sposobnost upravljanja znanjem ima pozitivan i značajan uticaj na uspeh CRM-a; H3: CRM tehnologija ima pozitivan i značajan uticaj na uspeh CRM-a; H4: organizacioni faktori imaju pozitivan i značajan uticaj na uspeh CRM-a. Rezultati njihovih empirijskih istraživanja potvrđuju osnovnu ulogu organizacionih faktora (top menadžmenta, upravljanja ljudskim resursima, funkcionalne integracije i organizacione strukture) u implementaciji CRM-a, kao i da upravljanje znanjem zavisi od organizacione strukture. To znači da samo

kada su upravljanje znanjem, CRM tehnologija i orijentacija prema kupcu integrisane i usvojene od strane cele organizacije, kompanija će stvoriti takve organizacijske prednosti u okviru CRM procesa koje je teško imitirati i reprodukovati i koje time predstavljaju izvor održive konkurentske prednosti. Nadalje, istraživanja su pokazala da je CRM dugoročna strategija i da, kako kompanije postaju iskusne u implementaciji strategije i kako se odvija organizaciono učenje tokom vremena, kao i organizacione promene koje su potrebne da bi kompanija imala koristi od poboljšanja efikasnosti, tako su bolji rezultati CRM-a.

6. USPEŠAN CRM

Zasnovano na konceptu poslovnog inženjeringa Dous, Salomann, Kolbe i Brenner (2005), Bueren i dr. (2005) predlažu konceptualni okvir za uspešnu CRM strategiju, procese, sisteme i upravljanje promenama zasnovane na znanju, koji se sastoji iz sledećih predloženih procesa:

- Strategija - Razumevanje znanja kupaca kao vrednog izvora inovacija proizvoda i poboljšanja procesa: da bi iskoristio potencijal CRM procesa i njihove podrške kroz odgovarajuće sisteme, top menadžment mora da prepozna svoje kupce kao vredan izvor znanja. Ova percepcija predstavlja osnovu organizacione veze između brige o kupcima i razvoja proizvoda kako bi se usvojile ideje i predlozi kupaca u pogledu inovacija proizvoda i poboljšanja usluga.
- Procesi - Usklađivanje aktivnosti upravljanja znanjem sa CRM procesima: CRM procesi su najbolje podržani znanjem kupaca ukoliko su procesi upravljanja znanjem čvrsto integrisani u rad menadžera kompanije. Najbolji način za efikasno upravljanje znanjem je da se“neprimetno” integriše u osnovne procese kompanije.
- Sistemi - Kreiranje integrisanog skladišta znanja izvan granica organizacije: integrisani pogled na relevantne podatke o kupcima, kao i integrisanje relevantnih sistema, ključni je faktor uspeha. Stvaranje centralizovanog skladišta znanja pomaže da se prevladaju regionalne granice i razdvajanje poslovnih jedinica.
- Upravljanje promenama - Podsticanje menadžera kompanije da prikupljaju i šire znanje o kupcima: osim percipiranja kupca kao vrednog izvora znanja, top menadžment mora da podstakne organizacionu kulturu u kojoj će zaposleni biti motivisani i voljni da dele stečena znanja „od“ i „o“ kupcima sa drugima i da koriste znanje dobijeno od drugih, što će pomoći da se izgradi poverenje u ovu inicijativu u celini.

7. ZNAČAJ UPRAVLJANJA ZNANJEM ZA UPRAVLJANJE ODNOSIMA S POTROŠAČIMA

Upravljanje znanjem ima veliki značaj za CRM procese, jer pomaže organizacijama da pruže bolje usluge, poboljšaju kvalitet proizvoda, smanje troškove i brže odgovore na zahteve svojih kupaca (Talet 2012). Đorđević-Boljanović (2009) ističe da upravljanje znanjem ima značaj za CRM u tri pogleda:

- Upravljanje znanjem u upravljanju interakcijama s kupcima (Customer interaction management – CIM): odnosi se na znanje koje kompanija poseduje kako bi prodaju, marketing i korisnički servis učinila više efikasnim i efektivnim, što je i konačni cilj CIM-a. Ako je upravljanje znanjem pravilno implementirano u CIM-u, kompanija može biti sigurna da raspolaže pravim znanjem kupca, u pravo vreme i na pravom mestu, čime može unaprediti prodaju, marketing i korisnički servis.
- Upravljanje znanjem u upravljanju iskustvom s kupcima (Customer experience management – CEM): odnosi se kako na segmente kupaca, tako i na uzroke koji mogu da izazovu njihovo nezadovoljstvo. Znanje o preferencijama kupaca, i njihovim potrebama za nekim drugim proizvodima koje kompanija nudi, osnova su primene upravljanja zanjem u CEM-u.
- Upravljanje znanjem u upravljanju uspehom s kupcima (Customer success management – CSM): odnosi se na konstantne odnose i uticaj na kupce u nastojanju da se utvrdi kako ovi odnosi i iskustvo u kupovini mogu da utiču na motivaciju kupca, i koju vrstu uticaja kupci očekuju od strane kompanije, što će ih opredeliti da se odluče za jednu kompaniju, a ne za neku drugu, i zašto ostaju lojalni.

8. ZAKLJUČAK

Ovaj rad ima za cilj da identifikuje pozitivne elemente upravljanja znanjem na upravljanje odnosima s potrošačima. U tom postupku utvrdili smo, što smatramo da je i glavni doprinos ovog rada, da je za uspešnu implementaciju upravljanja znanjem u upravljanju odnosima s potrošačima najpre, neophodno uspostaviti odgovarajuću infrastrukturu, tehnološku i organizacionu, jer iako IT doprinosi implementaciji ove strategije, bez ljudi i adekvatne organizacione infrastrukture, ova strategija neće bitu u potpunosti uspešna.Takođe, identifikovali smo konstrukte uspešnog CRM procesa poput procesa, sistema i upravljanja promenama, i

značajne efekte koje upravljanje znanjem ima za CRM, poput CIM, CEM i CSM pristupa. Međutim, sve ovo zahteva suštinske organizacione promene i suštinsku orijentaciju ka kupcu i njegovim potrebama kako bi se postigla uspešna integracija ova dva koncepta i njihova uspešna implementacija.

Ipak, želimo da ukažemo i na izvesna ograničenja ove studije, koja se zasniva samo na analizi nalaza iz relevantne raspoložive literature o ovoj temi, tako da je potrebno sprovesti i adekvatno empirijsko istraživanje, što bi mogla da bude tema za buduća istraživanja. Ovaj rad svakako, može da posluži kao jedinstvena platforma i dobar pregledni okvir svih pozitivnih efekata upravljanja znanjem na upravljanje odnosima s potrošačima, koji bi mogao da koristiti učesnicima poslovnog procesa da sagledaju, razumeju i bolje iskoriste ove efekte za uspešnije upravljanje odnosima s potrošačima.

LITERATURA

[1] Bose, R., & Sugumaran, V. (2003). Application of Knowledge Management Technology in Customer Relationship Management. Knowledge and Process Management, 10(1), 3-17.

[2] Bueren, A., Schierholz, R., Kolbe, L.M., & Brenner, W. (2005). Improving performance of customer-processes with knowledge management. Business Process Management Journal, 11(5), 573-588.

[3] Đorđević-Boljanović, J. (2009). Menadžment znanja. Beograd: Data Status.

[4] Dous, M., Salomann, H., Kolbe, L., & Brenner, W. (2005). Knowledge Management Capabilities in CRM: Making Knowledge For, From and About Customers Work. Proceedings of the Eleventh Americas Conference on Information Systems, Omaha, NE, USA August 11th-14th 2005, 167-178.

[5] Faed, A., Radmand, P., & Talevski, A. (2010). The Critical Success Factors for Implementation of CRM and Knowledge Management in a Work Setting. International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Copmputing, 140-148.

[6] Garrido-Moreno, A., Padilla-Meléndez, A., & Águila-Obra, A.R.D. (2010). Exploring the Importance of Knowledge Management for CRM Success. World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering, 4(6), 629-633.

[7] Garrido-Moreno, A., & Padilla-Meléndez, A. (2011). Analyzing the impact of knowledge management on CRM success: The mediating effects of organizational factors. International Journal of Information Management, 31, 437-444.

[8] Gebert, H., Geib, M, Kolbe, L., & Brenner, W. (2003). Knowledge-enabled customer relationship management: integrating customer relationship management and knowledge management concepts. Journal of Knowledge Management, 7(5), 107-123.

[9] Hassani, M., Aghaalikhani, E., Hassanabadi, M., & Rad, M.S. (2013). A study on effects of knowledge management on the success of customer relationship management. Management Science Letters, 3, 2431-2436.

[10] Lingbo, K., & Kaichao, Y. (2012). Research on the Knowledge Flow in CRM Circumstance. 2012 International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE). Procedia Engineering, 29, 3852-3857.

[11] Mohseni, F., Danesh, S.Y.S., & Chirani, E. (2014). The study of knowledge management's effect on CRM success, considering the intermediary effect of organizational factors. International Journal of Economy, Management and Social Sciences, 3(8), 396-399.

[12] Nejatian, H., Sentosa, I., Piaralal, S.K., & Bohari, A.M. (2011). The Influence of Customer Knowledge on CRM Performance of Malaysian ICT Companies: A Structural Equation Modeling Approach. International Journal of Business and Management, 6(7), 181-198.

[13] Stefanou, C.J., Sarmaniotis, C., & Stafyla, A. (2003). CRM and customer-centric knowledge management: an empirical research. Business Process Management Journal, 9(5), 617-634.

[14] Salomann, H., Dous, M., Kolbe, L., & Brenner, W. (2006). Advancing CRM Initiatives with Knowledge Management. Journal of Information, Science and Technology, 3(2), 22-43.

[15] Talet, A.N. (2012). KM Process and CRM to manage Customer Knowledge Relationship Management. 2012 International Conference on Economics, Business and Marketing Management, IPEDR, 29, 60-67.

[16] Xu, M., & Walton, J. (2005). Gaining customer knowledge through analytical CRM. Industrial Management & Data Systems, 105(7), 955-971.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

CAPACITY INVESTMENT IN MANUFACTURING SYSTEMS WITH UNCERTAIN OPERATING COST

SOHEIL SIBDARI[1]

[1] Charlton College of Business, University of Massachusetts Dartmouth, ssibdari@umassd.edu

Abstract: *In many industries the choice of initial capacity is crucial and responsible for long term profit of the firm. The decision on initial capacity is usually discrete and arises when the manufacturer needs to decide on the number of machine or technology to invest each increases the capacity by a bulk. Therefore the initial capacity decision is a long term decision that many external factors over a longer period of time may impact it. The manufacturer, not only, needs to consider the demand fluctuation and uncertainty in the course of few years but also needs to learn about uncertainty in operational cost. These uncertainties lead the firm to over (or under) invest on capacity that increases the mismatch between supply and demand. One way to reduce the uncertainties is to enter into hedging contracts that for some fees secures the operational cost at some certain level. In this paper, we consider a manufacturer that needs to invest in a capital-intense capacity while the operational cost and demand are uncertain. We introduce a model and characterize the optimal solution and suggest future research directions.*

Keywords: *Uncertain cost, capacity investment, financial instruments*

1. INTRODUCTION

Many firms experience profit losses due to mismatch between supply and demand that mainly relates to their initial capacity decisions. This capacity choice that is usually capital intensive requires considering external and internal factors many of them subject to uncertainty. Among these uncertainties demand is well known to be the one, but more recently, due to fluctuation in oil and energy prices, the operational costs are discovered to be another source of uncertainty. The demand uncertainty and its impact on the capacity choice is well studied in literature (van Mieghem and Rudi [1]).

Although there are many managerial methods how to cope with demand uncertainty, there are not many methods how to eliminate them. The demand uncertainty can be managed by operational techniques such as pricing, inventory and production planning policies. However, the operational cost uncertainty is harder to manage as it involves with the initial capacity investment of the firm. When the initial capacity is chosen, as a response to cost increases, the firm can partly offset this cost either by reducing overhead costs (e.g. machine efficiency, employee benefits, etc.) or by transferring the cost to the the other layer of supply chain through price inflation and capacity reduction (Jacobs and Peterson [2]). As the overhead can be reduced to certain extend, the firms rely more on price inflation that although partly helps, but has longer term consequences in the supply chain such as bullwhip effect and other supply chain phenomenon. Therefore the manufacturer needs to implement better planning techniques to protect itself against the inevitable loss due to higher energy cost.

Unlike the demand side, the operational cost uncertainty can better be handled. The firm can manage this uncertainty by entering into financial instruments such as hedging and futures. These contracts that can be established in many forms secures the energy costs at a certain levels for fees. Therefore, using the right hedging contract, the firm can totally or partially eliminate the uncertainty. This allows the firm to maintain its desired capacity that allows the firm to charge consistent prices and in turns enjoying regular demand.

This project will pursue the linkage between hedging and capacity decision in manufacturing, which is not well addressed in the current literature. The following managerial questions are common among manufacturers experts and firms' managers. What is the impact of stochastic operational cost on the choice of initial capacity? How the decision under uncertainty impact the firm's profit? Can the firm maintain its desired capacity by employing hedging contracts? How does the wrong hedging contract lower the firms profit even lower? If the desired capacity is used, how does the firm improve its profit by using the right pricing policy? And finally, how can the firm benefit in a market with uncertain operational cost? In this study, we address the above questions and will develop a model that can address them.

Currently, many manufacturers make the capacity decision separated from hedging contracts and ignore their inherent interactions. Given the above explanations, our project highlights this interaction and shows how firms can improve profit by making joint capacity and hedging decisions as the new dimension of their

supply chain management systems. Upon the completion of the project, we expect to provide an algorithm for firms to determine the hedging contract and its impact on capacity decisions. Using this method, the firms are able to offset the high cost and do not get forced to increases the prices. Given the fact that fuel cost in recent years is prone to more fluctuations, addressing the above obstacles faced by manufacturers will be a significant improvement the supply chains' benefit.

2. Literature Review

This research project has a multidisciplinary nature combining three different research areas: Finance, Revenue Management, and Economics. Revenue Management The revenue management problem, wherein a firm controls the availability of a product through price or booking limits to maximize revenue is well studied in literature. Different aspects of the problem, such as demand management, the behavior of strategic customers, and competitive models are well understood and addressed.

Talluri and van Ryzin [4] provided an extensive literature review and a clear revenue management model considering stochastic parameters is provided by and Cooper and Gupta ([3]). Although the revenue management literature is vast and comprehensive, its linkage with other fields is missing. Marketing, finance, and strategic decisions have interaction with the revenue management performance that needs to be addressed in literature.

Although to a lesser extent, the airline policy of hedging jet fuel price is also studied in literature. Most of the papers in this side of literature empirically study the use of fuel hedging in airlines and examine its impact on income and firm volatility. Related literature can be found in Froot [5], Rao [6], Ubhi ([7]), and Carter et. al. ([8]).

A number of recent papers in service and production management have employed game theoretic tools to address incentive related problems in presence of multiple players. Often models in economics and management science use price, production, or inventory level as the strategic decision factor. For a detailed survey on this topic see Sibdari and Pyke ([9]). They considered a dynamic pricing model between two firms facing uncertain production cost. They used an alternating-move approach to study the pricing behavior of firms.

3. PROBLEM DESCRIPTION

In this section we model the capacity decision of the firm that is a long term investment on the number of production units. The capacity decision is made at the beginning of a time horizon T and the delivery of the products occurs at time 0. The operational cost (i.e. *energy* cost) and demand are both random with known distribution. The energy cost is $\xi \in \Omega$ with known density where Ω is the set of all valid random variables. We assume that the distribution of ξ is known to the firm at the beginning of planning horizon. The capacity decision of the firm depends on the distribution of both the demand and energy costs.

The total demand for the products is fulfilled by the number of invested units that we assume produce identical products. The firm uses a fixed and pre-determined price, P, over the time horizon. We use $D(P)$ to denote the total random demand during period T for the product with mean μ and standard deviation σ. Note that since the firm's capacity is fixed and is determined at the beginning of the time horizon the firm may use revenue management techniques to determine the optimal prices during the time horizon.

There are n different units to choose for the production at day 0 that are ranked in ascending order depending on their operating cost. The capacity of unit i is Y_i with the capital cost of k_i that includes rental fee, ownership cost of capital, or other related fixed costs. Then the total capacity cost is $K = \sum_{i=1}^{n} k_i Y_i$. Each unit consumes different levels of energy and after the energy cost is realized, the operating cost would be c_i for $i = 1, \cdots, n$. The capacity configuration is $Z_i \equiv (Y_1, \cdots, Y_i, 0, \cdots, 0)$ for $i = 1, \cdots, n$, where i is the number of flight chosen for day 0,. Therefore, the total available capacity for flights $i = 1, \cdots, i$ is

$$\tilde{Z}_i = \sum_{j=1}^{i} \tilde{Y}_j \tag{1}$$

3.1. Hedging

Consider a single period framework where an airline considers entering into a futures contract in order to reduce its volatility due to uncertain energy cost. We assume the marking-to-market features is ignored and also entering into a futures contract is costless. We also ignore the mismatch between timing and size of hedging. This mismatch arises when an airline do not find an exact contract size and timing for its hedging requirements. Therefore, the airline will be forced to either partially hedge or enter to multiple hedging contracts with different

terms and conditions. In addition, we do not consider the cases when either party default the hedge based on some predetermined conditions of the contract.

At the beginning of period T the airlines learns about the distribution of energy cost at the end of the period. So, the closer to the end of the horizon, the more precise estimation about the energy cost. Let θ denote the random energy price at the end of the period that is exogenously determined with μ_θ and σ_θ as its first and second moment. For a given capacity, lets define $\pi_0(\boldsymbol{Z}, \boldsymbol{P})$ as the random pre-hedge profit of the airline. In this formulation, Z determines the total capacity and P determines the price that the firm charges from time T to 0. This is the profit that the firm receives from actually selling the product through the demand function $\boldsymbol{D}$ that os a function of the price charged.

In addition to its direct impact on the total profit through operations cost, C_i, the fluctuations of the energy cost indirectly impacts the profit through the demand as there is a correlation between $\boldsymbol{D}$ and θ. This correlation occurs as a result of the correlation between the price of energy cost and the price of substitutable products available in the market. Followed by this impact, upon a energy cost fluctuation, the market supply changes that increases the demand (weather it has positive or negative relationship will be left to the results of this study). Therefore, there exist a correlation between the airline's demand, $\boldsymbol{D}$, and the energy cost, θ. The joint distribution of the two determines the effectiveness of the hedging contract. We denote by ρ the correlation between $\boldsymbol{D}$ and θ that we assume to be nonnegative (i.e. $0 \leq \rho \leq 1$). Thus the hedging efficiency depends on ρ that increases from none to perfect as ρ increases from 0 to 1. Based on the above correlation setting, assuming that the total demand and the fuel cost follows normal distribution of $D \sim N(\mu_D, \sigma_D)$ we can then conclude that $\theta \sim N(\mu_D, \rho^2\sigma_D)$.

For a given capacity, the sole decision variable prior to the selling season is the number of futures contracts that the airline should buy or sell. Assuming that X determines the number of futures contract, the hedging contract's profit can be written as:

$$\pi_h(\theta) = X(\Delta f) \tag{2}$$

where $\Delta f = \theta - F_0$, and F_0 is the per unit futures price of energy at the beginning of the time period. By holding a position in the futures, the firm changes the distribution of its pretax profit (i.e. post-hedging profit) while the post-hedging profit of the firm is:

$$\Pi = \pi_0(Z, P) + \pi_h(\theta), \tag{3}$$

The hedging contract payoff is based on an underlying parameter θ that is exogenously determined and impacts the demand, D, and the futures spot price.

Different criteria can be used to determine the optimal financial hedging for the airline. Duffie [10] highlights the relationship between profit and the expected change of the futures price and their relations with the risk preferences of the decision maker. He provided a simple mean-variance model to address this idea. Ederington [11] and Koppenhaver [12] show that the effectiveness of a hedging strategy depends on the risk reduction percentage that can be achieved. We follow the later criteria and calculate the optimal hedge based the minimization of the variance of profit,

► Proposition.3. If δf and $\pi_0(\boldsymbol{Z}, \boldsymbol{P})$ are identically normally distributed the optimal hedging contract, then $X^* = \arg_X \min Var\{\Pi\}$ that can be calculated given the correlation between $\boldsymbol{D}$ and θ.

Using the above optimal hedging, Π^*, $\pi^*(\boldsymbol{Z}, \boldsymbol{P})$, and $\pi^*(\theta)$ denote the optimal total profit, optimal operational profit, and optimal hedging profit, respectively.

Firm profitability not only depends on the demand and the uncertainty associated with the operational cost, but also highly associated to the initial capacity of the firm. Due to many administration arrangement, the capacity decision tend to be a long term decision that needs to be made prior to the uncertainty resolution (i.e. energy price and demand realization). The firm capacity decisions are made in three different stages. The first stage that is a yearly decision that is the number and type of facilities the firm "owns". The second stage, which is made between six months to one month in advance refers to the production schedule for a given day. Finally the "Dynamic Capacity Management" is the firm's last minute changes to bring the capacity more in-line with the realized demand and operations cost. Since the hedging strategy mostly impact the production scheduling, in this research we study the interaction of the hedging strategy with the midterm capacity decisions.

The firm may reduce the capacity (or cancel the production of one unit) depending on the cost fluctuations. For higher costs, the firm may decide to dis-activate a unit that saves the operational cost while still owning the unit and bearing the capital cost. Therefore, the available capacity at the departure time is a random variable that

depends on ξ, the energy cost at day 0. The relationship between the available capacity and the initial capacity can be formulated as follows.

$$\tilde{Y}_i(Y_i) = \int_0^{Y_i} y(z)dz \tag{4}$$

where $y(z)$ is a random variable between 0 and 1 with mean a_i that is the hedging level. For the full hedging $a_i = 1$ and that $\tilde{Y}_i(Y_i) = Y_i$ and for no hedging a_i will be the ration over which the airline cancels the flight. Although in reality the units are represented in discrete units, the continuity assumption of the units simplifies the representation and analysis.

3.2. Capacity

The seat demand cannot exceed the available seat capacity, therefore the actual seat supply for flight $i = 1, \cdots, i$ is given by:

$$\tilde{Q}(P, Z_i) = \min\{\tilde{D}(P), \tilde{Z}_i\} \text{ for } i = 1, \cdots, n. \tag{5}$$

Using the above equation, the flight i capacity is given by

$$E\{\tilde{Q}(P, Z_i) - \tilde{Q}(P, Z_{i-1})\}$$

and the total elected operational cost is given by:

$$\text{operating cost } = \sum_{i=1}^{n} C_i E\{\tilde{Q}(P, Z_i) - \tilde{Q}(P, Z_{i-1})\} \tag{6}$$

where C_i is the expected operational cost of flight i that depend on the hedging contract.

We next need to determine the underage cost associated with the mismatch between the supply and demand of the seat. First, lets define $\bar{Q}(P, Z_i) = E\{\tilde{Q}(P, Z_i)|\xi\}$ that is the expected seat supply after the fuel cost is realized and all the short term capacity reductions are performed. In addition, lets define $S(\bar{Q}(P, Z_i), \bar{D}(P))$ as the shortage cost for the flights in day 0. Using Anderson and Turvey (1977), we use the constant marginal shortage cost as follows.

$$S(\bar{Q}(P, Z_i), \bar{D}(P)) = bE\{\bar{D}(P) - \bar{Q}(P, Z_i)\} \tag{7}$$

where $b > 0$ is a constant.

Considering all these costs, the gross profit of the airline is

$$\text{gross revenue} = \sum_{i=1}^{n} P_i E\{\tilde{Q}(P, Z_i) - \tilde{Q}(P, Z_{i-1})\} \tag{8}$$

Therefore, the objective of the airline is to maximize the expected total profit by choosing the capacity levels $Y_1, \cdots, Y_n$ and the price levels, P as follows.

$$\begin{aligned} \text{Maximize } V \quad &= \text{gross revenue} - \text{capacity cost} \\ &\quad - \text{operating cost} - \text{shortage cost} \end{aligned} \tag{9}$$

or

$$\begin{aligned} \text{Maximize } V \quad = \quad & \sum_{i=1}^{n} P_i E\{\tilde{Q}(P, Z_i) - \tilde{Q}(P, Z_{i-1}) \\ & - \sum_{i=1}^{n} k_i Y_i \\ & - \sum_{i=1}^{n} C_i E\{\tilde{Q}(P, Z_i) - \tilde{Q}(P, Z_{i-1})\} \\ & - bE\{\bar{D}(P) - \bar{Q}(P, Z_i)\} \end{aligned} \tag{10}$$

In the following section we determine the optimal capacity of the firm that is the summation of the individual unit capacities the firm orders at the beginning of the time horizon.

3.3. Optimal Capacity

The firm may choose among n different units while each unit type can be selected many times. Each additional unit i while incurs the capital cost of k_i and marginal operational cost of c_i, it increases the revenue by the sales of its capacity. Therefore, to reach the optimal capacity, the firm needs to select the production units one by one until the last unit does not become profitable. As each unit produce identical products and they only differ on costs and the capacity, we can view this as a stopping problem that the firm keep purchasing the products one by one until it is not profitable. Lets define $J_i(x)$ as the expected profit of the firm when there are already i units chosen with total capacity of x. The we can use a stopping dynamic programming problem as follows to determine the optimal capacity.

$$\begin{aligned} J_i(x) &= \max\{J_i(x), \\ &\quad \max_j (P(x+Y_j)Y_j - c_jY_j - k_j + J_{i+1}(x+Y_j)\} \end{aligned} \tag{11}$$

with the boundary conditions $J_0(.) = 0$ and $J_i(0) = 0$, for any i.

4. Numerical Study

In this section, we use a numerical method to illustrate our results. In this study, we assume that $n = 10$ that is the number of available products.

Table 1: Optimal capacity investment based on variable cost

C_i	j	Z_i	$J_i(j)$
2.5	1(7)	1050	39000
2	1(6)	900	125000
1.5	1(6)	900	215000
1	4(2), 1(3), 3(1)	1000	276100
0.5	4(2), 3(3)	1000	363960
0.1	4(2), 3(3)	1000	480660

The capacity vector of the products is

$$Y = \{150, 300, 225, 165, 100, 220, 300, 300, 220, 130\}.$$

And the fixed cost associated with investing in each product (in thousands dollars) is

$$K = \{25, 60, 20, 18, 25, 48, 35, 45, 90, 60\}.$$

In addition the marginal operating cost is:

$$C = \{150, 145, 240, 220, 150, 150, 300, 450, 300, 200\}.$$

The base unit selling price is 600.

Table 2: Optimal capacity investment based on fixed cost

k_i	j	Z_i	$J_i(j)$
4	-	0	0
2	3(3)	900	84000
1.5	4(2), 3(3)	1000	222600
1	4(2), 1(3), 3(1)	1000	276100
0.5	1(6)	1000	362500
0.1	2(3), 1(1)	1000	434000

In Table 1 we present the optimal capacity investment based on the above parameters and based on different values for the variable cost (as the number of multiplier to the original variable cost). As we can see, for the

higher values of the operating cost, when the operating cost is multiplied by the factor of 2.5, the optimal choice is to invest only on product 1 (7 items) that results in the total capacity 1050 and profit $39,000. As the marginal cost decreases the firm invests on products with rather lower fixed cost to compensate the cost toward higher profit.

Table 2 summarizes the results for the same parameters but for different fixed costs. For higher fixed costs, the firm lowers the investment even to zero when the costs are multiplied by factor of 4. As the fixed cost gets lower the firm invests in items with higher capacity but relatively lower operating cost. We can also compare the optimal profit of the firm facing higher operating cost compared with higher fixed cost. As one can see by comparing the numbers in Tables 1 and 2, the higher fixed cost prevents the firm higher to invest and generate profit

Finally, in Table 3, we can see the impact of higher selling prices on capacity investment and profit levels. For low selling price the firm does not invest at all. As the selling price goes up, the firm invest on product 3 and 4 with investment level and variety being steady over different selling prices. This suggests that as the items produce products with similar quality and the selling prices are the same, the firm does not have incentive to change its investment policy as the selling price changes.

Table 3: Margin settings

p_i	j	Z_i	$J_i(j)$
3	4(2), 3(3)	1000	1430400
2	4(2), 3(3)	1000	830400
1.5	4(2), 3(3)	1000	530400
1	4(2), 3(3)	1000	230400
0.62	3(4)	900	2800
0.1	-	0	0

5. Conclusion

In this paper we provided a model and solution method for capacity investment of the firm when they face uncertainty in the operating cost. We also provided a linkage between the capacity investment and also the hedging policy of the firm. We used a numerical method to illustrate our results and studied the interaction of different parameters in the model. In the future study, the impact of cost variability on capacity investment can be further studied. As the firm hedge their vulnerability lowers depending on the cost fluctuations.

REFERENCES

[**1**] Van Mieghem J., & Rudi N., (2002). Newsvendor networks: Inventory management and capacity investment with discretionary activities. Manufacturing & Service Operations Management, 48, 313-335.

[**2**] Jacobs K., & Peterson K., (2011). U.S. airlines cut capacity to battle fuel costs. Reuters, March 22.

[**3**] Cooper W., & Gupta D., (2006). Stochastic Comparisons in Airline Revenue Management. Manufacturing & Service Operations Management, 8, 221-234.

[**4**] Talluri T.K., & van Ryzin G.J. (2004). The Theory and Practice of Revenue Management. (1th ed.). Boston: Kluwer Academic Publishers.

[**5**] Froot K., Scharfstein D., & Stein J., (1993). Risk management: Coordinating corporate investment and financing policies. The Journal of Finance, 4, 1629-1658.

[**6**] Rao V., (1999). Fuel price risk management using futures. Journal of Air Transport Management, 5, 39-44.

[**7**] Ubhi H., (1996). Jet fuel price risk management. Journal of Air Transport Management, 1, 60-62.

[**8**] Carter D., Rogers D., & Simkins B., (2007). Fuel Hedging in the Airline Industry: The Case of Southwest Airlines. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=578663 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.578663.

[**9**] Sibdari S., & Pyke D., (2012). Dynamic Pricing with Uncertain Production Cost: An Alternating-Move Approach. European Journal of Operational Research, 236, 218-228.

[**10**] Duffie., (1989). Futures Markets. (1th ed.). Englewood Cliffs, NJ. Prentice-Hall.

[**11**] Ederington H. L., (1979). The hedging performance of the new futures markets. The Journal of Finance, 34, 157-170.

[**12**] Koppenhaver G. D. , (1985). Bank funding risks, risk aversion, and the choice of futures hedging instrument. The Journal of Finance, 40, 241-255.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

ISPITIVANJE UTICAJA MOBILNOG MARKETINGA NA RAZVOJ ODNOSA SA POTROŠAČIMA

ALEKSANDRA STOJILJKOVIĆ[1]

[1]Student doktorskih studija, Ekonomski fakultet u Subotici, Univerzitet u Novom Sadu, aleksandra.stojiljkovic@gmail.com

Apstrakt: *Proučavanjem digitalnih marketinških tendencija došlo se do zaključka da se Mobilni marketing nalazi u samom vrhu popularnosti među digitalnim marketinškim tehnikama na globalnom nivou. Brojni argumenti na koje se nailazi u stručnoj i naučnoj literaturi, i koji govore o značaju mobilnog marketinga za savremenu marketinšku praksu, kao i evidentna aktuelnost ovog medija danas, dovoljan su razlog za njegovo dalje proučavanje. S obzirom da su kupci i razvoj odnosa sa njima postali imperativ poslovanja svake kompanije, data marketinška tehnika proučavana je u kontekstu razvoja odnosa sa potrošačima. Rezultati istraživanja pokazuju da mobilni markrting ima značajan uticaj na razvoj odnosa sa potrošačima.*

Ključne reči: *Mobilni marketing, Upravljanje odnosima sa potrošačima, Istraživanje.*

1. UVOD

Najnovija istraživanja pokazuju da će broj korisnika mobilnih telefona u svetu preći pet milijardi kori snika do 2019. godine (Statista 2018). Stoga nimalo ne čudi što se Mobilni marketing nalazi u samom vrhu popularnosti među digitalnim marketinškim tehnikama na globalnom nivou. Mobilni marketing je postao globalni trend u marketing komunikaciji zbog svojih specifičnih karakteristika kao što su (Pais 2015) prenosivost, mogućnost lociranja i nezavisnost u odnosu na bilo koji drugi marketinški kanal, kao i zbog mogućnosti personalizacije sadržaja i velikog obima međusobnih interakcija.

U nastojanju kompanija da pronađu "recept uspešnosti", pored ovog trenda, u poslednje četiri decenije došlo je i do značajne promene same marketinške paradigme, koja je svoj strateški fokus pomerila ka kupcu i njegovim potrebama i što čvršćim odnosima sa kupcima i ostalim stejkholderima (Lovreta, Berman, Petković, Veljković, Crnković i Bogetić 2010). Iz tog razloga, uzevši u obzir oba rastuća trenda, ovaj rad je posvećen proučavanju mobilnog marketinga u kontekstu razvoja odnosa sa potrošačima. U ovu svrhu formulisana su sledeća istraživačka pitanja: Kakav je odnos između upotrebe mobilnog marketinga i odnosa sa potrošačima? Da li upotreba mobilnog marketinga utiče na razvoj odnosa sa potrošačima? Kako upotreba mobilnog marketinga utiče na razvoj odnosa sa potrošačima?

S obzirom da je mobilni marketing relativno mlada tehnika digitalnog marketinga, iako su se mnogi autori bavili njegovim proučavanjem i može se pronaći raznovrsna literatura na ovu temu, ostaje još puno prostora za njegovo dalje izučavanje, pogotovo u kontekstu uticaja na razvoj odnosa sa potrošačima. Treba istaći i to, da je ovo istraživanje sprovedeno na teritoriji Srbije, i da konkretno ispituje odnos srpskih potrošača prema mobilnom marketingu, i njegovom prihvatanju, tako da bi ovaj rad, s obzirom da je bilo malo ili gotovo nije bilo uopšte ovakvih istraživanja, mogao da doprinese razvoju teorije i prakse mobilnog marketinga u Srbiji.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Upravljanje odnosima sa potrošačima

Tokom devedesetih godina prošlog veka došlo je do razvoja sistema poslovanja koji u središte svog interesovanja stavlja potrebe potrošača – upravljanje odnosima sa potrošačima (customer relationship management – CRM), koji predstavlja „proces pažljivog upravljanja detaljnim informacijama o pojedinačnim kupcima i svim tačkama dodira sa kupcima sa ciljem da se maksimalno poveća njihova lojalnost" (Kotler i Keller 2017, str. 146). Iz perspektive vrednosti kupca, Kumar i Reinartz (2012) vide CRM kao strategijski proces analize i upotrebe marketinške baze podataka i napredne komunikacione tehnologije u cilju optimizacije trenutne i buduće vrednosti kupca za kompaniju. Buttle i Maklan (2015) definišu CRM kao proces upravljanja svim aspektima interakcije koje kompanija ima sa svojim kupcima, uključujući istraživanje, prodaju i servis, sa ciljem da pruži uvid i poboljša odnos kompanije sa svojim kupcima, povezujući sve ove poglede na interakcije sa kupcima u jedinstvenu celinu.

U svojoj osnovi upravljanje odnosima sa kupcima omogućava kompanijama da pruže odličnu pravovremenu uslugu zahvaljujući efektivnoj upotrebi informacija o svakom vrednom kupcu, na osnovu čega kompanije mogu da prilagode svoju tržišnu ponudu, usluge, programe, poruke i medije, kako bi stvorile lojalne potrošače. Ovo posebno dolazi do izražaja u eri digitalnih medija, pogotovo razvoja mobilne tehnologije, gde se javlja pregršt mogućnosti za uspešnije upravljanje i razvoj odnosa sa potrošačima.

2.2. Mobilni marketing

Veliki broj autora bavio se temom mobilnog marketinga, ali jednu od najsveobuhvatnijih definica mobilnog marketinga dala je Asocijacija za mobilni marketing (MMA 2009) kao jedna od referentnih institucija u ovoj oblasti, koja definiše mobilni marketing kao „skup praksi koji omogućava organizacijama da komuniciraju i angažuju svoju publiku na interaktivan i relevantan način kroz i sa bilo kojim mobilnim uređajem ili mrežom.“ Set praksi ovde uključuje “aktivnosti, institucije, procese, igrače u industriji, standarde, oglašavanje i medije, direktan odgovor, promocije, upravljanje odnosima, CRM, korisničke usluge, lojalnost, društveni marketing i sve druge elemente i aspekte marketinga.” Angažovanje znači “započinjati odnose, sticati, generisati aktivnosti, stimulisati društvenu interakciju sa organizacijom i članovima zajednice, biti prisutan u vreme kada potrošač izrazi potrebu.”

Zbog svoje interaktivnosti, intimnosti i dometa, mobilni telefon, kao najpersonajniji marketinški kanal, koji je sveprisutan, svedostupan, visoko interaktivan, i omogućava neposrednu potrošnju zahvaljujući ugrađenom sistemu plaćanja, kao i precizno merenje svih faza i efekata kampanje, i pospešuje rad drugih medija, pruža izvanredne mogućnosti za razvoj marketinga i odnosa sa potrošačima. U kontekstu navedenog, u nastavku dat je pregled mobilnih marketing alata koji, obezbeđujući bolje iskustvo korisnika, imaju najveći uticaj na razvoj odnosa sa potrošačima:

- Poruke – SMS/MMS - Predstavljaju najčešći način komunikacije putem mobilnog telefona, i najpoželjniji mobilni marketinški alat. Međutim, prema Mirbagheri (2010) ovde treba voditi računa jer su poruke opt-in proces, tako da je potrebno najpre pribaviti saglasnost od potrošača pre nego što mu se pošalje promotivna poruka.
- Mobilni internet - Made-for-mobile standard – XHTML i pojava iPhone uređaja doveli su do povećane upotrebe mobilnog interneta i povećanja kvaliteta mobilne pretrage i mobilnih sajtova među kojima skakako prednjači Google. Danas mnogo veći broj ljudi pristupa internetu preko mobilnih telefona nego preko desktop računara.
- Mobilne aplikacije - Pored mobilnih sajtova koji mogu da se prilagode za korišćenje na mobilnim telefonima, među mobilnim marketinškim alatima sve veću popularnost imaju mobilne aplikacije, među kojima su najpopularnije mobilne društvene mreže i mobilna elektronska pošta.
- Mobilne društvene mreže - Mobilno društveno umrežavanje je jedna od najpopularnijih aktivnosti na “pametnim” telefonima, gde je Facebook zasigurno lider. Druge popularne mobilne društvene mreže su Instagram, Snapchat, Pinterest, Tumblr, Vine, Twitter, dok popularne mobilne aplikacije za ćaskanje uključuju Whatsapp, WeChat, Kakaotalk i LINE.
- Mobilna elektronska pošta – Istraživanja pokazuju (Emailmonday 2019) da se 33% e-poruka otvara prvo pomoću mobilnih aplikacija. 40% korisnika uzrasta od 14 do 18 godina uvek će prvo čitati e-poštu na mobilnom telefonu, 29% od 19 do 34 godine i 8% od 56 do 67 godina.
- Mobilni marketing na blizinu i vezan za lokaciju - Predstavlja distribuciju marketing sadržaja koji je u vezi sa određenom lokacijom, korišćenjem mobilnog GPS sistema. Prema Mirbagheri (2010), Bauer (2013), Kotler i Keller (2017) ovo je posebno korisno sredstvo kod sprovođenja mobilnih programa lojalnosti.
- Mobilno unapređenje prodaje - Jedan od njegovih ključnih ciljeva jeste generisanje baze podataka kupaca koji su pristali na izgradnju odnosa sa kompanijom. Najvažnije vrste mobilnog unapređenja prodaje (Bauer 2013) su mobilne nagradne igre i mobilni kuponi, kao i mobilni-CRM koji podrazumeva izgradnju programa upravljanja odnosima sa potrošačima u mobilnom okruženju.

3. METODOLOGIJA

U cilju davanja odgovora na postavljena istraživačka pitanja i dokazivanja postavljenih hipoteza razvijen je istraživački model prema (Osterwalder i Pigneur 2002) E-poslovnom modelu ontologije (e-poslovanja), koji se zasniva na četiri glavna stuba: (1) inoviranje proizvoda, (2) upravljanje infrastrukturom, (3) odnosi sa kupcima i (4) finansije. S obzirom da je cilj ovog rada bio da ispita uticaj mobilnog marketinga na razvoj odnosa sa potrošačima, fokus je stavljen na deo originalnog modela koji se odnosi na odnose sa potrošačima koji obuhvata tri ključne oblasti: (1) informacionu strategiju, (2) osećanja i usluge i (3) poverenje i lojalnost.

S druge strane, istraživanja Hadadi i Almsafir (2014), Tekkanat i Topaloglu (2016) u okviru mlađe populacije, potvrđuju da različite vrste mobilnog marketinga (SMS/MMS, mobilne aplikacije, QR kod, oglasi zasnovani na lokaciji i mobilni baneri) imaju značajan uticaj sa upravljanje odnosima sa kupcima (CRM), kao i da su tinejdžeri spremniji da koriste nove aplikacije koje mogu da zadovolje nihove potrebe. Zasnovano na originalnim modelima istraživanja razvijen je novi model istraživanja prilagođen potrebama ovog istraživanja, koji se sastoji iz tri dela.

Prvi deo, odnosi se na socio-demografske karakteristike kupaca (pol, starost, obrazovanje, zaposlenje, mesečni prihod). Drugi deo, odnosi se na iskustvo kupaca sa mobilnim marketingom (da li dobijaju obaveštenja o proizvodu putem mobilnog telefona, i da li žele da dobijaju, da li su učestvovali u nekoj nagradnoj igri putem mobilnog telefona, iskoristili mobilni kupon, ili da li pripadaju nekoj od mobilnih društvenih mreža, i da li žele da pripadaju). Treći deo, ima svoje potkategorije: (1) prihvatanje mobilnog marketinga – koji polazi od datog teoretskog okvira da je upotreba mobilnog marketinga veća kod mlađe populacije, iz čega je razvijena hipoteza H1: Mobilni marketing je prihvatljiviji među mladim potrošačima, (2) odnos mobilnog marketinga i poverenja i lojalnosti – zasnovano na teoretskom okviru ovde se ispituje, da li, ukoliko je kupac prethodno imao pozitivno iskustvo u kupovini određenog brenda, bilo oflajn ili onlajn, to ima uticaja na lojalnost kupca tom brendu, kao jednom od najbitnijih segmenata odnosa sa potrošačima, i time, na prihvatanje mobilnog marketinga od strane kupca, iz čega je razvijena hipoteza H2: Upotreba mobilnog marketinga je u pozitivnom odnosu sa poverenjem i lojalnošću i (3) odnos mobilnog marketinga i odnosa sa potrošačima – gde se ispituje da li kroz sve predložene hipoteze u konačnom ishodu mobilni marketing doprinosi razvoju odnosa sa potrošačima, iz čega je razvijena hipoteza H3: Upotreba mobilnog marketinga je u pozitivnom odnosu sa odnosima sa potrošačima.

U skladu sa svrhom i ciljem ovog istraživanja, nakon detaljne analize, odabran je upitnik kao najprikladniji metod za prikupljanje podataka u ovom istraživanju. Upitnik se sastojao iz četiri dela sa ukupno 35 pitanja zatvorenog tipa, a za neka pitanja je korišćena Likertova skala sa ocenama od 1 do 5 (potpuno se ne slažem – 1, ne slažem se – 2, niti se ne slažem, niti se slažem – 3, slažem se – 4, potpuno se slažem – 5). Link do upitnika sa pratećim uputstvom vezano za anketu poslat na oko 300 ispitanika. Od ovog broja je posle odbacivanja nepopunjenih ili delimično popunjenih upitnika, broj sveden na 255 ispitanika, koliki je i uzorak ispitanika obuhvaćen ovim istraživanjem. U procesu analize podataka konkretnog istraživanja korišćene su i jednostavne i složene metode. Zapravo, korišćen je profesionalni statistički softver SPSS za dobijanje statističkih rezultata, koji su predstavljeni u nastavku rada.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Kako bi se dali odgovori na postavljena istraživačka pitanja i proverile postavljene istraživačke hipoteze bilo je neophodno sprovesti preliminarnu analizu podataka dobijenih iz testiranja (deskriptivna statistika). Rezultati preliminarne analize podataka pokazali su da su u uzorku (n=255) skoro podjednako bili zastupljeni muški (52,2%) i ženski ispitanici (47,8%), pri čemu su dominantne bile dve starosne grupe: ispitanici od 36 do 50 godina starosti (46,7%) i ispitanici od 21 do 35 godina starosti (45,9%). Kada se posmatra obrazovna struktura, uočava se da je najviše ispitanika sa visokim obrazovanjem (56,1%). Iako je većina ispitanika (85,9%) zaposlena, njihovi mesečni prihodi su izuzetno heterogeni. Ukoliko se posmatraju karakteristike ispitanika u vezi mobilnog marketinga rezultati su pokazali da većina ispitanika (77,6%) dobija obaveštenja o proizvodu, usluzi ili kompaniji putem mobilnog telefona. Veći deo (67,1%) ispitanika nikada nije poslao SMS/MMS poruku, kako bi učestvovali u nekoj nagradnoj igri. 60,8% ispitanika nikada nije iskoristilo mobilni kupon, kako bi ostvarili popust u radnji ili pri kupovini onlajn. Više od polovine (66,3%) ispitanika pripada nekoj mobilnoj društvenoj mreži, a 54,9% ispitanika želi da se priključi nekoj mobilnoj društvenoj mreži. 56,5% ispitanika bi prihvatilo da dobijaju obaveštenja od kompanije (SMS/MMS, mobilne kupone, pozive na događaje), onda kada se nađu u blizini neke njene prodavnice ili diskontne radnje.

Za dobijanje opisnih statističkih pokazatelja elemenata mobilnog marketinga (varijabli: upotreba mobilnog marketinga, poverenje i lojalnost, odnos sa potrošačima) upotrebljene su srednja vrednost, medijana, standardno odstupanje, raspon vrednosti promenljivih, asimetrija i spljoštenost raspodele. Svi elementi mobilnog marketinga vrednovani su pomoću Likertove skale ocenama od 1 do 5 (potpuno se ne slažem – 1, ne slažem se – 2, niti se ne slažem, niti se slažem – 3, slažem se – 4, potpuno se slažem – 5).

Provera pouzdanosti merne skale vršena je pomoću Kronbahovog koeficijenta alfa, čija se vrednost kreće između 0 i 1. Prema DeVellis (2003), ne preporučuje se prihvatanje pouzdanosti merne skale manje od 0,7. U nastavku je prikazana statistika pouzdanosti merne skale za sve slučajeve (varijble) istraživanja (Tabela 1).

Tabela 1.Statistika pouzdanosti merne skale

Skala	Kronbahov alfa	Kronbahova alfa zasnovana na standardizovanim stavkama	Broj tvrdnji
Mobilni marketing	,915	,916	7

Izvor: *Kalkulacija autora*

Na osnovu rezultata provere pouzdanosti, Kronbahov alfa iznosi 0,915 za skalu mobilni marketing, što pokazuje veoma dobru pouzdanost i unutrašnju saglasnost skale za ovaj uzorak. U nastavku je prikazana statistika pouzdanosti za sve pojedinačne subskale istraživanja (Tabela 2). S obzirom da su konstrukti poverenje i lojalnost i odnos sa potrošačima kod mobilnog marketinga operacionalizovani kao jednoajtemski, oni nisu bili uključeni u analizu pouzdanosti subskala. Nakon utvrđivanja pouzdanosti pojedinačnih subskala istraživanja, može se zaključiti da analizirane subskale imaju veoma dobru pouzdanost i unutrašnju saglasnost.

Tabela 2.Statistika pouzdanosti subskala

Subskala	Srednja vrednost	Varijansa	Standardna devijacija	Broj tvrdnji	Kronbahov alfa
Upotreba (mobilni marketing)	15,30	26,116	5,110	5	,873
Informaciona strategija	10,97	17,936	4,235	4	,888

Izvor: *Kalkulacija autora*

U nastavku istraživanja, za testiranje postavljenih hipoteza vezanih za predstavljene varijable, s obzirom da su rezultati Kolmogorov-Smirnov i Šapiro-Vilkovog testa za elemente mobilnog marketinga pokazali da pretpostavka o normalnosti raspodele nije potvrđena. Normalnost se pokazuje statistički neznačajnim (slučajnim) odstupanjem od normalnosti ukoliko je iznos značajnosti > 0,05, u ovom slučaju značajnost testova bila je manja od 0,05, korišćene su neparametarske statističke tehnike.

4.1. Utvrđivanje statistički značajne razlike u prihvatljivosti mobilnog marketinga prema starosti ispitanika

Jedan od zadataka istraživanja bio je da ispita da li postoji statistički značajna razlika u prihvatljivosti mobilnog marketinga prema starosti ispitanika. Postavljena je hipoteza H1: Mobilni marketing je prihvatljiviji među mladim potrošačima.

Imajući u vidu da pretpostavka o normalnosti raspodele nije potvrđena (rezultati Kolmogorov-Smirnov i Šapiro-Vilkovog testa), utvrđivanje statistički značajne razlike u prihvatljivosti mobilnog marketinga u odnosu na starost ispitanika istražena je pomoću Man-Vitnijevog U testa, kao neparametarske alternative t-testa nezavisnih uzoraka. Iznos značajnosti (p) treba da bude manji od zahtevane granične vrednosti od 0,05, kako bi se rezultat Z aproksimacije smatrao statistički značajnim. Radi testiranja ponuđene pretpostavke, svi ispitanici su prema starosti podeljeni u dve grupe: mladi (do 35 godina) i stari (preko 35 godina).

Man-Vitnijev U test otkrio je statistički značajnu razliku u prihvatljivosti mobilnog marketinga kod mlađih (Md = 3,20, n = 121) i starijih potrošača (Md = 3,00, n = 134), U = 6893,5, z = -2,068, p = 0,039, r = 0,13 (mali uticaj[1]). Pregledom srednjih vrednosti rangova grupa uočeno je da je prihvatljivost mobilnog marketinga veća kod mlađih potrošača, dok je prihvatljivost mobilnog marketinga manja kod starijih potrošača. Ovo dokazuje i vrednost medijane (Md), tj. grupa mlađih potrošača ima veću medijanu rezultata od grupe starijih potrošača.

Budući da je Man-Vitnijev U test otkrio statistički značajnu razliku u prihvatljivosti mobilnog marketinga prema starosti potrošača, rezultati istraživanja su pokazali da se predložena pretpostavka H1 prihvata, tj. mobilni marketing je prihvatljiviji među mladim potrošačima.

[1]Više videti u: Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral Science. New York: Hillsdale.

4.2. Utvrđivanje statistički značajne povezanosti upotrebe mobilnog marketinga sa poverenjem i lojalnošću

Još jedan od zadataka ovog istraživanja bio je da utvrdi povezanost upotrebe mobilnog marketinga i poverenja i lojalnosti. Postavljena je hipoteza H2: Upotreba mobilnog marketinga je u pozitivnom odnosu sa poverenjem i lojalnošću.

S obzirom da pretpostavka o normalnosti raspodele varijabli nije potvrđena (rezultati Kolmogorov-Smirnov i Šapiro-Vilkovog testa), veza između upotrebe mobilnog marketinga i poverenja i lojalnosti istražena je pomoću Spirmanove korelacije ranga, kao neparametarske alternative Pirsonove korelacije (Tabela 3).

Tabela 3. Korelacija upotrebe mobilnog marketinga i poverenja i lojalnosti

			Upotreba mobilnog marketinga	Poverenje i lojalnost
Spirmanov koeficijent korelacije ranga	**Upotreba mobilnog marketinga**	Koeficijent korelacije	1,000	,738**
		Značajnost	.	,000
		Broj slučajeva	255	255
	Poverenje i lojalnost	Koeficijent korelacije	,738**	1,000
		Značajnost	,000	.
		Broj slučajeva	255	255

**. Korelacija je značajna na nivou 0,01

Izvor: *Kalkulacija autora*

Između upotrebe mobilnog marketinga i poverenja i lojalnosti izračunata je srednje jaka (Coakes 2013, str. 75) pozitivna korelacija ($r = 0,738$), $n = 255$, $p < 0,01$, pri čemu se zaključuje da viši nivo upotrebe mobilnog marketinga od strane kompanija prati veće poverenje i lojalnost potrošača, tj. potrošači će osećati veću lojalnost prema kompanijama za koje znaju da višestruko koriste mobilni marketing u svom poslovanju. Upotreba mobilnog marketinga objašnjava 54,46% varijanse poverenja i lojalnosti potrošača.

S obzirom da je između upotrebe mobilnog marketinga od strane kompanija i poverenja i lojalnosti potrošača, izračunata srednje jaka pozitivna korelacija koja je statistički značajna, može se zaključiti da se pretpostavka H2 prihvata, tj. upotreba mobilnog marketinga je u pozitivnom odnosu sa poverenjem i lojalnošću.

4.3. Utvrđivanje statistički značajne povezanosti upotrebe mobilnog marketinga sa odnosima sa potrošačima

Kroz ispitivanje prethodnih pretpostavki, konačni zadatak ovog istraživanja bio je da utvrdi povezanost upotrebe mobilnog marketinga i odnosa sa potrošačima. Postavljena je hipoteza H3: Upotreba mobilnog marketinga je u pozitivnom odnosu sa odnosima sa potrošačima.

Imajući u vidu da pretpostavka o normalnosti raspodele varijabli, takođe, nije potvrđena (rezultati Kolmogorov-Smirnov i Šapiro-Vilkovog testa), veza između upotrebe mobilnog marketinga i odnosa sa potrošačima istražena je, kao i u prethodnom slučaju, pomoću Spirmanove korelacije ranga (Tabela 4).

Tabela 4. Korelacija upotrebe mobilnog marketinga i odnosa sa potrošačima

			Upotreba mobilnog marketinga	Odnos sa potrošačima
Spirmanov koeficijent korelacije ranga	**Upotreba mobilnog marketinga**	Koeficijent korelacije	1,000	,770**
		Značajnost	.	,000
		Broj slučajeva	255	255
	Odnos sa potrošačima	Koeficijent korelacije	,770**	1,000
		Značajnost	,000	.
		Broj slučajeva	255	255

**. Korelacija je značajna na nivou 0,01

Izvor: *Kalkulacija autora*

Između upotrebe mobilnog marketinga i odnosa sa potrošačima izračunata je jaka pozitivna korelacija ($r = 0,770$), $n = 255$, $p < 0,01$, pri čemu se zaključuje da viši nivo upotrebe mobilnog marketinga od strane kompanija prati bolji odnos sa potrošačima, tj. viša upotreba mobilnog marketinga od strane kompanija prati viši nivo zadovoljstva potrošača. Upotreba mobilnog marketinga objašnjava 59,29% varijanse poverenja i lojalnosti potrošača.

S obzirom da je između upotrebe mobilnog marketinga od strane kompanija i odnosa sa potrošačima, izračunata jaka pozitivna korelacija koja je statistički značajna, može se zaključiti da se pretpostavka H3 prihvata, tj. upotreba mobilnog marketinga je u pozitivnom odnosu sa odnosima sa potrošačima.

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja bio je da dâ odgovore na postavljena istraživačka pitanja, u koju svrhu su ispitivane postavljene istraživačke hipoteze. Istraživanje je dokazalo da upotreba mobilnog marketinga utiče na odnose sa potrošačima, i da između njih postoji pozitivna korelacija. Ovo bi mogao da bude snažan signifikator kompanijama da koriste mobilni marketing u svojim marketing strategijama, kako bi razvile dugoročne odnose sa svojim potrošačima. Treba ponovo istaći, da je ovo istraživanje rađeno na teritoriji Srbije, i da konkretno dokazuje da srpski potrošači imaju pozitivan odnos prema prihvatanju mobilnog marketinga, što bi posebno moglo da posluži kompanijama na domaćem tržištu. Ipak, mora se ukazati i na izvesna ograničenja ovog istraživanja, koja su pre svega vezana za veličinu uzorka ispitanika, kao i da bi se u drugačijim okolnostima, mogla primeniti neka druga tehnika istraživanja, što je plan za buduća istraživanja.

REFERENCE

[1] Statista. (2018). Number of mobile phone users worldwide from 2015 to 2020 (in billions). Preuzeto u maju 2018., sa: https://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phone-users-worldwide/

[2] Pais, P. (2015). Influence of mobile marketing in building brand loyalty among clothing retail consumers in Ireland. Dissertation. Dublin Business School, 1-85.

[3] Lovreta, S., Berman, B., Petković, G., Veljković, S., Crnković, J., i Bogetić, Z. (2010). Menadžment odnosa sa kupcima. (1 izdanje). Beograd: Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd: Data Status.

[4] Kotler, P., i Keller, L.K. (2017). Marketing menadžment. (15 izdanje). Beograd: Data Status.

[5] Kumar, V., & Reinartz, W. (2012). Customer Relationship Management: Concept, Strategy, and Tools. (2nd Edition). Berlin: Springer.

[6] Buttle, F., & Maklan, S. (2015). Customer Relationship Management: Concepts and Technologies. (3rd Edition). Abingdon: Routledge.

[7] MMA. (2009). MMA Updates Definition of Mobile Marketing. Preuzeto u avgustu 2018., sa: https://www.mmaglobal.com/news/mma-updates-definition-mobile-marketing

[8] Mirbagheri, S.A. (2010). SMS Advertising Business Model: Toward Finding Vital Elements Of Its Value Model. 2010 Eabr & Etlc Conference Proceedings, Dublin, Ireland, 815-824.

[9] Emailmonday. (2019). The ultimate mobile email statistics overview. Preuzeto u julu 2019., sa: https://www.emailmonday.com/mobile-email-usage-statistics/#growth

[10] Bauer, I. (2013). Digitalni marketing. (1 izdanje). Beograd: Zavod za udžbenike.

[11] Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2002). An e-Business Model Ontology for Modeling e-Business. 15th Bled Electronic Commerce Conference, e-Reality: Constructing the e-Economy, Bled, Slovenia, June 17-19, 2002, 1-12.

[12] Hadadi, K., & Almsafir, M.K. (2015). The Relationship between Mobile Marketing and Customer Relationship Management (CRM). IEEE, 61.

[13] Tekkanat, E., & Topaloglu, M. (2016). 3rd Global Conference on Business, Economics, Management and Tourism, 26-28 November 2015, Rome, Italy. Procedia Economics and Finance, 39, 32-38.

[14] DeVellis, R.F. (2003). Scale Development: Theory and Applications (2nd Edition). Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 26.

[15] Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral Science. New York: Hillsdale.

[16] Coakes, S.J. (2013). SPSS 20 analiza bez muke. Kompjuter biblioteka.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PROJECT MANAGEMENT SUCCESS FACTORS FOR IMPLEMENTATION OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY

FAKTORI USPEŠNOSTI UPRAVLJANJA PROJEKTIMA ZA UVOĐENJE NAPREDNE PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

MARKO SLAVKOVIĆ[1], MARIJANA SIMIĆ[2]

[1] Ekonomski fakultet, Univerzitet u Kragujevcu, mslavkovic@kg.ac.rs
[2] Ekonomski fakultet, Univerzitet u Kragujevcu, msimic@kg.ac.rs

Abstract: *Numerous modern trends, which have led to significant changes in the production sector, affect the intensification of competition and the development of new production technologies. In order to meet challenges and contemporary requirements, manufacturing companies need to formulate appropriate production strategies, implement fitting processes and use modern technology. Consequently, project management is one of the key activities of manufacturing companies, and the implentation of advanced manufacturing technology (AMT) is an important project to be implemented. Starting from the fact that the AMT includes a wide range of modern, mostly computer-based, systems dedicated to improving production operations and thereby increasing the competitiveness of enterprises, it is necessary to consider the factors that influence the success of the management of such projects. The aim of the research is to determine the perception of managers about the relevance of individual factors for the implementation of projects, and the results indicate the almost equally assessed importance of given groups of factors. The contribution of the conducted research relates to the insufficiently perceived importance of technological factors, which in today's era of digitalisation should be key performance factors.*

Keywords: *projects, project management, advanced production technology*.

Rezime: *Brojni savremeni trendovi, koji su doveli do značajnih promena u proizvodnom sektoru, utiču na intenziviranje konkurencije i razvoj novih proizvodnih tehnologija. Kako bi se suočila sa izazovima i ispunila savremene zahteve, proizvodna preduzeća treba da formulišu odgovarajuće proizvodne strategije , sprovedu odgovarajuće procese i koriste savremenu tehnologiju. Shodno tome, projektni menadžment predstavlja jednu od ključnih aktivnosti proizvodnih preduzeća, a uvođenje napredne proizvodne tehnologije (NPT) je važan projekat koji treba implementirati. Polazeći od toga da NPT uključuje širok spektar modernih, uglavnom kompjuterski zasnovanih, sistema posvećenih poboljšanju proizvodnih operacija i time povećanju konkurentnosti preduzeća, neophodno je sagledati faktore koji utiču na uspešnost upravljanja ovakvih projekata. Cilj istraživanja je utvrđivanje percepcije menadžera o relevantnosti pojedinačnih faktora za implementaciju projekata, a rezultati ukazuju na gotovo podjednako ocenjenu važnost datih grupa faktora. Doprinos sprovedenog istraživanja odnosi se na nedovoljno percipiranu važnost tehnoloških faktora, koji u današnjoj eri digatilazije treba da predstavljaju ključne faktore uspešnosti.*

Ključne reči: *projekti, projektni menadžment, napredna proizvodna tehnologija*.

1. INTRODUCTION

The impact of globalization and the development of modern technologies is evident when it comes to manufacturing firms. Modern trends have led to a number of changes in the manufacturing sector, which primarily affected the exponential increase in the number of new players, which, consequently, contributed to the intensification of competition in the market (Achanga, Shehab, Roy & Nelder, 2006; Co, Eddy Patuwo & Hu, 1998; Umble et al, 2003). Introducing the IoTS (Internet of Things and Services) marked the beginning of the fourth industrial revolution labeled as Industry 4.0. The basic characteristics of the new industrial revolution are the production of smart personalized products, while the emphasis is on the high level of cooperation between the mentioned participants through the developed production network (Link, Mladineo & Gjeldum, 2015). Since the identified changes have a gradual but revolutionary character, manufacturing companies are forced to react quickly to ensure survival in today's digitalization era (Venkata Rao & Patel, 2010).

In order to meet the challenges and contemporary trends, manufacturing enterprises should formulate appropriate production strategies and use applicable tools, machines and other work equipment (Venkata Rao & Patel, 2010). According to the established requirements, project management (Belout & Gauvreau, 2004; McCollum & Sherman, 1991) is one of the key activity. According to Yang (2013), project management activities in production are associated with non-standardized production in very complex and uncertain circumstances, with the final result of a single project being a product. Recognizing the key features of the project, such as: defining a wide range of objectives, different interests of numerous internal and external stakeholders, limited budget, pre-determined schedule of activities, respecting quality standards and a number of complex and interconnected activities, projects are primarily classified as complex technical systems (Belout & Gauvreau, 2004; McCollum & Sherman, 1991).

Since strategic priorities are focused on quality, cost-effectiveness and rapid response, manufacturers are increasingly oriented towards projects that take advantage of modern technological solutions (Co et al., 1998). One such step forward involves the implementation of advanced manufacturing technology (AMT), which represents the perfect cross-section of the technology potential of enterprise and the challenges that the enterprise is faced with. AMT refers to the use of manufacturing process technology, predominantly computer-based systems, which allow the storage and management of large amounts of data (Dangayach & Deshmukh, 2005; Dean et al., 1992; Zammuto & O'Connor, 1992; Co, Eddy Patuwo & Hu, 1998; McDermott & Stock, 1999). However, having in mind that projects represent complex ventures, especially if the challenges faced by a modern enterprise are considered, it is necessary to identify the factors that determine their success in the implementation of AMT. Although the subject of numerous previous studies was AMT (Chan et al., 2001; Dangayach & Deshmukh, 2005; McDermott & Stock, 1999; Putterill et al., 1996; Small & Yasin, 1997), empirical evidence that testifies to factors performance, especially when it comes to emerging economies is limited. Therefore, the main goal of this paper is to determine the relevance of different groups of project success factors related to the implementation of AMT in production enterprises in the Republic of Serbia.

2. LITERATURE REVIEW

Advanced manufacturing technology (AMT) can be defined as "an automated production system of people, machines and tools for the planning and control of the production process, including the procurement of raw materials, parts and components, and the shipment and service of finished products " (Pennings & Buitendam, 1987, p. 198). AMT presents a wide range of modern, mainly computer-based, systems dedicated to improving production operations and thus increasing enterprise competitiveness (Small & Yasin, 1997). More precisely, AMT includes computer-aided design (CAD), robotics (RO), computer numerical control (CNC) machines, direct numerical control (DNC) machines, automated storage and retrieval system (AS/RS), automated material management systems (AMHS), automated guided vehicles (AGV), bar coding (BC), rapid prototyping (RP), material requirement planning (MRP), statistical process control (SPC), enterprise resource planning (ERP), activity-based costing (ABC), and office automation (OA) or other automated identification techniques (Beaumont et al., 2002; Dangayach & Deshmukh, 2005; McDermott & Stock, 1999; Zammuto & O'Connor, 1992; Sambasivarao and Deshmukh, 1995).

Although AMT can provide a wide range of benefits, the company will benefit only if adopts a strategic approach to planning (Small & Yasin, 1997; Zahra & Covin, 1993). In addition to the mentioned flexibility and efficiency (McDermott & Stock, 1999), automation of the production process reduces the direct and indirect labor costs and improves the process of planning and control of production. Computer-aided design contributes to greater precision and reproducibility of the process, leading to lower defect rates and improved product quality. Using computer technology to control production operations, flexible automation leads to lower variable costs. Since rapid technology changes have resulted in a shortening of the life cycle of many products, the time of launching the product to the market is becoming one of the most critical success factors. Computer Integrated Production (CIM) impacts the product life cycle by reducing the time that firms need to respond to changes in market demand and accelerate the quality requirement that will be designed in the product (Co et al., 1998).

In order to effectively implement it, it is necessary to understand the current and upcoming trends, but also the factors that affect the entire production sector, the nature of the decision-making process and the effectiveness of different methods and techniques. The above is the only way to ensure the delivery of properly structured decisions, which provide answers to a number of issues related to the design, planning and management of production systems (Venkata Rao & Patel, 2010). Therefore, the identification of project management success factors is one of the key tasks of manufacturing companies that opt for the implementation of AMT (Co et al., 1998).

According to Achanga et al. (2006) financial factors are important determinants of the success of each project. On the one hand, the important characteristic of each project is the limitation of financial resources (Belout & Gauvreau, 2004; McCollum & Sherman, 1991), while on the other hand, the primary goal of every preference is the improvement of productivity. Consequently, the planning and implementation of different training programs and the service of consultants is a real challenge for manufacturing companies, which are ready to implement the AMT. Since employees are often unaware of the AMT's functioning, production gaps are possible, which leads to cost increases and a decline in financial performance. Disposition of limited funds is the main obstacle to the adoption and subsequent implementation of AMT, especially in the case of small and medium-sized enterprises.

Organizational factors relate to the characteristics of the business environment in which the projects are carried out. First, an important factor in the success of the project is the organizational structure, as evidenced by numerous previous studies, the subject of which was the relationship between the implementation of different technological solutions and the organizational structure (McDermott & Stock, 1999; Parthasarthy & Sethi, 1992, Zammuto & O'Connor, 1992 McCutcheon, 1993). The relevance of the organizational structure to the implementation of AMT is reflected in its impact on many aspects, such as resource allocation efficiency and agility in decision-making (Pacagnella et al., 2019). Second, Belout and Gauvreau (2004) argue that the level of authority assigned to the manager is a significant element associated with the success of the project. Third, top managerial support is another key factor for the success of the project (Ahmed, Mohamad & Ahmad, 2016), since obtaing this support contributes to avoiding conflicts and more effective access to resources. Fourth, change management is important because it can enable the organization to better handle risks and provides flexibility in addressing situations with an uncertain outcome, leading to a more consistent relationship with clients and increasing the likelihood of success (Wang et al., 2008). Finally, the organizational factor that influences the success of the projects is the establishment of a project management office (PMO), which consists of an organizational unit dedicated to supporting projects being implemented in the organization, which focuses on document organization, resource allocation, training, and sharing knowledge and experience from previous projects. Therefore, PMO activities contribute to increasing organizational competence in project management, and consequently to performance improvements (Pacagnella et al., 2019).

The last group of factors, but not least important, relates to technological factors, which include structural elements and technical aspects, which provide support in the implementation of the project. First, communication is essential, as well as the infrastructure that provides support for communication among team members, especially in the case of complex projects, when managing a large amount of information (Whyte, Stasis, & Lindquist, 2016). Another success factor in this category is the technical performance control, which includes the evaluation and correction activities of possible mismatches, and in particular the performance level of the final product, which usually has to meet the defined standards. It is also important to emphasize the usefulness of the technologies used in previous projects, ie knowledge, such as engineering solutions, specifications and prototypes. The use of such knowledge (drawings, assembly instructions, production processes and experience from decisions taken) contributes to the success of the project, since it prevents the previous errors from being re-engineered, thereby reducing costs and improving the technical performance of products (Pacagnella et al., 2019). When it comes to the implementation of AMT, the consistency factors must be considered (Small & Yasin, 1997), that is AMT must be compatible with existing systems in the organization (Stecke, 1985; Tetzlaff, 2013), and the abilities of the AMT must be in in accordance with the expected benefits (Tetzlaff, 2013; Udoka & Nazemetz, 1990).

3. RESEARCH METHODOLOGY

The presented theoretical framework indicates the existence of different groups of success factors of projects and this was the basis for the conduct of preliminary research. The main goal of the research is to determine the perception of managers about the relevance of individual factors for the implementation of projects. Participation in the survey was taken by employees in managerial positions in production companies active in the territory of the Republic of Serbia. Based on data published by the Business Registers Agency, 189 active production companies were selected at random, to which the questionnaire was distributed. In total, 54 valid questionnaires were collected, and the response rate was 28.6%. A questionnaire was used as a research instrument, conceived from two sections. Section A included issues related to basic company data (ie ownership structure, number of employees etc.), as well as information on how to organize the production process and the existing form of automation. Within Section B, statements were given, which presented relevant factors for the successful implementation of the projects, requiring respondents to express their views on the five-point Likert scale. In this way, the level of importance of individual factors for project

implementation has been determined. The software package SPSS was used for data processing. In order to make the appropriate conclusions about the managers' attitude, descriptive statistics analysis and reliability analysis were conducted.

4. RESEARCH RESULTS

Based on the results of a descriptive statistical analysis (Table 1), the conclusion is drawn that managers continue to emphasize the relevance of financial factors, observing the aggregate values. The value obtained reachs in the ranking of the average score on the Likert scale, and none of the analysis of the included groups of success factors can be underestimated. When it comes to individual statements or factors, the highest degree of significance has been identified in the case of availability of necessary equipment and machines. However, the results indicate that the importance of modern digital applications and tools remains at an insufficiently high level, which can be explained by the low level of readiness of managers to implement them in the production process. Also, Table 1 gives the results of reliability analysis. The values of Cronbach's alpha coefficient can be accepted (George & Mallery, 2003) and range from 0,687 to 0,727.

Tabela 1: Deskriptive statistics and reliability analysis

Factors	Mean	Standard deviation
Financial factors: Cronbach's alpha =0,727		
Costs of implementing a new production system	4,0556	0,83365
Staff training costs for the implementing a new production system	3,7407	0,73164
Costs of purchasing new equipment and machines	4,3148	0,79679
Consultant engagement costs	3,2037	0,78619
Sum	3,8287	0,58444
Organizational factors: Cronbach's alpha =0,700		
Readiness of employees to follow the instructions of their superiors	3,9815	0,92125
Availability of relevant information on the new production system	3,7963	0,89821
Employee competence to implement a new production system	3,8519	0,81048
Monitoring of achieved performance of the new production system	3,8889	0,92485
Sum	3,8796	0,64563
Tehnological factors: Cronbach's alpha =0,687		
Availability of necessary equipment and machines	4,3148	0,77275
Ability of employees to use information and communication technology	3,7222	0,78708
Employee capabilities for managing digital apps (e.g., Google Drive, Dropbox, Podio, LinkedIn ...)	3,2407	0,77545
Employee's ability to work with modern business tools (e-mail, chat, instant messaging, blogs, micro-blogs, social networks)	3,3704	0,83092
Sum	3,6620	0,56876

5. CONCLUSION

Research conducted in the previous period has shown that a wide range of factors has a significant impact on the successful implementation of projects. The advanced manufacturing technology (AMT) implementation projects, as a specific type of projects that are characteristic for production companies, have a special significance, as they most often affect the competitiveness of manufacturing companies. The development of technology, especially in Industry 4.0, influences the necessity of changing the technological base of production companies, which is why the AMT implementation projects get a reversible character. At the

same time, there is another reason to analyze the factors that influence the success of AMT implementation projects, as it can prevent mistakes that were present in the past, using positive effects of good practice.

The results of the research presented in the paper show that in the domestic companies, no significant factor in the importance of introducing AMT is distinguished. All observed factors, financial, organizational and technological, have almost uniform average values that show their equal importance for the implementation of this type of project. By observing individual statements, it can be seen that the most important are the statements that relate to financial factors. This points to the fact that the financial condition of the company has the greatest impact on the introduction of AMT, as well as the availability of necessary equipment and machines. Relatively equal mean values of statements that relate to technological factors may indicate insufficient information of key managers on the development of new technologies, which can cause technological lagging of firms and loss of competitive ability in the long run.

REFERENCES

[1] Achanga, P., Shehab, E., Roy, R., & Nelder, G. (2006). Critical success factors for lean implementation within SMEs. Journal of manufacturing technology management, 17(4), 460-471.

[2] Ahmed, R., Mohamad, N. A. B., & Ahmad, M. S. (2016). Effect of multidimensional top management support on project success: An empirical investigation. Quality & Quantity, 50(1), 151–176.

[3] Beaumont, N., Schroder, R., & Sohal, A. (2002). Do foreign-owned firms manage advanced manufacturing technology better?. International Journal of Operations & Production Management, 22(7), 759-771.

[4] Belout, A., & Gauvreau, C. (2004). Factors influencing project success: the impact of human resource management. International journal of project management, 22(1), 1-11.

[5] Chan, F. T. S., Chan, M. H., Lau, H., & Ip, R. W. L. (2001). Investment appraisal techniques for advanced manufacturing technology (AMT): a literature review. Integrated Manufacturing Systems, 12(1), 35-47.

[6] Co, H. C., Eddy Patuwo, B., & Hu, M. Y. (1998). The human factor in advanced manufacturing technology adoption: an empirical analysis. International Journal of Operations & Production Management, 18(1), 87-106.

[7] Dangayach, G. S., & Deshmukh, S. G. (2005). Advanced manufacturing technology implementation: evidence from Indian small and medium enterprises (SMEs). Journal of Manufacturing Technology Management, 16(5), 483-496.

[8] Dean Jr, J. W., Yoon, S. J., & Susman, G. I. (1992). Advanced manufacturing technology and organization structure: empowerment or subordination?. Organization Science, 3(2), 203-229.

[9] George, D., & Mallery, P. (1999). SPSS® for Windows® step by step: A simple guide and reference. Allyn & Bacon.

[10] McCollum, J. K., & Sherman, J. D. (1991). The effects of matrix organization size and number of project assignments on performance. IEEE Transactions on Engineering Management, 38(1), 75-78.

[11] McCutcheon, D. M. (1993). Impacts of vendor project management methods on flexible manufacturing system implementation: a field study. Journal of Engineering and Technology Management, 10(4), 339-362.

[12] McDermott, C. M., & Stock, G. N. (1999). Organizational culture and advanced manufacturing technology implementation. Journal of Operations Management, 17(5), 521-533.

[13] Pacagnella Jr, A. C., da Silva, S. L., Pacífico, O., de Arruda Ignacio, P. S., & da Silva, A. L. (2019). Critical Success Factors for Project Manufacturing Environments. Project Management Journal, 50(2), 243-258.

[14] Parthasarthy, R., & Sethi, S. P. (1992). The impact of flexible automation on business strategy and organizational structure. Academy of Management review, 17(1), 86-111.

[15] Pennings, J. M., & Buitendam, A. (1987). New technology as organizational innovation: The development and diffusion of microelectronics. Ballinger Pub Co.

[16] Putterill, M., Maguire, W., & Sohal, A. S. (1996). Advanced manufacturing technology investment: criteria for organizational choice and appraisal. Integrated Manufacturing Systems, 7(5), 12-24.

[17] Sambasivarao, K. V., & Deshmukh, S. G. (1995). Selection and implementation of advanced manufacturing technologies: classification and literature review of issues. International Journal of Operations & Production Management, 15(10), 43-62.

[18] Small, M. H., & Yasin, M. M. (1997). Developing a framework for the effective planning and implementation of advanced manufacturing technology. International Journal of Operations & Production Management, 17(5), 468-489.

[19] Stecke, K. E. (1985). Design, planning, scheduling, and control problems of flexible manufacturing systems. Annals of Operations research, 3(1), 1-12.

[20] Tetzlaff, U. A. (2013). Optimal design of flexible manufacturing systems. Springer Science & Business Media.

[21] Udoka, S. J., & Nazemetz, J. W. (1990). An empirically based analysis of the requirements for successful implementation of advanced manufacturing technology (AMT). Computers & Industrial Engineering, 19(1-4), 131-135.

[22] Umble, E. J., Haft, R. R., & Umble, M. M. (2003). Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors. European journal of operational research, 146(2), 241-257.Mettam, G.R., & Adams, L.B. (2009). How to prepare an electronic version of your article. In B. S. Jones, & R. Z. Smith (Eds.), Introduction to the electronic age (281–304). New York: E-Publishing Inc.

[23] Venkata Rao, R., & Patel, B. K. (2010). Decision making in the manufacturing environment using an improved PROMETHEE method. International Journal of Production Research, 48(16), 4665-4682.

[24] Veza, I., Mladineo, M., & Gjeldum, N. (2015). Managing innovative production network of smart factories. IFAC-PapersOnLine, 48(3), 555-560.

[25] Wang, E. T., Ju, P. H., Jiang, J. J., & Klein, G. (2008). The effects of change control and management review on software flexibility and project performance. Information & Management, 45(7), 438-443.

[26] Whyte, J., Stasis, A., & Lindkvist, C. (2016). Managing change in the delivery of complex projects: Configuration management, asset information and ‘big data’. International Journal of Project Management, 34(2), 339-351.

[27] Yang, L. R. (2013). Key practices, manufacturing capability and attainment of manufacturing goals: The perspective of project/engineer-to-order manufacturing. International Journal of Project Management, 31(1), 109-125.

[28] Zahra, S. A., & Covin, J. G. (1993). Business strategy, technology policy and firm performance. Strategic management journal, 14(6), 451-478.

[29] Zammuto, R. F., & O'Connor, E. J. (1992). Gaining advanced manufacturing technologies' benefits: The roles of organization design and culture. Academy of Management Review, 17(4), 701-728.

[30] Zammuto, R. F., & O'Connor, E. J. (1992). Gaining advanced manufacturing technologies' benefits: The roles of organization design and culture. Academy of Management Review, 17(4), 701-728.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PRIMENA METODA *QFD* U PROJEKTOVANJU INOVACIJA

THE APPLICATION OF QFD METHOD IN INNOVATION DESIGN

RADUL MILUTINOVIĆ[1], BILJANA STOŠIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, radul.milutinovic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, biljana.stosic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Jedna od osnovnih karakteristika ranih faza inovacionih projekata je slaba strukturiranost zbog koje se ovaj deo projekta u literaturi često naziva i „Fuzzy front end" inovacija. Brojni autori smatraju da se, ipak, ranim fazama može i treba upravljati, bez obzira što ih mnogi zanemaruju, jer se najveći deo troškova razvoja novog proizvoda planira, upravo, u okviru ovih faza. Različiti su metodi i alati koji se koriste da bi se uspešno definisao koncept proizvoda (ključni izlaz iz ranih faza) i plan razvoja koji se kasnije neće značajno menjati. Jedan od metoda koji se često koristi za unapređenje ranih faza, pre svega, projektovanja inovacija, je metod QFD. Ključna primena je u identifikaciji i analizi zahteva korisnika i njihovo pretvaranje u parametre projektovanja. Integracijom tako odabranih parametara obezbeđuje se konkurentnost inovativnog rešenja, odnosno, bolja prihvaćenost od strane korisnika. Zbog toga je cilj ovog rada predstavljanje značaja metoda QFD u projektovanju inovacija, njegove primene u projektovanju različitih tipova inovacija i mogućih povezivanja metoda sa drugim metodima, alatima, tehnikama i pristupima u cilju unapređenja.*

Ključne reči: *Projektovanje inovacija, Razvoj novog proizvoda/usluge, QFD, Korisnički zahtevi, Parametri projektovanja.*

Abstract: *One of the basic characteristics of early stages of innovation projects is poor structure because of which in literature it is often referred to as the Fuzzy Front End. Numerous authors consider that early stages can and should be managed, even if they are usually neglected, since the biggest part of new product development cost is planned within these phases. Different methods and tools are being used to successfully define product concept (a key output from the early stages) and development plan that won't be significantly changed in later phases. One of the methods often used to improve early stages, particularly in designing innovation, is the QFD method. It is used for identification and analyses of customer requirements and for their conversion into design parameters. Integration of the selected parameters ensures product competitiveness, that is, better* acceptance *by customers. Consequently, the aim of this paper is to present the importance of QFD method in designing innovations, its applications in designing different types of innovations, and the possibility of linking method with other methods, tools, techniques and approaches for the purpose of improvement.*

Keywords: *Designing innovation, New product/service development, QFD, Customer requirements, Design parameters.*

1. UVOD

Globalizacija i konkurentsko okruženje u dvadesetprvom veku vode ka sve većim izazovima u poslovanju kompanija. Poslovanje u ovakvom okruženje nije više fokusirano isključivo na postizanje profitabilnosti i efikasnosti organizacije, već na kreiranje takvog sistema kojim se mogu postići ciljevi u smislu postizanja zadovoljstva korisnika, kvaliteta proizvoda, responzivnosti i održivosti. Shodno tome, organizacije ne mogu biti uspešne ukoliko primenjuju zastarele pristupe, pretpostavke i načine projektovanja, upravljanja i unapređenja operacija. U ovakvom scenariju, inovacije (proizvodi, usluge, procesi) imaju ključnu ulogu koja omogućava konkurentnost organizacija i prevazilaženje izazova savremenog doba (Garza-Reyes, Kumar, Martinez-Covarrubias, & Lim, 2018; Milutinović & Stošić, 2017). Prema najnovijem standardu za prikupljanje, izveštavanje i korišćenje podataka o inovacijama - *Oslo Manual* (2018), inovacija proizvoda obuhvata inovacije robe i inovacije usluga.

Inovacije i digitalizacija igraju sve važniju ulogu u gotovo svim sektorima ali i u svakodnevnom životu ljudi. Rešavanje sadašnjih i novih ekonomskih, socijalnih i ekoloških izazova zahteva nove ideje, inovativne

pristupe i više nivoe multilateralne saradnje. Kao takvi, kreatori politika stavljaju „imperativ inovacije“ u središte svojih politika.

Uspešan plasman inovacija na tržište je od velikog značaja u današnjem konkurentskom okruženju. Kada su u pitanju inovativni proizvodi, veoma je značajno prepoznati najbolju praksu u razvoju inovacija (tehnike, metode, procesi ili aktivnosti), koja bi omogućila efikasniju i efektivniju isporuku na tržište. Na globalnom nivou, veliki broj konsultantskih kuća i međunarodnih asocijacija se bave ovim problemom - neke od najpoznatijih su *Product development & management association – PDMA, Stage-Gate International* i *American productivity quality center – APQC* (https://www.pdma.org/, https://www.stage-gate.com/, https://www.apqc.org/).

U eri velike konkurencije i otvorenih tržišta, projektovanje i razvoj inovativnih proizvoda se više ne odnosi na proizvodnju nečega što vrši funkciju, već se postavlja pitanje dodate vrednosti koja se tim inovacijama definiše (šta je to što se može unaprediti kako bi novi proizvod bio bolji od konkurentskog, a da, pritom, u potpunosti zadovoljava zahteve korisnika). Kako bi se rešio ovaj problem, konstantno se sprovode istraživanja čiji se rezultati implementiraju u praksi, i, naravno, u obrazovanju, sve u cilju kreiranja integrisanog pristupa projektovanju i razvoju inovacija. Integrisani pristup podrazumeva obuhvatanje najvećeg broja faktora koji mogu uticati na predložene inovacije tokom njihovog životnog ciklusa (Singh & Kumar, 2014).

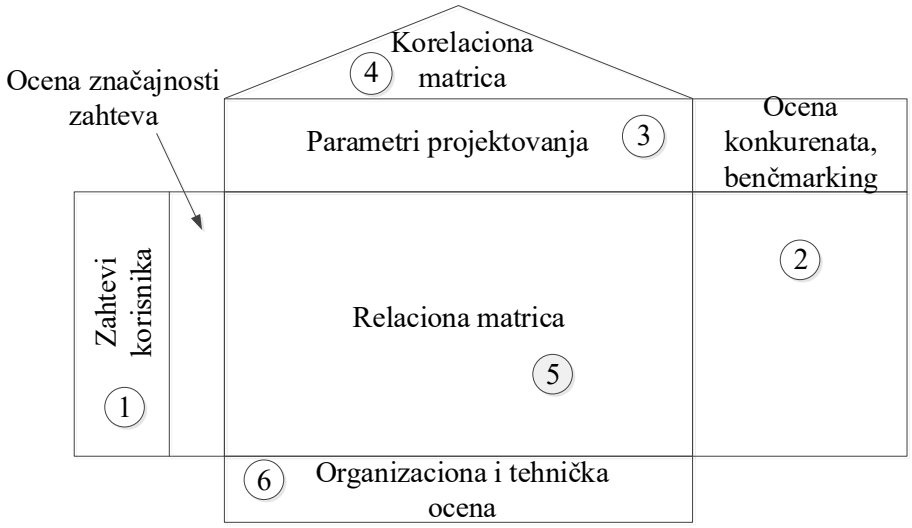
U skladu sa tim, *QFD* (engl. *Quality function Deployment*) metod je jedan od najpoznatijih, i uspešno se koristi u ranim fazama razvoja inovativnih rešenja (primena ovog metoda u projektovanju inovacija povezana je i sa funkcijama kvaliteta i marketinga). Sa aspekta projektovanja inovacija, jedna od koristi koja se postiže primenom ovog metoda je unapređenje strukturiranosti ranih faza inovacionih projekata. U literaturi su ove faze poznate i pod nazivima *Fuzzy front end*, *Front end* inovacija, predrazvojne faze, preprojektne aktivnosti, faza ideja i dr. Dakle, uloga metoda *QFD* dobija na značaju time što pojednostavljuje proces proizvodnje i povećava prodaju na osnovu optimizacije projektovanja (dizajna) proizvoda koji omogućava realizaciju potreba korisnika (Erkarslan, 2011).

Rad je strukturiran u tri glavne sekcije, prva se odnosi na osnove metoda *QFD* i daje prikaz koraka realizacije metoda; druga se odnosi na mogućnosti primene metoda u različitim tipovima inovacija; i treća, u kojoj je dat prikaz metoda, alata, tehnika i modela koji se mogu implementirati u kombinaciji sa metodom *QFD* kako bi se unapredio čitav proces.

2. OSNOVI *QFD* METODA

Yoji Akao je 1960. godine predstavio metod *QFD* kao metod koji bi trebalo da koriste projektanti (dizajneri) prilikom definisanja značajnih inženjerskih karakteristika proizvoda na osnovu zahteva korisnika (Cristiano *et al.* 2001). Istraživanja su pokazala da je kompanija *Toyota* primenom ovog metoda uspela da redukuje troškove koji se odnose na faze pre proizvodnje za 60% za period od 1977. do 1984. godine (Hauser & Clausing, 1988; Hsiao, 2002; Kahraman, Ertay, & Büyüközkan, 2006). Među prvim kompanijama koje su implementirale metod u svoje poslovanje su *Toyota*, *Ford Motor Company*, *Procter & Gamble*, *3M* Corporation, *AT&T*, *Hewlett Packard*, *Digital Equipment Corporation* (Cohen, 1995). *QFD* je bio predstavljen kao proces za prikupljanje i analizu korisničkih zahteva (engl. *voice of customer*) u cilju razvoja visoko-kvalitetnih proizvoda koji zadovoljavaju ili prevazilaze očekivanja korisnika.

U okviru realizacije metoda, prva matrica koja se definiše jeste *QFD* matrica, odnosno, kuća kvaliteta (engl. *House of quality*), i u opštem slučaju, obuhvata šest koraka (Slika 1). Ovom matricom se opisuje proces tranzicije, od liste korisničkih zahteva (odgovor na pitanje šta raditi) do liste parametara projektovanja (tehnički parametri) (odgovor na pitanje kako realizovati zahteve korisnika).



Slika 1: QFD matrica ili kuća kvaliteta

Prvi korak se odnosi na *definisanje korisničkih zahteva*. Ovo je jedan od kritičnijih koraka u sprovođenju metoda. Vrši se prikupljanje informacija o zahtevima i očekivanjima korisnika u vezi sa inovativnim rešenjem. Nakon definisanja liste zahteva korisnika vrši se određivanje nivoa značajnosti zahteva dodeljivanjem ocena od strane korisnika (npr. ocenama od 1-5).

U koraku dva, korisnici vrše ocenjivanje definisane liste zahteva u odnosu na identifikovane konkurentske proizvode na tržištu, odnosno vrši se *benčmarking*. Uzimanje u obzir ocena konkurentskih proizvoda koje daju korisnici može obezbediti značajnu prednost.

Korak tri podrazumeva određivanje parametara projektovanja tako što se svaki od zahteva iz definisane liste prevodi u tehnički zahtev (karakteristiku proizvoda). Ovim prevođenjem zahteva korisnika dobija se odgovor na pitanje kako treba raditi.

Korak četiri karakteriše definisanje odnosa između parametara projektovanja u okviru tzv. matrice korelacije ili „krova kuće kvaliteta“. Popunjavanje „krova“ podrazumeva utvrđivanje relacije, u smislu, da li jedan parametar projektovanja utiče na drugi, odnosno, da li unapređenje jednog parametra utiče pozitivno ili negativno na unapređenje drugog.

Korak pet predstavlja definisanje relacione matrice definisanjem odnosa zahteva korisnika i parametara projektovanja (veza između pitanja *šta raditi* i *kako raditi*). Relaciona matrica se popunjava *QFD* tim, unošenjem ocena unutar polja za koje se može odrediti relacija korišćenjem različitih skala (npr. 9 – jaka relacija, 3 – umerena relacija, 1 – slaba relacija).

Korak šest podrazumeva određivanje tehničke značajnosti koja se računa za svaki parametar projektovanja, a predstavlja kombinaciju značaja koju su dali korisnici i ocena koju je dao *QFD* tim prilikom popunjavanja relacione matrice.

Metod *QFD* može imati i više faza u zavisnosti od pristupa i dela projekta u kojem se primenjuje. U ovom slučaju nakon definisanja tehničke značajnosti definišu se prioriteti karakteristika proizvoda koje prve treba uzeti u obzir.

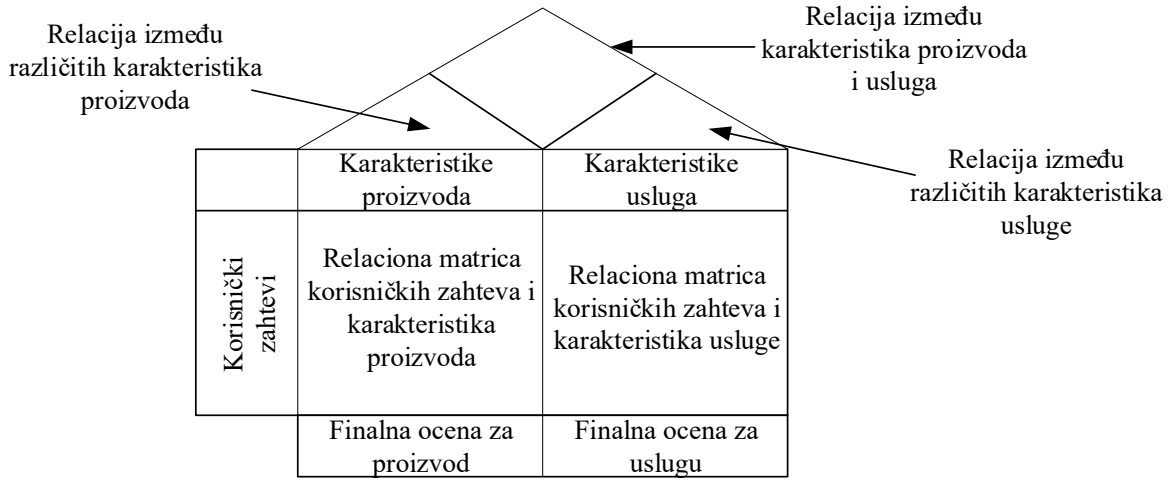
3. PRIMENA METODA *QFD*

Pored velikog značaja koji ima u projektovanju, metod *QFD* se široko primenjuje i za potrebe planiranja, inženjeringa, timskog rada, termininiranja, određivanja troškova i dr. (Chan & Wu, 2002). Analizom literature u oblasti inovacionih projekata, uočeno je da se *QFD* metod može primeniti (1) pre faze projektovanja, (2) u fazi projektovanja i (3) nakon faze projektovanja inovacija (Erkarslan, 2011). Značaj primene ovog metoda pokazuje i broj radova koji se pojavljuje pretragom na ključnu reč *QFD* u okviru svih relevantnih pretraživača.

Glavni cilj metoda *QFD* je maksimizacija zadovoljstva korisnika, ali i stvaranje mogućnosti za sniženje troškova, povećanje prihoda, skraćivanje vremena proizvodnje, te kreiranje novog proizvoda koji će obezbediti konkurentsku prednost kompaniji (Chan, & Wu, 2002). Iako se vrlo lako, pretraživanjem literature, može potvrditi da se metod *QFD* najviše primenjuje u oblasti projektovanja proizvoda, potvrđeno je da se ovaj metod koristiti i u oblasti usluga, kao što su medicinske usluge, unapređenje kvaliteta u uslužnom sektoru, edukaciji i dr. (Moradi, & Raissi, 2015; Lee, Ru, Yeung, Choy, & Ip, 2015). Goldstein, et al. (2002) je uveo termin „koncept usluge“, gde se tvrdi da je to vitalna „karika“ koja nedostaje u istraživanju

projektovanja usluga. Shodno tome, kao i kod proizvoda, koncept usluge može pokriti pitanja *Šta?* (šta treba uraditi za korisnike) i *Kako?* (kako to postići) (Chowdhury, & Quaddus, 2015).

QFD je, takođe, našao primenu u projektovanju sistema proizvod-usluga, odnosno *servitizacije*. Sistem proizvod-usluga predstavlja integrisanu kombinaciju proizvoda i usluge. Kompanije pokazuju povećan interes za celokupnu ponudu, pre nego za pojedinačni proizvod ili uslugu. Sve je prisutnije kombinovanje ponude proizvoda sa uslugom kako bi korisnik u potpunosti bio zadovoljen, a kompanija ostvarila bolju konkurentsku prednost (Kim, & Yoon, 2012). Autori An, Lee, & Park (2008) i Fargnoli & Haber (2019) u svom radu predlažu korišćenje *QFD* metoda za projektovanje jednog ovakvog sistema. Ključni deo koji razlikuje primenu *QFD* metoda kod sistema od primene u pojedinačnim slučajevima, je u definisanju korelacione matrice. Ova korelacija je u literaturi poznata i kao *trade-off*.



Slika 2: QFD matrica za sistem proizvod-usluga (adaptirano prema (An, Lee, & Park, 2008))

Korelaciona matrica omogućava definisanje simultanog odnosa između tržišta, proizvoda i usluge. Njime se olakšava identifikacija kompleksnog odnosa time što se prvo realizuju pojedinačne veze parametara (posebno proizvod, posebno usluga), koji se zatim sumiraju kroz odnos parametara proizvoda i parametara usluga (Slika 2). Ovim sumarnim odnosom vrši se direktno povezivanje proizvoda i usluge sa tržištem, što i predstavlja suštinu ovog sistema.

4. UNAPREĐENJE METODA *QFD* UKLJUČIVANJEM RAZLIČITIH PRISTUPA I METODA

QFD metod je jedan od široko korišćenih metoda koji se mogu koristiti za kreiranje proizvoda visokog kvaliteta. Shodno tome, ovaj metod se koristi u različitim oblastima i industrijama i doživljava stalna unapređenja kombinovanjem sa drugim metodima, tehnika, alatima i pristupima.

U literaturi se može pronaći veliki broj radova koji se odnose na projektovanje inovativnih rešenja (pre svega proizvoda i usluga) korišćenjem kombinacije metoda *QFD* i različitih metoda višekriterijumskog odlučivanja, poput Analitičko-hijerarhijskog procesa – *AHP*, Analitičko-mrežnog procesa – *ANP*, metoda *DEMATEL* i dr. Takođe, koriste se i *fuzzy* verzije ovih metoda. Tipičan primer, koji je predstavio Erkarslan (2011) jeste projektovanje proizvoda kombinacijom *QFD* i *AHP* metoda, gde je metod *AHP* korišćen za kvantifikaciju i prioritetizaciju korisničkih potreba, koje se kasnije koriste za popunjavanje relalacione matrice. Fargnoli, & Haber (2019) predlažu korišćenje kombinacije *QFD* i *ANP* metoda za projektovanje sistema porizvod-usluga. *ANP* metod omogućava analizu kompleksnijih međuzavisnosti između različitih nivoa i kriterijuma u odnosu na *AHP* metod.

Haber, Fargnoli & Sakao (2018) daju prikaz kombinacije *Kano* modela i *QFD* metoda u cilju unapređenja prikupljanja korisničkih zahteva. *Kano* model filtrira korisničke zahteve na način da odvaja osnovne, koji su definisani relevantnim tržištem (engl. *must-be requirements*), jednodimenzionalne zahteve (engl. *one-demensional requirements*) i atraktivne zahteve (engl. *attractive requirements*), a dodatno, neutralne i negativne (Tan, & Shen, 2000). Ovim pristupom projektovanju inovacija omogućava se definisanje zahteva čijom ugradnjom se povećava vrednost za korinsika.

Posebno je značajan pristup koji navode u svom radu Naveiro & Oliveira (2018) gde predstavljaju unapređenje metoda *QFD* primenom metoda ideacije *TRIZ* (rus. *Теория решения изобретательских задач*). Korisnički zahtevi se dobijaju iz patentnih dokumenata koji opisuju tehničke inovacije i koji se, zatim, transformišu u parametre projektovanja. Nakon kreiranja relacione matrice, vrši se identifikacija

odnosa između parametara projektovanja koji stvaraju protivrečnost. Nakon identifikacije protivrečnosti, u matrici protivrečnosti se utvrđuju principi koje možemo iskoristiti za rešavanje definisanog problema.

Jedan od novih pristupa u primeni metoda *QFD* za predviđanje zahteva korisnika jesu *veštačke neuronske mreže*. Patil, Husain, & Halegowda (2018) su predstavili studiju primene *QFD* metoda baziranog na *veštačkim neuronskim mrežama* i *tehnikama optimizacije*.

Dakle, u literaturi i praksi se može naći veliki broj različitih metoda koji se primenjuju u kombinaciji sa metodom *QFD* čime se obezbeđuje bolja realizacija faze projektovanja ali, i izbegava kašnjenje koje može nastati u kasnijim fazama usled loše realizacije ranih faza projekta inovacije. Pored predstavljenih metoda, u literaturi se mogu sresti i *FMEA* metod, *DEA* metod, *Conjoint* analiza, i mnogi drugi.

5. ZAKLJUČAK

Uspešno projektovanje inovacija predstavlja jedan od ključnih elemenata uspeha kompletnog upravljanja inovacionim projektima, posebno, ukoliko se ima u vidu visok nivo rizika koji karakteriše inovacione projekte. Jedno od primarnih pitanja koje se povezuje sa uspehom projektovanja inovacija jeste integracija zahteva korisnika u inovativni proizvod/uslugu.

Generalno, kod inovacija proizvoda (ali i usluga i sistema proizvod-usluga) nije tako jednostavno implementirati sve zahteve korisnika. Potrebno je napraviti dobar izbor u najkraćem mogućem vremenu uzimajući u obzir najveći broj faktora i spornih pitanja koji mogu uticati na uspeh inovacije i očekivani rast kompanije. Jedan od načina za prevazilaženje ovih spornih pitanja koja, pre svega, mogu imati najveći uticaj u ranim fazama inovacionog projekta, jeste primena metoda *QFD*. Ovaj metod ima jednostavnu strukturu i proceduru primene što je, dodatno, jedan od razloga zašto se veoma često koristi u projektovanju inovacija. S obzirom da je nastao još 60ih godina prethodnog veka, metod se stalno unapređuje, uglavnom, primenom različitih metoda, tehnika, alata i pristupa koji omogućavaju da korisnički zahtevi budu na najbolji način implementirani u proces projektovanja inovacija.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja vlade Republike Srbije u okviru projekata OI-179081 i III-47005.

LITERATURA

[1] Chan, L.K., & Wu, M.L. (2002). Quality Function Deployment: A Literature review. European Journal of Operational Research, 143(3), 463-497.

[2] Chen, K. J., Yeh, T. M., Pai, F. Y., & Chen, D. F. (2018). Integrating Refined Kano Model and QFD for Service Quality Improvement in Healthy Fast-Food Chain Restaurants. International journal of environmental research and public health, 15(7), 1310.

[3] Chowdhury, M. M. H., & Quaddus, M. A. (2016). A multi-phased QFD based optimization approach to sustainable service design. International Journal of Production Economics, 171(2), 165-178.

[4] Cristiano, J. J., Liker, J. K., & CC III, W. (2001). Key factors in the successful application of quality function deployment (QFD). IEEE Transactions on Engineering Management, 48(1), 81-95.

[5] Erkarslan, Ö., & Yılmaz, H. (2011). Optimization of product design through quality function deployment and analytical hierarchy process: case study of a ceramic washbasin. METU Journal of the Faculty of Architecture, 28(1), 1-22.

[6] Fargnoli, M., & Haber, N. (2019). A practical ANP-QFD methodology for dealing with requirements' inner dependency in PSS development. Computers & Industrial Engineering, 127(1), 536-548.

[7] Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Martinez-Covarrubias, J. L., Lim, M. K., & Mustafa, A. B. (2018). Managing Innovation and Operations in the 21st Century. CRC Press.

[8] Haber, N., Fargnoli, M., & Sakao, T. (2018). Integrating QFD for product-service systems with the Kano model and fuzzy AHP. Total Quality Management & Business Excellence, 1–26

[9] Hauser, J. R., & Clausing, D. (1988). The house of quality. Harvard Business Review, 66(3), 63-73.

[10] Hsiao, S.W. (2002). Concurrent design method for developing a new product. International Journal of Industrial Ergonomics, 29 (1), 41– 55.

[11] Kahraman, C., Ertay, T., & Büyüközkan, G. (2006). A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach. European Journal of Operational Research, 171(2), 390-411.

[12] Kim, S., & Yoon, B. (2012). Developing a process of concept generation for new product-service systems: a QFD and TRIZ-based approach. Service Business, 6(3), 323-348.

[13] Lee, C. K. M., Ru, C. T. Y., Yeung, C. L., Choy, K. L., & Ip, W. H. (2015). Analyze the healthcare service requirement using fuzzy QFD. Computers in Industry, 74(8), 1-15.

[14] Milutinović, R., & Stošić, B. (2017). Lean pristup u razvoju novog proizvoda. XI Skup privrednika i naučnika SPIN '17 - Štedljivo (lean) upravljanje resursima u privredi Republike Srbije (str. 235-242). Beograd, 9-10 nov: Fakultet organizacionih nauka.

[15] Naveiro, R. M., & Oliveira, V. M. (2018). QFD and TRIZ integration in product development: a Model for Systematic Optimization of Engineering Requirements. Production, 28

[16] OECD, & Eurostat. (2018). Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation (4th ed.). The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, Paris/Eurostat, Luxembourg: OECD Publishing.

[17] Sauerwein, E. (1996). The Kano Model: How to Delight Your Customers. in: Preprints Volume I of the IX. International Working Seminar on Production Economics, Innsbruck/Igls/Austria, Febr, pp. 313 -327

[18] Shillito, M. L. (1994). Advanced QFD: linking technology to market and company needs. John Wiley & Sons.,

[19] Singh, S., & Kumar, M. (2014). Integration of quality function deployment and target costing. IJCA Proceedings on National Conference on Advances in Technology and Applied Sciences NCATAS(1):16-19.

[20] Tan, K. C., & Shen, X. X. (2000). Integrating Kano's model in the planning matrix of quality function deployment. Total quality management, 11(8), 1141-1151.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

RAZLIKE STAVOVA MILENIJALACA U ODNOSU NA PRIMENU KONCEPTA IGARA U PROCESU OBRAZOVANJA – POJAVA "*GAMING*" UROĐENIKA

DIFFERENCES OF MILLENNIAL GENERATION ATTITUDES REGARDING GAMIFICATION IN ACADEMIC EDUCATION: EMERGING OF "GAMING NATIVES"

MLADEN ČUDANOV [1], MANOJLO MARAVIĆ[2], SANDRA JEDNAK[3], VELJKO JEREMIĆ[4]

[1] Fakultet organizacionih nauka,Univerzitet u Beogradu, Beograd, mladen.cudanov@fon.bg.ac.rs
[2] Akademija umetnosti, Novi Sad, manojlomaravic77@gmail.com
[3] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Beograd, sandra.jednak@fon.bg.ac.rs
[4] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Beograd, veljko.jeremic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Ovaj članak proučava stavove generacije milenijalaca, podeljenih na dve grupe u odnosu na to koliko često igraju igre, prema primeni koncepta igara u procesu obrazovanja. Članak je zasnovan na uzorku studenata i alumnija iz Srbije koji je korišćenjem kontrolnih pitanja sveden na 82 validna upitnika. Odnos prema primeni koncepta igara u procesu obrazovanja se merio varijablama zasnovanih na Technology Acceptance Model (TAM). Rezultati pokazuju da ispitanici koji često ili svakodnevno igraju igre imaju pozitivnije stavove prema primeni koncepta igara u procesu obrazovanja.*

Ključne reči: *Milenijalci, Gejmifikacija obrazovanja, TAM*

Abstract: *This article examines attitudes of the millennial generation, divided in two groups by the frequency of playing games, towards gamification in education. Article is based on the sample of students and alumni from Serbia, which has been reduced to 82 valid entries by control questions. Attitude toward gamification in education has been measured with variables based on Technology Acceptance Model (TAM). Results show that participants which frequently or daily play games have more positive attitudes toward application of gamification in education.*

Keywords: *Millennials, Gamification of education, TAM.*

1. UVOD

Ovaj članak proučava stavove milenijalaca vezane za primenu koncepta igara u procesu fakultetskog obrazovanja (Barna and Fodor 2017; Buckley and Doyle 2016; Hakak, Noor, Ayub, Affal, Hussin and Imran 2019). Primena koncepta igara, pre svega video igara, u drugim kontekstima se naziva gejmifikacija (*eng. Gamification)* i počinje da se zasebno definiše i proučava od početkom druge dekade novog milenijuma (Deterding, Sicart, Nacke, O'Hara and Dixon 2011; Werbach and Hunter 2012; García-Jurado, Castro-González, Torres-Jiménez and Leal-Rodríguez 2018). Primena u obrazovanju naglo počinje da se istražuje od 2013. godine (Dicheva, Dichev, Agre, and Angelova 2015;). U akademskom kontekstu u Srbiji gejmifikacija je proučavana podelu materijala i bibliotekarstvo (Parlic, Sofronijevic and Cudanov 2015) i sisteme za elektronsko učenje (Zaric, Scepanović, Vujicic, Ljucovic and Davcev 2017).

Millenijalci čine posebnu generacijsku kohortu, rođenu 1980. god. ili kasnije (Ng, Schweitzer and Lyons 2010) i njihove generacijske specifičnosti su izučavane i u kontekstu Srbije (Ivanovic and Ivancevic 2018). Za ovu studiju su zanimljivi kao:

- prethodnici generacije Z (Seemiller and Grace 2016) i generacije koja tek dolazi posle njih, a koja se naziva „techno-toddler" generacija (Kuure, Riekki and Tumelius 2018)
- Generacija koja će svoje znanje aktivno dopunjavati i nakon fakultetskog obrazovanja kroz celoživotno učenje (Schwartz, McDonald, Vahabzadeh and Cotes 2018)

2. METODE

Ovaj članak je zasnovan na podacima koji su prikupljani u periodu od prethodne tri godine na uzorku studenata i alumnija u okruženju Srbije. Upitnik je sadržao četiri osnovne grupe pitanja usmerenih na: (1)

socio-demografske karakteristike ispitanika (sa naglaskom na akademska postignuća), (2) pitanja o igranju igara i svesti o postojanju gejmifikacije, (3) pregled stavova o usvajanju gejmifikacije u visokoškolskom obrazovanju, zasnovan na *Technology Acceptance Model –TAM* (Davis, Bagozzi and Warshaw 1989; Venkatesh and Davis 2000; Venkatesh, and Bala 2008) i (4) poznavanje primera o gejmifikaciji i njena praktična primena.

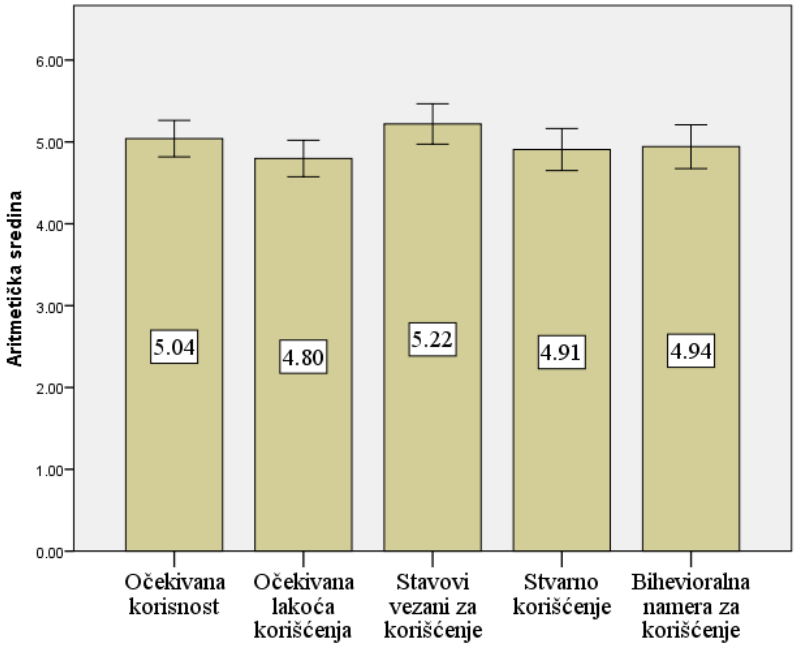
Ključni deo upitnika činilo je 19 stavki, sa odgovorima na Likertovoj skali 1-7, koje su grupisane u pet osnovnih varijabli:

- Očekivana korisnost
- Očekivana lakoća korišćenja
- Stavovi vezani za korišćenje
- Stvarno korišćenje
- Bihevioralna namera za korišćenje

Detaljnijom analizom popunjenih upitnika uočeno je mnogo nelogičnosti u stavkama ovih varijabli. Nelogičnosti su pripisane nepažljivom popunjavanju upitnika, i proverena su kroz četiri kontrolna pitanja. Kontrolna pitanja su suprotno usmerena u odnosu na ostale stavke varijabli. Nakon što su rekodirana, urađena je inicijalna analiza frekvencija i generalnih stavova (Jasko, Maljkovic and Cudanov 2016), ali složenije metode inferencijalne statistike nisu mogle biti primenjene na tom setu podataka. Rekodirana kontrolna pitanja su upoređena sa prosekom odgovarajuće varijable, i svi upitnici koji su imali odstupanja u apsolutnom iznosu bila veća od 3 su u potpunosti eliminisani iz skupa podataka. Nakon eliminacije 51 upitnika koji su zbog odstupanja u kontrolnim pitanjima okarakterisani kao nepažljivo popunjeni, ostalo je 82 upitnika koji su formirali varijable koje ispunjavaju uslove za složenije analize inferencijalnim statističkim metodama u skladu sa preporukama za istraživanja u oblasti biznisa i menadžmenta (Saunders, Lewis and Thornhill 2011). Pouzdanost skala je ocenjena na osnovu preporuka datih za *Crombach's Alpha* koeficijent (Gliem and Gliem 2003; Tavakol and Dennick 2011). Proverena je distribucija varijabli u skladu sa metodološkim preporukama i uputstvima (Morgan, Griego and Gloeckner 2000), i po Kolmogorov-Smirnov testu ona se pokazala kao normalna u četiri varijable. Sproveden je t-test prateći uputstva iz literature (Marczyk, DeMatteo and Festinger 2005). Studija je dopunjena kvalitativnim pregledom karakteristika obe organizacije, prateći uputstva za primenu kvalitativnih metoda kao pomoćnih metoda (Krishnaswamy, Sivakumar and Mathirajan 2004).

3. REZULTATI

Nakon eliminacije upitnika sa visokim odstupanjima na kontrolnim pitanjima izračunate su srednje vrednosti varijabli vezanih za stavove u prihvatanju gejmifikacije fakultetskog obrazovanja kao nove tehnologije. Kako je moguća skala od 1-7, može se videti da preovlađuju pozitivni stavovi.



Slika 1. Varijable TAMa vezane za gejmifikaciju u fakultetskom obrazovanju

Nakon ovoga izmerena je pouzdanost korišćenjem *Cronbach's Alpha* koeficijenta. Prateći uputstva koja daju George and Mallery (2003) možemo oceniti pouzdanost prve varijable kao dobru, druge na granici između upitne i prihvatljive, četvrta je prihvatljiva, dok je pozdanost treće i pete odlična, i pošto je veća od 0,9 čak se sugeriše da se može smanjiti broj stavki (Tavakol and Dennick 2011).

Tabela 1. Pouzdanosti skala

Varijabla	Cronbach's Alpha koeficijent	Broj stavki za varijablu	Ukupno unosa
Očekivana korisnost	0,819	4	82
Očekivana lakoća korišćenja	0,687	3	82
Stavovi vezani za korišćenje	0,914	5	82
Stvarno korišćenje	0,713	3	82
Bihevioralna namera za korišćenje	0,901	4	82

Ispitanici su podeljeni u dve grupe po tome koliko često igraju igre. U prvu grupu su svrstani ispitanici koji su se izjasnili da igraju igre često ili svakodnevno, dok su u drugoj grupi ispitanici koji igre ne igraju nikad, igraju ih povremeno ili retko.

Da li igrate igre (društvene igre, video igre, sportske)?		N	Sr.vrednost	St.devijacija	t-test sig. (dvostrana)
Očekivana korisnost	često ili svakodnevno	32	5,3203	0,87352	0,045
	nikad, retko ili povremeno	50	4,.8600	1,06685	
Očekivana lakoća korišćenja	često ili svakodnevno	32	5,1146	0,95643	0,022
	nikad, retko ili povremeno	50	4,5933	1,00631	
Stavovi vezani za korišćenje	često ili svakodnevno	32	5,.5938	0,96183	0,.015
	nikad, retko ili povremeno	50	4,.9800	1,16075	
Stvarno korišćenje	često ili svakodnevno	32	5,.2813	0,99860	0,019
	nikad, retko ili povremeno	50	4,6667	1,21592	
Bihevioralna namera za korišćenje	često ili svakodnevno	32	5,3125	1,09618	0,027
	nikad, retko ili povremeno	50	4,7050	1,24815	

Sve varijable su testirane na normalnu raspodelu Kolmogorov Smirnov testom. Kod četiri varijable je potvrđena normalna raspodela, ali kod varijable *„Očekivana lakoća korišćenja"* test nije potvrdio normalnu raspodelu. Sproveden je parametarski t-test, koji je relativno robustan po senzitivnosti na normalnost raspodele (Marczyk, DeMatteo & Festinger 2005), koji je potvrdio statističku značajnost uočenih razlika ($p<0.05$). Rezultati za drugu varijablu su provereni neparametarskim testovima, gde je Mann-Whitney U test potvrdio da oni koji igraju igre imaju viši nivo varijable, U= 514,4, p=0,006.

4. DISKUSIJA

Rezultati ove studije pokazuju očekivane trendove. Postoje statistički značajne razlike u svim varijablama kao komponentama koje po modelu TAM determinišu korišćenje gejmifikacije i sve vrednosti su više kod onih koji često ili redovno igraju igre. Ova analiza ne može potvrditi kauzalnost, niti opisati korelacije koje postoje između dva trenda, ali sugeriše da postoji pozitivna veza između vremena koje se provede u igranju i pozitivnih stavova prema gejmifikaciji u obrazovanju. Uzimajući u obzir da vreme provedeno u igranju i kod sadašnjih adolescenata raste (Bucksch, Sigmundova, Hamrik, Troped, Melkevik *et al.* 2016; Sigmundova, Sigmund, Bucksch, Baďura, Kalman and Hamřík 2017; Feng, Ramo, Chan and Bourgeois 2017), možemo pretpostaviti da će stavovi prema primenama elemenata igre u obrazovanju kod generacije milenijalaca biti sve više pozitivni. Bilo bi preambiciozno za obim ovog rada ukoliko bismo detaljno ukazivali na značaj igre u obrazovanju, jer bi se moralo početi od Platona, preko prosvetiteljskih teorija, pa do savremenih pedagoških teorija. Ukratko, igra kao takva zauzima značajno mesto u pedagoškim teorijama i praksi.

Suzivši fokus na video-igre, koje su nedavno napunile šezdeset godina postojanja („Tenis za dvoje“, 1958)[1], može se reći da je ideja o ovom mediju kao obrazovnom sredstvu, starija nego što bi se to u prvi mah moglo pomisliti. Već je prva konzola pod nazivom „Odyssey“ (Magnavox 1972) kreirana od strane Ralfa Bera (Ralph Baer), sadržavala igre koje su nazivane obrazovnim, a jedna od njih se sastojala od pitanja o svakoj američkoj državi učeći decu o geografiji SAD. U oblasti Studija igara, nove interdisciplinarne oblasti društvenih i humanističkih nauka, obrazovne igre se najčešće svrstavaju u oblast ozbiljnih igara (serious games) koje nisu namenjene zabavi i u koje još spadaju igre za vojnu obuku, obuku javnih službenika i zaposlenih u preduzećima, igre u terapijske svrhe, političku i religiozznu propagandu i umetničke igre (Michael and Chen 2006). Početkom ovog veka Mark Prenski (Prensky 2001) i Džejms Pol Dži (Gee 2003) su vodeći teoretičari koji su pružili konceptualnu argumentaciju upotrebe igara u formalnom obrazovanju. Detaljniji prikaz korišćenja video-igara u obrazovanju prevazilazi obim ovog rada, ali sa stanovišta industrije obrazovne video-igre su pružale argument da ovaj medij, koji je često napadan od strane političara, novinara, psihologa i grupa „zabrinutih roditelja“ kao opasan, jer prouzrokuje agresivne misli i ponašanje, socijalnu izolaciju, zavisnost i ostale psihičke i fizičke probleme, nije generički opasan i da se interaktivnost, kao njegova distinktivna karakteristika može upotrebiti u društveno prihvatljive svrhe. Postoje već brojni primeri upotrebe video-igara u nastavi u inostranstvu u osnovnim i srednjim školama, ali i u Srbiji, kao na primer u gimanziji „Jovan Jovanović Zmaj“ u Novom Sadu i upotreba Nintendove Wii konzole u nastavi fizičke kulture u O.Š. „Žarko Zrenjanin“ u istom gradu (poslednji primer je od pre desetak godina). Takođe, sprovedena su brojna istraživanja u svetu o uvođenju video-igara u nastavni proces. Doduše manji broj istraživanja se odnosio na stav nastavnika o ovom pitanju, ali je u Srbiji na teritoriji Novog Sada sprovedeno upravo jedno takvo istraživanje (Maravic and Rakic-Bajic 2018), koje je pokazalo da bi većina nastavnika (56%) pristala da koristi video-igre u nastavi.

Istraživanje čiji rezultati su pred vama je jedinstveno, jer se do sada malo radova bavilo korišćenjem video-igara u visokom obrazovanju. Smatramo da će rezultati pronaći svoju praktičnu primenu, a kao argument ovoj tvrdnji može se navesti konferencija „Učenje kroz gejmifikaciju – Podrška razvoju digitalizacije uprave putem digitalne obuke“ organizovana u Beogradu 23.03.2018. god. od strane novoosnovane Nacionalne akademije za javnu upravu sa idejom o efikasnoj implementaciji video-igara u nastavni proces namenjen obuci budućih javnih službenika. Pre bilo kakve upotrebe igara u ove svrhe, neophodno je sprovesti istraživanja koja bi opravdala ili opovrgla ovu hipotezu.

5. ZAKLJUČAK

Već pomenuti Mark Prenski je u tekstu iz 2001. god. „Digital natives, Digital immigrants“ skovao danas dobro poznati termin *digitalni urođenici* kako bi opisao generaciju koja odrasta u digitalizovanom svetu kompjutera, interneta i mobilnih telefona, i tako napravio binarnu podelu, zapravo distinkciju u odnosu na prethodne generacije *digitalnih emigranata*, koji su ovu tehnologiju naknadno prihvatili. Time je pokušao da ukaže na potrebu za promenom nastavnih metoda u američkom obrazovanju, i njihovom adaptiranju na učenike koji su rađajući se i odrastajući u novom digitalnom dobu navikli na potpuno drugačiji sistem mišljenja i obradu informacija. Generacija milenijalaca, današnjih studenata obuhvaćenih ovim istraživanjem, odrastajući u vreme fascinacije digitalnom tehnologijom uklapa se u pojam digitalnih urođenika, a to znači informatički pismenih pojedinaca. Međutim, u poslednjih nekoliko godina sve češće se mogu čuti tvrdnje na naučnim konferencijama da trenutno živimo u postdigitalnom vremenu, gde je upotreba reči *digitalno* usled sveprisutnosti digitalnih tehnologija, postala redundatna, kao npr. hipotetička upotreba sintagme *strujna tehnologija* ili *strujna kultura* 60-tih godina XX veka. Tako da bi ovaj termin u budućnosti trebalo zameniti specifičnijim, jer uzimajući u obzir današnju proliferaciju *jednostavnih* (casual) video-igara na medijske platforme mobilnih telefona (koji su uzgred više računari, a manje telefoni), njihovu dostupnost i uticaj na današnju decu, možemo se setiti pomenutog termina Marka Prenskog i modifikovati ga kako bi došli do novog koji reflektuje savremenu situaciju i zaključiti da prisustvujemo rađanju nove generacije *gaming urođenika*.

[1] Iako postoje i raniji primeri programiranje računara kako bi se igrale igre, kao što je „OXO“, koju je 1952. kreirao Aleksandar Daglas (Alexander Douglas) na računaru EDSAC kao deo svoje teze o interakciji između ljudi i računara, one su korišćene isključivo u uske akademske svrhe van konteksta zabave i očiju šire publike. Viljem Higinbotam (William Higinbotham) nuklearni fizičar Brukhejvn nacionalne laboratoriji u SAD došao je na ideju da uz pomoć analognog računara napravi igru „Tenis za dvoje“ na ekranu osciloskopa, kako bi za Dan otvorenih vrata, koji je ova insutitucija organizovala svake godine, pokazao široj publici kako nauka može inicirati zabavu. Tog dana bio je dugačak red posetilaca koji su čekali da probaju ovu igru.

LITERATURA

[1] Barna, B., & Fodor, S. (2017, September). An empirical study on the use of gamification on IT courses at higher education. In International Conference on Interactive Collaborative Learning (pp. 684-692). Springer, Cham.

[2] Bucksch, J., Sigmundova, D., Hamrik, Z., Troped, P. J., Melkevik, O., Ahluwalia, N., ... & Inchley, J. (2016). International trends in adolescent screen-time behaviors from 2002 to 2010. Journal of Adolescent Health, 58(4), 417-425.

[3] Buckley, P., & Doyle, E. (2016). Gamification and student motivation. Interactive learning environments, 24(6), 1162-1175.

[4] Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. Management Science, 35, 982–1002.

[5] Deterding, S., Sicart, M., Nacke, L., O'Hara, K., & Dixon, D. (2011). Gamification. using game-design elements in non-gaming contexts. In CHI'11 extended abstracts on human factors in computing systems (pp. 2425-2428). ACM.

[6] Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G., & Angelova, G. (2015). Gamification in education: A systematic mapping study. Educational Technology & Society, 18(3), 75-88.

[7] Feng, W., Ramo, D., Chan, S., & Bourgeois, J. (2017). Internet gaming disorder: trends in prevalence 1998–2016. Addictive behaviors, 75, 17.

[8] García-Jurado, A., Castro-González, P., Torres-Jiménez, M., & Leal-Rodríguez, A. L. (2018). Evaluating the role of gamification and flow in e-consumers: millennials versus generation X. Kybernetes.

[9] Gee, J. P. (2003). What video games have to teach us about learning and literacy. New York: Palgrave Macmillan.

[10] George, D., & Mallery, P. (2003). SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference. 11.0 update (4th ed.). Boston: Allyn & Bacon.

[11] Gliem, J. A., & Gliem, R. R. (2003). Calculating, interpreting, and reporting Cronbach's alpha reliability coefficient for Likert-type scales. Midwest Research-to-Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education.

[12] Hakak, S., Noor, N. F. M., Ayub, M. N., Affal, H., Hussin, N., & Imran, M. (2019). Cloud-assisted gamification for education and learning–Recent advances and challenges. Computers & Electrical Engineering, 74, 22-34.

[13] Ivanovic, T., & Ivancevic, S. (2018). Turnover Intentions and Job Hopping among Millennials in Serbia. Management:Journal Of Sustainable Business And Management Solutions In Emerging Economies, 24(1), 53-63. doi:10.7595/management.fon.2018.0023

[14] Jasko, O., Maljkovic, A., & Cudanov, M. (2016) Student's Attitudes to Gamification in the Learning Process. Econophysics, Sociophysics & Other Multidisciplinary Sciences Journal (ESMSJ), 6(1), pp. 7-13.Online:http://www.esmsj.upit.ro/ESMSJ%20vol%206(1)%20pentru%20Denis%20pe%20site/ESMSJ%20vol6%20_1_2016%20INTEGRAL.pdf

[15] Krishnaswamy, K. N., Sivakumar, A. I., & Mathirajan, M. (2004). Management Research Methodology: Integration of Principles. Methods and Techniques, New Delhi, India: Dorling Kindersley Ltd.

[16] Kuure, L., Riekki, M., & Tumelius, R. (2018). Nexus analysis in the study of the changing field of language learning, language pedagogy and language teacher education. AFinLA-e: Soveltavan kielitieteen tutkimuksia, (11), 71-92.

[17] Maravic, M. & Rakic-Bajic, G. (2018). The Teachers' Attitude towards the Use of Video Games in Teaching Process. ELearning & Software for Education, *1*, 293–299. doi:10.12753/2066-026X-18-040

[18] Marczyk, G., DeMatteo, D., & Festinger, D. (2005). Essentials of research design and methodology. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.

[19] Michael, David, and Sande Chen (2006). Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform. Thomson Course Technology.

[20] Morgan, G.A., Griego, O.V., Gloeckner, G. (2000). SPSS for Windows - An Introduction to Use and Interpretation in Research. New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates.

[21] Ng, E. S., Schweitzer, L., & Lyons, S. T. (2010). New generation, great expectations: A field study of the millennial generation. Journal of Business and Psychology, 25(2), 281-292.

[22] Parlic, D., Sofronijevic, A., & Cudanov, M. (2015). Gamification and Librarianship. Enhancing Teaching and Learning in the 21st-Century Academic Library: Successful Innovations That Make a Difference, 2, 135.

[23] Prensky, M. (2001) "Digital Natives, Digital Immigrants Part 1", On the Horizon, Vol. 9 Issue: 5, pp.1-6, https://doi.org/10.1108/10748120110424816

[24] Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2011). Research methods for business students, 5th edition. Harlow, UK: Pearson Education.

[25] Schwartz, A. C., McDonald, W. M., Vahabzadeh, A. B., & Cotes, R. O. (2018). Keeping up with changing times in education: fostering lifelong learning of millennial learners. Focus, 16(1), 74-79.

[26] Seemiller, C., & Grace, M. (2016). Generation Z goes to college. John Wiley & Sons.

[27] Sigmundova, D., Sigmund, E., Bucksch, J., Baďura, P., Kalman, M., & Hamřík, Z. (2017). Trends in Screen Time Behaviours in Czech Schoolchildren between 2002 and 2014: HBSC Study. Central European journal of public health, 25(Supplement 1), S15-S20.

[28] Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. International journal of medical education, 2, 53.

[29] Venkatesh, V., & Bala, H. (2008). Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. Decision sciences, 39(2), 273-315.

[30] Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. Management science, 46(2), 186-204.

[31] Werbach, K., & Hunter, D. (2012). For the win: How game thinking can revolutionize your business. Wharton Digital Press.

[32] Zaric, N., Scepanovic, S., Vujicic, T., Ljucovic, J., & Davcev, D. (2017). The Model for Gamification of E-learning in Higher Education Based on Learning Styles. In: Proceedings of the 9th International Conference ICT Innovations 2017. (pp. 265-273). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-67597-8_25

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

RAZLIKE U MOTIVACIONIM PROFILIMA ZAPOSLENIH U USPEŠNIM ORGANIZACIJAMA I U ORGANIZACIJAMA U PROCESU RESTRUKTURIRANJA

DIFFERENCES IN EMPLOYEE MOTIVATIONAL PROFILES OF SUCCESFULL ORGANIZATIONS VS. ORGANIZATIONS IN RESTRUCTURING PROCESS

MLADEN ČUDANOV[1], ALEKSANDAR JOKIĆ[2], ONDREJ JAŠKO[3]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, mladen.cudanov@fon.bg.ac.rs
[2] Specijalna bolnica za rehabilitaciju Banja Koviljača, Banja Koviljača, jokic71@gmail.com
[3] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, ondrej.jasko@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Ovaj rad istražuje da li postoje razlike u motivacionim profilima zaposlenih u uspešnim i organizacijama u procesu restrukturiranja. Uvid u specifičnosti organizacionog ponašanja i motivacije zaposlenih može pomoći menadžerima da donose bolje odluke u toku takvog teškog perioda poslovanja. Podaci su prikupljeni u Specijalnoj bolnici za rehabilitaciju - Banja Koviljača kao primeru uspešne organizacije i jednoj velikoj organizaciji u petrohemijskoj industriji, koja je u ranijem periodu, kada su podaci sakupljeni, prošla kroz proces restrukturiranja. Upitnike su popunili zaposleni u menadžmentu i administraciji obe organizacije i zaposleni u tehnostrukturi organizacije u restrukturiranju. Rezultati su pokazali da su u organizaciji u restrukturiranju viši nivoi osnovnih potreba, a niži nivoi potreba za pripadnošću, cenjenjem i samo-ostvarivanjem. Zaposleni u tehnostrukturi imaju drugačije motivacione profile u odnosu na zaposlene u menadžmentu i administraciji, gde su sve razlike između zaposlenih u dve organizacije intenzivnije i statističke značajne.*

Ključne reči: *motivacija, restrukturiranje, Maslov, tehnostruktura, menadžment, organizacija*

Abstract: *This article investigates eventual differences in employee motivational profiles of sucessful and organizations undergoing restructuring processes. Insight into specifics of organizational behavior and employee motivation can help managers to make better decision during such hard periods of business. Data is gathered in Special hospital for rehabilitation – Banja Koviljača as an example of successful organization and one large organization in petrochemical industry, which underwent restructuring process successfully during the previous period, when the data was gathered. Surveys were filled by employees in management and administration, as well as in techno-structure for restructuring organization. Results have shown that the restructuring organization has higher level of basic needs, and lower level of belonging, esteem and self-actualization needs. Employees in techno-structure have different motivational profiles in comparison to employees in management and administration, where all differences between employees in two organization are more intense and statistically significant.*

Keywords: *motivation, restructuring, Maslow, technostructure, management, organization.*

1. UVOD

Ovaj članak pregleda razlike u motivacionim profilima menadžmenta u dve organizacije koje su izabrane kao antipodi po situaciji u kojoj se nalaze: jedna je uspešna, a druga je bila u procesu restrukturiranja. Prva organizacija, Specijalna bolnica za rehabilitaciju - Banja Koviljača (SBBK) je jedan od najstarijih banjskih kompleksa u Srbiji. Postoje zapisi iz 1533. o lekovitosti banjskih izvora, a banjske terapije su propisivane još 1858.godine. Razvoj banje je bio stalan i u političkim previranjima XIX veka - jedna kraljevska dinastija je utemeljila Banju Koviljaču i dala joj status, dok je druga dinastija izgradila banju. Institucionalno danas ona je državna ustanova, osnivač je ministarstvo zdravlja, 200 postelja je "u mreži" RFZO, ostatak postelja (220) je na slobodnom tržištu. Trenutno bolnica 70% svog godišnjeg prihoda ostvaruje komercijalno, što zahteva kvalitetan i edukovan kadar.

Danas Specijalna bolnica za rehabilitaciju - Banja Koviljača predstavlja primer dobre organizacije i visoke motivacije zaposlenih, što je čak i na prvi pogled uočljivo po detaljima. Poput prakse u kompaniji Apple, na zidovima zgrade se mogu videti citati poznatih ličnosti iz poslovanja i kulture koji promovišu vrednosti za koje se zalaže kompanija. Pored strategije, strukture i sistema, razvijaju se i „meki" faktori

organizacije (Waterman, Peters, and Phillips 1980). SBBK je nosilac priznanja „Sunčani sat“, koje predstavlja najveće priznanje u zdravstvu u Srbiji. Banja je uključena u svetske naučne tokove (ismh-direct.net), koji naučno dokazuju lekovitost prirodnog faktora. U protekle dve godine zaposleno je 50 radnika na neodređeno i oko 80 na određeno. Redovno se sprovodi kontinuirana medicinska edukacija (KME), ali se započelo i sa edukacijama (treninzima) iz oblasti menadžmenta na svim nivoima, koji se finansiraju iz sopstvenih prihoda ustanove. Zaposleni u SBBK imaju maksimalne zakonima regulisane “stimulacije” na lični dohodak (sistem nagrađivanja rešen pravilnikom), osnovno i dopunsko osiguranje, preventivne odmore (druga banja, planina), organizovan topli obrok po minimalnim cenama, organizovan prevoz do posla, parking za one koji dolaze svojim prevozom, mogućnosti usavršavanja (u zemlji i inostranstvu) i karijernog napredovanja, kao i sportsku sekciju sa plaćenim terminima u sportskoj hali.

Druga organizacije je jedan veliki petrohemijski kompleks u Srbiji. Iako danas posluje relativno uspešno, u periodu prikupljanja podataka organizacija je bila u procesu restrukturiranja. Podaci su prikupljani u toku 2010. i 2011. godine, a organizacija je od 2009. godine bila u procesu restrukturiranja, koje su pratili potpuno zaustavljanje proizvodnje i ostali problemi i ograničenja u poslovanju, koji su se manifestovali po finansijskim, tehnološkim, organizacionim i međuljudskim pokazateljima. Proces restrukturiranja je uspešno završen 2014. godine.

2. METODE

Ovaj članak je zasnovan na poređenju dve odvojene studije motivacionih profila zaposlenih. Upitnik je baziran na Maslovljevoj teoriji hijerarhijskog nastajanja potreba (Maslow, 1943). Ovaj teorijski pogled na motivaciju u organizaciji je i dalje aktuelan u istraživanju (Stum 2000; O’Connor and Yballe 2007) i predstavlja jedno od najčešće navođenih objašnjenja motivacije (Jaško, Čudanov, Jevtić, Krivokapić 2013). Upitnik baziran na ovom teorijskom pristupu se sastoji od 10 pitanja od kojih svako sadrži pet različitih stavki, koje odgovaraju nivoima potreba. Ispitanicima je sugerisano da u svakom pitanju postojećih pet stavki rasporede po važnosti na skali od 1 do 5, gde im je jedan predstavljalo najmanje važnu kategoriju, a 5 najvažniju. Stavke su raspoređene slučajno, tj. nisu rangirane po hijerarhijskim potrebama, što smanjuje šansu da ispitanik prepozna i da socijalno prihvatljive/poželjne odgovore. Rangiranjem stavki određuje se prioritet stavki u uticaju na motivaciju ispitanika, a nakon toga se 50 rangiranih stavki po šifrarniku sabira u odgovarajuće kategorije hijerarhijskih potreba. Svaka hijerarhijska potreba ima mogući skor između 10 i 50, a zbir svih skorova je 150. Zbog grešaka u popunjavanju upitnika moguće je odstupanje u ukupnom zbiru, koje je tolerisano do nivoa od +-10 od ukupno 150 poena. Upitnik je razvijen i predložen u kontekstu organizacije sistema zdravstvene zaštite (Longest, Rakich and Darr 2004) i operacionalizacije Maslovljeve teorije (Lester 2013), na bazi osnove koju su originalno razvili autori u oblasti organizacionog ponašanja (Manning and Curtis 1988).

Za obradu podataka primenjeni su deskriptivna statistika i parametarski statistički testovi u skladu sa preporukama za istraživanja u oblasti biznisa i menadžmenta (Saunders, Lewis and Thornhill, 2011). Posle analize distribucije varijabli koja je urađena pomoću Kolmogorov-Smirnov testa (Morgan, Griego & Gloeckner 2000) sproveden je t-test prateći uputstva iz literature (Marczyk, DeMatteo & Festinger 2005). Studija je dopunjena kvalitativnim pregledom karakteristika obe organizacije, prateći uputstva za primenu kvalitativnih metoda kao pomoćnih metoda (Krishnaswamy, Sivakumar & Mathirajan 2004).

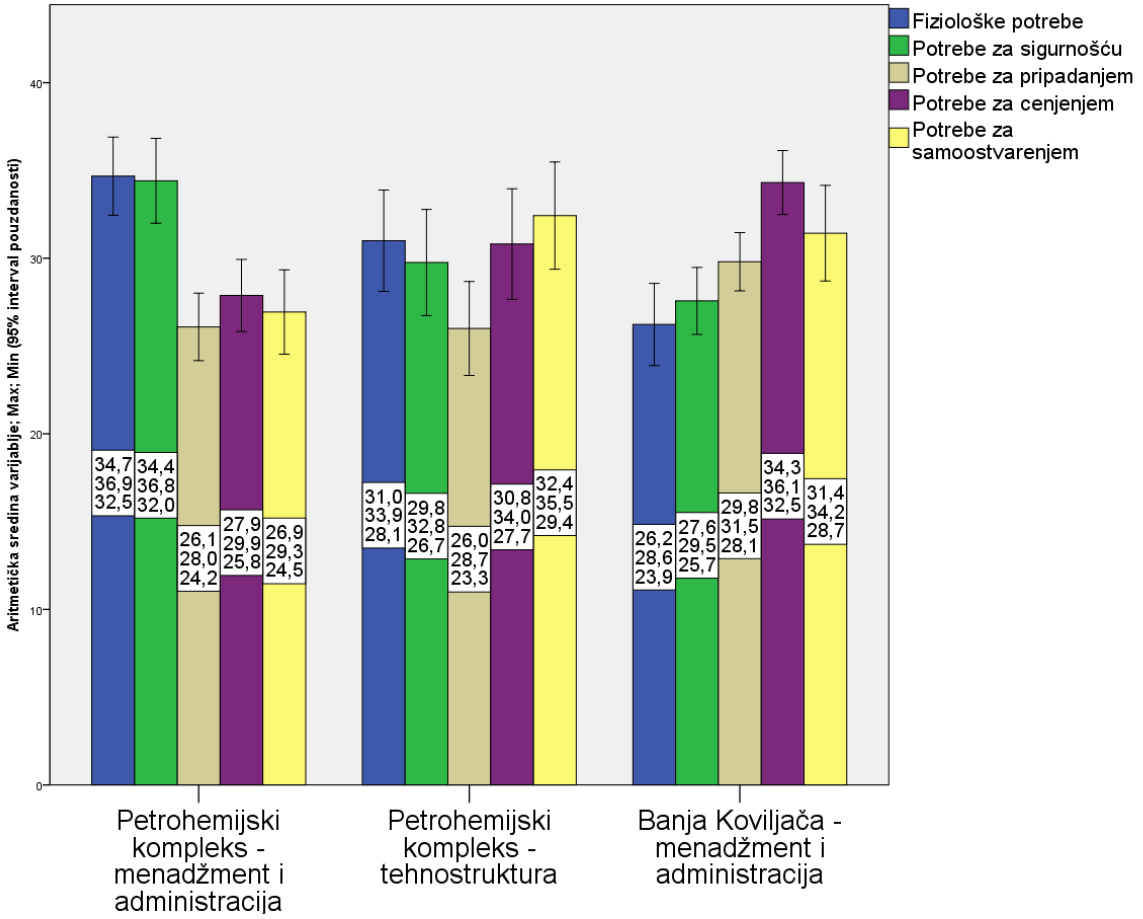
Prva studije je sprovedena na uzorku od 35 zaposlenih u menadžmentu Specijalne bolnice za rehabilitaciju - Banja Koviljača. Istraživanje je sprovedeno tokom obuke za unapređenje motivacije i rešavanje konflikata koje su zaposleni prošli sa ciljem unapređenja veština i kompetencija menadžmenta. Studija je sprovedena u toku marta 2019, 36 upitnika je lično podeljeno uz dostupnog ispitivača koji je mogao na licu mesta objasniti pitanja, odziv za popunjavanje je bio potpun.

Druga studija je sprovedena istim instrumentom istraživanja u jednom velikom kompleksu petrohemijske industrije u Srbiji. Upitnik je podeljen kao deo istraživanja u okviru konsultantskog angažmana u projektu organizacionog restrukturiranja. U ovoj organizaciji je prikupljeno 168 popunjenih upitnika. Za ovaj članak izdvojeni su su samo upitnici koje su popunili pripadnici menadžmenta i administracije (34 upitnika) i tehnostrukture (21 upitnik), što je deo organizaciji posmatran u banji. Kako konačan skup podataka za analizu izdvojeno je 90 motivacionih profila zaposlenih.

3. REZULTATI

Motivacioni profili zaposlenih su obrađeni i sintetički prikazani na grafiku 1. Na slici se može uočiti razlika u motivacionim profilima zaposlenih. Stubići prikazuju varijable po pet hijerarhijskih potreba kao faktora motivacije zaposlenih, redosledom s leva na desno fiziološke potrebe, potrebe za sigurnošću, potrebe za

pripadanjem, potrebe za cenjenjem, potrebe za samoostvarenjem. Linijom na vrhu je prikazan 95% interval pouzdanosti. U sredini stubića, prvi broj predstavlja aritmetičku srednju vrednost intenziteta varijable za tu potrebu, dok su ispod prikazani gornji, a zatim i donji kraj 95% intervala pouzdanosti. Prva grupa stubića pokazuje zaposlene u menadžmentu i administraciji petrohemijskog kompleksa, i uočljive su veće vrednosti prva dva faktora, dok su potrebe višeg nivoa ocenjene nižim intenzitetima u toj grupi. Druga grupa zaposlenih, koji su u okviru tehnostrukture petrohemijskog kompleksa imaju relativno balansiran motivacioni profil, dok treća grupa zaposlenih, u okviru Banje Koviljače ima motivacione profile u kojima dominiraju potrebe višeg hijerarhijskog ranga. Detaljna analiza ovih rezultata je data u diskusiji.



Slika 1. Grafički prikaz motivacionih profila

Tabela 1. Provera distribucija varijabli korišćenih u istraživanju

Varijabla	H_0 – sr.vred.	H_0 – stand.dev.	Sig.	Zaključak
Fiziološke potrebe	30,533	7,46	0,539	Distribucija je normalna
Potrebe za sigurnošću	30,667	6,99	0,647	Distribucija je normalna
Potrebe za pripadanjem (društvene potrebe)	27,511	5,60	0,454	Distribucija je normalna
Potrebe za cenjenjem	31,067	6,51	0,785	Distribucija je normalna
Potrebe za samoostvarenjem	29,967	7,58	0,780	Distribucija je normalna

Tabela 2. Poređenje motivacionih profila zaposlenih u menadžmentu i administraciji dve organizacije

Varijabla - potrebe	Organizacija	N	Ar. Sr. vrednost	Std. devijacija
Fiziološke potrebe	Banja Koviljača	35	26,23	6,809
	Petrohemijski kompleks	34	34,68	6,376
Potrebe za sigurnošću	Banja Koviljača	35	27,57	5,559
	Petrohemijski kompleks	34	34,41	6,933
Potrebe za pripadnošću	Banja Koviljača	35	29,80	4,831
	Petrohemijski kompleks	34	26,09	5,512
Potrebe za cenjenjem	Banja Koviljača	35	34,31	5,312
	Petrohemijski kompleks	34	27,88	5,881
Potrebe za samoostvarenjem	Banja Koviljača	35	31,43	7,927
	Petrohemijski kompleks	34	26,94	6,884

Tabela 1 pokazuje rezultate Kolmogorov-Smirnov testa za proveru distribucije varijabli. U tabeli 2 prikazana je deskriptivna statistika vrednosti dve grupe – zaposlenih u menadžmentu i administraciji u Banji Koviljači i u Petrohemijskom kompleksu. Pomoću t-testa provereno je da li su razlike rezultat slučaja, i za sve varijable razlike su statistički značajne, što je prikazano u tabeli 3.

Tabela 3. Provera razlika srednjih vrednosti varijabli u motivacionim profilima – zaposleni u menadžmentu i administraciji u obe organizacije

	Levenov test		t-test						
	F	Sig.	t	df	Sig. (dvostrana)	Razlika sr. vrednosti	Std. Error Difference	95% interval pouzdanosti za razliku	
								Donji	gornji
Fiziološke potrebe	,247	,621	-5,316	67	,000	-8,448	1,589	-11,620	-5,276
Potrebe za sigurnošću	1,406	,240	-4,528	67	,000	-6,840	1,511	-9,856	-3,825
Potrebe za pripadnošću	1,131	,291	2,977	67	,004	3,712	1,247	1,223	6,200
Potrebe za cenjenjem	,124	,726	4,770	67	,000	6,432	1,348	3,740	9,123
Potrebe za samoostvarenjem	1,225	,272	2,508	67	,015	4,487	1,790	,915	8,059

Naredna tabela prikazuje deskriptivnu statistiku faktora motivacionih profila, ali ovaj put su iz organizacije u restrukturiranju posmatrani zajedno i zaposleni u tehnostrukturi i zaposleni iz administracije i menadžmenta.

Tabela 4. Poređenje motivacionih profila svih posmatranih zaposlenih dve organizacije

Varijabla - potrebe	Organizacija	N	Ar. Sr. vrednost	Std. devijacija
Fiziološke potrebe	Banja Koviljača	35	26,23	6,809
	Petrohemijski kompleks	55	33,27	6,556
Potrebe za sigurnošću	Banja Koviljača	35	27,57	5,559
	Petrohemijski kompleks	55	32,64	7,135
Potrebe za pripadnošću	Banja Koviljača	35	29,80	4,831
	Petrohemijski kompleks	55	26,05	5,602
Potrebe za cenjenjem	Banja Koviljača	35	34,31	5,312
	Petrohemijski kompleks	55	29,00	6,397
Potrebe za samoostvarenjem	Banja Koviljača	35	31,43	7,927
	Petrohemijski kompleks	55	29,04	7,272

U sledećoj tabeli prikazani su rezultati t-testa za sve posmatrane zaposlene (uključujući i tehnostrukturu)

Tabela 5. Provera razlika srednjih vrednosti varijabli u motivacionim profilima – svi posmatrani zaposleni u obe organizacije

	Levenov test		t-test						
	F	Sig.	t	df	Sig. (dvostrana)	Razlika sr. vrednosti	Std. Error Difference	95% interval pouzdanosti za razliku	
								Donji	Gornji
Fiziološke potrebe	,006	,940	-4,895	88	,000	-7,044	1,439	-9,904	-4,185
Potrebe za sigurnošću	4,770	,032	-3,766	84,312	,000	-5,065	1,345	-7,739	-2,391
Potrebe za pripadnošću	1,678	,199	3,257	88	,002	3,745	1,150	1,460	6,030
Potrebe za cenjenjem	,631	,429	4,095	88	,000	5,314	1,298	2,735	7,893
Potrebe za samoostvarenjem	,483	,489	1,469	88	,145	2,392	1,629	-,844	5,629

4. DISKUSIJA

Postojeća literatura detaljno obrađuje organizacione probleme koje nose procesi restrukturiranja, reorganizacije i daunsajzinga. Ova tri pojma se često preklapaju u praksi – nekada se ista pojava naziva različitim imenima, ili se u okviru jedne promene sprovodi druga, na primer tokom procesa organizacionog restrukturiranja se sprovodi daunsajzing. U svakom slučaju, efekti i uticaji na motivaciju zaposlenih su veoma slični. Tokom restrukturiranja je uočena niska motivacija, promena stavova i pad morala zaposlenih (Fleming, 2017). Organizaciono restrukturiranje kao proces nosi organizacione probleme i izazove (McKinley and Scherer 2000; Balogun 2007; Todorović, Komazec and Čudanov, 2013). Daunsajzing, koji je

u posmatranom periodu bio planiran i sprovođen u preduzeću iz petrohemijske industrije, negativno utiče na sposobnosti, zaposlene i performanse organizacije (Lewin and Johnston 2000; Carbery and Garavan 2005; Čudanov, Jaško and Săvoiu 2012; Schenkel and Teigland, 2017). Postojeća literatura je uglavnom u saglasju sa rezultatima koji su prikazani u ovom članku, ali ne prikazuje detaljne motivacione profile.

Očekivana razlika između motivacionog profila zaposlenih koji se bave administracijom i menadžmentom u oba preduzeća je rezultat stavova koji se često javljaju kao posledica smanjene sigurnosti i ispunjenja osnovnih potreba kroz redovnu platu, uslove rada i beneficije koje zaposleni gube u procesu restrukturiranja. U takvim situacijama menadžment često pogrešno procenjuje potrebu za pomoći spolja i problematičnu fazu u životnom ciklusu organizacije (Adizes, Čudanov, Rodić 2017). Menadžment je među prvim strukturama koji oseća pritisak i očekivano je da se motivacioni profil promeni, te da se potrebe višeg reda smanje po intenzitetu, a potreba višeg reda porastu. Zaposleni se plaše za svoju osnovnu egzistenciju i za sigurnost, pa ispunjenje tih potreba postaje intenzivniji motivator.

Tehnostruktura petrohemijske kompanije je pokazala motivacioni profil koji je sličniji zaposlenima u preduzeću koje odlično posluje i razvija se, što je delimično kontraintutivno. Objašnjenje može biti u tome da su zaposleni ipak davali socijalno prihvatljive odgovore, ali je racionalnije prihvatiti da taj deo strukture ima drugačije stavove. Tehnostruktura je deo jednog od najpoznatijih modela organizacione strukture (Mintzberg 1980). Nju čine uglavnom analitičari i drugi stručnjaci izvan formalne linijske strukture usmereni planiranje, projektovanje i održavanje strukture (Jaško, Čudanov, Jevtić, Krivokapić 2017), koji upravljaju standardizacijom i bave se ključnim procesima i tehnologijom organizacije. Nystrom (1986) pokazuje da oni imaju drugačije vrednosti od linijskih menadžera, što može da objasni i zadržavanje motivacionog profila koji ima visok značaj potreba višeg nivoa u teškim i kriznim vremenima. Ovi izvršiosi su u SBBK najvećim delom integrisani u strukturu višeg i srednjeg nivoa menadžmenta. Iako su za preduzeće u restrukturiranju bili dostupni i motivacioni profili niskokvalifikovanih izvršilaca, oni nisu poređeni sa uspešnom kompanijom kako bi se izbegla odstupanja povezana sa uticajem koji na motivaciju ima stepen obrazovanja (Hitka and Balážová 2015; Hitka, Kozubíková and Potkány 2018), kao i nivo u menadžment hijerarhiji (Lu, Lu, Gursoy and Neale; Najjar and Fares 2017).

5. ZAKLJUČAK

Tokom istraživanja uočene su statistički značajne razlike u motivacionim profilima zaposlenih u uspešnoj organizaciji i u organizaciji koja je bila u procesu restrukturiranja. Prvi deo istraživanja poredi samo zaposlene u menadžmentu i administraciji, i tu je očigledno da su motivacioni faktori fizioloških potreba i sigurnosti intenzivniji u organizaciji koja je tada bila u procesu restrukturiranja, dok su viši faktori intenzivniji u uspešnoj organizaciji koja se razvija. Sve razlike su statistički značajne u ovoj grupi. Ukoliko se ispitanicima iz organizacije u restrukturiranju pridruži i grupa zaposlenih u tehnostrukturi, razlike se smanjuju, ali su i dalje statistički značajne, izuzev razlika u petom nivou – potrebama za samoaktuelizacijom. Ovo se može objasniti drugačijim vrednostima koje imaju zaposleni u tehnostrukturi, koji su čak i tokom restrukturiranja po motivacionim profilima bili slični zaposlenima u uspešnoj kompaniji. Ograničenja ovog istraživanja su pre svega u veličini uzorka, zatim u različitoj veličini organizacija (organizacija iz petrohemijske industije ima višestuko veći broj zaposlenih), u različitoj industriji i različitom istorijskom periodu posmatranja, što bi sve takođe moglo uticati na uočene razlike. Krajnji zaključak je da se u procesu restrtukturiranja zaposleni plaše za svoju osnovnu egzistenciju i za sigurnost, pa ispunjenje tih potreba postaje intenzivniji motivator, ali je taj trend manje izražen kod tehnostrukture, što uz mapiranje uticaja ostalih gore navedenih faktora može biti pravac za dalje istraživanje koje će dati detaljniji uvid i objasniti uzroke.

LITERATURA

[1] Adizes, I., Cudanov, M., & Rodic, D. (2017). Timing of Proactive Organizational Consulting: Difference between Organizational Perception and Behaviour. Amfiteatru Economic, 19(44), 232.

[2] Balogun, J. (2007). The Practice of Organizational Restructuring:: From Design to Reality. European Management Journal, 25(2), 81-91.

[3] Carbery, R., & Garavan, T. N. (2005). Organisational restructuring and downsizing: Issues related to learning, training and employability of survivors. Journal of European Industrial Training, 29(6), 488-508.

[4] Čudanov, M., Jaško, O., & Săvoiu, G. (2012). Public and public utility enterprises restructuring: Statistical and quantitative aid for ensuring human resource sustainability. Amfiteatru Economic Journal, 14(32), 307-322.

[5] Fleming, E. M. (2017). The Effects of Organizational Restructuring and Acceptance of Change on Employees' Motivation. PhD thesis, Walden University. Dostupno na: https://scholarworks.waldenu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4871&context=dissertations

[6] Hitka, M., & Balážová, Ž. (2015). The impact of age, education and seniority on motivation of employees. Business: Theory and practice, 16, 113.

[7] Hitka, M., Kozubíková, Ľ., & Potkány, M. (2018). Education and gender-based differences in employee motivation. Journal of Business Economics and Management, 19(1), 80-95.

[8] Jaško, O., Čudanov, M., Jevtić, M., & Krivokapić, J. (2013). Osnovi organizacije i menadžmenta. Beograd, Srbija: Fakultet organizacionih nauka.

[9] Jaško, O., Čudanov, M., Jevtić, M., & Krivokapić, J. (2017). Organizacioni dizajn–pristupi, metode i modeli. Beograd, Srbija: Fakultet organizacionih nauka..

[10] Krishnaswamy, K. N., Sivakumar, A. I., & Mathirajan, M. (2004). Management Research Methodology: Integration of Principles. Methods and Techniques, New Delhi, India: Dorling Kindersley Ltd.

[11] Lester, D. (2013). Measuring Maslow's hierarchy of needs. Psychological Reports, 113(1), 15-17.

[12] Lewin, J. E., & Johnston, W. J. (2000). The impact of downsizing and restructuring on organizational competitiveness. Competitiveness Review: An International Business Journal, 10(1), 45-55.

[13] Longest Jr, B.B., Rakich J.S., Darr K.J.D. (2004). Managing Health Services Organizations and Systems. 4th edition (ISBN: 1-878812-57-2). Baltimore, USA: Health Professions Press; 2004. p.794

[14] Lu, L., Lu, A. C. C., Gursoy, D., & Neale, N. R. (2016). Work engagement, job satisfaction, and turnover intentions: A comparison between supervisors and line-level employees. International Journal of Contemporary Hospitality Management, 28(4), 737-761.

[15] Manning G, Curtis K. (1988) Human Behavior: Why People Do What They Do, Cincinnati, USA: Vista Systems/South Western.

[16] Marczyk, G., DeMatteo, D., & Festinger, D. (2005). Essentials of research design and methodology. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.

[17] Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. Psychological review, 50(4), 370.

[18] McKinley, W., & Scherer, A. G. (2000). Some unanticipated consequences of organizational restructuring. Academy of Management Review, 25(4), 735-752.

[19] Mintzberg, H. (1980). Structure in 5's: A Synthesis of the Research on Organization Design. Management science, 26(3), 322-341.

[20] Morgan, G.A., Griego, O.V., Gloeckner, G. (2000). SPSS for Windows - An Introduction to Use and Interpretation in Research. New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates.

[21] Najjar, D., & Fares, P. (2017). Managerial motivational practices and motivational differences between blue-and white-collar employees: Application of maslow's theory. International Journal of Innovation, Management and Technology, 8(2), 81.

[22] Nystrom, P. C. (1986). Comparing beliefs of line and technostructure managers. Academy of Management Journal, 29(4), 812-819.

[23] O'Connor, D., & Yballe, L. (2007). Maslow revisited: Constructing a road map of human nature. Journal of Management Education, 31(6), 738-756.

[24] Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2011). Research methods for business students, 5th edition. Harlow, UK: Pearson Education.

[25] Schenkel, A., & Teigland, R. (2017). Why doesn't downsizing deliver? A multi-level model integrating downsizing, social capital, dynamic capabilities, and firm performance. The International Journal of Human Resource Management, 28(7), 1065-1107.

[26] Stum, D. L. (2001). Maslow revisited: Building the employee commitment pyramid. Strategy & Leadership, 29(4), 4-9.

[27] Todorović, I., Komazec, S., & Čudanov, M. (2013). Different successful patterns for implementing holding model in public sector. Business Systems Research, 4(2), 58-67.

[28] Waterman Jr, R. H., Peters, T. J., & Phillips, J. R. (1980). Structure is not organization. Business horizons, 23(3), 14-26.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ANALIZA FAKTORA OD UTICAJA NA PRISTRASNOST STUDENATA TOKOM MEĐUSOBNE EVALUACIJE

DETERMINING FACTORS WHICH INFLUENCE STUDENT PEER REVIEW

FILIP STOJKOVIĆ[1] , MILICA MARIČIĆ[2], MILAN RADOJIČIĆ[3], VELJKO JEREMIĆ[4]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beograd, filip.fon@gmail.com
[2] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beograd, milica.maricic@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beograd, milan.radojicic@fon.bg.ac.rs
[4] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beograd, veljko.jeremic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Svrha ove studije je odgovor na pitanje koji to faktori i u kojoj meri utiču na studente prilikom međusobne evaluacije (engl. Peer assessment) seminarskih radova njihovih kolega. 138 studenata završne godine Fakulteta organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu (u daljem tekstu: evaluatori), evaluiralo je prezentovanje seminarskih radova 20 svojih kolega (u daljem tekstu: predavači), takođe studenata završne godine Fakulteta Organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Pored prikupljenih podataka o stepenu prijateljstva evaluatora i predavača, poenima od 0 do 100, evaluatori su ocenjivali izlaganje predavača. Rezultati pokazuju da prijateljstvo utiče na pojavu pristrasnosti prilikom ocenjivanja. Dodatno, pol predavača kao ni pol evaluatora nije uticao na statistički značajnu razliku u poenima.*

Ključne reči: *međusobna evaluacija, pristrasnost, prijateljstvo, jednakost, studenti, seminarski rad*

Abstract: *Purpose of this study is to investigate the impact of different factors on peer assessment between university students. 138 students, who enrolled at the Faculty Of Organizational Sciences, University of Belgrade, had participated in the study. Students had evaluated 20 presentations of their colleagues' essays, also students of Faculty Of Organizational Sciences, University of Belgrade. Students had evaluated their colleagues' students with points from 0 to 100. The results show that there is a significant relationship between friendship and evaluators scoring. In addition, sex of lecture nor sex of evaluation hadn't had statistical significance to peer assessment.*

Keywords: *peer assessment, bias, friendship, fairness, students, essay*

1. UVOD

Mnoge studije ukazuju da na učenje studenata pozitivno utiče evaluacija (Black & Wiliam, 1998; Kennedy, Chan, Fok, & Yu, 2008). U proteklim godinama međusobna evaluacija (engl. Peer assessment) je u visokom obrazovanju promovisana kao veoma koristan pristup formativne evaluacije (evaluiranje tokom kursa studija) (Falchikov, 2004; Falchikov & Goldfinch, 2000). Proces u kome studenti ocenjuju kroz bodovanje i/ili pismeno i usmeno iznošene mišljenja o studentima kojeg evaluiraju naziva se međusobna evaluacija (Topping, 1998). Međusobna evaluacija ujedno za studenta predstavlja i povratnu informaciju o stepenu njegove uspešnosti tokom predmeta evaluacije (Adachi, Tai, & Dawson, 2018). Brojni radovi govore o velikom broju pozitivnih efekata međusobne evaluacije. Studija (Quarrie, 2007) koju je nastavni kadar Poljoprivrednog Fakultetu, Univerziteta u Beogradu, sproveo sa ciljem poboljšanja postojećih nastavnih metodama uključivanjem studenata u proces ocenjivanja dovodi do zaključka da međusobna evaluacija olakšava proces učenja. Takođe, međusobna evaluacije dovodi do većeg stepena interakcije na polju student – student o kojoj više govore (Falchikov, 1995; LeMare & Rubin, 1987; McGourty, 2000; Sluijsmans, Moerkerke, & Dochy, 1998). Brojne druge prednosti koje se ogledaju u poboljšanim osobinama prezentovanja i učenje kroz opažanje (Topping, 2003; van Gennip, Segers, & Tillema, 2009), kao i razvoj socijalnih veština i način prenosa naučenog na druge (Topping, 1998), navelo nas je na ideju da ispitamo valjanost međusobne evaluacije kao novi vid ocenjivanja među studentima Fakulteta organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu. Međutim pored dobrih, postoje i loši aspekti međusobne evaluacije. Brojne prepreke u vidu nepouzdanosti i validnosti, predstavljaju problem u prihvatanju međusobne evaluacije među

studentima i profesorima. (Cho, Schunn, & Wilson, 2006; Dochy, Segers, & Sluijsmans, 1999; Falchikov & Goldfinch, 2000; van Zundert, Sluijsmans, & van Merriënboer, 2010). Iako je prijateljstvo prihvaćen kao potencijalni pristrasni faktor u međusobnoj evaluaciji, oskudan je broj empirijskih studija koji konkretno istražuju uticaj prijateljstva (Panadero, Romero, & Strijbos, 2013). Međutim prema rečima (Sambell, McDowell, & Brown, 1997) prijateljstvo može dovesti do značajno visokih i nerealnih ocena, pri čemu visok stepen prijateljstva može imati negativnih uticaja na pouzdanost, validnost i jednakost evaluacije. Dodatno, pol takođe ima uticaj na međusobnu evaluaciju. Prema studiji (Centra & Gaubatz, 2015), ženski predavači su od žena dobijali više ocene nego od muškaraca, dok su muški predavači ocenjivani identično od strane žena i muškaraca. Žene su ženske predavače ocenile višom ocenom jer su ih smatrali bolje organizovanim i komunikativnijim, dok muškarci nisu obraćali pažnju na takve stvari. Pomenuti negativni aspekti su nas naveli da pored pozitivnih strana međusobne evaluacije proverimo i faktore koji bi mogli negativno da utiču na nju.

2. UČESNICI I METODE

U studiji je učestvovalo 138 studenata, završne godine Fakulteta organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu (u daljem tekstu: evaluatori), koji su evaluirali prezentovanje seminarskih radova 20 svojih kolega (u daljem tekstu: predavači), takođe studenata završne godine Fakulteta organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu. Nakon svakog prezentovanja seminarskog rada, evaluatori su putem računara odgovarali na skup pitanja o stepenu prijateljstva sa predavačem, načinu izlaganja, i prezentaciji predavača. Anketa je koncipirana sa ciljem da utvrdi da li faktori kao što su stepen prijateljstva i pol dovode do pristrasnosti tokom međusobne evaluacije. Stepen prijateljstva između evaluatora i predavača je utvrđen kroz odgovor na pitanje „Koliko dobro poznajte predavača?“. Ponuđeni odgovori su glasili: „Ne poznajemo se, prvi put ga vidim“ (1) ili „Ne poznajemo se, ali ga srećem na fakultetu“ (2) ili „Poznajemo se, ali se isključivo viđamo na fakultetu“ (3) ili „Poznajemo se i viđamo se van fakulteta“ (4). Takođe posebna pažnja u anketi je posvećena uočenoj prednosti međusobne evaluacije da dovodi do većeg stepena interakcije na polju student – student. I na samom kraju ankete ocenom od 0 do 100 evaluatori su ocenjivali izlaganje predavača.

Sve uočene nepravilnosti tokom popunjavanja ankete su eliminisane i na kraju prikupljenu bazu podataka čini 1489 opservacija.

Nad dobijenim podacima izvršena je statistička analiza koristeći SPPS 24.

Za utvrđivanje normaliteta varijable koja predstavlja ocenu od 0 do 100 koju su evaluatori dodeljivali predavačima korišćen je Kolmogorov–Smirnov test. Za svako dalje utvrđivanje statistički značajnih razlika između određenih grupa i prethodno pomenute varijable, primenjen je Mann–Whitney U test.

3. REZULTATI

Dobijeni rezultati sugerišu da evaluatori ocenjuju predavače sa veoma visokim ocena (Slika 1). U proseku sa 93.37 poena, pri čemu najmanji prosek poena koji je neki predavač ostvario iznosi 85.92 a najveći 98.50 Iako brojni radovi (Stefani, 1994),(Marcoulides & Simkin, 2010) govore o preciznom i konzistentnom ocenjivanju studenata, rezultati dobijeni u našoj studiji navode na pitanje da li studenti znajući da mogu uticati na krajnju ocenu predavača svesno ocenjuju većim brojem poena od zasluženog.

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Prosečan broj poena za izlaganje	20	85.92	98.50	93.3760	3.49677

Slika 1: Deskriptivna statistika - prosečan broj ostvarenih poena predavača

Posmatrajući stepen prijateljstva i broj poena koji evaluatori dodeljuju predavačima dobili smo sledeće rezultate (Slika2). Rezultatom ($p<0.05$) za grupe (1) i (4) zaključujemo da postoji statistički značajna razlika u broju poena koji evaluatori dodeljuju predavačima. Uočava se jasna razlika u prosečnom broju poena. Evaluatori koji poznaju predavače veoma dobro u proseku ih ocenjuju sa 5 poena više od onih koje ne poznaju uopšte. Rezultat ($p<0.05$) za grupe (3) i (4) govori da i u ovom slučaju usled većeg stepena prijateljstva postoji pristrasnost tokom međusobne evaluacije. Evaluatori koji viđaju predavače van fakulteta, u proseku ih ocenjuju sa 6 poena više u odnosu na predavače koje viđaju samo na fakultetu.

Ispitujući razlike između grupa (1) i (3) rezultatom ($p>0.05$) zaključujemo da ne postoji pristrasnost kod evaluatora kad ocenjuju predavače koje prvi put vide i predavače koje poznaju, ali se viđaju s njima samo na fakultetu. Iz svega navedenog možemo zaključiti da evaluatori u međusobnom ocenjivanju postaju pristrasni samo kada je reč o prijateljima koje viđaju van fakulteta. Objektivni su u ocenjivanju kada je reč o prijateljima koje poznaju ali ih viđaju samo na fakultetu, i kolegama koje ne poznaju uopšte.

Varijabla	Koliko dobro poznajete predavača		P vrednost
	Ne poznajemo se, prvi put vidim predavača (1) (n = 677)	Poznajemo se i viđamo se van fakulteta (4) (n = 67)	
Broj dodeljenih poena predavaču	93.9 ± 12.5	98.3 ± 4.7	<0.001
	Poznajemo se, ali se isključivo viđamo na fakultetu (3) (n = 294)	Poznajemo se i viđamo se van fakulteta (4) (n = 67)	
Broj dodeljenih poena predavaču	92.1 ± 12.2	98.3 ± 4.7	<0.001
	Ne poznajemo se, prvi put vidim predavača (1) (n = 677)	Poznajemo se, ali se isključivo viđamo na fakultetu (3) (n = 294)	
Broj dodeljenih poena predavaču	93.9 ± 12.5	92.1 ± 12.2	0.088

Slika 2: (Mean ± SD) Uticaj stepena prijateljstva na međusobnu evaluaciju

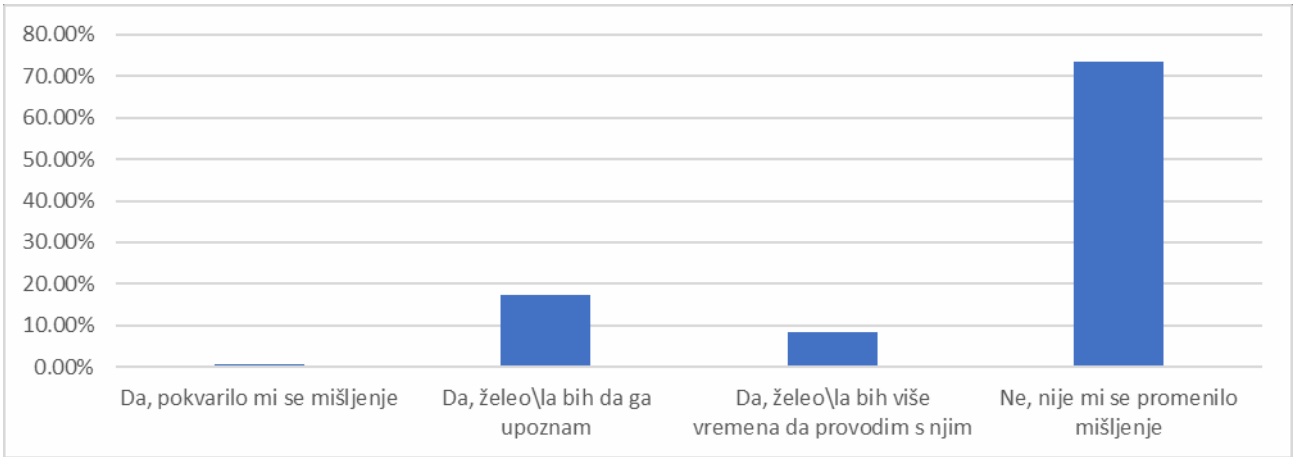
Posmatrajući pol i broj poena koji evaluatori dodeljuju predavačima dobili smo sledeće rezultate (Slika3). Kada je u pitanju ocenjivanje ženskih predavača, rezultat ($p>0.05$) govori da ne postoji statistički značajna razlika između muškaraca i žene prilikom ocenjivanja. Takođe, isti rezultat ($p>0.05$) je dobijen i za muške predavače. Uzimajući u obzir prethodno, možemo zaključiti da pol predavača niti pol evaluatora ne dovodi do pojave pristrasnosti prilikom međusobne evaluacije.

Varijabla	Pol evaluatora - Pol predavača		P vrednost
	Muški evaluator - Ženski predavač	Ženski evaluator - Ženski predavač	
Broj dodeljenih poena predavaču	92.1 ± 14.1	93.2 ± 11.2	0.146
	Muški evaluator - Muški predavač	Ženski evaluator - Muški predavač	
Broj dodeljenih poena predavaču	94.2 ± 8.9	94.7 ± 7.3	0.782

Slika 3: (Mean ± SD) Uticaj pola na međusobnu evaluaciju

Na pitanje „Koliko dobro poznajte predavača?“. Čak 45% odgovora glasi „Ne poznajemo se, prvi put ga vidim“. Takav podatak govori da studenti veoma slabo interaguju međusobno.

Međutim nakon međusobne evaluacije na pitanje „Da li vam se nakon predavanja promenilo mišljenje o predavaču?“ (Slika4) čak 17.33% od ukupnih odgovora želi da upozna nekog od predavača. Time se potvrđuje pozitivna strana međusobne evaluacije da dovodi do većeg stepena interakcije na polju student – student (Falchikov, 1995; LeMare & Rubin, 1987; McGourty, 2000; Sluijsmans et al., 1998).



Slika 4: Uticaj međusobne interakcije na polju student - student

4. ZAKLJUČAK

Kako je rečeno, prijateljstvo može dovesti do značajno visokih i nerealnih ocena, pri čemu visok stepen prijateljstva može imati negativnih uticaja na pouzdanost, validnost i jednakost evaluacije (Sambell et al., 1997). U prilog tome govori naša studija na Fakultetu organizacionih nauka gde je primenom Mann – Whitney testa, uočeno da stepen prijateljstvo utiče na subjektivnost u ocenjivanju. Dodatno, evaluatori su studente koje dobro poznaju u proseku ocenjivali sa 5 poena više nego studente koje ne poznaju. Međutim, pristrasnost se javlja samo kod onih studenata koji predavača poznaju veoma dobro, odnosno viđaju se s njim van fakulteta. Uzimajući to u obzir, međusobna evaluacija može naći primenu u formiranim grupama studenata koji se međusobno ne poznaju, čime se eliminiše pristrasnost. Rezultati ispitivanja objektivnosti prilikom međusobne evaluacije u odnosu na pol, govore da ne postoje statistički značajne razlike u broju poena koji evaluatori dodeljuju predavačima, bilo da se radi o muškom ili ženskom predavaču. Takav zaključak suprotan je studiji (Centra & Gaubatz, 2015), u kojoj je utvrđeno da ženski predavači od žena dobijaju više ocene nego od muškaraca. Jedna od prednosti međusobne evaluacije koje navode (Falchikov, 1995; LeMare & Rubin, 1987; McGourty, 2000; Sluijsmans et al., 1998) jeste, veći stepen interakcije na polju student-student. Na pitanje „Koliko dobro poznajte predavača?“. Čak 45% odgovora glasi „Ne poznajemo se, prvi put ga vidim“. Međutim nakon međusobne evaluacije na pitanje „Da li vam se nakon predavanja promenilo mišljenje o predavaču?“ čak 17.33% od ukupnih odgovora želi da upozna nekog od predavača. Time je jasno ukazana prednost međusobne evaluacije u pogledu povećanja interakcije između studenata.

Iako brojni radovi (Stefani, 1994),(Marcoulides & Simkin, 2010) govore o preciznom i konzistentnom ocenjivanju studenata, buduća istraživanja se mogu osvrnuti na pitanje da li studenti znajući da mogu uticati na krajnju ocenu predavača svesno ocenjuju većim brojem poena od zasluženog. Negiranjem prethodnog, i uzimajući u obzir istraživanje izvršeno u našoj studiji otvara se put za uvođenje međusobne evaluacije u visokom obrazovanju u Srbiji, čime se studentima omogućavaju brojne prednosti međusobne evaluacije koje se ogledaju u poboljšanim osobinama prezentovanja i učenje kroz opažanje (Topping, 2003; van Gennip, Segers, & Tillema, 2009), kao i razvoj socijalnih veština i način prenosa naučenog na druge (Topping, 1998).

LITERATURA

[1] Adachi, C., Tai, J., & Dawson, P. (2018). A framework for designing, implementing, communicating and researching peer assessment. Higher Education Research and Development, 37(3), 453–467. https://doi.org/10.1080/07294360.2017.1405913

[2] Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and Classroom Learning. Assessment in Education: Principles, Policy & Practice, 5(1), 7–74. https://doi.org/10.1080/0969595980050102

[3] Centra, J. A., & Gaubatz, N. B. (2015). Is There Gender Bias in Student Evaluations of Teaching ? 71(1), 17–33.

[4] Cho, K., Schunn, C. D., & Wilson, R. W. (2006). Validity and reliability of scaffolded peer assessment of writing from instructor and student perspectives. Journal of Educational Psychology, 98(4), 891–901. https://doi.org/10.1037/0022-0663.98.4.891

[5] Dochy, F., Segers, M., & Sluijsmans, D. (1999). The Use of Self-, Peer and Co-assessment in Higher Education: A review. Studies in Higher Education, 24(3), 331–350. https://doi.org/10.1080/03075079912331379935

[6] Falchikov, N. (1995). Peer Feedback Marking: Developing Peer Assessment. Innovations in Education and Training International, 32(2), 175–187. https://doi.org/10.1080/1355800950320212

[7] Falchikov, N. (2004). Involving Students in Assessment. Psychology Learning & Teaching, 3(2), 102–108. https://doi.org/10.2304/plat.2003.3.2.102

[8] Falchikov, N., & Goldfinch, J. (2000). Student Peer Assessment in Higher Education: A Meta-Analysis Comparing Peer and Teacher Marks. Review of Educational Research, 70(3), 287. https://doi.org/10.2307/1170785

[9] Kennedy, K. J., Chan, J. K. S., Fok, P. K., & Yu, W. M. (2008). Forms of assessment and their potential for enhancing learning: conceptual and cultural issues. Educational Research for Policy and Practice, 7(3), 197–207. https://doi.org/10.1007/s10671-008-9052-3

[10] LeMare, L. J., & Rubin, K. H. (1987). Perspective Taking and Peer Interaction: Structural and Developmental Analyses. Child Development, 58(2), 306. https://doi.org/10.2307/1130508

[11] Marcoulides, G. A., & Simkin, M. G. (2010). The Consistency of Peer Review in Student Writing Projects. Journal of Education for Business, 70(4), 220–223. https://doi.org/10.1080/08832323.1995.10117753

[12] McGourty, J. (2000). Using multisource feedback in the classroom: a computer-based approach. IEEE Transactions on Education, 43(2), 120–124. https://doi.org/10.1109/13.848062

[13] Panadero, E., Romero, M., & Strijbos, J. W. (2013). The impact of a rubric and friendship on peer assessment: Effects on construct validity, performance, and perceptions of fairness and comfort. Studies in Educational Evaluation, 39(4), 195–203. https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2013.10.005

[14] Quarrie, S. P. (2007). Student Peer Review as a Tool for Efficiently Achieving Subject Specific and Generic Learning Outcomes: Examples in Botany at the Faculty of Agriculture, University of Belgrade. Higher Education in Europe, 32(2–3), 203–212. https://doi.org/10.1080/03797720701840799

[15] Sambell, K., McDowell, L., & Brown, S. (1997). "But is it fair?": An exploratory study of student perceptions of the consequential validity of assessment. Studies in Educational Evaluation, 23(4), 349–371. https://doi.org/10.1016/S0191-491X(97)86215-3

[16] Sluijsmans, D., Moerkerke, G., & Dochy, F. (1998). Creating a Learning Environment by Using. Learning Environments Research, 1(June 2014), 293–319. https://doi.org/10.1023/A

[17] Stefani, L. A. J. (1994). Peer, Self and Tutor Assessment: Relative reliabilities. Studies in Higher Education, 19(1), 69–75. https://doi.org/10.1080/03075079412331382153

[18] Topping, K. (1998). Peer Assessment Between Students in Colleges and Universities. Review of Educational Research, 68(3), 249–276. https://doi.org/10.3102/00346543068003249

[19] Topping, K. (2003). Self and Peer Assessment in School and University: Reliability, Validity and Utility. In Optimising New Modes of Assessment: In Search of Qualities and Standards (pp. 55–87). https://doi.org/10.1007/0-306-48125-1_4

[20] van Gennip, N. A. E., Segers, M. S. R., & Tillema, H. H. (2009). Peer assessment for learning from a social perspective: The influence of interpersonal variables and structural features. Educational Research Review, 4(1), 41–54. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2008.11.002

[21] van Zundert, M., Sluijsmans, D., & van Merriënboer, J. (2010). Effective peer assessment processes: Research findings and future directions. Learning and Instruction, 20(4), 270–279. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.08.004

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

TOWARDS A COMPREHENSIVE APPROACH TO SOLVING COMPLEX PROBLEMS: MODELING DYNAMICS OF SOCIAL SYSTEMS AND SUPPORTING DECISION MAKING

JERZY MICHNIK[1]

[1] University of Economics in Katowice, jerzy.michnik@ue.katowice.pl

Abstract: *The paper proposes a comprehensive approach for solving complex problems. It comprises two stages. The first serves for modeling development of complex social system and gives a number of performance indicators that are of importance for decision maker. The method used in the first stage simulates various outputs depending on various input options. Depending on the characteristics of available information the system dynamics (SD) or other methods (fuzzy cognitive map /FCM/ or Weghted Ifluence Non-linear Gauge System /WINGS/) can be applied. To support the final decision, the MCDA method is proposed in the second stage. It helps the decision maker to evaluate the potential consequences of options.*

Keywords: *Balanced scorecard (BSC), complex problems, multiple criteria decision aiding (MCDA), strategy maps, Weghted Influence Non-linear Gauge System (WINGS).*

1. INTRODUCTION

Solving complex problems that arise in social systems, be it commercial enterprise, non-profit organization, public sector or any other social group, is a subject of continuous interest of scientists. In brief, a process of solving such problems is a multistage operation that comprise data collection, data analysis, building a mental model of a problem, examining consequences of potential actions and final choice of the most preferred one. We assume that the problem which is to be solved can be described by concepts related to model of a social system in question. We propose a general scheme that is to be a central part of the problem solving process. It comprises two main components:

1. Modeling dynamics of the system under study – an approach that is used to simulate the system development under various inputs (scenarios, actions/decision alternatives).
2. Decision making model based on the multiple attribute decision making approach.

In the first stage, depending on the type and quality of data, the modeling can be carried out using the System Dynamics (SD) approach (hard version) or using Fuzzy Cognitive Map (FCM) or Weighted Influence Non-linear Gauge System (WINGS) [4, 1] approach (soft version). The output of this stage is a vector representing the values of key performance indicators that characterize the final state of the system and play the roles of the decision criteria. In the second stage, the main issue to solve is to choose the most preferred action/alternative among non-dominated actions. In the case of small number of alternative actions and small number of criteria a decision maker is able to carry out a direct analysis and make the final choice. If the number of non-dominated actions and/or criteria is quite large, the more formal approach is advised.

The idea is not completely new. Pruyt argued that to solve complex multi-dimensional societal issues, SD needs to be complemented with other methodologies, e.g. multiple criteria decision analysis [6]. Uncertainty belongs to the most difficult problems that asks for hybrid approach [7]. The recent study [8] presented concrete case concerning urban development in which SD was combined with SMART and PROMETHEE II. The novelty of this paper lies in a proposal to substitute SD with the soft approach when data cannot be precisely measured.

The proposed scheme is illustrated by an example in which we use Balance Score Card (BSC) [2] model as a framework for defining a decision problem and constructing the system. Intangible assets play important role in the long-term firm's development, but their returns are more difficult to measure, The BSC methodology aims to help understanding and measuring impact of intangible assets on the long-term firm's development. Within BSC financial metrics is the ultimate outcome measures, but three additional perspectives – namely customer, internal process and learning and growth – are proposed as the drivers for creating the firm's value [2].

2. EXAMPLE PROBLEM: EVALUATING INNOVATION STRATEGIES

2.1. Problem presentation

To illustrate the proposed procedure we have chosen a technology-intensive firm which are to evaluate various directions in an innovation policy. We assume that three different strategies, called here A, B and C, have been

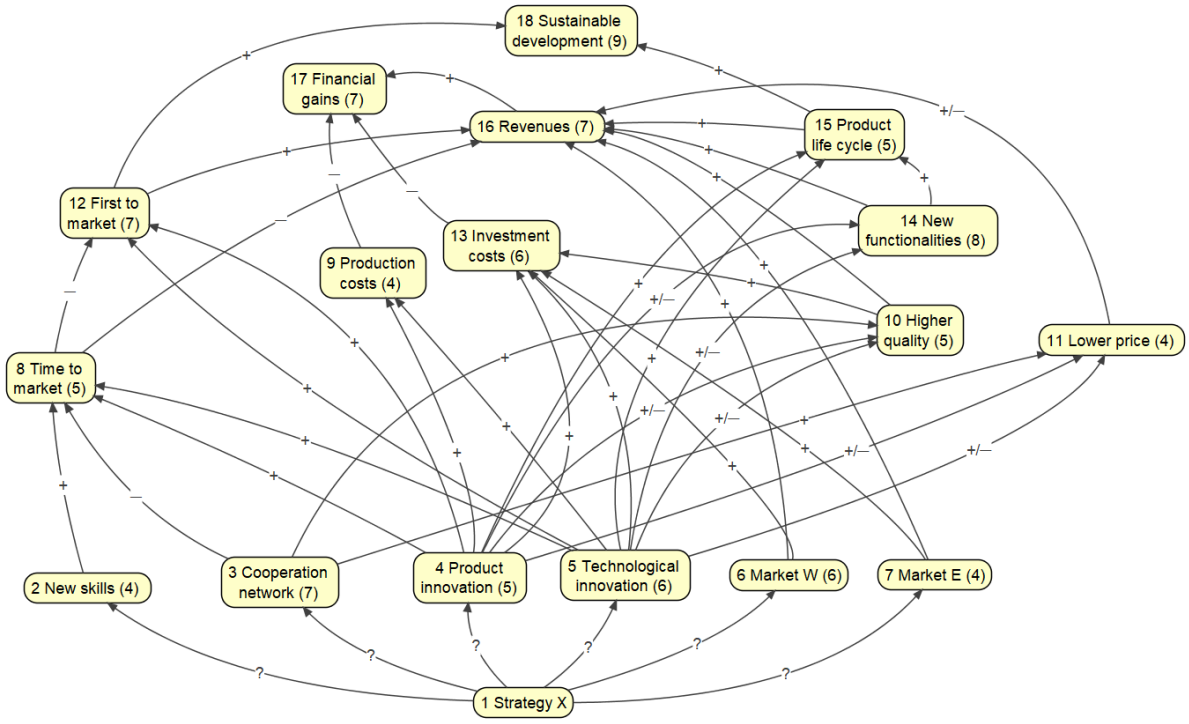


Figure 1 Strategy map for the innovation strategy choice.

developed and a question is which one to choose.

Strategy A mainly aims at new breakthrough products. It have to be supported by intensive research, what – in turn – means high capital investments. There is a high probability that both the time to market and life cycle will be longer. Market W is the main target.

In Strategy B the firm puts emphasis on improving the products in current portfolio with incremental innovations based on changes in the production technology. It can lead to comparably faster improvement in quality and/or lower production costs that may allow to lower prices. This strategy focuses on Market E.

The third strategy (C) can be considered as a kind of mixture of the strategies A and B, or lying in between. It tries to put a similar weight on both new products and improving current products. It also balances both markets. Naturally, the available resources have to be evenly distributed among both priorities.

2.2. Simulating system evolution

The BSC strategy map served as a framework for studying the possible consequences of various strategies. Base on the literature, key performance indicators (concepts in a map) have been selected [3, 5][1]. As the financial measure we take Revenues and Financial gains. The long-term growth is represented by Sustainable development, the concept which concentrates on future potential profits. Customer perspective comprises First to market, Market W, Market E, New functionalities, Higher quality and Lower price. Production Costs, Investment costs, Cooperation network, Product life cycle and Time to Market belong to internal process perspective. Finally, in learning and growth perspective we included New skills, Technological Innovation and Product innovation.

In the next step the causal relations need to be recognized and evaluated. In effect, the strategy map is constructed. It consists of the nodes representing concepts and the arcs (arrows) representing relations. The strategy map for discussed example is presented on Fig. 1. The causal relation (impact) of one concept on another can be positive (+), negative (−) or positive/negative (+/−). In the last case it means, that the impact depends on the situation. E.g. on the Fig. 1, the 'product innovation' may cause 'lower price', may not change price or may increase price. Similar situation is with the impact of lower price on revenue. These cases would be represented by a positive value, zero or a negative value, respectively.

[1] In practical study the most advisable way for selection important performance indicators and evaluate their interrelations is to employ the team comprising main stakeholders and experts.

For more precise analysis of the competitive strategies we propose to apply the WINGS method. In WINGS the user should assess the internal strength (importance, priority, initial state) of the concept and strength of impact exerted on other concept. In our example we use the following verbal scale for the assessment (in parenthesis the numerical equivalents are given): very weak (1), weak (3), medium (5), strong (7), very strong (9). The even numbers 2, 4, 6, 8 can be used for intermediate evaluations (of course, in the case of negative influence, the negative values are applied). The complete input data form the matrix **D** and are given in Table 1:. The values that are different for strategies A, B and C are to correspond to their characteristics described in Sec. 2.1.

Table 1: Input data for WINGS model (the rows containing different values for different strategies are duplicated)

	Concept	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Strategy A	0	6	2	7	2	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Strategy B	0	2	6	2	7	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Strategy C	0	4	4	4	4	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	New skills	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Cooperation network	0	0	7	0	0	0	0	-5	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0
4	Product innov. A	0	0	0	5	0	0	0	3	4	4	-1	5	3	2	3	0	0	0
4	Product innov. B	0	0	0	5	0	0	0	3	4	2	-1	5	3	4	3	0	0	0
4	Product innov. C	0	0	0	5	0	0	0	3	4	2	3	5	3	1	3	0	0	0
5	Technol. innov. A	0	0	0	0	6	0	0	7	6	6	-3	0	7	7	8	0	0	0
5	Technol. innov. B	0	0	0	0	6	0	0	7	6	4	-3	0	7	8	8	0	0	0
5	Technol. innov. C	0	0	0	0	6	0	0	7	6	4	3	0	7	3	8	0	0	0
6	Market W	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	0	0
7	Market E	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	7	0	0
8	Time to market	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	-6	0	0	0	-5	0	0
9	Production costs	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	-6	0
10	Higher quality	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	0	0	7	0	0
11	Lower price	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	3	0	0
12	First to market	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	5	0	6
13	Invest. costs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	-8	0
14	New functionalities	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	6	4	0	0
15	Product life cycle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5	0	8
16	Revenues	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0
17	Financial gains	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
18	Sustainable develop.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9

According to the WINGS procedure [1, 4], matrix **D** is scaled as follows:

$$\mathbf{S} = \frac{1}{s}\mathbf{D}, \quad s = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}|d_{ij}|, \tag{1}$$

where s – scaling factor, d_{ij} – elements of matrix **D** (due to the differences in matrices assigned to different strategic options, we used the common scaling factor equal to the maximum of all calculated factors). The total strength-influence matrix **T** is given by

$$\mathbf{T} = \mathbf{S} + \mathbf{S}^2 + \mathbf{S}^3 + \ldots = \mathbf{S}(\mathbf{I} - \mathbf{S})^{-1}. \tag{2}$$

Matrix **T** represents the sum of values of all direct and indirect impacts calculated along all paths of any length that can appear in the strategic map.

In general, the WINGS method delivers various kinds of information about the system evolution and the relations among components. Knowledge gained from WINGS can be used to analyze the possible outcomes of studied options (actions, solutions, etc.) and support decision making. In this particular case we are interested in the relative involvement of strategies A, B and C and their impact on ultimate measures represented by Revenues, Financial gains and Sustainable development, which is summarized in the respective involvements of these measures. They are a part of the WINGS relative output defined as follows:

$$I_i^r = \sum_{j=1}^{n} t_{ij}, \quad R_j^r = \sum_{i=1}^{n} t_{ij}, \tag{3}$$

where t_{ij} are the elements of **T**.

For each system component we have four core relative output measures: impact I_i^r, receptivity R_j^r, involvement $|I_i^r| + |R_i^r|$ and role $|I_i^r| - |R_i^r|$. Their values for the example are given in Table 2:.

Table 2: Comparison of WINGS relative output for strategies A, B, C

	Impact	Receptivity	Involvement	Role
Strategy A	0.6720	0.0000	0.6720	0.6720
Financial gains	0.1562	-0.0028	0.1589	0.1534
Sustainable development	0.2020	0.5342	0.7362	-0.3321
Strategy B	0.6928	0.0000	0.6928	0.6928
Financial gains	0.1597	-0.0041	0.1639	0.1556
Sustainable development	0.2067	0.5464	0.7531	-0.3398
1 Strategy C	0.6076	0.0000	0.6076	0.6076
17 Financial gains	0.1569	-0.0028	0.1597	0.1541
18 Sustainable development	0.2030	0.5366	0.7396	-0.3336

2.3. Multiple criteria decision aiding

The previous stage gives us an insight into possible consequences of implementing one of the considered strategies. In this stage we carry out the decision analysis to determine the preferred choice. There are a wide range of approaches that facilitate the decision when a number of various criteria are taken into account. Among them are methods based on synthetic preference relation (as family of ELECTRE methods) or based on synthetic criterion (as simple additive weighting (SAW), PROMETHEE, AHP, etc.).

In the presented example we have only three alternatives (strategy A, strategy B and strategy C) and three criteria: two ultimate performance indicators (financial gains and sustainable development) and one general measure (involvement). In such a simple situation a direct analysis is also possible. The situation is clear: in all three measures strategy B outperforms A and C. Strategy C takes the second position. In the more complicated case when no strategy dominates, we can continue analysis by identifying the non-dominated strategies and compare them in terms of criteria. As it was said above, larger number of criteria may need some kind of aggregated measure to compare alternatives and make decision.

3. CONCLUSION

The proposed procedure – by connecting two complementary methods – gives the user strong tool aimed at supporting decisions. First stage employs the approach capable to examine the development of the system under study. Depending on the quantity and quality of information the different methods can be used. System Dynamics is applicable in situations when most concepts and respective variables describing system can be measured in an objective way. When most concepts and their descriptions have qualitative character and have to be evaluated by experts – the "soft" approaches like Fuzzy Cognitive Map or WINGS are advisable. The output of the first stage consists of a number of performance indicators that make the base for making decision in the multiple criteria context. In the second stage the MCDA method is suggested to support the final decision. Here the user has at his disposal a wide spectrum of various methods.

REFERENCES

[**1**] Banaś, D., Michnik, J. (2019). Evaluation of the Impact of Strategic Offers on the Financial and Strategic Health of the Company—A Soft System Dynamics Approach. Mathematics 7, 208.

[**2**] Kaplan, R.S. (2010). Conceptual Foundations of the Balanced Scorecard (Harvard Business School Accounting & Management Unit Working Paper No. 10–074). Harvard Business School, Boston, MA.

[**3**] Kaplan, R.S., Norton, D.P. (2003). Strategy Maps: Converting Intangible Assets into Tangible Outcomes. Harvard Business Press.

[**4**] Michnik, J. (2013). Weighted Influence Non-linear Gauge System (WINGS) – An analysis method for the systems of interrelated components. European Journal of Operational Research 228, 536–544.

[**5**] Michnik, J. (2013). Multiple criteria aiding methods in innovation process (in Polish). Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice.

[**6**] Pruyt, E. (2006). System Dynamics and Decision-Making in the Context of Dynamically Complex Multi-Dimensional Societal Issues.

[**7**] Pruyt, E. (2007). Dealing with Uncertainties? Combining System Dynamics with Multiple Criteria Decision Analysis or with Exploratory Modelling.

[**8**] Tsaples, G., Papathanasiou, J., Ploskas, N. (2017). Integrating System Dynamics with Exploratory MCDA for Robust Decision-Making, in: Linden, I., Liu, S., Colot, C. (Eds.), Decision Support Systems VII. Data, Information and Knowledge Visualization in Decision Support Systems, Lecture Notes in Business Information Processing. Springer International Publishing, pp. 179–192.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ZADOVOLJSTVO ZAPOSLENIH NA RADNOM MESTU

EMPLOYEE SATISFACTION AT THE WORKPLACE

NATAŠA MILOŠEV[1]

[1] Ekonomski fakultet Subotica, Univerzitet u Novom Sadu, natashamiloshev@gmail.com

***Rezime**: Cilj istraživanja u ovom radu je utvrđivanje zadovoljstva zaposlenih u kompaniji IT industrije i to na osnovu devet faktora koji podrazumevaju platu, mogućnosti napredovanja, nadređene, beneficije, nagrađivanje po učinku, radne procedure, kolege/saradnike, prirodu posla, komunikaciju. Tokom prikupljanja informacija za izradu ovog rada korišćen je Spector-ov upitnik za istraživanje zadovoljstva zaposlenih na radnom mestu. Prikupljeni rezultati su analizirani na osnovu IBM-ovog SPSS programa i to pomoću T-testa nezavisnih uzoraka. Dobijeni rezultati ukazuju na to da su zaposleni, pomenute kompanije, zadovoljni svojim radnim mestom. Najveće zadovoljstvo, od strane anketiranih, je izraženo kada je u pitanju faktor plata, mogućnosti napredovanja, komunikacija, kao i kolege/saradnici, dok najniže zadovoljstvo izražavaju kada su u pitanju radne procedure.*

***Ključne reči:** zadovoljstvo poslom, zaposleni, radna pozicija.*

***Abstract:** The aim of the research in this paper is to determine the satisfaction of employees in the IT industry, based on nine factors that include salary, career opportunities, superior, benefits, performance rewards, work procedures, colleagues / associates, nature of work, communication. During the collection of information for the preparation of this work, a Spector questionnaire was used to examine employee satisfaction at the workplace. The collected results were analyzed based on the IBM SPSS program using the T-test of independent samples. The obtained results indicate that the employees, the mentioned companies, are satisfied with their workplace. The greatest satisfaction, by the respondents, is expressed when it comes to salary factor, promotion opportunities, communication, as well as colleagues / contributors, while the lowest level of satisfaction arises when working procedures are concerned.*

***Key words:** job satisfaction, employees, working position*

1. UVOD

Živimo u svetu nesigurnosti, koji se menja velikom brzinom, svetu velikih integracija, čestih previranja, kako u društvu, politici tako i u ekonomiji. Brži protok informacija kao i sam tehnološki razvoj su samo jedan u nizu karakteristika modernog društva, koji uslovljava promene poslovanja organizacija, kompanija i ustanova. Neprekidne promene u poslovanju poslovnih subjekata uslovili su savremeni uslovi poslovanja. Uspeh svakog posla zavisi od kreativnosti, fleksibilnosti i konkurentnosti. Uspešnost poslovanja poslovnih subjekata, njihov rast i razvoj zavise kako od rukovodstva i menadžera tako i od stručnih timova, te svakog zaposlenog u datom preduzeću. Ljudski resursi imaju ključnu ulogu u uspešnom poslovanju svakog poslovnog subjekta. Kada je u pitanju domen upravljanja ljudskim resursima jedna od najkompleksnijih i najaktuelnijih tema je problematika zadovoljstva poslom. Aktuelnost ove teme, sa aspekta menadžmenta mogu da proizvedu zadovoljstvo ili nezadovoljstvo poslom. Tokom ranijeg perioda poslovanja, koje je karakterisalo stabilnije ekonomsko okruženje, motivacija zaposlenih je bila znatno drugačija od današnje, prvenstveno je bila usmerena na platu. Promena sistema poslovanja povlači za sobom i promenu sistema nagrađivanja i motivacije zaposlenih. Kao dobra osnova za relevantno proućavanje zadovoljstva zaposlenih je utvrđivanje međuzavisnosti među platom, stalnosti i sigurnosti posla, zanimljivosti posla i međuljudskim odnosima. Pozitivan stav prema poslu, radna atmosfera, koju stvaraju zaposleni, kao i znanje i brzo učenje jesu glavni izvor i snaga za konkurentsku prednost današnjih organizacija. Zadovoljstvo poslom kao i motivisanost i potrebe zaposlenih predstavljaju samo hipotetičke postavke, jer je to nešto što se zapravo ne vidi, ali ako postoji ili eventualno ne, svakako utiče

na radno ponašanje. Poslovni sistemi koji teže ka napredku i opstanku moraju biti dinamični i neprekidno se prilagođavati promenama, i izgrađivati svoj sistem motivacije.

2. DEFINISANJE KLJUČNIH POJMOVA

„Zadovoljstvo poslom je kompleksan koncept kojem se može pristupiti iz različitih aspekata. Postoje teoretičari koji su identifikovali zadovoljstvo poslom motivacijom. Zadovoljstvo poslom može doprineti podizanju nivoa motivacije zaposlenih, što nije uvek slučaj. Zaposleni može da bude zadovoljan svojim poslom, ali da je motivacija za rad veoma niska.“(Mulins, 2010.). „Kada bismo se kod ljudi raspitivali o njihovom poslu verovatno bismo saznali da imaju čvrste stavove o tome šta osećaju, šta veruju, i šta nameravaju da urade. Različiti stavovi (pozitivni i negativni) koje ljudi imaju prema svom poslu nazivaju se zadovoljstvo poslom. Zadovoljstvo poslom je prijatno osećanje koje je rezultat percepcije da posao ispunjava ili dozvoljava ispunjenje važnih poslovnih vrednosti.“ (Bešlić, 2007.) Plata predstavlja novčanu nadoknadu za izvršeni rad. „Mogućnost napredka je izraz koji označava procese koji za posledicu imaju poboljšanje stanja pojedinca tačnije njegov dolazak na višu poziciju u okviru organizacije.“(https://sr.wikipedia.org) Nadređeni rade na ključnim poslovima koji mogu biti vezani za upravljačko ili izvršno poslovanje, oni propisuju pravila, određuji kojim će se redosledom obavljati zadaci i kontrolišu rad svojih podređenih. Beneficije predstavljaju povlastice ili privilegije koje određeni zaposleni može da uživa zbog svog dobrog učinka. „Nagrađivanje po učinku zaposlenih, po mišljenju mnogih, smatra se najkompleksnijom i najosetljivijom funkcijom upravljanja kadrovskim potencijalima. Sistem nagrađivanja čine: materijalne nagrade i nematerijalne nagrade.“ (Dr Mile Vasić, 2013) Radne procedure su pisani dokumenti sa jasno napisanim instrukcijama kako se obavlja jedna definisana aktivnost u okviru određenog procesa. Kolege su ostali zaposleni koji rade u istoj organizaciji i iz iste su struke, zvanja ili ranga. „Priroda posla utiče na analizu i na oblikovanje posla, kod prirode posla postavljaju se dva pitanja šta će se raditi? I koje su odgovornosti za posao?“ (Topani, 2018.) Komunikacija podrazumeva prenošenje informacija, ona zahteva pošiljaoca, primaoca i poruku.

Zaposleni je lice koje radi za poslodavca i prima adekvatnu novčanu nadoknadu za svoj rad.

Radna pozicija je najmanja tehnološki i organizaciono zaokružena celina u okviru koje se odvija jedan tačno određeni deo procesa rada. Ona mora da ima ulaze, zadatke koji se u okviru nje obavljaju i izlaze, odnosno rezultate. Radna pozicija je potpuno nezavisna od zaposlenih koji se u njoj nalaze i tako je treba dizajnirati i analizirati.

3. PROBLEM ISTRAŽIVANJA

Tokovi savremenog poslovanja određuju tržišni ambijent koji uspešnost u poslovanju omogućuje isključivo onima koji su spremmni na neprekidno usavršavanje, izazove i promene. Pozitivan stav prema poslu, radna atmosfera, koju stvaraju zaposleni, kao i znanje i brzo učenje jesu glavni izvor i snaga za konkurentsku prednost današnjih organizacija. Uspešne organizacije su one koje vode računa o motivisanosti svojih zaposlenih te prate njihov uticaj i preduzimaju monogobrojne aktivnosti za njihovo podsitcajno delovanje. S toga su problem istraživanja ovog rada način i efekti uticaja devet faktora na zadovoljstvo zaposlenih, svest nadređenih o bitnosti uticaja navedenih faktora zadovoljstva poslom, kao i njihova posvećenost razvijanju istih.

4. PREDMET ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja su upravo devet faktora koji utiču na zadovoljstvo zaposlenih, a to su plata, mogućnost napredovanja, nadređeni, beneficije, nagrađivanje po učinku, radne procedure, kolege/saradnici, priroda posla, komunikacija.

5. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog rada jeste da se skrene što veća pažnja na zadovoljstvo zaposlenih i njihove faktore, jer je njihov uticaj jedan od osnovnih elemenata koji utiču na uspešnost poslovanja preduzeća. Cilj ovog rada je, takođe, i prikaz uticaja i mera koje preduzimaju menadžeri kako bi otklonili sve nagativne efekte i poboljšali saradnju i međusobne odnose individua u organizaciji.

6. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje zadovoljstva zaposlenih na radnom mestu sprovedeno je putem upitnika o zadovoljstvu poslom, prema Polu E. Spektoru, sa departmana za psihologiju, Univerziteta Južna Florida. Anketa je sprovedena u okviru privatne kompanije IT industrije koje broji oko 170 zaposlenih, od čega je ukupan broj anketiranih 65. Upitnik se sastojao iz dve celine. Prva celina je obuhvatala podatke o ispitaniku, a druga celina se sastojala od 36 iskaza koji su direktno vezani za zadovoljstvo na radnom mestu ispitanika. Dobijeni rezultati su analizirani na osnovu IBM-ovog SPSS programa i to pomoću T-testa nezavisnih uzoraka. „T-test nezavisnih uzoraka (engl. Independent – simple t-test) se upotrebljava za poređenje srednje vrednosti obeležja, merenog u dve različite grupe ljude ili u različitim okolnostima. Porede se vrednosti određene neprekidne promenljive, merene u dve grupe ili u dva navrata. T-test nezavisnih uzoraka nam kazuje da li postoji statistički značajna razlika u prosečnom rezultatu merenja nekog obeležja u dve grupe. Rezultati T-testa su iskazani kroz dve tabele, u okviru prve dobijamo informacije o srednjoj vrednosti i standardnim odstupanjima obeležja od te vrednosti za svaku grupu. Prva tabela prikazuje deskriptivne mere (N, M, SD, SEM) (Videti tabelu 2.), a u drugoj tabeli su dati rezultati Levenovog testa jednakosti varijansi i rezultati t-testa (Videti tabelu 3.). Leveneov test ispituje pretpostavke po kojoj su varijanse u dve grupe približno jednake. Od rezultata ovog testa zavisi koji ćemo red gledati u rezultatima t-testa. Od rezultata nas zanima: 1. Vrednost t-statistika (t), 2. Broj stepeni slobode (df), 3. Nivo značajnosti (p)“(Palant, 2007.)

7. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

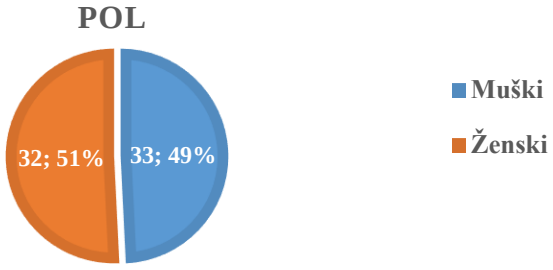
Kao što je već napomenuto, istraživanje je vršeno putem upitnika o zadovoljstvu poslom Pola E. Spector-a u kojem je učestvovalo 65 ispitanika, zaposlenih u okviru privatne kompanije IT industrije. Anketa je sprovedena anonimno, uz garantovanje apsolutne diskrecije podataka i informacija dobijenih istraživanjem. Rezultati ankete ukazuju na to da su zaposleni zadovoljni svojim radnim mestom, te tako i svim faktorima koji utiču na isti. Dato preduzeće se bavi uslužnom delatnošću, te na osnovu toga od kategorija radnika nema nikog ko se nalazi u proizvodnji, anketirani su pretežno u administraciji i menadžmentu, a po pitanju obrazovanja u anketiranom preduzeću nije bilo ispitanika koji su završili Doktorske nauke.

Rezultati ankete prema strukturi ispitanika:

Tabela 1: Polna struktura

Pol	Broj ispitanika
Muški	32
Ženski	25

Izvor: Rezultati dobijeni anketiranjem



Grafikon 1: Polna struktura

Na osnovu grafikona vidimo da su od ukupnog broja ispitanika 32 žene, što čini 49%, a 33 muškarca, što čini 51% od ukupnog broja.

Tabela 2: T-test prema polu za faktor plate

Pol		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Smatram da sam dovoljno dobro plaćen za posao koji obavljam	Muški	33	4,76	1,119	,195
	Ženski	32	4,59	1,316	,233
Povećanja plate su retka i nisu učestala	Muški	33	3,48	1,417	,247
	Ženski	32	2,38	1,040	,184
Razmišljajući o zaradi osećam se potcenjeno od organizacije	Muški	33	3,00	1,414	,246
	Ženski	32	2,31	1,230	,217
Zadovoljan sam svojim šansama za povećanja plate	Muški	33	3,85	1,349	,235
	Ženski	32	4,19	1,401	,248

Izvor: rezultati na osnovu obračuna upotrebom SPSS programa

T-testom nezavisnih uzoraka upoređeni su rezultati ispitivanja značajnosti faktora plate kod muškaraca i žena. Na osnovu dobijenih rezultata vidimo da je srednja vrednost kada su u pitanju muškarci pretežno oko 4, sem kod trećeg iskaza gde je dobijena srednja vrednost 3,00. Kod žena je srednja vrednost pretežno oko 2, dok je kod prvog iskaza o plaćenosti posla čak 4,59. Standardna odstupanja u odgovorima ispitivanih muškaraca i žena se kreće u rasponu od 1,04 do 1,41.

Tabela 3: T-test prema polu o jednakosti varijanse za faktor plate

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Smatram da sam dovoljno dobro plaćen za posao koji obavljam	Equal variances assumed	1,14	,290	,541	63	,590	,164	,303	-,441	,769
	Equal variances not assumed			,540	60,76	,591	,164	,303	-,443	,771
Povećanja plate su retka i nisu učestala	Equal variances assumed	3,538	,065	3,591	63	,001	1,110	,309	,492	1,727
	Equal variances not assumed			3,60	58,71	,001	1,110	,308	,494	1,725
Razmišljajući o zaradi osećam se potcenjeno od organizacije	Equal variances	1,468	,230	2,089	63	,041	,688	,329	,030	1,345
	Equal variances not assumed			2,093	62,274	,040	,688	,328	,031	1,344
Zadovoljan sam svojim šansama za povećanja plate	Equal variances assumed	,019	,892	-,994	63	,324	-,339	,341	-1,021	,343
	Equal variances not assumed			-,993	62,70	,324	-,339	,341	-1,021	,343

Izvor: rezultati na osnovu obračuna upotrebom SPSS programa

Na osnovu dobijenih rezultata T-testa o jednakosti varijansi (kolona Sig.) dve grupe ispitanika i to muškaraca i žena, uočavamo da je kod svakog navedenog iskaza došlo do jednakosti varijansi, jer svaka premašuje graničnu vrednost od 0,05. Po pitanju značajnosti razlike srednjih vrednosti, posmatrajući kolonu Sig (2 tailed), uočavamo da su vrednosti u vezi drugog i trećeg iskaza ispod granične vrednosti 0,05 te se time utvrđuje da je postojala razlika u davanju odgovora između dve grupe ispitanika.

Na isti način, tumačeni su i rezultati preostalih osam faktora koji su obuhvaćeni anketom. Na osnovu dobijenih rezultata kada je u pitanju faktor mogućnost napredovanja srednja vrednost kod muškaraca se kreće u rasponu od 2,91 do 4,82, dok je kod žena je srednja vrednost u rasponu od 2,91 do 4,41. Standardna odstupanja u odgovorima ispitivanih muškaraca i žena se kreće u rasponu od 0,91 do 1,58. Kada je u pitanju jednakost varijanse uočava se da do jednakosti ne dolazi samo po pitanju iskaza o privlačnosti paketa beneficija koji se prima, dok je kod ostalih iskaza izražena jednakost varijanse. Posmatrajući kolonu Sig (2 tailed), uočavamo da su vrednosti svih iskaza iznad granične vrednosti 0,05 te uočavamo da u obe grupe ispitanika ne postoji značajnija razlika. Prema rezultatima kada je u pitanju faktor nadređeni uočava se srednja vrednost po pitanju stava muškarca u rasponu od 2,06 do 4,85. Kod žena je srednja vrednost u rasponu od 1,84 do 5,03. Niske ocene i muškarci i žene daju kada je u pitanju isti iskaz, a to je da njihov nadređeni nije dovoljno kompetentan za poslove koje obavlja. Standardna odstupanja u odgovorima ispitivanih muškaraca i žena se kreće u rasponu od 1,03 do 1,58. Do jednakosti varijanse ne dolazi po pitanju prvog iskaza koji se odnosi na to da zaposleni dobijaju priznanja kakva bi i trebala nakon dobro obavljnog posla. Razlike u varijansama su uočljive samo kod iskaza o tome da napori zaposenih nisu adekvatno nagrađeni, u preostala tri isaza nema razlike u iskazanim stavovima ispitanika.

T-testom nezavisnih uzoraka upoređeni su rezultati ispitivanja značajnosti faktora beneficije. Prema rezultatima vidimo da je srednja vrednost i kada su u pitanju muškarci i kada su u pitanju žene oko 3. Visoke ocene, kod oba pola, beleži iskaz o tome da su beneficije koje primaju zaposleni vrlo privlačne. Kod tog iskaza je prosečna ocena po pitanju muškaraca 4,67, a kada su u pitanju žene je 4,41. Standardna odstupanja u odgovorima ispitivanih muškaraca i žena se kreće u rasponu od 0,84 do 1,54. Kada su u pitanju sva četiri iskaza o beneficijama dolazi do jednakosti varijansi, te se uočava da u obe grupe ispitanika ne postoji značajnija razlika. Prema utvrđenim rezultatima o nagrađivanju po učinku vidimo da se srednja vrednost kada su u pitanju muškarci kreće u rasponu između 2,70 do 4,24. A kada su u pitanju žene kreće se u rasponu od 2,47 do 4,41. Niske ocene, kod oba pola, beleži iskaz o tome da ne osećaju da je posao koji obavljaju dovoljno cenjen. Kod tog iskaza je prosečna ocena po pitanju muškaraca 2,70, a kada su u pitanju žene je 2,47. Standardna odstupanja u odgovorima ispitivanih muškaraca i žena se kreće u rasponu od 1,03 do 1,57. Do nejednakosti varijansi dolazi po pitanju iskaza da ima previše prepucavanja i nesuglasica te je tu vrednost za 0,029 manja od granične vrednosti, razlika u varijansama nema. Na osnovu dobijenih rezultata po pitanju oba ispitana pola, kada su u pitanju radne procedure, srednja vrednost je oko 3. Standarda odstupanja u ovom slučaju gotovo da su zanemarljiva i kreću se u intervalu od 1,19 do 1,71. Kod ovog faktora, rezultati i po pitanju jednakosti varijansi i po pitanju jednakosti unutar varijansi prelazi granicu od 0,05.

Po pitanju faktora kolege/saradnici srednja vrednost kada su u pitanju muškarci kreće se u rasponu između 2,21 do 5,18. A kada su u pitanju žene kreće se u rasponu od 1,78 do 5. Niske ocene, kod oba pola, beleže dva iskaza prvi se odnosi na to da pojedinac mora da radi mnogo napornije zbog nesposobnosti drugih, a drugi iskaz glasi da ima previše prepucavanja i svađa na poslu. Standardna odstupanja u odgovorima ispitivanih muškaraca i žena se kreće u rasponu od 1,01 do 1,57. Kod ovog faktora, rezultati i po pitanju jednakosti varijansi i po pitanju jednakosti unutar varijansi prelazi granicu od 0,05 što znači da nema nikakvih odstupanja.

Kada je u pitanju priroda posla srednja vrednost kod oba pola je oko 4, a jedino vrednost od 2,24, kod muškaraca i kod žena od 2,13 beleži iskaz koji se odnosi na to da se pojedincu ponekad čini da je njegov posao besmislen. Standardna odstupanja u odgovorima ispitivanih muškaraca i žena se kreće u rasponu od 1,11 do 1,62. Razlika unutar varijansi nema, dok do nejednakosti među varijansama dolazi kod iskaza o tome da je posao koji obavljaju zabavan. T-testom nezavisnih uzoraka upoređeni su rezultati ispitivanja značajnosti faktora komunikacija. Prema rezultatima vidimo da je srednja vrednost kod oba pola oko 2, a da jedino vrednost od 4,82, kod muškaraca i kod žena od 4,81 beleži iskaz koji se odnosi na to da se pojedincu čini da

je komunikacija dobra. Standardna odstupanja u odgovorima ispitivanih muškaraca i žena se kreće u rasponu od 1,19 do 1,56. Po pitanju faktora komunikacije ne dolazi do bilo kakve nejednakosti varijansi, jer ne dolazi do vrednosti ispod 0,05.

8. ZAKLJUČAK

U okviru savremenog poslovanja, kakvo je današnje poslovanje poslovnih subjekta, uslovljava iste da prilikom određivanja načina motivacije i pokretanja svojih zaposlenih znatno veću pažnju posvete nematerijalnim motivatorima u odnosu na materijalne, kako su to nekad činili. Danas je ljudima gotovo podjednako bitan napredak na poslu, komunikacija, kolege kao i sama plata. „Za postizanje poslovnog uspeha presudan je ljudski faktor. Često se postavlja pitanje zašto neki ljudi imaju više uspeha u poslovanju od drugih i šta je to što jedne pokreće da izađu iz zone udobnosti? Tajna je u zadovoljstvu poslom i motivaciji.“ (Branković, 2017.) Da bi svi zaposleni imali uspeha tokom poslovanja neophodno je posmatrati zaposlene kao nezavisne individue i nosioce znanja. Celokupan utisak je da je po pitanju zadovoljstva poslom ova organizacija za primer, jer su dobijeni rezultati po pitanju većine faktora pozitivni. Među kolegama/saradnicima postoji dobra komunikacija i kako navode ne postoji niko zbog koga bi morali da rade napornije. Za svog nadređenog smatraju da je kompetentan, ne postoje zamerke kada su u pitanju radne procedure niti plate koje dobijaju zaposleni. Postoje određena neslaganja u odgovorima kada su u pitanju paketi beneficija i nagrađivanje spram učinka. Zaposleni ne izražavju nezadovoljstvo po pitanju pomenuta dva faktora, ali smatraju mogu biti i bolje i više nagrađivani. Veoma je retka situacija da je kod zaposlenih na tako visokom nivou razvijena dobra međuljudska saradnja, komunikacija, kao i to da i sami nadređeni uviđaju značaj motivisanjaa zaposlenih. Zadovoljstvo zaposlenih je na značajnom nivou, postoji dovoljna količina slobode, koja samo podstiče predlaganje ideja izvršavanje zadataka i motivisanost. Poseduju izuzetno izraženu zainteresovanost za sisteme motivacije što i čini osnovu svih daljih pozitinih rezultata i efekata dobijenih analiziranjem ankete, a što im i pomaže u prevazilaženju svih internih prepreka koje mogu dovesti do nezadovoljstva zaposlenih. Radna atmosfera je prijatna obzirom da je dobra komunikacija, da je nadređeni dovoljno kompetentan, a da su zaposleni zadovoljni svojim kolegama, prirodom posla, platom i beneficijama koje imaju. Zadovoljstvo zaposlenih treba nastaviti podsticati jer se delovanje istog može samo pozitivno odraziti na poslovanje preduzeća, međusobne odnose i ostvarenje rezultata. Može se zaključiti da je ova kompanija, „mini Google“ kako je neki zovu, jedna od retkih privatnih kompanija koja je u tolikoj meri posvećena svojim zaposlenima. Obostrano uvažavanje interesa i potreba, koje postoji, u okvirima ove kompanije, a gledano sa dugoročnog aspekta vodi pobedi. „Opstanak i napredak je zagarantovan onim poslovnim sistemima koji mogu da se prilagode promenama i koji mogu da grade svoje sisteme motivacije na inovacijama, fleksibilnosti i neprekidnom učenju“ (Novičević Čečević i Trkulja, 2014.)

9. LITERATURA

[1] Bojana Novićević Čečević i Radmila Trkulja (2014) Employee motivation and reward system in local government, Univerzitet u Nišu, Ekonomski fakultet
[2] Ivana Bešlić i Dragana Bešlić, naučno stručni časopis, Škola biznisa, 2007
[3] Julie Palant, SPSS Survival manual: A Step by step, 2007, 247-301.
[4] Mullins, L. J., Management and Organisational Behaviour, 2010
[5] Dr Mile Vasić, „Nagrađivanje i motivisanje zaposlenih“, 2013 (http://vasic.info/nagradivanje-i-motivisanje-zaposlenih/)
[6] Renata Topani „Dizajn posla – suvremeni koncepti i pristupi“, 2018. Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Fakultet ekonomije i turizma
[7] Tamara Branković (2017). Motivacija zaposlenih kao ključ organizacione uspešnosti. Beograd: Univerzitet u Beogradu fakultet bezbednosti, 6-40.
[8] https://sh.wikipedia.org/wiki/Napredak

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MOGUĆI BENEFITI MANJEG BROJA RADNIH SATI ILI DODATNOG SLOBODNOG DANA U NEDELJI ZA ZAPOSLENE U SLOVENIJI I SRBIJI

POTENTIAL BENEFITS OF LESS WORKING HOURS OR AN ADDITIONAL DAY OFF PER WEEK FOR SLOVENIAN AND SERBIAN EMPLOYEES

ANA LAMBIĆ[1], IVAN TODOROVIĆ[2], MIHA MARIČ[1]

[1] Faculty of Organizational Sciences, University of Maribor, Kranj, Slovenia, miha.maric@fov.uni-mb.si
[2] Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, Belgrade, Serbia, ivan.todorovic@ fon.bg.ac.rs

Rezime: *Jedan od ključnih elemenata svake organizacije su njeni zaposleni. Zbog toga njihovo zadovoljstvo treba da bude među prioritetima menadžmenta organizacije. U vreme brzog tehnološkog napretka zaposleni moraju da se adaptiraju na drastične promene, što može rezultovati preopterećenjem na poslu, stresom i nezadovoljstvom radnim uslovima. Zato je veoma važno da se organizacije posvete rešavanju navedenih problema i posvete povećanju zadovoljstva zaposlenih uslovima rada. Kompanije kao što su Donar d.o.o. i Plastika Skaza d.o.o. su jedne od prvih koje su se posvetile opisanim izazovima kroz smanjenje broja radnih sati, pa njihovi zaposleni rade šest sati dnevno, pet dana nedeljno, ili četiri dana nedeljno po osam sati. Međutim, visine zarada koje isplaćuju su kao da se radi 40 sati nedeljno. Ova nova ideja ili predloga za kompanije, zaposlene, pa i države, predstavlja napredak, koja će ih ohrabriti da pronalaze i razvijaju načine unapređenja zadovoljstva zaposlenih i koji istovremeno doprinose kompanijama i državama. Ovaj pristup ima određene prednosti (veća produktivnost, zadovoljstvo, kreativnost, inovativnost, sreća i zadržavanje radnika itd.), slabosti (zakonska regulativa, deficit kadrova, manja ukupna produktivnost organizacije, prilagođavanje promenama itd.), šanse (balans između života i rada, novi zaposleni, niži troškovi, manje odsustava zbog bolovanja itd.) i pretnje (penzioni sistem, konkurentnost, preopterećenje na poslu itd.).*

Ključne reči: *zaposleni, ljudski resursi, motivacija, preopterećenje, stres, zadovoljstvo poslom, menadžment.*

Abstract: *One of key elements of every organization are its employees. Therefore, their satisfaction must be among priorities for organization's management. In times of rapid technological development, employees must adapt to these drastic changes, which may result in work overload, stress, and dissatisfaction with working conditions. Consequentially it is very important that organizations address those problems and try to increase the satisfaction of employees with working conditions. Companies like Donar ltd. and Plastika Skaza ltd. are one of first to address the stated challenges with shortening the working hours, where their employees work six hours a day, five days a week or four days a week, eight hours a day. However, they are paid the same salary as if they were working 40 hours a week. This newer idea or proposition for companies, employees and countries is a great cue, which will encourage them to deliberate and evolve ways of improving employees' satisfaction and simultaneously contributes to companies and countries. This idea has strengths (higher productivity, satisfaction, creativity, innovation, happiness, engagement, etc.), weaknesses (legislation, personnel deficit, lower total productivity, adaptation to changes, etc.), opportunities (work-life balance, new employment, lower costs, lower percentage of sick leaves, etc.) and threats (defining pension base, competitiveness, work overload, etc.).*

Keywords: *employees, human resources, motivation, work overload, stress, job satisfaction, management.*

1. INTRODUCTION

For the past few years, we have witnessed rapid and drastic changes, both in professional and private life. These changes can have positive results, were we can make the most out of them, and contribute to our personal, as well as our professional life. On the other hand, not all changes have positive effects, they can also be quite challenging. For that reason, we will focus on those challenges in organizations regarding their employees, as one of the most important elements of every organization. In the beginning, we will focus on introducing the current state in Slovenia and Serbia in relation to job satisfaction, stress-related questions and burnout, the number of sick leaves and expenses that follow. Further on, we will represent the newer idea or proposition for companies, employees, and countries as the response to the challenges stated above. As Anne

M. Mulcahy (BrainyQuote, 2019) said: “Employees are a company's greatest asset - they're your competitive advantage. You want to attract and retain the best; provide them with encouragement, stimulus, and make them feel that they are an integral part of the company's mission.” It is crucial that organizations are aware of the importance of employees, their well-being, satisfaction and happiness (Galea, Houkes, & De Rijk, 2014; Joyce, Pabayo, Critchley & Bambra, 2010). They must seek for holistic solutions that will simultaneously address those challenges and contribute to organization, country and employees (Kelliher & Anderson, 2010). Understanding the importance of psychological empowerment, job satisfaction and organizational commitment is of great importance for managers, because knowing the levels of mentioned constructs can help them how to handle employees appropriately and how to motivate them (Jordan, Miglič, Todorović & Marič, 2017), but also how to improve their individual performance (De Menezes & Kelliher, 2017).

2. EMPIRICAL ANALYSIS OF SLOVENIA AND SERBIA

The crucial element of every organization are their employees; therefore, their well-being must be the number one priority for organizations. We did a research on the current state of employees in Slovenia and Serbia, so that we could found out if our employees’ best well-being is achieved. We were trying to find the answers to the following questions, are Slovenian and Serbian employees satisfied with their working conditions, the number of sick leaves and expenses connected with them, stress-related questions in organizations, average hours of work, etc.

2.1. CURRENT STATE IN SLOVENIA

Based on the research made by Kanjuo Mrčela and Ignjatović (2015), Slovenian employees are averagely more dissatisfied with working conditions, than employees in other European countries, where we can indicate that women are even more dissatisfied than men are. That findings are consequences due to uncertainty in the labour market nowadays (Kanjuo Mrčela and Ignjatović, 2015).

Furthermore, we were trying to find out the number and expenses connected with sick leaves in organizations and the country in general. In the past five years, from 2013 to 2018, the percentage of sick leave (measuring number of lost days per one employee in one year), went from 3.9 up to 4.6 (in 2013: 3.9%, 2014: 3.8%, 2015: 4.1%, 2016: 4.2%, 2017: 4.3% and 2018: 4.6%) (Nacionalni inštitut za javno zdravje, Finančno zavarovalniške analize za leta 2013 – 2018). In comparison to the average European number of sick leave days, Slovenia overcomes it for 25% (Bolniška odsotnost narašča, 2019).

Based on these analyses and findings, we can conclude that the percentage is getting higher every year, which means, that employees in Slovenia spend each year more days on sick leave. Therefore, this is one of the major challenges for organizations as well as for the country because of the expenses, following the absence of employees (Bolniška odsotnost narašča, 2019). So the main question is why do employees spend so many days on sick leave? To find the answer to that question, we dig a little dipper, to find out, what is the current status of stress in the working environment, as one of the causes of sick leave (Jeriček Klanšek and Hribar, 2018). The authors established, that the main reasons for stress in Slovenia (within employees) are: the work overload, personal/family problems, bad material conditions, bad relations between co-workers and loneliness (Jeriček Klanšek and Hribar, 2018). The same authors added that over 25% of adults in Slovenia are under a great amount of stress on everyday bases.

Lastly, we wanted to study the average number of usual week hours of work in the EU in comparison to Slovenia. According to Eurostat (2019) the average week hour of work in 2016 in EU are 40.3 hours/week, in Slovenia 40.8 hours/week, in 2017 in EU 40.2 hours/week and in Slovenia 40.9 hours/week and for the year 2018, the average in EU is 40.2 hours/week and for Slovenia 40.8 hours/week. From that data, we can conclude, that Slovenian employees work averagely more hours per week than average EU employee does.

To sum up the section on the current state in Slovenia, we can address these main problems and challenges in organizations in Slovenia: averagely employees are unsatisfied with working conditions in organizations; they averagely work more hours per week than average EU employee; 25% of employees in Slovenia are under stress on everyday basis, mostly because of workload and the percentage of sick leave in Slovenia, as for the last five years, is getting higher every year.

2.2. CURRENT STATE IN SERBIA

As in Slovenia, employees in Serbia are also more dissatisfied with working conditions, than employees in other European countries. If we look at the Global Employee Engagement Index, derived from a global labour market scan using a representative sample size for 54 countries, that, among other themes, measures job satisfaction, we can see that Serbia with the score of 6.9 is above the average score in Europe of 7.1.

When it comes to sick leaves statistics, World Health Organization in the official reports on Absenteeism from work due to illness does not have data for Serbia. Even Serbian National Health Insurance Fund does not provide official data regarding absences shorter than 30 days. However, in some statements their representatives point that in absences longer than 30 days sick leaves percentage rose by 2.3% in 2014 comparing to 2013, and additional 5.7% in 2015, while in 2016 it slightly overcame the stats from 2015. The data for later years are not officially available.

Working time stats provided by International Labour Organization show that mean weekly hours actually worked per employed person in Serbia in 2018 resulted in 42 hours/week, which is even higher than in Slovenia, and much further than EU standard of 40.2 hours/week. According to these data, Serbia had 7.1% share of employees working more than 48 hours/week in 2018.

From presented results we can see that main problems and challenges in Serbian organizations regarding these issues are very much the same as in Slovenia, and mostly refer to the dissatisfaction with working environment, high percentage of sick leaves and longer working hours than in other European countries.

3. RESEARCH AND DISCUSSION

Nowadays we live in the fast-changing and evolving environment, thus organization must adapt to these changes, which can be very challenging to some organization. As we mentioned above, employees are key factors in an organization, therefore, they must be susceptible to these changes. However, how do we get employees to do that? The answer is within job satisfaction, which we can stimulate with a good working environment, which, according to Raziq and Maulabakhsh (2015), consists of more elements, such as salary, working hours, leadership and management in an organization, autonomy on the workplace, good communication between management and co-workers, investment in employees (education, training), work-life balance, etc. In order to cope with challenging changes, that environment brings to the organization, employees must be satisfied with the working environment, which results in effectiveness, successfulness, productivity, innovativeness and job commitment (Raziq & Maulabakhsh, 2015). Basic need satisfaction in the working environment diminish the perception of job insecurity (Knežević & Krstić, 2019). That is the main reason, why we are focusing on working hours and types of flexible work in the following section. We would like to identify what advantages does that bring to employers and employees and if there is some connection to reducing the problems and challenges, we were focusing on in the beginning.

3.1. WORKING HOURS AND FLEXIBLE WORK

As we stated at the beginning of this article, we are facing some challenges in Slovenia and Serbia, which can be consequential to working conditions, such as working hours and type of work (Rugulies et. al., 2019). Some organizations are aware of these problems and consequences that follow, so they started to do something about it; they changed the working hours and introduced flexible types of work. Not only do flexible work arrangements contribute to job satisfaction and the after-effects like effectiveness, success, productivity, innovativeness, and job commitment, they also contribute to a successful work-life balance and reduce expenses (Rawashdeh, Almasatweh & Jaber, 2016). Flexible types of work arrangements are (Mas & Pallais, 2017): flexible scheduling, work with shorter working hours, working from home, etc. The same authors describe the aforementioned types: *Flexible scheduling* is a type of work, where employees must work a certain number of hours, but they can determine when they want to work. *Work with shorter working hours*: is also a type of flexible work arrangement, where employees are working fewer hours, than employees with full-time employment does. *Working from home:* is one of the most popular forms of flexible work, where employees can work a part or whole work from home or somewhere else, they do not have to be on the site of the organization.

In conclusion, there are many different types of flexible work arrangements in all the organizations, but the key point is, that organizations and management are aware of the advantages of these types of work and what they can contribute to organizations as well as to personal satisfaction of employees, but also of constrains and limitations (Golden, Chung, & Sweet, 2017). In addition to that, we will continue with the description of shorter working hours (six hours a day) or four working days a week, advantages and disadvantages of these types of work from employers' and employees' point of view, laws, initiatives and examples of good practice in Slovenia and Serbia.

3.2. LESS WORKING HOURS – EXAMPLES OF GOOD PRACTICE

Before starting, we would like to emphasize, that we are aware, that changing the working hours in the organization, is not the only factor that needs changing for a better working environment (employees'

commitment) and organization's excellence. There are also some other factors co-depending working hours. With that being said, we would like to continue with a description of examples of shorter working hours; six hours per day, five days per week or eight hours per day, four days per week.

To begin with, we focused on the regulatory framework on working hours. Labor law in both countries (Slovenian "Zakon o delovnih razmerjih", 2002; Serbian "Zakon o radu", 2018) stipulates that an employee, with full-time employment, must work 40 hours per week, but can also work less, 36 hours per week, if that is determined with the collective contract within an organization, and are paid the whole salary. But we are not focusing on reducing working hours to 36 hours per week, we would like to address the idea of employees working 30 hours per week (six hours per day) or 32 hours per week (four days a week), with a possibility to get paid the whole salary, as if employees are working 40 hours per week.

Many organizations around the world, including Slovenia and Serbia, are experiencing that their employees are not capable of being maximally productive, creative and innovative if strictly working eight or more hours per week (Campbell, 2015). Therefore, organizations are introducing this relatively new idea.

In Serbia there was an initiative to change the labour law in 2018 and to reduce working time from 8 to 6 hours per day, but it never reached the Ministry of labour nor even the voting in the parliament, as the members refused to include it in the agenda. Although the employers mostly had strong resistance towards it, it was very well accepted by the employees. In an independent survey on the sample of almost 3,000 people around 89% saw this idea positively, while 11% was against it. Union of syndicate supported the initiative, with the notice that it by no means can lead to automatic reduction of salaries.

Slovenian company Donar ltd. specializes in manufacturing designer furniture made from recycled materials and is one of the few companies that introduced six hours of work per day for its employees, who are officially working eight hours per day, for full salary. Based on different indicators that were used before and after the change in working hours the company established: employees are more innovative and creative, because they are less exhausted, they can spend more time with their families (better work-life balance), consequentially they are more satisfied with working conditions and they are under less stress (Božič, 2019).

Following Donar ltd., company Plastika Skaza ltd. is also testing this new idea on a smaller group of employees within the company, to study, if this type of work could help them with reducing stress in the company, increase productivity and job satisfaction as well as job commitment (Vojnović Zorman, 2019).

Furthermore, we made a short SWOT analysis for reducing working hours, to get the bigger picture of this idea; its strengths, opportunities, weaknesses, and threats (Table 1).

Table 1: SWOT analysis for less working hours (Alderman, 2016; Kapitanovič, 2016)

Strengths:	**Weaknesses:**
- increased productivity within 6 hours of work, - employees' satisfaction, - creativity and innovativeness, - employees' happiness, - higher work engagement, - better quality of work.	- legislation / law, - personnel deficit, - lower productivity overall, because of less working hours, - employers' doubts about productivity, - a lack of adaptability in organizations to changes.
Opportunities:	**Threats:**
- better work-life balance, - higher profit for companies, - new employment, - employees' well-being - a lower percentage of sick leave - lower expenses, - less work-related diseases, - more freedom, - lower unemployment rate.	- definition of pension base, - competitiveness, - employees' overload, due to less working hours, - in the long-term, employees are harder to employ, because are used to working six hours, not eight, - employees' disagreement on less working hours, - slower growth of the gross domestic product.

We can see that less working hours might have positive effects for employees, in term of increased job satisfaction, innovativeness and creativity at work and general work-life balance, and also for organizations, in term of higher employees' engagement, less absences from work and increased work productivity per employee. However, we need to point certain concerns and disadvantages for employees, such as work overload and increased stress because of less working time, and for organizations, in terms of adequate control mechanisms (Gerdenitsch, Kubicek, & Korunka, 2015), overall productivity due to less work in total

and (im)possibilities to implement reduced working hours because of internal barriers such as current habits and procedures, and also those external, related to cooperation with clients, suppliers and other institutions which are used to common working time. To summarize this section on reducing working hours to six hours/day or four days/week effects, we can conclude that, there are many advantages and disadvantages of this idea when implementing it in different companies and countries. Therefore, we should consider this flexible type of employment, further study its consequences, because it has great potential to cause many positive effects for employees and for organizations.

4. CONCLUSION

In times of rapid change and technological advancements, the changes, increasing burden on employees and the pressure on organizations are inevitable. It is important for organizations to adequately address the challenges that arise as a result of overload, stress and employee dissatisfaction, resulting in an increasing percentage of sick leaves and, consequently, increasing costs. We found out that employees in Slovenia and Serbia work more hours per week as average employees in Europe, which means that they are in a long term exposed to overload, stress and, consequently, greater dissatisfaction with working conditions. It is important that organizations become aware of the problems and conditions in and that they start to change the conditions for the better because we must be aware of the negative consequences and damage (both psychologically and physically) to employees, organizations and country that follow.

We are aware, that shorter working hours (six hours a day or four days a week) is not a solution to every problem, but it could be one of the steps towards improving the working conditions for employees and, consequently, the performance and effectiveness of organizations. Even though it is just an idea, it has the perspective to contribute greatly to organizations and, at the same time, eliminate negative factors in the organization. In any case, the idea of shortening working hours is merely some basis, which needs to be studied well before implementation in the organization and so should be the feedback from the perspective of both employees and employers. A great obstacle to introducing this idea is also seen in legislation that currently does not allow the introduction of part-time work (less than 36 hours per week) against full-time payment (40 hours per week). Nevertheless, we think that it is necessary to think and develop in this way of thinking, because, as the director of the company Donar ltd. said: “The company's competitiveness is not only in greater productivity but in satisfied employees who are ready to step up when needed.”

ACKNOWLEDGEMENT

Authors’ engagement on this research was partially supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia through the Project No. 179081: Researching Contemporary Tendencies of Strategic Management Using Specialized Management Disciplines in Function of Competitiveness of Serbian Economy.

REFERENCES

[1] Alderman, L. (2016). In Sweden, an Experiment Turns Shorter Workdays Into Bigger Gains. The New York Times. Accessed 12. 5. 2019 from http://tony-silva.com/eslefl/miscstudent/downloadpagearticles/6hourdaysweden-nyt.pdf

[2] Bolniška odsotnost narašča (22. 2. 2019). Gospodarska zbornica Slovenije. Accessed 11. 5. 2019 from https://www.gzs.si/DesktopModules/LiveCampaign/Handlers/Request.ashx?c=9270&l=64784&ce=449315875

[3] Božič, K. (2019). Matej Feguš iz podjetja Donar, kjer delajo šest ur na dan: Zanimivo vi bilo slišati argumente politikov proti 6-urnem delovniku. Večer. Accessed 12. 5. 2019 from https://www.vecer.com/matej-fegus-iz-podjetja-donar-kjer-delajo-sest-ur-na-dan-zanimivo-bi-bilo-slisati-argumente-politikov-proti-6-urnemu-delovniku-6674706

[4] Campbell, K. M. (2015). Flexible Work Schedules, Virtual Work Programs, and Employee Productivity. Walden University ScholarWorks. Accessed 12. 5. 2019 from https://scholarworks.waldenu.edu/dissertations/509/

[5] De Menezes, L. M., & Kelliher, C. (2017). Flexible working, individual performance, and employee attitudes: Comparing formal and informal arrangements. Human Resource Management, 56(6), 1051-1070. DOI: 10.1002/hrm.21822

[6] Eurostat, 2019: Average number of usual weekly hours of work in main job, by sex, professional status, full-time/part-time and economic activity (from 2008 onwards, NACE Rev. 2) – hours. Accessed 11. 5. 2019 from http://appsso.eurostat.ec.europa.eu

[7] Galea, C., Houkes, I., & De Rijk, A. (2014). An insider's point of view: how a system of flexible working hours helps employees to strike a proper balance between work and personal life. The International Journal of Human Resource Management, 25(8), 1090-1111.

[8] Gerdenitsch, C., Kubicek, B., & Korunka, C. (2015). Control in flexible working arrangements. Journal of Personnel Psychology, 14(2). DOI: doi.org/10.1027/1866-5888/a000121

[9] Global Employee Engagement Index, volume 3 (2016). Amsterdam: Effectory International. Accessed 11. 6. 2019. from http://www.employee-engagement-index.com/europe/job-satisfaction/overview/

[10] Golden, L., Chung, H., & Sweet, S. (2017). Positive and negative application of flexible working time arrangements: Comparing the United States and the EU Countries. Handbook of Comparative Human Resource Management, Elaine Farndale, Chris Brewster and Wolfgang Mayrhofer (Eds.).

[11] International Labour Organization. ILOSTAT Country Profiles. Accessed 13. 6. 2019. from https://www.ilo.org/ilostatcp/CPDesktop/?list=true&lang=en&country=SRB

[12] Jeriček Klanšek, H. and Hribar, K. (2018). Obvladovanje stresa. V M. Vinko, T. Kofol Birc, S. Tomšoč and M. Vrdelja (ur.), Kako skrbimo za zdravje? Z zdravjem povezan vedenjski slog prebivalcev Slovenije 2016 (str. 25 – 28). Ljubljana: Nacionalni inštitut za javno zdravje.

[13] Jordan, G., Miglič, G., Todorović, I., & Marič, M. (2017). Psychological empowerment, job satisfaction and organizational commitment among lecturers in higher education: comparison of six CEE countries. Organizacija, 50(1), 17-32.

[14] Joyce, K., Pabayo, R., Critchley, J. A., & Bambra, C. (2010). Flexible working conditions and their effects on employee health and wellbeing. Cochrane database of systematic reviews, (2).

[15] Kanjuo Mrčela, A. and Ignjatović, M. (2015). Od prožnosti do prekarnosti dela: stopnjevanje negativnih sprememb na začetku 21. stoletja. Teorija in praksa, 52 (3), 350 – 381. Accessed from http://dk.fdv.uni-lj.si/db/pdfs/TiP2015_3_Kanjuo-MrcelaIgnjatovic.pdf

[16] Kapitanovič, P. (2016). Je šesturni delovnik učinkovit? Svet Kapitala. Accessed 12. 5. 2019. from https://svetkapitala.delo.si/ikonomija/je-sesturni-delovnik-ucinkovit-124893

[17] Kelliher, C., & Anderson, D. (2010). Doing more with less? Flexible working practices and the intensification of work. Human relations, 63(1), 83-106.

[18] Knežević, J., & Krstić, T. (2019). The role of basic psychological needs in the perception of job insecurity. Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 70(1), 54-59.

[19] Mas, A. & Pallais, A. (2017). Valuing Alternative Work Arrangements. American Economic Review, 107 (12), 3722 – 3759. DOI: 10.1257/aer.20161500

[20] Nacionalni inštitut za javno zdravje, Finančno zavarovalniške analize (FZA) za leta od 2013 do 2018. Accessed 11. 5. 2019. from http://www.nijz.si/podatki/bolniski-stalez

[21] Rawashdeh, A. M., Almasarweh, M. S. and Jaber, J. (2016). Do flexible work arrangements affect job satisfaction and work-life balance in Jordanian private airlines? International Journal of Information, Business and Management, 8 (3), 172 – 184.

[22] Raziq, A. and Maulabakhsh, R. (2015). Impact of Working Environment on Job Satisfaction. Procedia Economics and Finance, 23 (15), 717 – 725. Doi: https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00524-9

[23] Rugulies, R., et. al. (2019). WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of exposure to long working hours and of the effect of exposure to long working hours on depression. Environment International, 125, 515 – 528. Doi: https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.011

[24] Vojnović Zorman, A. (2019). Je rešitev za vse hujšo izgorelost šesturni delovnik? RTV SLO. Accessed 12. 5. 2019 from https://www.rtvslo.si/koda/novice/je-resitev-za-vse-hujso-izgorelost-sesturni-delovnik/486846

[25] World Health Organization. European Health Information Gateway. Accessed 13. 6. 2019. from https://gateway.euro.who.int/en/indicators/hfa_411-2700-absenteeism-from-work-due-to-illness-days-per-employee-per-year/visualizations/#id=19398&tab=table

[26] Zakon o delovnih razmerjih /ZDR/ (2002). Uradni list RS, št. 42/2002 (15. 5. 2002). Accessed from https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/36364

[27] Zakon o radu (2018). "Sl. glasnik RS", br. 24/2005, 61/2005, 54/2009, 32/2013, 75/2014, 13/2017 - odluka US, 113/2017 i 95/2018). Accessed from https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_radu.html

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MATEMATIČKI MODEL UPRAVLJANJA TROŠKOVIMA U FAZI RAZVOJA PROIZVODA

MODEL MATHEMATICAL COST MANAGEMENT PRODUCT DEVELOPMENT AN INPORTANT

BILJANA MILANOVIĆ[1], MITAR BIJELIĆ[1], ŽELKA BIJELIĆ[1], ZDRAVKO BIJELIĆ[1]

[1] IROE LOGOS u osnivanju Novi Sad, bijeliczdravko51@gmail.com

---

Rezime: *Troškovi su ključni faktor konkurentnosti proizvoda. Zbog ove činjenice veoma je bitno u fazi razvoja proizvoda struktuirati troškove koji će biti u funkciji konkurentnosti proizvoda na tržištu. Konkurentnost proizvoda određuje veliki broj faktora, a koji se kreiraju u fazi istraživanja i razvoja proizvoda. Ključni faktori konkurentnosti proizvoda na tržištu su troškovi, kvalitet i cijena. Kvalitet i niz drugih faktora projektuju se u fazi razvoja proizvoda, a time i operativni troškovi koji su u funkciji konkurentnosti proizvoda. Istraživanja tržišta definišu cijenu, odnosno moguće kupce. Kupci preferiraju određene karakteristike, odnosno vrijednosti proizvoda. Polazeći od činjenice da se razvoj bavi budućnošću, koja je sve neizvjesnija u uslovima intenzivnih i dinamičnih promjena, problem upravljanja troškovima se mora rješavati integrisanim pristupom upravljanju i optimalnim strukturiranjem troškova u fazi razvoja proizvoda. U radu je kreiran matematički model upravljanja u cilju optimizacije nivoa kvaliteta i troškova u funkciji konkurentnosti na tržištu.*

Ključne reči: *upravljanje, troškovi, konkurentnost, razvoj proizvoda..*

Abstract: *The costs are a key factor in the competitiveness of products. Because of this fact is very important in the product development phase to structure costs that will serve the competitiveness of the products on the market. Product competitiveness is determined by a number of factors, which are created in the stage of research and product development. Key factors for the competitiveness of products in the market are costs, quality and price. Quality and many other factors are projected in the product development phase, and thus the operating costs in the function of competitiveness of products. Market research defines price or possible buyers. Customers prefer certain features or value of the product.Starting from the fact that the development deals with the future, which is all the more uncertain in terms of intensity and dynamic change problem of cost management must be dealt with integrated access management and optimal structuring costs in the product development phase. The paper created a mathematical model of management in order to optimize quality levels and cost as a function of market competitiveness.*

Keywords: *management, costs, competition, product development.*

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

UNAPREĐENJE DIREKTNE PRODAJE PRIMENOM METODA OPERACIONIH ISTRAŽIVANJA

IMPROVEMENT OF DIRECT SALES BY APPLICATION OF OPERATIONAL RESEARCH METHODS

DRAGOLJUB SIMONOVIĆ[1], SNEŽANA KNEŽEVIĆ[2], MARINA POPOVIĆ[3]

[1] Student doktorskih studija, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu
d.simonovic@yahoo.com
[2] Vanredni profesor, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu
snezana.knezevic@fon.bg.ac.rs
[3] Student doktorskih studija, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu
popovic.marina85@gmail.com

Rezime: *U ovom radu biće istražene mogućnosti za unapređenje procesa prodaje u oblasti robe široke potrošnje primenom modela i metoda operacionih istraživanja. U radu se daju teorijske osnove za razvoj modela direktne prodaje, koje su u funkciji razvoja dugoročnih odnosa sa kupcima, kroz njegovo prilagođavanje zahtevima ciljnih grupa kupaca. Cilj je da postave osnove modela unapređenja direktne prodaje bazirane na primeni metoda operacionih istraživanja. Ovaj model bi trebalo da sadrži sve elemente neophodne za unapređenje prodajnih rezultata i ostvarenje dugoročnih odnosa sa kupcima.*

Ključne reči: *Direktna prodaja, Roba široke potrošnje, RFM metod, Metode operacionih istraživanja.*

Abstract: *In this paper, the possibilities for improving the sales process in the field of consumer goods will be explored by applying models and methods of operational research. The paper gives theoretical bases for the development of the direct sales model in order to develop long-term customer relationships, through its adaptation to the requirements of the target customers. The aim is to lay the foundations of improving the direct sales model based on the application of operations research methods. This model will include all the elements necessary to improve sales results and achieve long-term customer relationships.*

Keywords: *Analytical network process (ANP), Data envelopment analysis (DEA), multi-criteria decision-making (MCDM) methods, literature review.*

1. UVOD

Savremeno turbulentno poslovno okruženje, koje karakterišu dinamične konkurentske aktivnosti i promene u potrebama i zahtevima kupaca, unose promene u poslovanje organizacija koje se bave direktnom prodajom. U skladu sa tim, javlja se potreba za kontinuiranim unapređenjem direktne prodaje kako bi se poboljšala tržišna pozicija preduzeća, ali i ostvarili dugoročni odnosi sa kupcima. Adekvatno planirane i implementirane strategije direktne prodaje, postaju stoga pretpostavka postizanja željenih efekata i ostvarenja željenih prodajnih rezultata. Razvoj adekvatnih veština i znanja zaposlenih, koji se bave direktnom prodajom, nameće se kao poslovni imperativ, uzevši u obzir da osposobljavanje prodajnog osoblja predstavlja jedan od glavnih elemenata u procesu kreiranja konkurentske prednosti organizacija (Srikanth, Puranam, 2011).

U svrhu uspostavljanja i održavanja dugoročno profitabilnih odnosa sa ciljnom grupom kupaca, konvencionalni pristup prodaji, koji više ne daje željene rezultate, zamenjen je savremenim konceptom direktne prodaje (Duffy, 2005). Povećana kompleksnost zahteva brzo prilagođavanje prodajnog osoblja i sprovođenje adekvatnih promotivnih aktivnosti kao podrške prodaji. U cilju realizacije boljih prodajnih rezultata u segmentu prodaje robe široke potrošnje, neophodno je edukovanje i obučavanje prodajnog osoblja u svrhu usvajanja adekvatnih komunikacijskih i prodajnih veština. Prodajno osoblje se u tom smislu mora osposobiti za pružanje podrške kupcima da identifikuju potrebe, prikupe sve neophodne informacije i donesu odluku o kupovini proizvodâ koji na najbolji način zadovoljavaju njihove potrebe (Zablah *et al*., 2012). Prodajno osoblje se u tom smislu transformiše od pasivnih učesnika u kupoprodajnim transakcijama do

profesionalaca u oblasti direktne prodaje koji poseduju kredibilitet, integritet i pouzdanost u odnosu sa kupcima i postaju izvor konkurentske prednosti organizacija na tržištu. Pored toga, promotivne aktivnosti integrisane sa direktnom prodajom omogućavaju transformaciju konvencionalnog prodajnog pristupa u prodajni pristup orijentisan na kupce, a koji omogućava realizaciju postavljenih prodajnih ciljeva i ostvarenje dugoročnih odnosa sa kupcima na najefikasniji način.

Sprovođenjem različitih promotivnih aktivnosti, organizacije uspevaju da privuku pažnju i informišu svoje ciljne grupe kupaca, motivišu ih da kupe proizvode koje ta organizacija prodaje, i kreiraju dugoročne pozitivne odnose. Iz toga sledi da se promotivnim aktivnostima, kao podršci direktnoj prodaji, može postići direktniji i efektivniji uticaj na kupce. Sprovođenjem adekvatnih promotivnih programa, omogućava se efikasnije prihvatanje promotivnih poruka i podsticanje kupaca da reaguju na željeni način (Eagle *et al*., 2014). Promotivni programi moraju biti bazirani na poznavanju ciljnih grupa kupaca i njihovih karakteristika zbog utvrđivanja i razumevanja uticaja, odnosno efekata koje različiti promotivni i prodajni programi imaju na pojedinačne ciljne grupe. Neophodno je generisanje baze kupaca koja će sadržati sve relevantne podatke i koja će omogućiti proširivanje razumevanja potreba i očekivanja kupaca. Segmentacijom baze kupaca mogu se izdvojiti ključni segmenti prema kojima će biti usmereni posebni prodajni i promotivni napori prodajnog osoblja. Naročito je bitno izdvajanje profitabilnih i neprofitabilnih kupaca i usmeravanje napora prema onima koji obezbeđuju organizaciji ostvarenje dugoročnih prodajnih rezultata. Segmentacija baze kupaca može se obavljati putem različitih metoda, od kojih je najpoznatiji RFM metod (*Recency* – skorost kupovine, odnosno proteklo vreme između kupovina; *Frequency* – učestalost kupovina; *Monetary value* – novčani iznos utrošen na kupovinu) po kome se kupci vrednuju prema tri kriterijuma: skorašnjosti kupovine, učestalosti kupovine i prosečne vrednosti kupovine. Oni koji češće obavljaju kupovinu i aktivni su u trenutku analize i čije kupovine imaju višu vrednost, profitabilniji su za organizaciju i dostupne resurse bi trebalo uložiti u razvoj dugoročnih odnosa s njima (Kostić-Stanković, 2013).

Prema Lukić (2019), veoma je aktuelna, a i kontinuirano se istražuje problematika efikasnosti i totalne faktorske produktivnosti u svim privrednim sektorima, te tako i u trgovinskom. Pri tome se u novije vreme sve više koristi DEA analiza. Kako ističu autori Martić i Savić (2001), DEA identifikuje izvore i nivoe neefikasnosti za svaki *input* i *autput*, što je važno za praćenje željenih performansi, a među njima i prodajnih performansi. DEA analiza je često korišćena za testiranje efikasnosti preduzeća na osnovu podataka iz finansijskih izveštaja u različitim industrijama – proizvodnji, trgovini, bankarstvu i osiguranju (Knežević *i dr.*, 2016). Finansijska racija dobijena na osnovu logički povezanih računovodstvenih informacija, a često korišćena od strane menadžera u preduzećima za merenje finansijskih performansi trgovinskih i drugih preduzeća, često se koriste u primeni DEA analize (Knežević *i dr.*, 2019).

2. DIREKTNA PRODAJA U SEKTORU ROBE ŠIROKE POTROŠNJE

Direktna prodaja je jedan od instrumenata promotivnog miksa i predstavlja komunikacijski instrument usmeren direktno ka ciljnoj grupi. Uprkos tome što direktna prodaja predstavlja najefikasniji element komunikacionog miksa, u pojedinim fazama procesa kupovine takođe predstavlja i najskuplji instrument, tako da sveopravdanost njegove upotrebe treba pažljivo razmotriti i planirati. Kotler *et al*. (2016) su istakli da u složenijim prodajnim situacijama, direktna prodaja postaje efikasniji instrument oglašavanja, naročito iz razloga što može pružiti povratnu informaciju preduzeću o zahtevima i potrebama kupaca. Zaposleni u direktnoj prodaji, prodavci, mogu ispitati stavove kupaca kako bi saznali više o njihovim problemima, potom i prilagoditi ponudu i način komunikacije, tako da odgovaraju posebnim potrebama svakog kupca (Weitz, Bradford, 2009). U preduzećima koja se bave prodajom robe široke potrošnje krajnjim korisnicima, zaposleni u direktnoj prodaji stupaju u kontakt direktno sa krajnjim kupcima i mogu značajno uticati na proces donošenja odluke o kupovini. S druge strane, kako navode autori Fill i McKee (2011), manje lični instrumenti promocije ne mogu uvek na podjednako efektivan način da prenesu koristi koje kupci imaju od kupovine određenog proizvoda široke potrošnje, kao što je to moguće u slučaju korišćenja direktne prodaje jer omogućava pružanje detaljnih informacija koje su od koristi za konkretnog kupca i prilagođavanje prodajne komunikacije svakom pojedincu i svakoj situaciji.

Savremeni pristupi direktnoj prodaji baziraju se na isključivoj orijentaciji na kupce, za razliku od orijentacije na proizvode koji se prodaju, koja je ranije bila dominantna. Direktna prodaja orijentisana na kupca je od strane Srikanth i Puranam (2011) definisana kao „aktivnost u kojoj prodavci u praksi uspevaju da primene markentiški koncept pokušavajući da pomognu kupcima da donesu kupoprodajnu odluku koja će zadovoljiti njihove potrebe na najbolji mogući način“. Ova izjava je u skladu sa nalazima autora Duffy

(2005) da u savremenoj direktnoj prodaji vlada trend veće fokusiranosti na kupce a ne na prodaju samih proizvoda. Kako ovi autori navode, došlo je do promena u konceptu direktne prodaje i ovaj proces se kreće ka većoj tržišnoj orijentisanosti i generisanju vrednosti za kupca uz podrazumevano ostvarenje profita za preduzeće. Stoga je orijentisanost na kupce i isporuku vrednosti za njih postala najznačajnija karakteristika direktne prodaje u savremenom poslovanju. U tom kontekstu, značajnu podršku predstavljaju savremene informaciono-komunikacione tehnologije, koje su osnažile kupce da daju povratnu informaciju preduzećima koja na taj način jednostavnije stiču uvid u njihovo zadovoljstvo, stavove i kupovne namere (Kotler *et al*., 2016).

Centralna pretpostavka orijentisanosti na kupca jeste osposobljavanje zaposlenih u direktnoj prodaji, tako da poseduju sposobnost procene potreba kupaca i pružanja pomoći pri rešavanju problema kupaca (De Palsmaker *et al*., 2013). Interakcija u direktnoj prodaji podrazumeva dvosmernu komunikaciju između prodavaca i kupaca, a prednost u ovom kontekstu predstavlja mogućnost ispitivanja potreba kupaca, kako bi prodavci saznali više o tome i prilagodili ponudu trenutnoj situaciji (Li *et al*., 2014).

U skladu sa savremenim pogledom na direktnu prodaju, smatra se da uspeh procesa direktne prodaje zavisi od toga koliko dobro prodavac može identifikovati i zadovoljiti potrebe kupaca (Caywood, 2012). Primenom adekvatnih strategija komunikacije prilagođenih pojedinačnim kupcima, povećava se verovatnoća da će se realizovati prodaja. Sa aspekta kupca, prednosti mogu biti emocionalne (status, vrednost za novac) ili racionalne (bezbednost upotrebe, funkcionalnost). U komunikacijskom procesu direktne prodaje poželjno je korišćenje adekvatnih retoričkih tehnika od strane prodajnog osoblja.

2.1. Metode odabira profitabilnih kupaca

Jedan od najznačajnijih problema u određivanju strategije direktne prodaje odnosi na na optimalno usmeravanje ka ciljnim grupama kupaca. Osnovni razlog je što upravo zadovoljenje njihovih potreba predstavlja najznačajniji kriterijum modelovanja procesa komuniciranja u prodajnom procesu (Fill, 2011). Suština segmentacije je u pronalaženju dovoljne sličnosti među kupcima unutar segmenta i dovoljne različitosti među segmentima. Najvažniji kriterijumi segmentacije su: geografska pripadnost, demografske razlike i psihografske i bihejviorističke karakteristike kupaca (Filipović, Kostić-Stanković, 2014).

U cilju planiranja strategija direktne prodaje usmerenih prema pojedinačnim kupcima proizvoda preduzeća, poželjno je kupce grupisati po ključnim kriterijumima. Kada su u pitanju postojeći kupci, preduzeća najčešće primenjuju kriterijum profitabilnosti. Za segmentaciju postojećih kupaca, neophodno je, pored ostalih podataka, imati i precizne podatke o kupcima koji pokazuju najveću želju i spremnost na kupovinu, odnosno koji se mogu smatrati profitabilnim kupcima u smislu potencijala izraženog različitim faktorima. Jedan od metoda koji je moguće koristiti u oceni i izboru kupaca iz baze podataka organizacije je RFM metod (kao što je pomenuto, akronimi označavaju: *Recency* – skorost kupovine, odnosno proteklo vreme između kupovina; *Frequency* – učestalost kupovina; – novčani iznos utrošen na kupovinu). Primena ove metode zahteva da se za svakog kupca koji se nalazi u određenoj bazi utvrđuje vrednost faktora: R, F i M čime se omogućava identifikovanje najprofitabilnije grupe kupaca i na osnovu toga se planiraju odgovarajuće aktivnosti za uspostavljanje dugoročnih odnosa s tom ciljnom grupom. Kada je u pitanju direktna prodaja, vremenom se došlo do zaključka u koje vreme se segmentacijom kupaca može značajno uticati na povećanje profita organizacije. Po RFM metodi, najprofitabilniji su oni kupci koji su nedavno kupili, koji kupuju često i koji najviše troše. RFM metodom se sagledavaju tri pomenute dimenzije ponašanja kupaca analizom uobičajenih statističkih podataka iz baze podataka o kupcima. (Kostić-Stanković, 2013). Iako se krajnji rezultati dobijeni primenom ove metode posmatraju kao celina, svaka od dimenzija posmatra se kao značajan indikator, zasnovan na osnovnim zakonima ponašanja potrošača (Kostić-Stanković, 2013):

- skorost kupovine pokazuje kolika je šansa da kupci koji su nedavno obavili kupovinu u nekoj organizaciji to ponovo urade u skorijem vremenskom periodu;
- frekventni kupci, u najvećem broju slučaja, imaju običaj da to i ostanu;
- monetarna vrednost ukazuje na to da kupci koji su potrošili značajnu sumu novca imaju običaj da i svoje buduće planove za kupovinu usmere ka istom proizvođaču.

Pored primene prethodno pomenute metode, profitabilnost pojedinačnih kupaca se može svesti i na izračunavanje razlike između ukupnih prihoda ostvarenih od određenog kupca i ukupnih troškova uloženih u njegovo privlačenje i zadržavanje u određenom vremenskom periodu. U kontekstu direktne prodaje,

potrebno je uračunati transakcione troškove, troškove kanala prodaje, troškove isporuke i sl. Dakle, profitabilnost potrošača se može izračunati na sledeći način (Davis, 2013):

PrPt = PPpt – Tpt

PrP = profitabilnost kupca u vremenu „t“

PPpt = prihod od prodaje kupcu u vremenu „t“

Tpt = troškovi uloženi u kupca u vremenu „t“

Izračunavanje profitabilnosti za svakog pojedinačnog kupca iziskuje raspolaganje bazama podataka u kojima je moguće svoditi troškove za svakog od njih. Ova metoda omogućava dobijanje informacije u koje se kupce isplati ulagati, odnosno sa kojima treba usmeriti odgovarajuće strategije direktne prodaje. Istraživanjem autora Jeffery (2010), kompanije troše čak 70% svojih sredstava za privlačenje potencijalnih kupaca, dok 90% njihovih prihoda potiče od postojećih kupaca. Procenjuje se da troškovi privlačenja novih kupaca mogu biti pet puta viši od troškova koji su potrebni da se održavaju efektivni odnosi sa postojećim kupcima. Učešće kupca predstavlja metod koji procentualno iskazuje prodaju konkretnog proizvoda ili konkretnog prodavca određenom kupcu u odnosu na sumu svih kupovina tog kupca, odnosno njegovog potrošenog novca za određeni vremenski period. Formula za izračunavanje učešća kupca je (Farris *et al*., 2010):

$$St = \frac{Sit}{\blacksquare \Sigma Mt} \quad (1)$$

gde su:

- Si = učešće kupca izraženo u procentima,
- Sit – prodaja kupcu *i* u vremenskom periodu *t* (u novčanim jedinicama),
- ∑Mt – sume svih trošenja kupca u vremenskom periodu *t* (u novčanim jedinicama).

Učešće kupca analizira udeo individualnog kupca, mereći procentualno učešće količine novca koju je kupac potrošio na određeni tip proizvoda. Učešće kupca je vredna mera i za procenu performansi individualnih prodavaca jer je jednim delom i indikator koliko su oni uspešni u razvijanju odnosa sa kupcima. Informacije neophodne za izračunavanje učešća kupaca nalaze se u izveštajima zaposlenih koji direktno sarađuju sa kupcima. Rezultati proračuna učešća kupaca mogu biti osnova za razvoj programa direktne prodaje i upravljanja odnosima sa kupcima, projektovanih radi poboljšanja lojalnosti, ali i rani indikatori padanja proseka kupovine određenih proizvoda tokom vremena. Učešće kupaca je prilično korisno za viši menadžment jer omogućava uvid u specifičnost kupaca, njihove vrednosti i potencijal, ali im pomaže u proceni koliko efikasno i uspešno zaposleni u direktnoj prodaji razvijaju odnos sa kupcima.

3. PRIMENA OPERACIONIH ISTRAŽIVANJA ZA UNAPREĐENJE DIREKTNE PRODAJE

Prilikom planiranja prodaje, konvencionalne ili direktne, određivanje asortimana predstavlja ključni segment koji se u praksi često obavlja samo na osnovu iskustva donosioca odluke bez primene ikakvog optimizacionog pristupa. Za razliku od prakse, u literaturi se može naći veliki broj radova koji se bave optimizacijom ovog problema izdvojeno Wang, 2012, Ghoniem, Maddah, 2015) ili integrisano sa problemom optimizacije zaliha i cena (Katsifou *et al,* 2014; Ghoniem, Maddah, 2015), sa problemom alokacije proizvoda na prodajnim mestima (Hariga *et al*, 2007) itd. Međutim, sva ova istraživanja podrazumevaju konvencionalni pristup prodaji i ne mogu se primeniti u slučaju direktne prodaje jer ne razmatraju specifičnosti ovog pristupa. Poslednjih godina se razvijaju pristupi u kojima se optimizacija asortimana primenjuje u direktnoj prodaji putem interneta (Reimann *et al,* 2014). Zajedničko za ove pristupe je da podrazumevaju make-to-order proizvodnju, što je u suprotnosti sa načinom direktne prodaje, koji se razmatra u ovom radu: proizvod već postoji i agent ga nudi u direktnom, ličnom kontaktu sa kupcem.

Upravo zbog toga što je način direktne prodaje moguć samo ako proizvod postoji u trenutku prodaje, neophodno je optimalno upravljanje zalihama koje će obezbediti da svaki proizvod bude uvek na raspolaganju. Nedostatak nekog proizvoda može značajno narušiti kredibilitet kompanije. S druge strane, velike količine proizvoda na zalihama značajno povećavaju troškove poslovanja (Wei *et al*, 2010). Zbog toga je neophodno odrediti optimalni nivo zaliha kao i optimalnu politiku naručivanja proizvoda. Neophodno je i opredeliti se da li će se optimalno upravljanje zalihama vršiti za sve ili samo za izabrane proizvode iz asortimana (Ramanathan, 2006). Optimalno upravljanje zalihama i optimizacija nabavke su problemi operacionih istraživanja koji su široko razmatrani u literaturi (Janssen *et al*, 2016; Eruguz *et al*, 2016) ali, kao i u slučaju problema optimizacije asortimana, uglavnom vezano za konvencionalni pristup prodaji. Zbog

toga je neophodno sagledati specifičnosti upravljanja zalihama u preduzećima koje koriste pristup direktne prodaje i formulisati odgovarajuće optimizacione probleme.

Za optimalno organizovanje direktne prodaje organizacije, koja prodaje robu široke potrošnje preko svojih agenata na teritoriji jedne države, potrebno je rešiti više problema. Organizacija raspolaže sa sopstvenim voznim parkom koji sadrži nekoliko tipova vozila različite nosivosti i različitih karakteristika koja treba da pravovremeno prevezu robu na osnovu zahteva agenata prodaje do različitih prodajnih centara. Ako se transport organizuje na optimalan način, jasno je da se mogu značajno sniziti troškovi poslovanja.

Za ocenu uspešnosti i rangiranje prodajnog osoblja i za komparativnu analizu, kako prodajnih centara tako i grupa proizvoda, moguće je primeniti analizu obavijanja podataka (Data envelopment analysis – DEA). DEA je metoda matematičkog programiranja koja se veoma uspešno može primeniti za procenu relativne efikasnosti i komparativnu analizu entiteta koji posluju na sličan način koristeći iste vrste raznorodnih ulaza za proizvodnju istih vrsta raznorodnih izlaza. Pri merenju efikasnosti pomoću DEA metode jedinice u posmatranom skupu se upoređuju međusobno i nije neophodno a priori odrediti funkciju koja ulaze pretvara u izlaze. Takođe, moguće je u analizu uključiti više ulaza i više izlaza sa različitim mernim jedinicama, pri čemu nije unapred neophodno odrediti važnost ulaza i izlaza, niti skalirati njihove vrednosti. Na osnovu rezultata ove tehnike može se odrediti koliko su pojedine jedinice o kojima se odlučuje neefikasne u odnosu na jedinice koje su efikasne. Pored toga, može se zaključiti koliko je potrebno da se smanji određeni ulaz i/ili poveća određeni izlaz da bi ove jedinice postale efikasne. U literaturi se može naći veći broj radova u kojima je DEA primenjena za ocenu prodajnih jedinica, npr. Popović (2006) je realizovala konkretnu primenu DEA modela na realnim podacima i pokazala da se analiza obavijanja podataka može veoma uspešno primeniti za procenu efikasnosti kreditnih asistenata i mikrokreditnog programa, za praćenje promena u indeksu efikasnosti tokom vremena i komparativnu analizu efekata kreditiranja. Pored toga, treba naglasiti i mogućnost primene DEA metode za ocenu efikasnosti elektronske trgovine (Popović i Martić, 2002).

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu su koncipirane mogućnosti za unapređenje procesa prodaje u oblasti robe široke potrošnje primenom modela i metoda operacionih istraživanja. Ovakav model unapređenja prodaje je važan za trgovinska preduzeća jer bi doveo do efikasnijeg upravljanja prodajom, s jedne strane, a s druge strane, do poboljšanja poslovno-finansijskih performansi, što je u funkciji održivog poslovanja. Rezultati istraživanja primene metoda operacionih istraživanja u unapređenju procesa prodaje mogli bi u značajnoj meri doprineti privredi sa aspekta efikasnosti, a posebno mladim preduzećima koja posluju u veoma konkurentnom i dinamičnom okruženju. Posebno je važno da se u okviru direktne prodaje u sektoru robe široke potrošnje primenjuju savremeni pristupi, sa fokusom na značaj uspostavljanja, izgradnje i održavanja odnosa sa ciljnim kupcima. Pored toga, pažnju treba obratiti na adekvatnu primenu koncepta ciljnih kupaca, te faze segmentacije i odabira profitabilnih kupaca primenom RFM metode. Sve to zajedno, treba da dovede do unapređenja prodajnih rezultata i ostvarenja dugoročnih odnosa sa kupcima. Prihodi od prodaje robe su polazna tačka u projektovanju ciljnih finansijskih veličina, i posebno važna finansijska stavka za dugoročnu finansijsku održivost trgovinskih preduzeća.

LITERATURA

[1] Caywood, C. (2012). The handbook of strategic public relations and integrated marketing communications. London: McGraw Hill.

[2] Davis, J. A.(2013). Measuring marketing: 110 + key metrics every marketer needs. New York: Wiley.

[3] De Pelsmacker, P., Geuens, M., and Van Den Bergh, J. (2013). Marketing communications: A European perspective. London: Pearson Education Limited.

[4] Duffy, D. L. (2005). Direct selling as the next channel. Journal of Consumer Marketing, 22(1), 43-45, https://doi.org/10.1108/07363760510576545.

[5] Eagle, L., Dahl, S. Czarnecka, B.and Lloyd, J. (2014). Marketing communications. New York: Routledge.

[6] Eruguz, A. S., Sahin, E., Jemai, Z., & Dallery, Y. (2016). A comprehensive survey of guaranteed-service models for multi-echelon inventory optimization. International Journal of Production Economics, 172, 110–125.

[7] Farris, P. W, Brendle, T. N., Pfeifer, P. E. and Rebinstein, D. J. (2010). Marketing Metrics, London: Pearson Education, Inc.

[8] Filipović, V. Kostić-Stanković, M. (2014). Marketing menadžment. Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

[9] Fill, C. (2011), Essentials of marketing communications, London: Pearson Education Limited.

[10] Fill, C. and McKee, S. (2011), Business marketing face to face: the theory and practice of B2B. Oxford: Goodfellow Publishers Ltd.

[11] Ghoniem, A. & Maddah, B. (2015), Integrated retail decisions with multiple selling periods and customer segments: Optimization and insights. Omega, 55, 38–52.

[12] Hariga, M. A., Al-Ahmari, A. & Mohamed, A. R. A. (2007). A joint optimisation model for inventory replenishment, product assortment, shelf space and display area allocation decisions. European Journal of Operational Research, 181(1), 239–251.

[13] Janssen, L., Claus, T. & Sauer, J. (2016), Literature review of deteriorating inventory models by key topics from 2012 to 2015. International Journal of Production Economics, 182, 86–112.

[14] Jeffery, M. (2010), Data-driven marketing: the 15 metrics everyone in marketing should know, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

[15] Kotler, P., Armstrong, G and Parment, A. (2016), Principles of Marketing (13th ed.). Harlow: Pearson Education Ltd.

[16] Knežević, S., Marković, M., Brown, A. (2015). Measuring the efficiency of Serbian insurance companies. Acta oeconomica, 65(1), 91-105, doi: 10.1556/AOecon.65.2015.1.5.

[17] Knežević, S., Mitrović, A., Vujić, M., Grgur, A. (2019). Analiza finansijskih izveštaja. Beograd: samostalno izdanje autora.

[18] Kostić-Stanković, M. (2013). Marketinško komuniciranje u upravljanju odnosima s kupcima. Beograd: Zadužbina Andrejević.

[19] Li, S., Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T. S. and Rao, S. (2014). The impact of marketing management practices on competitive advantage and organizational position. Reexamining supply chain integration management: An international Journal, 34(2), 107–124.

[20] Lukić, R. (2019). Analiza efikasnosti trgovinskih preduzeća u Srbiji, Zbornik radova Ekonomskog fakulteta Brčko. Časopis Ekonomskog fakulteta Brčko, 13(1), 15–27, DOI: 10.7251/ZREFB1913015L.

[21] Martić, M., Savić, G. (2001). An application of DEA for comparative analysis and ranking of regions in Serbia with regards to social-economic development. European Journal of Operational Research, 132(2), 343-356, https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00156-9.

[22] Popović, G. (2006). Ocena efikasnosti kreditnih programa pomoću analize obavijanja podataka (magistarsku teza), Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu.

[23] Popović, G., Martić M. (2002). Mogućnost primene DEA metode za ocenu efikasnosti elektronske trgovine. 29. Simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS 2002. Zbornik radova, II, 19–22.

[24] Ramanathan, R. (2006). ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. Computers & Operations Research, 33(3), 695–700.

[25] Reimann, M., Tavares N. & R., Bogendorfer, E. (2014). Joint optimization of production planning and vehicle routing problems: a review of existing strategies. Pesquisa Operacional, 34(2), 189–214.

[26] Srikanth, K. & Puranam, P. (2011). Integrating marketing and sales: comparing task design, comm-unication, and tacit coordination mechanisms. Strategic Management Journal, 32(8), 849–875.

[27] Wang, R. (2012). Capacitated assortment and price optimization under the multinomial logit model. Operations Research Letters, 40(6), 492–497.

[28] Wei, C., Sheen, J., Tai, T. & Lee, L. (2010). Using Six Sigma to improve replenishment process in a direct selling company. Supply Chain Management: An International Journal, 15(1), 3–9.

[29] Weitz, B. A. & Bradford, K. D. (2009). Personal selling and sales management: a relationship marketing perspective. Journal of the Academy of Marketing Science, 27(2), 241–54.

[30] Zablah, A. R., Franke, G. R., Brown, T. J. & Bartholomew, D. E. (2012). How and when does customer orientation influence frontline employee job outcomes? A meta – analytic evaluation. Journal of Marketing, 76(3), 21–40

DATA SCIENCE

NAUKA O PODACIMA

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MOGUĆNOSTI PRIMENE ANALIZE SENTIMENATA U SAVREMENOJ POSLOVNOJ PRAKSI

APPLICATION POSSIBILITIES OF SENTIMENT ANALYSIS IN MODERN BUSINESS PRACTICE

MARIJANA PETROVIĆ[1], ALEKSANDRA STOJILJKOVIĆ[2]

[1] Student doktorskih studija, Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, marijana.petrovic@ict.edu.rs
[2] Student doktorskih studija, Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet u Subotici, aleksandra.stojiljkovic@gmail.com

Rezime: *Imajući u vidu značajnu ulogu koju rastuća količina dostupnih tekstualnih podataka na web-u ima za savremene poslovne organizacije, ovaj rad se bavi jednim od pristupa za analizu nestrukturiranih tekstualnih podataka pomoću dostignuća automatskog (mašinskog) učenja – analizom sentimenta. Analizom dostupne literature koja govori o mogućnostima primene analize sentimenta i njenom uticaju na ponašanje individua i poslovanje organizacija, ovo istraživanje ima za cilj da otkrije dobru praksu primene sentiment analize, da kroz prikaz uspešne primene analize sentimenta i mogućnosti korišćenja njenih dobrih rezultata, dâ pregledni okvir za mogućnosti njene primene u praksi u cilju unapređenja poslovanja organizacija.*

Ključne reči: *nestrukturirani podaci, analiza sentimenta, mogućnosti primene sentiment analize.*

Abstract: *Considering the significant role that the growing amount of available textual information on the web has for contemporary business organizations, this paper deals with one of the approaches for analyzing unstructured textual data through the achievement of automated (machine) learning - sentiment analysis. By analyzing the available literature that discusses the feasibility of applying the sentiment analysis and its impact on the behavior of individuals and the business of organizations, this research aims to discover the good practice of applying sentiment analysis and to demonstrate a transparent framework for the possibilities of its application in practice in order to improve the organization's business.*

Keywords: *unstructured data, sentiment analysis, sentiment analysis application possibilities.*

1. UVOD

Razvoj informacionih i komunikacionih tehnologija doprineo je da veliki broj potencijalno vrednih informacija u nestrukturiranom tekstualnom obliku bude besplatno dostupan na web-u. Web strane organizacija i njihovih glavnih konkurenata bogate su ocenama proizvoda/usluga od strane korisnika, a društvene mreže, forumi i blogovi postali su platforma za komunikaciju i pronalaženje korisinih informacija kako za individue, tako i za organzacije. Analizom pomenutih podataka mogu da se iskoriste prednosti dostupnih znanja za unapređenje informisanosti i donošenja bolje odluke o kupovini proizvoda/usluga u slučaju individue ili za unapređenja poslovanja u slučaju organizacija. Organizacije mogu da iskoriste ovaj trend i da putem analize sentimenta pažljivo slušaju, prate i razumeju potrebe kupaca/korisnika da bi razvili kvalitet proizvoda/usluga, njihovu funkcionalnost i prezentovanje i da bi pratili kako reputacija brenda evoluira vremenom. Imajući u vidu značajnu ulogu koju rastuća količina dostupnih tekstualnih podataka na web-u ima za savremene poslovne organizacije, ovaj rad se bavi jednim od pristupa za analizu nestrukturiranih tekstualnih podataka pomoću dostignuća automatskog (mašinskog) učenja – analizom sentimenta.

U nastavku rada ćemo se najpre osvrnuti na specifične mogućnosti automatske ekstrakcije korisnih znanja iz tekstualnih podataka iz ugla organizacije, koji su po svojoj prirodi nestruktuirani, i na analizu emocija, stavova, preferencija koji se iskazuju kroz tekstualni sadržaj, tzv. sentimenta. Nadalje, u odeljku 3 ćemo prikazati različite pimene analize sentimenta opisane u literaturi. U odeljku 4 prikazaćemo mogućnosti upotrebe rezultata dobijenih analizom sentimenta i pozitivne efekte koje njihova primena može imati na poslovanje različith organizacija, nakon čega ćemo izneti zaključna razmatranja. Cilj je da se kroz pregled primera iz prakse, identifijuju dobri primeri primene sentiment analize i da se ponudi jedinstven pregledni

okvir dobrih praksi, kako bi i druge organizacije mogle da ih koriste za unapređenje svojih poslovnih rezultata kroz primenu sentiment analize.

2. RUDARENJE TEKSTA I ALANIZA SENTIMENTA

Za pretragu i ekstrahovanje značajnih informacija iz velikih količina podataka i dokumenata koristi se proces otkrivanja znanja sadržanog u podacima (KDD, engl. Knowledge Discovery in Data). KDD primenjuje naučne metode u izgradnji modela podataka, koje se nazivaju rudarenjem podataka (DM**,** engl. data mining) da bi se dobili i prezentovali zaključci za donošenje odluka. Jedna od mogućnosti DM-a je i analiza tekstualnih sadržaja inteligentnim tehnikama (TM, engl. text mining) koji ekstrahuje pomenuta znanja pomoću alata za analizu nestrukturiranih podataka u formi teksta. Podaci se najpre organizuju i strukturiraju, a zatim se uz pomoć računarskih nauka radi analiza, sinteza i razumevanje podataka u prirodno-jezičkoj formi pomoću metoda obrade prirodnog jezika (NLP metode, engl. Natural Language Processing). Kroz različite primenjene tehnike pronalaze se veze među dokumetima u smislu sličnosti po temama koje su u fokusu pojedinih dokumenata i automatski se klasifikuju u različite klastere. Klasifikacija se vrši na osnovu zajedničkih pojavljivanja određenih reči u dokumetnima iz tog segmenta, što automatski znači da ima manje zajedničkih reči sa dokumentima ostalih klastera.

U rudarenju podataka inženjerski sistemi koriste leksičke analize i taksonomije da bi odredili značajne delove teksta za analizu, a jedna od specifičnih TM primena je analiza sentimenta (SA, engl. Sentiment analysis) koja pokušava da otkrije osećanja ili raspoloženja iza napisanog teksta. SA ili rudarenje mišljenja (engl. Opinion mining) – je „Oblast izučavanja koja analizira mišljenja ljudi, njihova osećanja, evaluacije, procene, stavove i emocije prema entitetima koji mogu biti proizvodi, usluge, individue, organizacije, problemi, događaji, teme i atributi“ (Liu 2012). Fokus je uglavnom na mišljenjima koja izražavaju ili impliciraju pozitivna i negativna osećanja. Mišljenja imaju ključni uticaj na ponašanje ljudi. Sve masovnijim korišćenjem socijalnih mreža ljudi dele svoja mišljenja o različitim temama, a organizacije (kao i kupci proizvoda) koriste ove medije i velike količine javno dostupnih informacija za donošenje odluka. U analizi se koriste sentiment leksikoni kao liste pozitivnih/negativnih reči i fraza koje pomažu u otkrivanju sentimenta, ali se moraju pažljivo upotrebljavati zbog svojih ograničenja, poput: upotrebe sarkastičnih rečenica, upotrebe reči koja može biti pozitivna u jednom domenu, a negativna u drugom. Takođe, nekada reč ne izražava ni pozitivan ni negativan sentiment, a nekad rečenice koje nemaju sentiment reči mogu da impliciraju mišljenja (Liu 2012).

3. RAZLIČITE PRIMENE ANALIZE SENTIMENTA

TM se primenjuje u onim oblastima gde se u velikoj količini nestrukturiranih podataka kriju korisne i vredne informacije za datu oblast, kao što su kompanije, banke, IT sektor istraživanja, političke analize, odnosi sa kupcima itd. Otkrivanjem znanja skrivenih u tekstualnim datotekama i skladištima podataka, organizacije imaju mogućnost upravljanja znanjem u smislu pravovremenog reagovanja na ekonomske situacije i mogućnost donošenja boljih odluka. SA kao TM metoda za otkrivanje konteksta tekstualnih informacija omogućava organizacijama da nadgledanjem online pisanih konverzacija razumeju sentiment, odnosno mišljenje i osećanja koja korisnici imaju prema njihovom brendu, proizvodu ili usluzi. Primena TM i SA može biti u poslovne, naučne i druge svrhe. Neke od širokog spektra poslovnih primena prikazane su u nastavku rada.

Najčešća primena SA jeste u automatizovanom detektovanju pozitivniih/negativnih stavova komitenata i uvidu u njihovo raspoloženje i preferencije spram proizvoda ili ponuđenih usluga. ***Hu i dr. (2004)*** su analizirali podatake iz evaluacije korisnika sa sajtova Amazon.com i CNet.com za 5 elektronskih proizvoda. Tačnost predviđanja sentiment orijentacije rečenica koje predstavljaju mišljenja korisnika i semantičke orijentacije prideva je 84% za svih 5 proizvoda. Kompanije koje koriste predikciju orijentacije sentimenta rečenice mogu da steknu uvid u to šta se korisnicima dopada ili ne dopada kod pojedinih proizvoda, koje proizvode kupuju, iz kojih razloga i koliko su njima zadovoljni. Na osnovu ovih informacija mogu da iskoriste pozitivne strane da unaprede svoje proizvode i povećaju prodaju i da porade na otkrivenim nedostacima. ***Younis (2015)*** je analizirao Twitter poruke koji su kupci proizvoda u Tesco-u i Asda-i (dva najveća maloprodajna lanca prodavnica u Velikoj Britaniji) pisali o pruženim uslugama tokom kupovine u period Božićnih praznika. Istraživanje je pokazalo da je korišćenjem TM i SA za analizu Twitter poruka o proizvodima i uslugama maloprodajnih lanaca moguće otkriti koje su to pozitivne i negativne strane poslovanja, što dalje omogućava da se poveća vrednost usluge za korisnike i bolje upravlja odnosima sa korisnicima. ***Isah i dr. (2014)*** su istraživali sentiment javnosti o tri proizvođača kozmetike Avon, Dove i Oral B i evaluaciju o njihova tri generička proizvoda: sapunu, kremi i dezodoransu. Podaci o proizvodima i

proizvođačima preuzeti su sa njihovih Facebook stranica i Twitter-a i analizirani su pomoću dva pristupa: klasifikacije pomoću mašinskog učenja i primenom leksikona. Pokazalo se da su u oba pristupa rezultati slično raspoređeni za negativne komentare, ali je velika razlika u razvrstavanju komentara na pozitivne i neutralne, te se pristup mašinskog učenja pokazao boljim. Ukupna tačnost klasifikacije je 83%, što govori u prilog tome da se bez čitanja velike količine ostavljenih komentara, automatizovanim pristupom, može sa visokom pouzdanošću zaključiti da li je većina korisnika zadovoljna (iskazuju pozitivan stav u komentarima) ili nezadovoljna (iskazuju negativan stav) konzumiranim proizvodima i koje su njihove dobre/loše strane. ***He i dr. (2013)*** su koristili SA da ekstrahuju korisne informacije iz bihejvioralnih obrazaca u porukama na Facebook i Twitter socijalim mrežama vezanim za komentare o donošenje odluke o kupovini pice, njenom kvalitetu, kvalitetu dostave i isporuke. Uzeli su u razmatranje tri najveća lanca picerija u pica industriji: Pizza Hut, Dominos Pizza i Papa Johns Pizza. Kao uzorak za SA koristili su kolekciju postova sa Facebook i Twitter društvenih mreža u periodu od 30 dana. Došli su do zaključka da se na Facebook sajtu korisnici više angažuju, tako da i lanci picerija tu nude više promotivnih aktivnosti i pokušavaju da se povežu sa korisnicima. Preporuke za kompanije su da konstantno prate svoje, ali i konkurentsko prisustvo na društvenim mrežama, da utvrde kompetitivni benchmarking, da prate komunikaciju na društvenim mrežama i analiziraju njihov uticaj na poslovanje. ***Stavrianou i Brun (2013)*** koristili su mišljenja i sugestije kupaca ekstrahovane iz evaluacije proizvoda da bi ih uporedili sa ostalim proizvodima i unapredili sistem preporuke proizvoda. Na uzorku od preko 7000 evaluacija za štampače 14 različitih brendova detektovana su mišljenja korisnika o određenim performansama proizvoda, a fokus je stavljen na negativna mišljenja, jer će u tim slučajevima modul za preporuku proizvoda morati da interveniše. Autori ističu da evaluacije korisnika i njihova mišljenja o proizvodu treba da budu povezana sa time u koju svrhu je ocenjeni proizvod kupljen i ukazuju na problem nemogućnosti procene da li je negativna ocena posledica prevelikih očekivanja nekog kupca ili je zaista generalno negativna. Rezultati pokazuju 93% tačnosti u klasifikovanju evaluacija korisnika o štampačima.

Narayanan i dr. (2013) su koristili SA u kombinaciji sa Naive Bayes klasifikacijom za klasifikovanje evaluacija korisnika na sajtu IMDb (www.imdb.com). Tačnost klasifikacije su povećali kombinacijom metoda poput selekcije atributa (engl. feature), korišćenja n-gram reči i efektivnog upravljanja negacijama. Koristili su setove podataka o pregledima i ocenama filmova sa sajta IMDb i to 25.000 dokumenata za trening i 25.000 dokumanata kao test set. Rezultati pokazuju da jednostavan Naive Bayes klasifikator može da poboljša brzinu i tačnost klasifikacije kod komplikovanijih modela za SA uz pravu selekciju podataka i otklanjanje beskorisnih reči. Dobili su tačnost klasifikacije skoro 89%, a ideje iz rada mogu biti primenjene u više domena klasifikacije teksta, kao na primer u oblasti unapređenja preporuke proizvoda kod elektronske trgovine, klasifikovanja knjiga, filmova i vesti prema međusobnoj sličnosti sadržaja, detekcije rizika u bankarskom sistemu i u mnogim drugim oblastima. ***Lee i dr. (2017)*** koristili su SA da bi istražili postojanje manipulativnih aktivnosti nad sentimentom u kineskoj filmskoj industriji. Autori ukazuju na postojanje lažnih ili pravih Twitter naloga iza kojih stoje ljudi plaćeni da postavljaju komentare online da bi podigli rejting filmova tzv. "Internet water army". Manipulacija sentimentom može biti pozitivna u smislu postavljanja pozitivnih Twitter poruka o sopstvenim filmovima i negativna u smislu postavljanja negativnih poruka o konkurentskim filmovima. Rezultati istraživanja pokazuju da je pozitivna manipulacija sentimentom mnogo zastupljenija, ali i da sa povećanjem konkurentnosti nivo negativne manipulacije raste većom brzinom od pozitivne. Sličnim problemom manipulacije sentimenta pomoću stvaranja hajpa bavili si se i ***Hussain i dr. (2019)*** gde su ukazali na probleme pisanja lažnih pozitivnih recenzija o proizvodima/uslugama, koji mogu da navedu korisnika da kupi proizvod koji možda ne bi kupio da nije pročitao određeni broj lažnih pozitivnih recenzija. ***Ittoo (2015)*** u svom radu pominje kako Netflix kompanija (koja pruža usluge strimovanja multimedijalnog sadržaja preko interneta) koristi SA da analizira povratne informacije i komentare članova na socijalnim mrežama i drugim online platformama. Informacije o preferencijama članova koristi za sistem preporuke i korišćenje mogućnosti da isporuči personalniji sadržaj svakom korisniku. U strateškom smislu omogućeno je upravljanje znanjem sa ciljem obezbeđivanja bolje usluge i bogatijeg sadržaja za korisnike. ***Bisio i dr. (2016)*** sproveli su SA nad sadržajno različitim knjigama sa ciljem da ekstrahuju i analiziraju podelu knjiga prema žanrovima i da implementiraju metod koji će omogućiti automatsku detekciju sličnosti i razlika između knjiga i njihovu automatsku klasifikaciju. U komercijalne svrhe SA korišćena za distribuciju knjiga po žanrovima može biti korisna za pretraživače koji bi mogli da predlože korisniku knjige koje su međusobno najsličnije, odnosno spadaju u isti žanr.

U nastavku navodimo nekoliko primera pozitivnih efekata upotrebe SA u finansijskom domenu. ***Bollen i dr. (2011)*** su analizirali da li je raspoloženje javnosti izraženo u Twitter porukama prediktivno za vrednosti DJIA (Dow Jones Industrial Average), tj. da li sentiment mikrobloga utiče na kretanje vrednosti berzanskog indeksa. Za istraživanje je korišćena kolekcija od preko 9,8 miliona Twitter poruka objavljena u

vremenskom periodu od skoro 10 meseci. Rezultati pokazuju da se tačnost predikcije kretanja DJIA indeksa znatno poboljšava kada se uzme u obzir raspoloženje javnosti. Rezultati jesu prediktivni za kretanje vrednosti indeksa, ali ne nude informacije o uzročnim mehanizmima koji povezuju raspoloženje sa DJIA vrednostima indeksa. Tačnost predviđanja dnevnih pomeranja vrednosti DJIA indeksa na zatvaranju iznosi skoro 88%, a MAPE (Mean Apsolute Percentage Error) je smanjena za više od 6%. ***Vu i dr. (2012)*** su koristili SA za otkrivanje uticaja koji imaju Twitter poruke na kretanje cena akcija 4 poznate kompanije: Apple, Google, Microsoft i Amazon. Predstavili su hibridni metod u kom su istražili preko 5 miliona dnevnih Twitter poruka na uzorku podataka od 41-og dana. Rezultati pokazuju da postoji veza između sentimenta potrošača i kretanja cene akcija pomenutih kompanija. Nizom ekspertimenata pokazan je doprinos sentimenta, NER-a i promene cena akcija na njeno budućе kretanje. Korišćenim kalsifikatorom postignut je visok nivo tačnosti - od 75% do skoro 83% za cene akcija pomenute 4 kompanije. ***Kumar i Ravi (2016)*** u svom radu pominju neke od istraživanja iz oblasti tržišta valuta i akcija. ***Evans i Lyons (2008)*** su primenjivali SA u makro vestima i kombinovali je sa vremenskim serijama numeričkih podataka da bi proučavali kretanje cena valuta na FOREX tržištu. Zaključili su da makro vesti utiču na dve trećine cena valuta. ***Gilbert i Karahalios (2010)*** su istraživali kako emocije ljudi izražene u porukama koje ostavljaju na web sajtovima utiču na mogućnost predviđanja cena akcija. Iz 20 miliona postova sa sajta LiveJournal (www.livejournal.com) ekstahovane su emocije straha, zabrinutosti i anksioznosti, da bi se na osnovu njih predvidelo kretanje berzanskog indeksa S&P 500. ***Mlodzainowski (2018)*** koristio je SA za otkrivanje uticaja koji online informacije sa finansijskih web sajtova imaju na kretanje indeksa Varšavske berze. Nedostatak pristupa je što ne uzima u obzir značenje reči u zavisnosti od konteksta. Rezultati su pokazali da sentiment ima jači uticaj na promenu indeksa u 17h u poređenju sa 9h i da postoji veza između online informacija i promene indeksa na Varšavskoj berzi. Autor smatra da efikasnost prognoze od 58% omogućava da se steknu finansijski benefiti na tržištu kapitala. ***Deng i dr. (2018)*** su istraživali da li sentiment mikrobloga StockTwits utiče na profit od akcija, da li pozitivan i negativan sentiment imaju isti uticaj na profit i da li postoji razlika između veze sentimenta i profita ako podatke posmatramo na nivou sata i na nivou dana. Istraživanje je sprovedeno nad preko 17,8 miliona poruka prikupljenih u periodu od četiri godine sa StockTwits mikroblog sajta za investitore i sa Reuters sajta za vesti (www.reuters.com). Istraživanje pokazuje dvosmernu uzročnost između mikroblog sentimenta i profita od akcija, razliku između sentimenta na nivou pojedinačne akcije i na nivou tržišta i asimetriju između pozitivnog i negativnog sentimenta korisnika mikrobloga. Rezultati istraživanja pokazali su da mikroblog sentiment, posebno negativan, ima uticaj na profit od akcija na nivou sata, ali ne na nivou dana. Takođe, pokazano je da je interakcija između mikroblog sentimenta i profita od akcija jača i traje duže na nivou tržišta, nego na nivou individualne akcije, kao i da je efekat uticaja sentimenta jači ako je sentiment negativan.

Kumar i Ravi (2016) u svom radu pominju da se u industriji finansijskih usluga TM i SA koriste za detektovanje phishing-a (krađa novca kroz zloupotrebu nečijeg identiteta i kredencijala), detekciju kompjuterske prevare, malware (zlonamernih) kompjuterskih programa i spam (neželjenih) mejlova. ***Ludl (2007)*** je analizirao 1000 phishing sajtova koristeći analizu web strane i crne liste, koja bi trebalo da pomogne u njihovom razlikovanju. ***Suarez-Tangil (2014)*** je kroz TM pristup došao do predloženog modela za klasifikovanje zlonamernih kompjuterskih programa u smart telefonima. ***Cecchini (2010)*** je koristio TM za predikciju bankrota. Predložio je model za analizu finansijskih događaja kroz kreiranje rečnika zasnovanog na informacijama o kompanijama koje su bankrotirale. ***Saha (2016)*** je predložio model za obradu bankarskih zahteva kroz TM pristup nakon što je analizirao 100 slučajeva prevare u različitim industrijama***.*** ***Nopp i Hanbury (2015)*** koristili su SA za detekciju rizika u bankarskom sistemu. Korišćena su dva pristupa: nadgledana klasifikacija i pristup zasnovan na korišćenju rečnika. Analizirani su godišnji izveštaji banke sa preko 500 pisama izvršnog direktora i godišnjim izveštajima banaka Evrozone, da bi se istražilo kako supervizori banke mogu da koriste SA za procenu rizika. Istraživanje je pokazalo da je najbolji kvantitativni indikator rizika odnos kapitala banke i aktive ponderisane rizikom, T1 (Tier 1 Capital Ratio). Zbog snažne korelacie između sentiment rezultata (nesigurnosti, negativnosti) i T1 indikatora, opisan sistem može da obezbedi potencijalno značajne podatke za makroanalizu celog bankarskog sistema. Na nivou individualne banke predikcije su relativno netačne. Nadgledana klasifikacija rizika ispravno klasifikuje 79% pisama izvršnog direktora. Ako se rezultati SVM klasifikatora agregiraju po godinama, predviđanje da će većina banaka povećati ili smanjiti T1 bude tačno za 12 od 13 godina. ***Saura i dr. (2019)*** analizirali su Twitter poruke da bi identifikovali ključne faktore koji su potrebni za kreiranje uspešnih i održivih startup kompanija. Rezultati su pokazali da su ključni pozitivni faktori: tip alata koji kompanije koriste, tehnologija koju razvijaju, rukovodstvo i empatija izvršnog direktora, kao i metodologija za razvoj projekata. Drugim rečima, da bi startup bio uspešan treba da primenjuje mašinsko učenje, veštačku inteligenciju i odgovarajuća ponašanja menadžmenta. Negativni sentiment identifikovan je po pitanju programskih jezika koje kompanije

koriste, zbog poteškoća da se pronađu eksperti u tim oblastima, kao i veliki iznosi novca koji uzimaju investitori u startup-e. Na negativni sentiment treba obratiti posebnu pažnju jer može da naškodi kompaniji. Sentiment se pokazao neutralnim po pitanju lokacije kompanije, tipa projekta, podrška startup inkubatora i razvoj biznis plana.

4. MOGUĆNOSTI PRIMENE REZULTATA ANALIZE SENTIMENTA U UNAPREĐENJU POSLOVANJA

U radu smo ukazali na velike mogućnosti primene SA i značajnu korist koju ona donosi za kompanije. Najpre smo razmotrili primenu SA za otkrivanje pozitivnih/negativnih mišljenja i stavova kupaca. Maya Angelou je jednom rekla: „Ljudi će zaboraviti šta si rekao, ljudi će zaboraviti šta si uradio, ali nikada neće zaboraviti kako si učinio da se osećaju“. Organizacije treba da otkriju koji su emocionalni okidači koji utiču na donošenje odluka kod kupaca i da učine da se kupci osećaju dobro nakon kupovine proizvoda/usluge. SA omogućava da se detektuju promene u mišljenju korisnika i da se predvidi broj kupaca koji će potencijalno prestati da kupuje proizvod/uslugu. Rezultati SA omogućavaju organizacijama da prilagode marketing strategiju i kampanju i da identifikuju prilike za korišćenje tehnika za uvećanje prodaje. Socijalne mreže, najčešće Facebook i Twitter, mogu da se koriste kao dodatni komunikacioni alat da bi se dobili uvidi u potrebe, želje korisnika i njihova ponašanja i da bi im bila pružena bolja usluga. Ako na socijalnim mrežama preovlađuju pozitivne diskusije to često vodi povećanju prihoda od prodaje i obrnuto. Otkrivanjem negativnih diskusija na društvenim medijima SA daje znak za uzbunu u realnom vremenu i omogućava organizacijama da brzo reaguju i da umanje potencijalnu štetu za kupca, ali i za samu organizaciju. Analizom dostupnih informacija o sentimentu korisnika organizacije treba da procene hitnost odgovora na sentiment, tj. da najpre reaguju na negativne evaluacije, jer one mogu da naštete organizaciji.

SA omogućava da se otkrije koji je pravi kanal promocije tj. koji kanal podržava aktivnije učestvovanje korisnika u komunikaciji i njihovo dugotrajnije povezivanje. Budući da Facebook na svom websajtu omogućava integraciju sa sistemom za elektronsku trgovinu, može postati jedan od kanala prodaje proizvoda organizacije. Pored socijalnih mreža, organizacije treba da motre na forume, blogove i vesti koji se tiču njih, ali i da prate informacije koje se tiču konkurenata. Ako organizacija otkrije negativne komentare o konkurentskom proizvodu, svoju marketing kampanju može da usmeri upravo na činjenicu da njihovi proizvodi prevazilaze taj nedostatak koji konkurentski proizvod ima. Kako su dosadašnja istraživanja pokazala, posebnu pažnju je potrebno obratiti na novi fenomen manipulacije sentimentom i na razlike u uticaju pozitivne i negativne manipulacije na stavove korisnika i poslovanje.

Jedna od prednosti korišćenja SA je i unapređenje odnosa sa korisnicima. Treba voditi računa o zadržavanju lojalnih korsinika jer oni mogu postati mikroinfluenseri i ambasadori brenda. Uvidom u semantičku orijentaciju i intenzitet mišljenja, organizacije mogu da poboljšaju sve aspekte poslovanja koji su loše prihvaćeni od strane kupaca i da iskoriste sve pozitivne aspekte za bolje privlačenje novih kupaca i promociju organizacije. Jedna od dobrih strana primene SA je unapređenje sistema preporuke proizvoda. Kroz primere automatske klasifikacije filmova i knjiga smo ukazali na mogućnost generalizovanja SA za automatsko preporučivanje drugih vrsta proizvoda, čime se omogućava unapređenje njihove prodaje. Pri tome je veoma važno znati u koju svrhu će se proizvodi koristiti, jer to utiče na efikasnost automatske preporuke proizvoda.

Znanja ekstrahovana iz dokumanata u finansijskoj industriji mogu da pomognu korisnicima finansijskih usluga da ne budu prevareni od strane malicioznih trećih lica, da zaštite svoje podatke na internetu i da budu blagovremeno informisani o ekonomskim kretanjima na tržištu. Predviđanje cena valuta i akcija smanjuje rizik koji proizilazi iz njihovih fluktuacija na tržištu i pomaže investitorima da donose bolje odluke. Znati kada je pravo vreme da se akcija kupi ili proda je veoma težak zadatak za investitore jer na kretanje cena akcija utiču brojni faktori: ekonomska situacija, poslovanje kompanije čijim se akcijama trguje, istorijsko kretanje cena akcija, sentiment javnosti itd. Mnoga istraživanja pokazala su da postoji pozitivna korelacija između sentimanta javnosti i kretanja cena akcija i vrednosti indeksa na berzi. Pomoću uspešnog predviđanja kretanja cena na tržištu akcija investitori i finansijski analitičari mogu da postignu bolje rezultate i da minimiziraju netačne predikcije. Primenom SA je čak moguće utvrditi i intenzitet uticaja stavova i mišljenja u vremenu na kretanje finansijskih pokazatelja, budući da je na primeru berzanskog indeksa S&P 500 praćenog na dnevnom nivou dokazano da sentiment ima veći uticaj na njegovu promenu u 17h u nego u 9h, što implicira da investitori koji donose odluke o kupovini/prodaji akcija verovatnije inkorporiraju dostupne informacije u svoju odluku u 17h. Takođe je pokazano da je uticaj sentimenta sadržanog u mikroblogovima na investitorov profit od akcija jači na nivou sata nego na nivou dana, posebno ako je negativan jer pojedinci pridaju više značaja potencijalnom gubitku nego potencijalnom dobitku istog iznosa profita.

5. ZAKLJUČAK

Analizirani primeri pokazuju da, imajući u vidu značaj donošenja odluka koje su bazirane na saznanjima za opstanak i razvoj organizacije u sve surovijem konkurentskom okruženju, automatizovana ekstrakcija znanja sa jedne strane ostavlja više vremena zaposlenima da se posvete iznalaženju kreativnih načina poboljšanja odnosa sa komitentima/konzumentima, a sa druge strane omogućava da se primenom SA dolazi do (sa)znanja koja se inače ne bi mogla otkriti, što zbog velikog obima podataka, što zbog njihove dinamike generisanja, što zbog specifičnih nestrukturiranih formata. Time se obogaćuje i proširuje paleta akcija koje organizacijama stoje na raspolaganju za unapređenja poslovanja, poput: kreiranja i zadržavanja lojalnih kupaca/korisnika, unapređenja prodaje i odnosa sa njima, unapređenja sistema za automatsku preporuku proizvoda, brz i adekvatan odgovor na negativna dešavanja i otkrivanje potencijala na tržištu u realnom vremenu, dok investitori na tržištu akcija, kao i individue, mogu da iskoriste informisanost o ekonomskim kretanjima na tržištu zarad donošenja boljih odluka i sticanja dobiti. Ovaj rad ima i izvesno ograničenje s obzirom da je zasnovan samo na pregledu literature na temu primene analize sentimenata u savremenim poslovanju, što bi moglo biti potkrepljeno i odgovarajućim budućim empirijskim istraživanjem.

LITERATURA

[1] Bisio, F., Meda, C., Gastaldo, P., Zunino, R., Cambria, E., (2016). Sentiment-Oriented Information Retrieval: Affective Analysis of Documents Based on the SenticNet Framework, Sentiment Analysis and Ontology Engineering, pp. 175-197.

[2] Bollen, J., Mao, H., Zeng, X-J., (2011). Twitter mood predicts the stock market, Journal of Computational Science, 2(1), March 2011, pp. 1-8.

[3] Deng, S., Huang, Z. (J.), Sinha, A. P., Zhao, H., (2018). Ihe Interaction Between Microblog Sentiment and Stock Returns: An Empirical Examination, MIS Quarterly Vol. 42 No 3., pp. 895-918.

[4] He, W., Zhab, S., Li, L., (2013). Social media competitive analysis and text mining: A case study in the pizza industry, International Journal of Information Management 33 (2013) 464– 472.

[5] Hu, M., Liu, B., (2004). Mining and Summarizing Customer Reviews, Proceedings of Nineteeth National Conference on Artificial Intellgience (AAAI-2004), San Jose, USA, p.755-760.

[6] Hussain, N., Mirza, H.T., Rasool, G., Hussain, I., Kaleem, G., (2019). Spam review detection techniques: a Systematic Literature Review, Applied sciences, Volume 9, Issue 5, pp. 987

[7] Isah, H., Trundle, P., Neagu D., (2014). Social Media Analysis for Product Safety using Text Mining and Sentiment Analysis, 14th UK Workshop on Computational Intelligence (UKCI).

[8] Kumar, B. S., Ravi, V., (2016). A survey of the applications of text mining in financial domain, Knowledge-Based Systems 114, 128-147.

[9] Lee, SY., Qiu, L., Whinston, A.B., (2018). Sentiment Manipulation in Online Platforms: An Analysis of Movie Tweets. Production and Operations Management, 27(3), 393-416.

[10] Liu, B., Sentiment analysis and opinion mining, (2012). Morgan & Claypool Publishers

[11] Młodzianowski, P., (2018), Study of the Influence of Online Information on the Changes in the Warsaw Stock Exchange Indexes, Folia Oeconomica nr 335(3)/2018.

[12] Narayanan, V., Arora, I., Bhatia, A., (2013). Fast and accurate sentiment classification using anenhanced Naive Bayes model. IDEAL 2013 Proceedings of the 14th International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning, Volume 8206, Pages 194-201.

[13] Nopp, C., Hanbury, A., Detecting Risks in the Banking System by Sentiment Analysis, Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, pages 591–600.

[14] Saura, J.R., Palos-Sanchez, P., Grilo, A., (2019). Detecting Indicators for Startup Business Success: Sentiment Analysis Using Text Data Mining, Sustainability 2019, 11, 917.

[15] Stavrianou, A., Brun, C., (2015). Expert Recommendations based on Opinion mining of usre-generated product reviews, Computational Intelligence, Volume 31, Number 1.

[16] Vu, T.T., Chang, S., Ha, Q. T., Collier, N., (2012) An Experiment in Integrating Sentiment Features for Tech Stock Prediction in Twitter, Proceedings of the Workshop on Information Extraction and Entity Analytics on Social Media Data, pages 23–38.

[17] Younis, E. M. G, (2015). Sentiment analysis and Text Mining for Social Media Microblogs using Open Source Tools: An Empirical Study, International Journal of Computer Applications,Vol.112 -No.5.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

A METHOD FOR MANAGING SENTIMENTS BY LINGUISTIC TERM SETS AND FUZZIFIED DATABASES

MIROSLAV HUDEC[1]

[1] Faculty of Economic Informatics, University of Economics in Bratislava, Bratislava, Slovakia, miroslav.hudec@euba.sk

Abstract: *Sentiments provide valuable information about various aspects of our society. The problems are calculating intensities or positive and negative opinions, and their effective managing in a structured way, e.g., in a database. This article provides an analysis of calculating intensities of sentiments and managing them without the loss of information in a relational database. Regarding the former, we explored the transformations among linguistic terms sets of different granularities. Concerning the latter, a fuzzified relational database is considered. Thus, diverse data queries and summarizing questions can be realized.*

Keywords: *Sentiment's Intensity, Linguistic Term Set, Fuzzy Relational Database*

1. INTRODUCTION

The analyses of sentiments provide valuable insight into the opinions about various aspects of our society. For instance, financial institutions might recognize individuals' decisions and understanding (Loewenstein *et al*. 2013), national statistical institutes reveal the feeling of response burden, relevancies of surveys and willingness to participate (Torres van Grinsven and Snijkers 2015).

Although the sentiment analysis is a mature field, the open questions still exist. Namely, calculating the intensities of positive and negative sentiments; and storing them into a database, without the loss of information regarding the intensities. Thus, the stored sentiments can be efficiently queried by the flexible conditions like *select surveys considered as highly burdensome and irrelevant*, or summarized by the flexible sentences like *whether the most of low financially literate individuals have rather negative opinion about the insurance category C*. Having such information, institutions could adequately react, e.g., explain the benefits of the unpopular surveys, which may reduce unit and item non-responses; or financial institutions could better explain the benefits of unpopular insurance categories. Next, business companies might examine the less-favour services or products, whereas local authorities can recognize the most problematic topics in cities.

All mentioned cases have the following common issues: collecting opinions from a higher number of individuals (Morente-Molinera et al. 2018), transforming among different granularities of answers (Herrera and Martínez 2001), and storing uncertainties of answers in databases (Hudec and Praženka 2016). This work is focused on integrating these approaches into a framework for efficiently storing sentiments and supporting various queries and analyses. Further, flexible queries are illustrated. Under the term *topic* we may consider surveys (e.g., in official statistics), products, services, insurance categories and so forth.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 2 is focused on transforming intensities of opinions between linguistic term sets of different granularity, whereas Section 3 is dedicated to managing intensities expressed by fuzzy sets in a relational database extended by a fuzzy meta-model. Section 4 provides short discussion, whereas Section 5 concludes this paper.

2. FORMALIZING THE INTENSITIES OF OPINIONS BY THE LINGUISTIC TERM SETS

In the sentiment analyses a variety of methods has been developed, e.g., (Torres van Grinsven and Snijkers 2015, Gelbard *et al*. 2018). Such methods usually recognize positive neutral and negative sentiments, but not their respective intensities. Hence, a Linguistic Term Set (LTS) consisted of three terms (LTS_3): *positive*, *neutral* and *negative* usually represents the initial sentiment collected from the respondents, or scrapped from websites. It is suitable for rough analyses and a quick view on the problem, whereas a more detailed LTSs consisted of higher numbers of granules might be a valuable support for the deeper analyses. For instance, questionnaires designers might recognize which questionnaires have significant negative opinion, marketers

might recognize the most problematic products, and insurance agencies might recognize the main reasons for rejecting particular insurance products. The objective of this work is not to provide the answers for these questions, but rather to provide the framework for managing intensities of opinions.

A more detailed LTS consisted of a larger number of terms causes a smoother insight into intensities. For instance, the term set of five terms is LTS_5 = {very negative, negative, neutral, positive, very positive}, whereas the term set of seven terms might be LTS_7 = {very negative, negative, more neutral than negative, neutral, more neutral than positive, positive, very positive}. Thus, the inevitable task is transforming from one LTS to another. In this work, we adopted the method proposed in (Herrera and Martínez 2001). Linguistic modelling (Zadeh 1975a, Zadeh 1975b) is a valuable technique when we try to reduce the communication gap between users and data sets. Thanks to it, diverse users can examine intensities by linguistic terms instead of numbers.

The focus of this work is on the transformation among term sets and manipulation of intensities of sentiments in relational databases. The collected opinions or sentences are usually divided into the positive, negative and neutral words (Morente-Molinera *et al*. 2018). Let us have for the illustrative purpose hypothetical insurance products (S_1 – S_5). For these products we examine the features like feeling of non-necessity and coinsurance. The illustrative data are shown in Table 1. If we examine surveys, then the features might be response burden and relevance of survey for the society.

Table 1: Number of positive, neutral and negative words related to the feeling of non-necessity for hypothetical products

Product	Number of positive words	Number of neutral words	Number of negative words
S_1	*10*	*2*	*4*
S_2	*1*	*2*	*13*
S_3	*11*	*8*	*0*
S_4	*15*	*0*	*1*
S_5	*4*	*4*	*7*

The first step is calculating proportions or intensities of terms in LTS consisted of three elements: positive, neutral and negative as

$$\mu(t_i^j) = \frac{\text{count}(t_i^j)}{\sum_{j=1}^{3} \text{count}(t_i^j)} \tag{1}$$

where t_i^j is *j*th term (positive, neutral, negative) for the sentiment regarding the considered attribute, in our case (Table 1) the feeling of non-necessity for *i*th product.

The second step is transformation from the initial LTS_3 into the finer granulation. In our example, transformation into the LTS_5 consisted of five terms: very negative, negative, neutral, positive and very positive. For this purpose, the 2-tuple linguistic representation suggested in (Herrera and Martínez 2001) is applied. The conversion function is

$$\beta_T = \frac{\beta_I - 1}{I - 1}(T - 1) + 1 \tag{2}$$

where I is the number of terms in the initial LTS, T is the number of terms in the target LTS and β is the aggregation between the indexes of terms and their intensities. In the initial term set, the term *negative* has index 1, *neutral* 2 and *positive* 3. The target LTS_5 has the following assigned indexes: *very negative* 1, *negative* 2, *neutral* 3, *positive* 4 and *very positive* 5. Consequently, the intensities of terms i and i + 1 that have intensities greater than zero are (Herrera and Martínez 2001)

$$\mu(t_i^j) = 1 - (\beta_T - i) \text{ and } \mu(t_{i+1}^j) = 1 - ((i-1) - \beta_T) \tag{3}$$

Therefore, the solution for data in Table 1 is shown in Table 2. For instance, the opinion for product S_5 is a bit more neutral than negative (i.e. vector (0, 0, 0.596, 0.404, 0)). Further, we see not only that opinions for products S_3 and S_4 are positive, but also that the intensity of positive is significantly higher for S_4. Similarly, we can compute sentiments for the other considered features.

We should emphasise that LTSs should meet several requirements. More precisely, they should be strictly monotone, linear and balanced. In addition, the cardinality should be "the magical number seven plus or minus two" (Cox 1980, Miller 1956).

In order to query, analyse, and evaluate surveys, the features and their intensities should be stored in a structured way. The next section is focused on storing this kind of uncertainty in a relational database.

Table 2: The intensities of sentiments related to the feeling of non-necessity from Table 1

Products	$\mu_{(\text{very positive})}$	$\mu_{(\text{positive})}$	$\mu_{(\text{neutral})}$	$\mu_{(\text{negative})}$	$\mu_{(\text{very negative})}$
S_1	*0*	*0.29*	*0.79*	*0*	*0*
S_2	*0*	*0*	*0*	*0.5*	*0.5*
S_3	*0.158*	*0.842*	*0*	*0*	*0*
S_4	*0.752*	*0.248*	*0*	*0*	*0*
S_5	*0*	*0*	*0.596*	*0.404*	*0*

3. MANAGING SENTIMENTS IN A FUZZZFIED RELATIONAL DATABASE

This section explains the proposed way for storing data about opinions and their respective intensities in a structured way – in relational databases – and illustrates querying sentiments.

Generally, sentiments can be managed by the fuzzy ontology and fuzzified databases. A fuzzy ontology is a tool that can be used to represent imprecise information in an organized way suitable for accessing, querying and decision support (Morente-Molinera *et al*. 2015). On the other hand, each product, survey or even virtual topic is expressed by a number of attributes of different data types (e.g., identifier, name, frequency, target audience) to which we add evaluated sentiments. Such data are efficiently managed in any relational database, except the sentiments' intensities, because the integrity rules (Date 2006) do not allow imprecise or multi-valued attributes to be directly stored.

3.1. Storing data into a fuzzy-meta model

The intensities shown in Table 2 can be expressed by fuzzy sets. When the universal set is finite, fuzzy set constructed on this set can be expressed by counting elements and their respective membership degrees

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X \wedge \mu_A(x) \in (0,1]\} \tag{4}$$

where X is a universal set of all possible terms. The fuzzy set expressing non-necessity for S_1 is {(positive, 0.29), (neutral, 0.79)}.

Thus, the solution is the so-called *fuzzy meta-model*, an add-on which may extent any relational database (Hudec and Praženka 2016, Škrbić *et al*. 2011). In this way, imprecise values of multi-granular linguistic terms (3) shown in Table 2 can be stored in the fuzzy meta-model as fuzzy sets (4) and linked by the primary-foreign keys, as is shown in Figure 1 to the rest of attributes. The sentiment related to the feeling of non-necessity for S_1, S_2 and S_3 correspond to the values in Table 2.

In Figure 1 the *participation* attribute indicates, whether, in the case of damage on goods, client should cover part of expenses; *frequency* means, whether the payment is realized monthly or yearly; *coinsurance* is an attribute explaining the sentiment of this requirement of an insurance institution. In addition, this model allows storing so-called fuzzy numbers (an imprecision different from errors). For example, attribute *coverage* for a particular product might be expressed as: most likely 25 %, but for sure not lower than 10 % and not higher than 35 % (a triangular fuzzy set).

In this way, we are able to store intensities of sentiments in any relational database management system.

PRODUCT

id_pr	name	participation	frequency	category	...	*not necess*	*coinsurance*	*willingness*
1	s 1	yes	monthly	c 4	...	1001	2001	3001
2	s 2	no	yearly	c 12	...	1002	2002	3002
3	s 3	yes	monthly	c 7	...	1003	2003	3003

FUZZY_LINK

fuzzy_id	id_type
1001	6
1002	6
1003	6
2001	6
2002	6
2003	6
3001	6
3002	6
3003	6

FUZZY_TYPE

fuzzy_id	id_type
1	triangular
2	trapezoidal
3	L type
4	R type
5	singleton
6	ling term

TRIANGULAR

fuzzy_id	a	m	b

fuzzy meta model

LING_TERM

fuzzy_id	very_positive	positive	neutral	negative	very_negative
1001	0	0.29	0.79	0	0
1002	0	0	0	0.5	0.5
1003	0.158	0.842	0	0	0
2001	0	0	0.3	0.7	0
2002	0.85	0.15	0	0	0
2003	0	0	0.7	0.3	0
3001	0	0	0	0	1
3002	1	0	0	0	0
3003	0	0.4	0.6	0	0

Figure 1: Sentiments managed in a relational database, where primary and foreign keys in relations are marked as bold-italic

3.2. Querying sentiments

Thus, we might use a fuzzy SQL-like query engine for queries and summaries. Examples are as follows:

- Reveal the problematic insurance products by query *select products where participation is Yes and non-necessity is possibly negative and willingness is possibly negative* by an approach which supports possibility and necessity measures suggested by, e.g., Galindo *et al*. (2006).
- Interpret the summarized information linguistically by the elastic quantifiers like *most of products requiring participation have rather negative opinion about the coinsurance* by an approach suggested in, e.g., (Hudec *et al*. 2018).

Regarding the query, let us define fuzzy set *possibly negative* as *PN* = {(neutral, 0.2), (negative, 0.75), (very negative, 1)}. By applying possibility measure on discrete fuzzy sets, classical comparison operator for attribute *participation*, and minimum function as conjunction of three atomic predicates, the solution (data from Figure 1) is S_1 with degree 0.7 and S_3 with degree 0.2. Thus, the most problematic is product S_1.

We emphasize that, this question is a illustrative one to advocate reasons for applying diverse LTSs for calculating intensities, and applying a fuzzy meta-model for storing intensities in a relational database.

4. DISCUSSION

The proposed flexible model should be evaluated on larger real-world data sets. On these sets, summarized sentences can be explored. Our intent is to evaluate this way in the ongoing research regarding the causes of decision of individuals related to insurance and in the official statistics data collection. In the case of latter, the attributes from Figure 1 are: *participation* - whether the survey is mandatory; *frequency* - how often the survey is realized; *not_necess* - the opinions about the necessity of such survey (from the respondents or from data users' perspective), *willingness* - the readiness of respondents to cooperate is such survey, etc. We can also add further fuzzy attributes, e.g., the estimated percentage of administration burden required for

filling the considered questionnaire by triangular fuzzy set: most likely *m*, but for sure not less than *a* and not greater than *b*.

Generally, this approach can be applied in a decision support system which covers a higher number of diverse participants and their opinions, or in evaluations based on the diverse users' categories. An example is evaluating usability of various software tools among departments in a company, where we expect different levels of IT skills and literacy among departments and therefore the granularities of answers should be adjusted to the properties of each group (Rakovská and Hudec 2019). For instance, three categorical answers may be provided for the departments of less skilled respondents, whereas seven categorical answers for the experts (i.e., key departments). Otherwise, less skilled ones will consider survey as a burdensome one, whereas the skilled ones will consider it as a not sufficiently detailed one. Advisably, the number of terms should be within the range of three to nine, where nine is the upper bound for the cognitive processing of information (Miller, 1956). By the aforementioned transformation (1 – 3) we are able to transform intensities of answers into the most suitable LTS and store by (4) for the queries and analyses.

5. CONCLUSION

Nowadays, many institutions are focusing their activities on surveys, and extracting opinions from a variety of data sources, e.g., respondents, social networks and web forums. The task is not only, to reveal whether opinions are positive, neutral and negative, but also to compute their intensities and express them by finer granularities. Further, these intensities should be efficiently stored together with the other attributes in a database. As a solution, this work has suggested a way for supporting sentiment analyses by the multi-granular linguistic term sets expressed as fuzzy set and managed in the fuzzified database. The database is required for efficient storing, updating, querying and revealing relevant knowledge in the different data types.

The, next step is evaluating and testing the proposed way on real-world data, i.e., in the analyses of decisions related to the insurance products and categories as well as in the official statistics data collection.

Acknowledgement

This paper was partially supported by the project VEGA 1/0466/19 entitled "The causes and consequences of suboptimal financial decisions of individuals with an emphasis on insurance decision" by the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic.

REFERENCES

[1] Cox E.P. 1980. The optimal number of response alternatives for a scale – A review. Journal of Marketing Research, 17, 47-422.

[2] Date C.J. 2006. Date on Databases: Writings 2000 - 2006, Apress, New York.

[3] Galindo J., Urrutia A., Piattini M. 2006. Fuzzy Databases – Modeling, Design and Implementation, Idea Group Publishing, Hershey.

[4] Gelbard R., Ramon-Gonen R., Carmel, A., Bittmann R.M., Talyansky R. 2018. Sentiment analysis in organizational work: Towards an ontology of people analytics, Expert Systems e12289.

[5] Herrera F., Martínez L. 2001. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B 31, 227–234.

[6] Hudec, M., Bednárová, E., & Holzinger, A. (2018) Augmenting Statistical Data Dissemination by Short Quantified Sentences of Natural Language. Journal of Official Statistics, 34, 981-1010.

[7] Hudec M., Praženka D. 2016. Collecting and Managing Fuzzy Data in Statistical Relational Databases, Statistical Journal of the IAOS 32, 245–255.

[8] Loewenstein, G., Friedman, J.Y., McGill, B., Ahmad, S. Linck, S., Sinkula, S., Beshears, J., Choi, J.J., Kolstad, J., Laibson, D., Madrian, B.C., List, J.A., & Volpp, K. (2013) Consumers' misunderstanding of health insurance. Journal of Health Economics, 32, 850–862.

[9] Miller, G. 1956. The magical number seven, plus or minus two. Some limits on our capacity for processing information, Psychological Review 63(2), 81–97.

[10] Morente-Molinera J.A., Kou G., Pérez I.J., Samuylov K., Selamat, A., Herrera-Viedma E. (2018). A group decision making support system for the Web: How to work in environments with a high number of participants and alternatives, Applied Soft Computing 68, 191-201.

[11] Morente-Molinera, J.A., Pérez, I.J., Ureña, M.R.. Herrera-Viedma, E. (2015) Building and managing fuzzy ontologies with heterogeneous linguistic information. Knowledge-Based Systems, 88, 154–164.

[12] Rakovská E., Hudec M. 2019. Two approaches for the computational model for soft-ware usability in practice, in K. P., J. Kacprzyk, L. K´oczy, R. Mesiar and R.Wisniewski (Eds), Information Technology, System Research and Computational Physics, Springer, in press.

[13] Škrbić S., Racković M., Takači A. 2011. Towards the methodology for development of fuzzy relational database applications, Computer Science and Information Systems 8, 27-40.

[14] Torres van Grinsven, V., & Snijkers, G. (2015) Sentiments and perceptions of business respondents on social media: An exploratory analysis. Journal of Official Statistics, 31, 283–304.

[15] Zadeh, L.A., 1975a. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. Information sciences 8, 199-249.

[16] Zadeh, L.A., 1975b. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-II. Information sciences 8, 301-357.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.
UNIVERZITET U BEOGRADU FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

SELEKCIJA ATRIBUTA U PROCESU MAŠINSKOG UČENJA PRIMENOM SOFTVERSKOG ALATA WEKA

THE ATTRIBUTES SELECTION IN THE MACHINE LEARNING PROCESS USING WEKA SOFTWARE TOOL

SLAĐANA JANKOVIĆ[1], ANA UZELAC[2], SNEŽANA MLADENOVIĆ[3], STEFAN ZDRAVKOVIĆ[4]

[1] Saobraćajni fakultet, Beograd, s.jankovic@sf.bg.ac.rs, [2] Saobraćajni fakultet, Beograd, ana.uzelac@sf.bg.ac.rs,
[3] Saobraćajni fakultet, Beograd, snezanam@sf.bg.ac.rs, [4] Saobraćajni fakultet, Beograd, s.zdravkovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Jedna od najprimenjenijih oblasti Big Data analize je prediktivna analiza. Izgradnjom modela nadgledanog mašinskog učenja nad označenim skupovima podataka, i njihovom primenom nad novim – neoznačenim skupom podataka, može se izvršiti predikcija zavisnih varijabli. Međutim, neki atributi iz skupa podataka značajnije utiču na rezultate predikcije, od drugih atributa. Selekcija atributa predstavlja proces odabira podskupa relevantnih atributa, koji može da dovede do poboljšanja performansi prediktivnih modela. Da bi se odabrao što bolji podskup atributa razvijeni su evaluatori koji se mogu svrstati u dve velike grupe: oni koji vrše rangiranje atributa i oni koji selektuju podskup relevantnih atributa. Cilj ovog istraživanja je da na primeru skupa podataka o uvozu i izvozu u prehrambenoj industriji Republike Srbije istraži mogućnosti i uporedi različite evaluatore atributa, koji su raspoloživi u softverskom alatu Weka. U prvoj fazi istraživanja, nad početnim skupom podataka, koji sadrži sve raspoložive atribute, kreirani su, evaluirani i testirani različiti prediktivni modeli. Primenom šest različitih evaluatora atributa izvršena je selekcija atributa, a nad selektovanim atributima izgrađeni su novi modeli mašinskog učenja. Performanse novoizgrađenih modela upoređene su kako međusobno tako i sa performansama modela izgrađenih nad celim skupom podataka. Istraživanje je pokazalo da selekcija atributa u softverskom alatu Weka može značajno da unapredi performanse modela nadgledanog mašinskog učenja.*

Ključne reči: *mašinsko učenje, Weka, selekcija atributa, Big Data analiza*

Abstract: *One of the most used areas of Big Data analysis is a predictive analysis. Supervised machine learning models can be built on labeled datasets and used on new – unlabeled datasets with the aim to predict dependent variables. However, some attributes have significantly higher impact on the predicted results than the others. Selecting attributes represent the process of selecting subset of relevant attributes, that can lead to the performance enhancement of predictive models. In order to get the best subset of attributes a few evaluators were developed and all of them can be divided in two groups: evaluators that rank attributes and those that select the subset of relevant attributes. The aim of this research is to compare different attribute evaluators, that exist in the Weka software using available dataset of the export and import in food industry in the Republic of Serbia. In the first phase of the research different predictive models on initial dataset with all attributes were created, evaluated and tested. Attributes were selected using six different evaluators and for each of them new machine learning models were built. The performances of the newly built models were compared not only with each other, but also with the performances of model built on the complete dataset. The research has shown that the attribute selection using software tool Weka can significantly enhance performance of the supervised machine learning model.*

Keywords: *machine learning, Weka, attribute selection, Big Data analytics*

1. UVOD

U mašinskom učenju i statistici, selekcija svojstava (eng. *features selection*), poznata još i pod nazivima selekcija promenljivih (eng. *variable selection*) i selekcija atributa (eng. *attribute selection*) predstavlja proces odabira podskupa relevantnih atributa, koji će se koristiti u izgradnji modela mašinskog učenja (Hall 1999). Na početku kreiranja prediktivnog modela postavlja se pitanje: koje atribute, od svih atributa raspoloživog skupa podataka, treba koristiti u kreiranju prediktivnog modela? Da bi se došlo do odgovora na ovo pitanje svakako je potrebno duboko poznavanje domena na koji se odnosi, ali to najčešće nije i dovoljno. Čak ni eksperti u posmatranom domenu nisu uvek u mogućnosti da procene koji atributi su relevantni i

doprinose tačnosti predikcije, a koji je umanjuju (Miao and Niu 2016). Zbog toga je razvijen niz softverskih alata – evaluatora atributa, koji primenjuju različite metode ocenjivanja atributa i omogućavaju automatizovanu selekciju atributa (Cai *et al.* 2018). Termin "selekcija atributa" i njegovi, gore navedeni sinonimi, odnose se na proces odabira atributa korišćenjem računara i softverskih alata (Molina *et al.* 2002).

Od selekcije atributa u procesu mašinskog učenja očekuju se sledeće koristi: smanjenje kompleksnosti modela i posledično lakša interpretacija modela, unapređenje tačnosti modela, skraćenje vremena potrebnog za treniranje i primenu modela, redukovanje zahteva u pogledu skladišnih kapaciteta neophodnih za čuvanje podataka, smanjenje učestalosti pojavljivanja problema poznatog pod nazivom "previše prilagođeni model", olakšana vizuelizacija i razumevanje podataka i unapređenje performansi prediktivnih modela. Prema tome, selekcija atributa značajna je za: administratore baza podataka, analitičare podataka (eng. *data scientist*) koji kreiraju modele mašinskog učenja, programere koji razvijaju sisteme za podršku odlučivanju, bazirane na modelima mašinskog učenja i, na kraju, za same korisnike takvih softverskih sistema.

U ovom istraživanju proučavane su mogućnosti softverskog alata *Weka* namenjenog za otkrivanje zakonitosti u podacima (eng. *data mining*). *Weka* (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) je softver otvorenog koda, kreiran na Univerzitetu Waikato na Novom Zelandu. Ovaj softver predstavlja kolekciju algoritama mašinskog učenja koji se koriste u poslovima otkrivanja zakonitosti u podacima. Za ovaj softver odlučili smo se jer je lak za rukovanje, otvorenog koda i poseduje sve alate koji su neophodni za izvršavanje poslova u procesu mašinskog učenja. Pored alata koji omogućavaju pripremu podataka, klasifikaciju, regresiju, klasterovanje, vizuelizaciju, *Weka* poseduje i jedan broj alata za odabir atributa (The University of Waikato 2018). Ulogu selekcije atributa u procesu mašinskog učenja istraživali smo na primeru predikcije obima spoljne trgovine Republike Srbije. Analizirali smo performanse prediktivnih modela, pre i nakon primene različitih metoda selekcije atributa u softverskom alatu *Weka*.

U drugoj sekciji rada opisane su korišćene metode selekcije atributa, dostupne u softverskom alatu *Weka*. Metodologija, prema kojoj je izvršena selekcija atributa, predstavljena je u trećoj sekciji, dok su numerički rezultati istraživanja prikazani u četvrtoj sekciji rada. U poslednjoj sekciji dati su zaključci o mogućnostima i efektima koji se mogu očekivati od primene određenih metoda selekcije atributa u softverskom alatu *Weka*.

2. METODE SELEKCIJE ATRIBUTA U SOFTVERSKOM ALATU WEKA

Metode selekcije pogodnog podskupa atributa, prema međusobnom odnosu selekcije atributa i algoritma učenja, dele se u tri osnovne grupe: metode filtriranja (eng. *filter methods*), metode omotača (eng. *wrapper methods*) i ugrađene metode (eng. *embedded methods*) (Brownlee 2014).

Kod metoda filtriranja vrednost atributa heuristički se procenjuje analizom opštih karakteristika podataka iz skupa za učenje (Lazar et al. 2012). Kod metode omotača, podskup atributa bira se prema proceni tačnosti predviđanja koju daje izabrani klasifikator, nakon učenja pravila za svaki razmatrani podskup atributa. Učenje pravila vrši se nakon selekcije najbolje ocenjenog podskupa (Kohavi and John 1997). Ugrađene metode vrše selekciju atributa u sklopu osnovnog algoritma učenja, odnosno kao deo procesa generalizacije. U ovom istraživanju korišćene su neke od metoda filtriranja i metoda omotača, pa će u nastavku detaljnije biti objašnjene ove klase metoda.

Metode filtriranja dele se u dve osnovne grupe, u zavisnosti od toga da li korišćena heuristika vrednuje pojedinačne atribute ili podskupove atributa. Prva grupa metoda odabir atributa vrši rangiranjem atributa, prema oceni vrednosti koju proizvodi heuristika. U podskup izabranih atributa ulaze oni atributi čija ocena vrednosti prelazi neki unapred odabrani prag. Generalno, nedostatak ovih metoda filtriranja je nemogućnost detekcije redundantnih atributa, zbog čega korelacija nekog atributa s drugim rezultira sličnom ocenom vrednosti za oba atributa, pa će po pravilu oba atributa biti prihvaćena ili odbačena. Sledeći nedostatak ovih metoda je da je uvrštavanje atributa u konačni podskup prepušteno spoljnim kriterijumima praga vrednosti ili broja atributa. Druga grupa metoda, čija heuristika vrednuje podskupove atributa nema problem uvrštavanja atributa u konačni podskup, jer rezultat koji vraćaju nije rangirana lista pojedinačnih atributa već najbolje rangirani podskup atributa. S obzirom da se razmatraju podskupovi atributa, moguće je proveravati i redundantnost atributa u podskupu. Metode filtriranja, koje vrednuju podskupove atributa, vremenski su zahtevnije od filtera koji vrednuju pojedinačne atribute, jer postoji potreba pretraživanja podskupova atributa. Međutim, ovi zahtevi su neuporedivo manji u poređenju sa metodama omotača.

Kod metoda omotača najvažniji nedostatak je sporost pri izvođenju, uslovljena višestrukim pozivanjem ciljnog algoritma mašinskog učenja. Iscrpno ispitivanje svih mogućih podskupova prihvatljivo je za mali broj atributa, jer je složenost takvog postupka iz klase složenosti NP-težak. Smatra se da metode omotača omogućavaju postizanje nešto boljih performansi klasifikacije, zbog tesne povezanosti s ciljnim algoritmom mašinskog učenja (Hall 1999).

Selekcija atributa u softverskom alatu *Weka* započinje odabirom evaluatora atributa i metode pretrage (Bouckaert *et al.* 2018). Evaluatori atributa dodeljuju vrednost svakom selektovanom podskupu atributa ili rangiraju atribute prema relevantnosti. Svi evaluatori atributa softverskog alata *Weka* grubo se mogu podeliti u dve grupe: one koji se odnose na rangiranje svakog pojedinačkog atributa i one čiji je cilj da izaberu podskup relevantnih atributa (Witten *et al.* 2016). U nastavku će biti opisan način rada evaluatora atributa i metoda pretrage koji su korišćeni u ovom istraživanju.

2.1. Evaluatori pojedinačnih atributa

CorrelationAttributeEval procenjuje vrednost atributa merenjem Pirsonovog koeficijenta korelacije između njega i klase. *ReliefFAttributeEval* procenjuje vrednost atributa ponavljajući uzorkovanje instanci i razmatrajući vrednost dobijenih atributa od najbližih instanci iste ili različite klase. Ova metoda dodeljuje ocenu vrednosti za svaki atribut na osnovu sposobnosti razlikovanja među klasama, a zatim bira one atribute čija vrednost prelazi korisnički definisani prag. *ClassifierAttributeEval* procenjuje vrednost atributa koristeći klasifikator koji je definisao korisnik. Evaluatori pojedinačnih atributa koriste se zajedno sa *Ranker* metodom pretrage, koja rangira atribute na osnovu njihove procenjene vrednosti (Chandrashekar and Sahin 2014).

2.2. Evaluatori podskupova atributa

Evaluatori podskupova atributa uzimaju podskup atributa i vraćaju numeričku vrednost koja dalje vodi pretraživanje. *CfsSubsetEval* procenjuje prediktivnu sposobnost svakog atributa individualno, kao i stepen međusobne redundantnosti vrednosti atributa (Witten *et al.* 2016). Ovaj evaluator preferira skupove atributa koji su u visokoj korelaciji sa klasom ali sa niskom međusobnom zavisnošću. Dok je *CfsSubsetEval* filter metoda selekcije atributa, *WrapperSubsetEval* implementira metodu omotača (Witten *et al.* 2016). *WrapperSubsetEval* koristi klasifikator za ocenu skupa atributa i koristi unakrsnu validaciju za procenu tačnosti modela učenja za svaki skup. *ClassifierSubsetEval* procenjuje podskupove atributa, koristeći klasifikator, na podacima za obuku ili na posebnom skupu podataka za testiranje.

Evaluatori koji imaju za cilj da odaberu podskup atributa koriste jednu od dve metode pretrage: *GreedyStepWise* i *BestFirst* (Bouckaert *et al.* 2018). *GreedyStepWise* vrši ili selekciju unapred ili eliminaciju unazad. Kod selekcije unapred kreće se od praznog skupa u koji se dodaje jedan po jedan atribut, koji najbolje poboljšava model, sve do trenutka kada dodavanje atributa ne doprinosi poboljšanju performansi modela. Kod eliminacije unazad krećemo od skupa svih atributa i u svakom koraku izbacujemo one koji su najmanje bitni. Proces staje kada uklanjanje atributa više ne doprinosi poboljšanju performansi modela. *BestFirst* radi slično kao i *GreedyStepWise* ali koristi i vraćanje unazad. Dok se kod *GreedyStepWise* pristupa, kroz prostor za pretragu, možemo kretati ili unapred ili unazad, *BestFirst* traži unapred od praznog skupa atributa, unazad od punog skupa, ili počinje u proizvoljnoj tački (specificiranoj listom indeksa atributa) i traži u oba pravca, uzimajući u obzir sva moguća dodavanja i brisanja pojedinačnih atributa (Witten *et al.* 2016).

3. METODOLOGIJA

Skup podataka koji smo imali na raspolaganju sadrži 772.517 instanci, a svaka od njih poseduje sledeće atribute: Uvoz/Izvoz, Carinska procedura, Registracioni broj, PIB, Naziv kompanije, Zemlja porekla, Zemlja uvoza, Zemlja izvoza, Carinska tarifa, Naziv carinske tarife, Godina, Mesec, Kvartal, Trgovačko ime, Jedinica mere, Količina, Neto težina u kg, i Iznos u EUR. U delu koji se odnosi na pripremu podataka urađeno je „čišćenje“ podataka i napravljen je jedan broj različitih *SQL* (*Structured Query Language*) upita na kompletnom raspoloživom skupu podataka. Cilj upita bio je da se grupišu i odaberu zapisi prema različitim kriterijumima. Svaki ovako dobijeni skup podataka podeljen je na deo koji je služio za učenje (zapisi koji se odnose na 2015. i 2016. godinu) i drugi deo koji je korišćen za testiranje modela (zapisi koji se odnose na 2017. godinu). *SQL* upiti, kao i skupovi podataka za učenje i testiranje, generisani su korišćenjem *Access 2016*.

Na osnovu dostupnih podataka napravljen je model mašinskog učenja s ciljem da predvidi budući obim i strukturu uvoza i izvoza prehrambenih proizvoda u Republici Srbiji. Za atribut čiju vrednost želimo da projektujemo odabran je atribut Neto težina u kg. Napravljen je skup podataka za učenje i na njega su primenjeni regresioni algoritmi za mašinsko učenje, dostupni u softverskom alatu *Weka*. Karakteristike skupa podataka za učenje „Uvoz i izvoz Thomy senfa i cappy soka od pomorandže i breskve po godini i mesecima“: ima ukupno 177 instanci; sastoji se od sledećih atributa: 1. Uvoz/Izvoz, 2. Carinska procedura, 3. Registracioni broj, 4. PIB, 5. Naziv Kompanije, 6. Zemlja, 7. Zemlja Porekla, 8. Zemlja Uvoza, 9. Zemlja

Izvoza, 10. Carinska tarifa, 11. Naziv carinske tarife, 12. Jedinica mere, 13. Suma neto težine u kg, 14. Godina, 15. Mesec, 16. Kvartal, 17. Trgovački naziv robe. Testni skup podataka sastojao se od 143 instance, a imao je identične atribute kao skup podataka za učenje. Model je naučen i ocenjen 10-strukom unakrsnom validacijom na trening skupu, a potom je dodatno ocenjen na test skupu podataka.

3.1. Opis metode

S obzirom da smo raspolagali označenim skupom podataka, u istraživanju su korišćene metode nadgledanog mašinskog učenja. Labele (klase, zavisne varijable), čije vrednosti je trebalo projektovati, su bile numeričke, pa smo mogli da koristimo one metode mašinskog učenja koje su zasnovane na regresionim algoritmima, kao što su: linearna regresija, drvo odlučivanja, neuronske mreže, itd. Evaluacija metode je rađena korišćenjem 10-struke unakrsne validacije. Nakon toga je pravljen odgovarajući model, koji je evaluiran na novom skupu podataka koji do tada nije korišćen – skupu podataka za testiranje. Uspeh predikcije je meren korišćenjem sledećih metrika: koeficijent korelacije (1), srednja apsolutna greška (2) i srednja kvadratna greška (3). Ukupan broj instanci za testiranje je n; projektovane vrednosti na testnim instancama su p_1, p_2, …, p_n; stvarne vrednosti su a_1, a_2, …, a_n; $\overline{p}$ i $\overline{a}$ su srednje vrednosti projektovanih, odnosno stvarnih vrednosti.

$$koeficijent\ korelacije = \frac{S_{PA}}{\sqrt{S_P S_A}}, gde\ je:\ S_{PA} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i-\overline{p})(a_i-\overline{a})}{n-1}, S_P = \frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i-\overline{p})^2}{n-1}, S_A = \frac{\sum_{i=1}^{n}(a_i-\overline{a})^2}{n-1} \quad (1)$$

$$srednja\ apsolutna\ greška = \frac{|p_1-a_1|+\cdots+|p_n-a_n|}{n} \quad (2)$$

$$srednja\ kvadratna\ greška = \frac{(p_1-a_1)^2+\cdots+(p_n-a_n)^2}{n} \quad (3)$$

Najbolji model odabran je korišćenjem različitih kriterijuma: performanse, robustnost (utvrđivanje da li model ima zadovoljavajuće performanse po različitim metrikama), konzistentnost (ispitivanje performansi na skupu podataka za učenje) i utvrđivanje da li model rešava početni problem.

Nakon odabira najboljeg modela, izvršene su višestruke selekcije atributa, korišćenjem različitih evaluatora atributa i metoda pretrage. Isprobano je šest različitih evaluatora atributa i za svaki od njih je napravljen novi model, nad atributima koje je taj evaluator selektovao. Prilikom odabira atributa, korišćen je ceo skup podataka za treniranje, tj. opcija „use full training set“ u alatu *Weka* (Witten *et al.* 2016). Čitav raspoloživi skup atributa je ispitivan, tj. nisu odbacivani atributi koji su očigledno međusobno zavisni (Registracioni broj, PIB i Naziv Kompanije). Ovo je urađeno sa ciljem da se ustanovi na koji način će pomenuti evaluatori oceniti ove atribute. U slučaju kada je zadatak evaluatora bio da rangira atribute, iz modela su postepeno isključivani atributi sve do onog trenutka kada se isključivanjem atributa dolazilo do smanjenja performansi modela. Prvo su odbacivani atributi koji su imali najveći rang, a izbacivanje je zaustavljano u trenutku kada odstranjivanje atributa dovede do smanjenja performansi modela.

4. REZULTATI

Prethodno opisana metodologija primenjena je na skupu podataka spoljne trgovine u prehrambenoj industriji Srbije za period od 2015. do 2017. godine. Performanse najbolja tri algoritma mašinskog učenja, primenjena na skup podataka za učenje, korišćenjem 10-struke unakrsne valikacije, prikazane su u Tabeli 1. Za svaki od njih napravljen je model koji je evaluiran korišćenjem nezavisnog testnog skupa podataka (Tabela 2).

Tabela 1: Performanse najboljih modela mašinskog učenja primenjenih na skupu podataka za učenje

Algoritam za mašinsko učenje	Aditivna regresija	Metoda potpornih vektora	Linearna regresija
Koeficijent korelacije	0,9235	0,9219	0,9115
Srednja apsolutna greška	13.785,5153	11.647,8386	14.302,0009
Srednja kvadratna greška	22.537,9951	23.239,2705	24.182,5007

Tabela 2: Performanse najboljih modela mašinskog učenja primenjenih na skupu podataka za testiranje

Algoritam za mašinsko učenje	Aditivna regresija	Metoda potpornih vektora	Linearna regresija
Koeficijent korelacije	0,9339	0,9114	0,7895

Srednja apsolutna greška	14.278,6993	20.126,9273	44.770,8357
Srednja kvadratna greška	21.433,9454	25.701,9243	55.529,8270

Sva tri modela rešavaju zadati problem, pa smo uporedili dobijene rezultate i zaključili da model zasnovan na algoritmu aditivne regresije ima najbolje performanse na testnom skupu podataka i ima najbolje metrike na skupu podataka za testiranje, dok na skupu podataka za učenje ima najbolji koeficijent korelacije. Druge dve metrike ovog modela su malo lošije u odnosu na metrike druga dva modela. Zbog ovoga je model zasnovan na algoritmu aditivne regresije izabran kao najbolji. Sledeći korak bio je selektovanje atributa, korišćenjem različitih evaluatora atributa. Prema gore opisanoj metodologiji ispitano je svih šest evaluatora atributa, koji su bili dostupni u alatu *Weka*, za dati skup podataka. U Tabeli 3 prikazani su atributi koje su izabrali evaluatori podskupova atributa, kao i performanse modela koji su napravljeni nad tim podskupovima atributa. U Tabeli 4 dati su podskupovi atributa koji su odabrani korišćenjem evaluatora pojedinačnih atributa i performanse modela koji su napravljeni nad tim podskupovima. U oba slučaja, za pravljenje modela korišćen je algoritam aditivne regresije, a evaluacija je vršena korišćenjem skupa podataka za testiranje. U Tabeli 5 prikazani su evaluatori za rangiranje atributa, kao i vrednosti i rang individualnih atributa dobijeni njihovom primenom.

Tabela 3: Rezultati selekcije atributa korišćenjem evaluatora podskupova atributa

Evaluator podskupova atributa	**CfsSubsetEval**		**ClassifierSubsetEval**		**Wrapper SubsetEval**
Metoda pretrage	Greedy Stepwise	BestFirst	BestFirst	Greedy Stepwise	GreedyStepwise BestFirst
Spisak odabranih atributa	1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 15, 16	1, 3, 7	7, 9, 15, 17	3, 7, 9, 15, 17	7, 9, 15, 17
Koeficijent korelacije	0,9110	0,4517	0,9339	0,9384	0,9339
Srednja apsolutna greška	16.941,0144	39.685,4190	14.278,6993	14.137,2986	14.278,6993
Srednja kvadratna greška	24.458,1760	53.449,2461	21.433,9454	20.764,5465	21.433,9454

Tabela 4: Rezultati selekcije atributa korišćenjem evaluatora pojedinačnih atributa

Evaluator atributa	**CorrelationAttribute Eval**	**ReliefF AttributeEval**	**ClassifierAttribute Eval**
Metoda pretrage	Rank	Rank	Rank
Spisak odabranih atributa	2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 17	9, 17	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 17
Koeficijent korelacije	0,9392	0,9398	0,9297
Srednja apsolutna greška	12.503,0500	12.580,6216	13.603,7447
Srednja kvadratna greška	20.185,1615	20.101,5686	22.215,4378

Tabela 5: Rezultati rangiranja atributa primenom različitih evaluatora pojedinačnih atributa

Evaluator atributa	**ClassifierAttributeEval**		**CorrelationAttributeEval**		**ReliefAttributeEval**	
Naziv atributa	**Vrednost atributa**	**Rang atributa**	**Vrednost atributa**	**Rang atributa**	**Vrednost atributa**	**Rang atributa**
Zemlja izvoza	31.344,2968	1	0,2561	8	0,1583	2
Zemlja porekla	25.006,4788	2	0,2502	9	0,0883	3
Trgovački naziv robe	11.373,2341	3	0,3593	4	0,2191	1
Registracioni broj	7.958,2776	4	-0,5045	13	0	6
PIB	7.958,2776	4	-0,5045	13	0	6
Naziv kompanije	7.958,2776	4	0,5045	1	0	6
Jedinica mere	7.958,2776	4	0,5045	1	0	6
Carinska tarifa	6.569,3687	5	0,5045	1	-0,0001	7
Naziv carinske tarife	6.398,0111	6	0,4339	3	-0,0131	9
Carinska procedura	2.400,6268	7	0,2694	6	-0,0217	10
Zemlja uvoza	2.398,9730	8	0,2604	7	-0,0076	8
Zemlja	2.302,8153	9	0,2765	5	0,0126	4
Uvoz/Izvoz	134,6981	10	0,0654	11	0,0049	5
Godina	59,7996	11	0,1370	10	-0,0557	11
Kvartal	-1.094,5451	12	0,0474	2	-0,1961	13
Mesec	-1.647,3333	13	-0,0386	12	-0,0727	12

Najbolje performanse je pokazao model napravljen nad podskupom atributa koji je dobijen korišćenjem *ReliefFAttributeEval* evaluatora na način opisan u metodologiji. Dobijeni model ima najveći koeficijent korelacije i najmanju srednju kvadratnu grešku, dok mu je srednja apsolutna greška malo veća od najmanje vrednosti srednje apsolutne greške koju ima model zasnovan na podskupu atributa dobijenih pomoću *CorrelationAttributeEval* evaluatora. Dobijeni model je i najmanje kompleksan budući da se sastoji od svega dva atributa. Od evaluatora koji vrše evaluaciju vrednosti podskupa atributa najbolje performanse je pokazao evaluator *ClassifierSubsetEval*, pri čemu je metoda pretrage *GreedyStepwise* imala bolje metrike od metode *BestFirst*. Ako posmatramo neke od atributa koje je *ClassifierSubsetEval* izdvojio, npr. Trgovački naziv robe, možemo da primetimo da su i evaluatori koji su zasnovani na *Ranker* metodama pretrage takođe dobro ocenili taj atribut. Evaluatori koji izdvajaju podskup atributa su u više od pola slučajeva izdvojili baš taj atribut kao bitan. Takođe, *ClassifierSubsetEval* je izabrao Registracioni broj kao bitan atribut, a izbacio atribute PIB i Naziv kompanije, što je bilo očekivano jer su ti atributi međusobno zavisni.

5. ZAKLJUČAK

Selekcija atributa predstavlja problem prisutan decenijama unazad, ali u *Big Data* eri dobija još više na značaju. *Big Data* skupove podataka karakteriše veliki broj atributa, ogroman broj zapisa ali i često izražen problem nedostajućih, "prljavih" i nekonzistentnih podataka. U tom slučaju, softversko prepoznavanje redundantnih i nerelevantnih atributa može značajno da ublaži ovu vrstu problema.

U ovom istraživanju, na primeru skupa podataka uvoza i izvoza u prehrambenoj industriji Republike Srbije, ispitana je i upoređena efikasnost šest različitih evaluatora za selektovanje atributa softverskog alata *Weka*. Rezultati istraživanja pokazali su da evaluatori za selekciju atributa softvera *Weka* mogu poboljšati performanse modela mašinskog učenja. Evaluator koji je postigao najbolje rezultate je *ReliefFAttributeEval*.

Generalni zaključak ovog istraživanja mogao bi biti da nema jedne najbolje metode za redukciju dimenzionalnosti podataka, i da izbor metode zavisi od osobina posmatranog skupa podataka i primenjenih klasifikatora. To praktično znači da, u svakom novom problemu, izabrani klasifikator treba testirati na više različitih podskupova atributa, dobijenih različitim metodama za selekciju atributa.

ZAHVALNICA

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekta pod brojem 036012.

LITERATURA

[1] Bouckaert, R., Frank, E., Hall, M., Kirkby, R., Reutemann, R., Seewald, A., & Scuse, D. (2018). WEKA Manual for Version 3-8-3. Retrieved May 14, 2019, from https://netix.dl.sourceforge.net/project/weka/documentation/3.8.x/Weka Manual-3-8-3.pdf

[2] Brownlee, J. (2014, October 6). An Introduction to Feature Selection. Retrieved May 16, 2019, from https://machinelearningmastery.com/an-introduction-to-feature-selection/

[3] Cai, J., Luo, J., Wang, S., & Yang, S. (2018). Feature Selection in Machine Learning: A new perspective, Neurocomputing, 300, 70-79.

[4] Chandrashekar, G., & Sahin, F. (2014). A survey on feature selection methods. Computers and Electrical Engineering, 40, 16-28.

[5] Hall, M. A. (1999). Correlation-based Feature Selection for Machine Learning, PhD thesis. Department of Computer Science, The University of Waikato, Hamilton, New Zealand. Retrieved May 15, 2019, from https://www.cs.waikato.ac.nz/~mhall/thesis.pdf

[6] Kohavi, R., & John, G. H. (1997). Wrappers for feature subset selection. Artificial Intelligence, 97(1-2), 273-324.

[7] Lazar, C., Taminau, J., Meganck, S., Steenhoff, D., Coletta, A., Molter, C., et al. (2012). A survey on filter techniques for feature selection in gene expression microarray analysis. IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, 9, 1106-1119.

[8] Miao, J., & Niu, L. (2016). A Survey on Feature Selection. Procedia Computer Science, 91, 919-926.

[9] Molina, L. C., Belanche, L., & Nebot, A. (2002). Feature Selection Algorithms: A Survey and Experimental Evaluation. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM '02), Washington, DC, USA, 306-313.

[10] The University of Waikato. (2018). Weka 3: Data Mining Software in Java. Retrieved May 13, 2019, from https://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/index.html

[11] Witten, I. H., Frank, E., Hall, M., & Pal, C. (2016). Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PROCENA PODSKUPOVA SVOJSTAVA KORIŠĆENJEM METODA FILTRIRANJA I METODA OMOTAČA

FEATURE SUBSETS EVALUATION USING FILTER AND WRAPPER METHODS

SLAĐANA JANKOVIĆ[1], VLADISLAV MARAŠ[2], MIRJANA BUGARINOVIĆ[3]

[1] Faculty of Transport and Traffic Engineering University of Belgrade, Belgrade, s.jankovic@sf.bg.ac.rs
[2] Faculty of Transport and Traffic Engineering University of Belgrade, Belgrade, v.maras@sf.bg.ac.rs
[3] Faculty of Transport and Traffic Engineering University of Belgrade, Belgrade, mirab@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Ovo istraživanje je deo HORIZON 2020 projekta NOESIS (Novel Decision Support Tool for Evaluating Strategic Big Data Investments in Transport and Intelligent Mobility Services). NOESIS gradi kolekciju Big Data slučajeva korišćenja na polju transporta i logistike – Big Data in Transport Library (BDTL) bazu podataka. Glavni rezultat NOESIS-a je alat za podršku odlučivanju, koji će biti u mogućnosti da proceni vrednost proizvedenu Big Data investicijama. Cilj ovog istraživanja bio je da se odaberu oni atributi (svojstva) BDTL baze podataka koji imaju najveći uticaj na predviđanje zavisnih promenljivih alata za podršku odlučivanju. Prikazana je selekcija svojstava bazirana na tehnikama mašinskog učenja. Konkretnije, izvršena je procena podskupova karakteristika zasnovana na metodama filtriranja i omotača i upoređeni su rezultati dvaju metoda. Izbor karakteristika izvršen je u softverskom alatu za data mining Weka.*

Ključne reči: *selekcija svojstava, metode filtriranja, metode omotača, Weka, NOESIS*

Abstract: *This research is a part of the HORIZON 2020 project NOESIS (Novel Decision Support Tool for Evaluating Strategic Big Data Investments in Transport and Intelligent Mobility Services). NOESIS is building a collection of Big Data use cases in the field of transport and logistics – the Big Data in Transport Library (BDTL) database. The main outcome of NOESIS is a Decision Support Tool which will be able to assess the value generated from Big Data investments. The aim of this research was to select those BDTL database attributes (features) that have the greatest impact on the prediction of dependent variables of the Decision Support Tool. Feature selection based on machine learning techniques is presented. More specifically, a feature subsets evaluation based on filter and wrapper methods was done and results of two methods were compared. The feature selection was done in a data mining software tool Weka.*

Keywords: *feature selection, filter methods, wrapper methods, Weka, NOESIS*

1. INTRODUCTION

In the field of transport and logistics, Big Data has opened a wide spectrum of opportunities ranging from supply chain optimization to evacuation modelling and pedestrian flow dynamics, and from real-time traffic management and control to new ways of understanding and predicting travel behavioural (social media, text mining) for optimizing transport operations. This research is a part of a two-year research project NOESIS (Novel Decision Support Tool for Evaluating Strategic Big Data Investments in Transport and Intelligent Mobility Services) that has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme. The main question of NOESIS is: How can we learn from existing/on-going Big Data applications and experiences in transport in order to draw conclusions and generalize about the potential value of Big Data applications in different transport contexts, areas and use cases (NOESIS Project Consortium 2018)?

NOESIS is building a collection of Big Data use cases in the field of transport and logistics. The NOESIS use cases are described in the Big Data in Transport Library database by a large number of attributes, divided into the following categories: General information, Transport-related information, Transport challenges faced with the use case, Data-related information, Privacy, security and governance information and Value creation. The main outcome of NOESIS is a Decision Support Tool which will be able to assess the value generated from Big Data investments, taking as input the specific characteristics and contextual information of the transport system under evaluation and associating it with a predefined set of use cases with similar

characteristics by employing a number of machine learning techniques. As dependent variables (classes, scores) in machine learning models, NOESIS use cases' attributes from the Value creation category of information, were used. As independent variables (features) NOESIS use cases' attributes from the first five categories of information were used. These categories of information consist of 65 attributes. To reduce the complexity of a Decision Support Tool and to improve the accuracy of a machine learning model it was necessary to perform an attribute (feature, variable) selection. There are many potential benefits of feature selection: reducing the complexity of a model and making it easier to interpret, improving the accuracy of a model if the right subset is chosen, reducing training and utilization times, reducing the measurement and storage requirements, reducing overfitting, facilitating data visualization and data understanding, defying the curse of dimensionality to improve prediction performance (Brownlee 2014).

NOESIS use cases' feature selection was done in two rounds: first round - based on expert opinion and on a dataset analysis, second round - based on statistical and machine learning analysis.

In the second section of this paper, feature subsets evaluation filter and wrapper methods were described. The third section of this paper presents the second round of the NOESIS use cases' attributes selection – selection based on machine learning analysis. The last section contains the main conclusions derived from the results of this research.

2. FEATURE SELECTION ALGORITHMS

The feature selection algorithms (FSAs) can be classified according to the kind of output they yield: (1) those algorithms giving a (weighed) linear order of features and (2) those algorithms giving a subset of the original features (Cai *et al.* 2018). The purpose of FSA is to identify relevant features according to a definition of relevance (Miao and Niu 2016). The relationship between FSA and the inducer chosen to evaluate the usefulness of the feature selection process can take three main forms: filter, wrapper and embedded (Brownlee 2014). This research is focused on the filter and wrapper methods.

2.1. Filter methods

Filter methods use variable ranking techniques as the principle criteria for variable selection by ordering (Chandrashekar and Sahin 2014). Filter methods are generally used as a pre-processing step. The features are ranked by the score and either selected to be kept or removed from the dataset. The selection of features is independent of any machine learning algorithms (Figure 1). With filter methods features are selected on the basis of their scores in various statistical tests for their correlation with the outcome variable (Lazar *et al.* 2012). Some of those tests are shown in Table 1.

Figure 1: Feature selection – filter methods

Table 1: Statistical tests for calculating correlation between feature and outcome variable

Feature\Outcome variable	Continuous	Categorical
Continuous	Pearson's Correlation	LDA
Categorical	ANOVA	Chi-Square

- Pearson's correlation: It is used as a measure for quantifying linear dependence between two continuous variables X and Y. Its value varies from -1 to +1.
- Linear discriminant analysis (LDA): It is used to find a linear combination of features that characterizes or separates two or more classes (or levels) of a categorical variable.
- Analysis of variance (ANOVA): It is similar to LDA except for the fact that it is operated using one or more categorical independent features and one continuous dependent feature. It provides a statistical test of whether the means of several groups are equal or not.
- Chi-Square: It is a is a statistical test applied to the groups of categorical features to evaluate the likelihood of correlation or association between them using their frequency distribution.

2.2. Wrapper methods

Wrapper methods consider the selection of a set of features as a search problem, where different combinations are prepared, evaluated and compared to other combinations (Kohavi and John 1997). We try

to use a subset of features and train a model using them (Figure 2). Based on the inferences that we draw from the previous model, we decide to add or remove features from our subset. A predictive model is used to evaluate a combination of features and assign a score based on model accuracy.

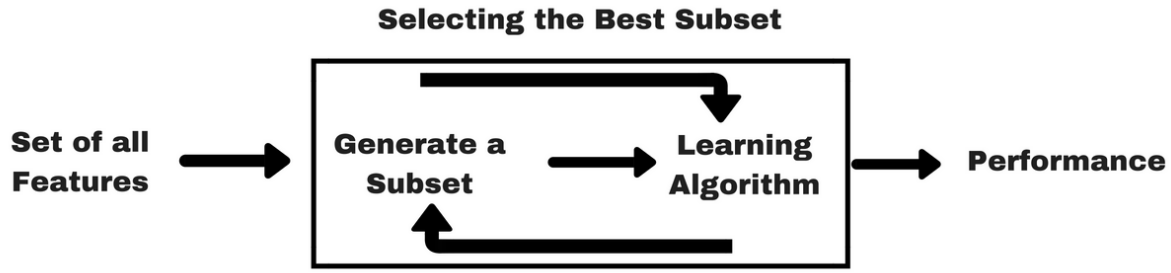


Figure 2: Feature selection – wrapper methods

3. FEATURE SELECTION IN THE NOESIS BIG DATA IN TRANSPORT LIBRARY DATASET

The NOESIS Use cases are described in the *Big Data in Transport Library* database by a large number of attributes, divided into the following categories: General information (e.g. Use case title, Big Data application(s), Big Data service/solution, Stakeholders, Organization type, Business sector), Transport-related information (e.g. Transport mode(s), Transport sector, Specific user problem/feature addressed, Study area, Time horizon until implementation), Transport challenges faced with the use case (e.g. Environment and health challenges, Safety and security challenges, Transport management and operations challenges, Transport policy and planning challenges, Funding, financing, cost efficiency challenges, Social/psychological aspects challenges, Data-related challenges), Data-related information (e.g. Type of information, Existing data gap, Data source, Data size, Data velocity, Data veracity, Variable sources, Data variety, Relational data management system, Semi-structured data storage type, Unstructured data storage type, Data processing technique/tool, Data analysis method), Privacy, security and governance information (e.g. Current personal privacy concern level, Business confidentiality problem level, Current data openness level) and Value creation information (e.g. Application period, Capex, Financing of capex, Opex, Financing of opex, Final clients, Life-cycle costs savings, More revenue, New business opportunities for own organization, To better know clients/users, Improve Know How, To improve supervision and surveillance, To improve safety & security, To reduce environmental impacts, To improve quality of service, Travel time savings, Job creation).

NOESIS project was conduct a Big Data ("Learning from Data") exercise in order to understand the factors (the so-called "features") which are relevant and crucial for generating value from Big Data applications in transport. Therefore, as dependent variables (classes, scores) NOESIS Use cases' attributes from the above mentioned Value creation category of information were selected. The remaining 65 NOESIS Use cases' attributes could be used as independent variables (features). Some of them were listed in the previous paragraph, as examples. To reduce the complexity and to improve the accuracy of future machine learning models for prediction, it was necessary to perform a features (attributes) selection. In the First round of feature selection, based on expert opinion and on a dataset analysis, as independent variables, an initial set of 20 NOESIS Use cases' attributes are selected: Organization type, Modes, Sector, Study area, Time horizon until implementation, Data analysis method, Data processing technique tool, Data source, Data variety, Data velocity, Data veracity, Existing data gap, Variable sources, Current personal privacy concerns level, Business confidentiality problems level, Current data openness level, Business processes, Framework for privacy issues, Long term vision and Structure for managing projects.

The aim of the Second round of feature selection was to choose a set of most relevant independent variables (from the previously selected set of 20 NOESIS Use cases' attributes). For attributes selection in the Second round we have selected software tool called Weka. Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) is an open source software issued under the GNU General Public License. Weka is a collection of machine learning algorithms for data mining tasks. It contains tools for data preparation, classification, regression, clustering, association rules mining, visualization and feature selection (Bouckaert et al. 2018). We have selected Weka because it is a user friendly, open source software tool and comprehensive collection of data pre processing and modeling techniques. Attribute selection in Weka involves searching through all possible combinations of attributes in the data to find which subset of attributes works best for prediction. To do this, two objects must be set up: an attribute evaluator and a search method (Bouckaert et al. 2018). The

evaluator determines what method is used to assign a worth to each subset of attributes. Subset evaluators take a subset of attributes and return a numerical measure that guides the search. The search method determines what style of search is performed.

3.1. Attribute subsets evaluation based on filter methods

In this section NOESIS Use cases' attribute subsets evaluation based on *CfsSubsetEval* (Correlation-based Feature Subset Selection Evaluator) evaluator and *BestFirst* search method is shown. Evaluator *CfsSubsetEval* evaluates the worth of a subset of attributes by considering the individual predictive ability of each feature along with the degree of redundancy between them (Witten et al. 2016). The objective is to reduce feature-to-feature correlation (r_ff) and increase feature-to-class correlation (r_fc). The criteria is defined using Pearson's coefficient which is essentially a ratio: r_fc / r_ff. A higher ratio indicates a better subset. This evaluator implements filter method based on Pearson's correlation that is mentioned in Section 2.1. *BestFirst* search method searches the space of attribute subsets by greedy hillclimbing augmented with a backtracking facility. *BestFirst* may start with the empty set of attributes and search forward, or start with the full set of attributes and search backward, or start at any point and search in both directions. As examples, the results of NOESIS Use cases' attribute subsets evaluations based on *CfsSubsetEval* evaluator and *BestFirst* search method, for three selected classes, are given in Table 2.

Table 2: The results of attribute subsets evaluations based on filter methods for three selected classes

Class (nominal)	**Job creation**	**To better know clients**	**Travel time savings**
Total number of subsets evaluated	198	145	188
Merit of best subset found	0.593	0.527	0.612
Number of selected attributes	9	5	9
Selected attributes	Data analysis method, Data processing technique tool, Data source, Data variety, Data velocity, Existing data gap, Variable sources, Current data openness level, Business processes	Data analysis method, Data processing technique tool, Data source, Data variety, Structure for managing projects	Study area, Data analysis method, Data processing technique tool, Data source, Data variety, Data velocity, Variable sources, Current personal privacy concerns level, Structure for managing projects

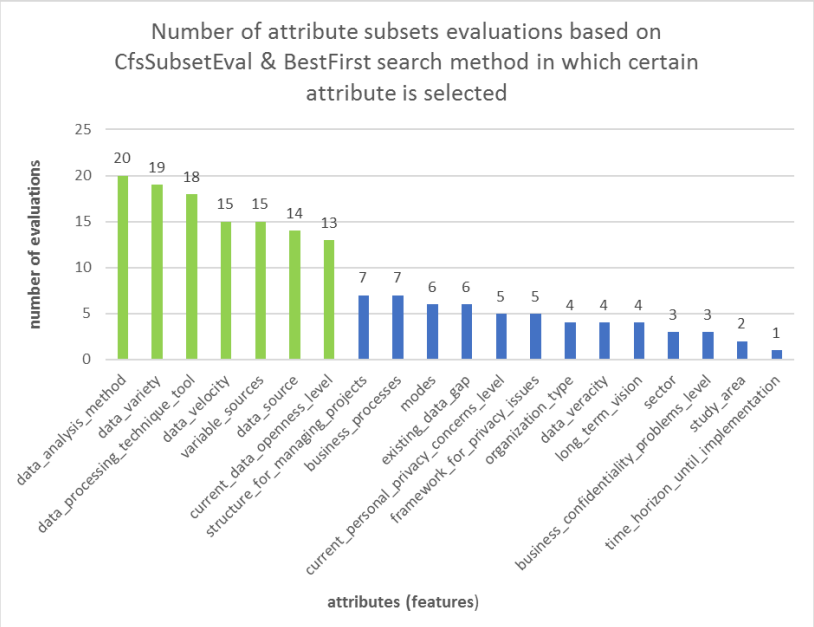


Figure 3: Number of attribute subsets evaluations based on CfsSubsetEval & BestFirst search method in which certain attribute is selected

As we can see in Figure 3, some attributes have been singled out as more frequent than others. According to attribute subsets evaluation based on *CfsSubsetEval & BestFirst* search method in Weka, the next NOESIS Use cases' attributes are selected: Data analysis method, Data variety, Data processing technique tool, Data velocity, Variable sources, Data source, Current data openness level.

3.2. Attribute subsets evaluation based on wrapper methods

In this section NOESIS Use cases' attribute subsets evaluation based on *WrapperSubsetEval* evaluator and *BestFirst* search method is shown. Evaluator *WrapperSubsetEval* evaluates attribute sets by using a learning scheme. Cross validation is used to estimate the accuracy of the learning scheme for a set of attributes (Witten et al. 2016). As examples, the results of NOESIS Use cases' attribute subsets evaluations based on *WrapperSubsetEval* evaluator and *BestFirst* search method, for three selected classes, are given in Table 3. As we can see in Figure 4, some attributes have been singled out as more frequent than others. According to attribute subsets evaluation based on *WrapperSubsetEval & BestFirst* search method in Weka, the next NOESIS Use cases' attributes are selected: Data variety, Variable sources, Sector, Data veracity.

Table 3: The results of attribute subsets evaluations based on wrapper methods for three selected classes

Class (nominal)	**Job creation**	**To better know clients**	**Travel time savings**
Total number of subsets evaluated	166	147	136
Merit of best subset found	0.612	0.592	0.612
Number of selected attributes	4	3	3
Selected attributes	Time horizon until implementation, Data analysis method, Existing data gap, Business processes	Data analysis method, Data veracity, Existing data gap	Modes, Data source, Data variety

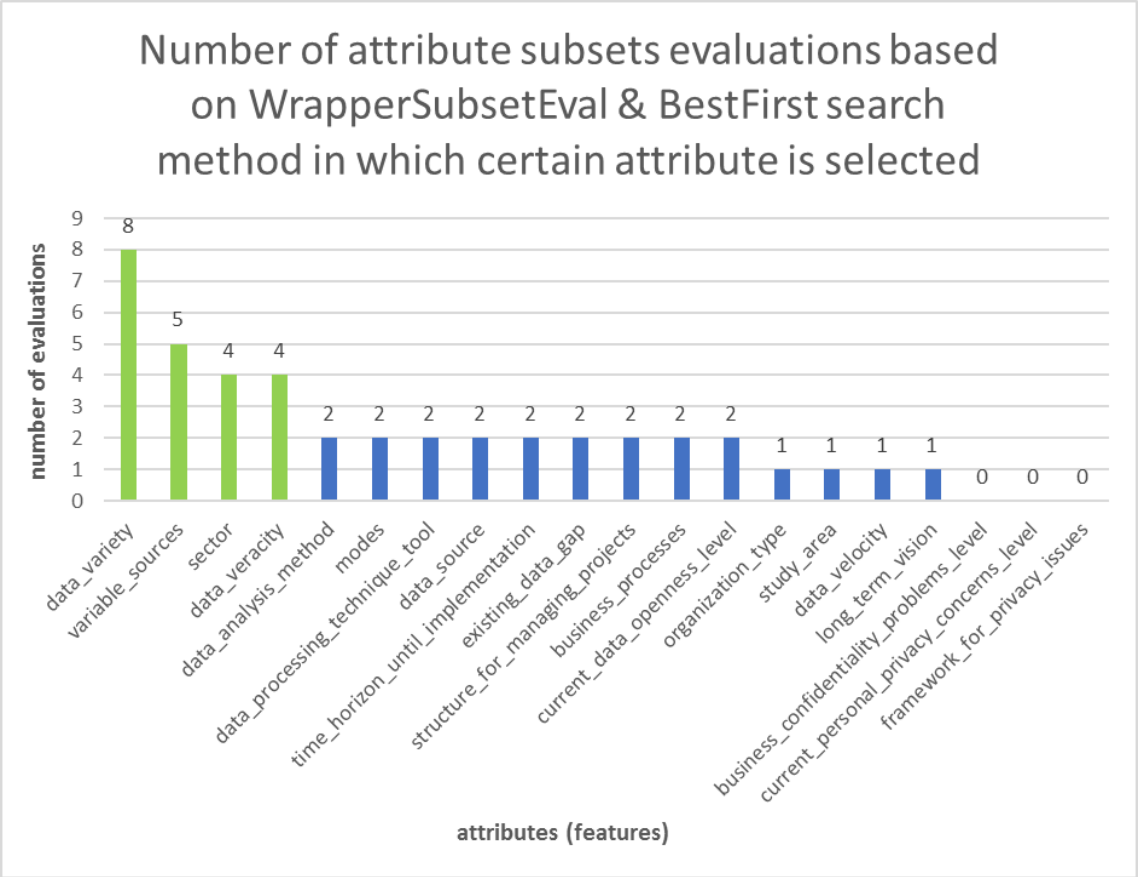


Figure 4: Number of attribute subsets evaluations based on WrapperSubsetEval & BestFirst search method in which certain attribute is selected

4. CONCLUSION

A central problem in machine learning is identifying a representative set of features from which to construct a classification or regression model for a particular task (Bouckaert et al. 2018). Feature selection as most things in data science is highly context and data dependent and there is no one stop solution for feature selection. As independent variables (features) NOESIS Use cases' attributes from the first five categories of information (General information, Transport-related information, Transport challenges faced with the use case, Data-related information and Privacy, security and governance information) were used. These categories of information consist of 65 attributes. To reduce the complexity and to improve the accuracy of future machine learning models for prediction, it was necessary to perform an attribute selection. The attribute selection was done in two rounds: the First round - based on expert opinion and on a dataset analysis and the Second round - based on machine learning techniques applied in the data mining tool Weka.

In the First round of feature selection an initial set of 20 NOESIS Use cases' attributes are selected. According to attribute subsets evaluation based on *CfsSubsetEval & BestFirst* search method in Weka, the next NOESIS Use cases' attributes are selected: Data analysis method, Data variety, Data processing technique tool, Data velocity, Variable sources, Data source, Current data openness level. According to attribute subsets evaluation based on *WrapperSubsetEval & BestFirst* search method in Weka, the next attributes are selected: Data variety, Variable sources, Sector, Data veracity. The final result of the feature selection using filter and wrapper methods are the union of previously selected subsets of attributes: Data analysis method, Data variety, Data processing technique tool, Data velocity, Variable sources, Data source, Current data openness level, Sector and Data veracity. In this way, from the initial subset of 20 attributes, eight most relevant attributes were selected. The selected features will have a positive impact on the performance of future predictive models.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper has been supported by the project under the name "Novel Decision Support Tool for Evaluating Strategic Big Data investments in Transport and Intelligent Mobility Services – NOESIS". NOESIS project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 769980.

LITERATURE

[1] Bouckaert, R., Frank, E., Hall, M., Kirkby, R., Reutemann, R., Seewald, A., & Scuse, D. (2018). WEKA Manual for Version 3-8-3. Retrieved May 14, 2019, from https://netix.dl.sourceforge.net/project/weka/documentation/3.8.x/Weka Manual-3-8-3.pdf

[2] Brownlee, J. (2014, October 6). An Introduction to Feature Selection. Retrieved May 16, 2019, from https://machinelearningmastery.com/an-introduction-to-feature-selection/

[3] Cai, J., Luo, J., Wang, S., & Yang, S. (2018). Feature Selection in Machine Learning: A new perspective, Neurocomputing, 300, 70-79.

[4] Chandrashekar, G., & Sahin, F. (2014). A survey on feature selection methods. Computers and Electrical Engineering, 40, 16-28.

[5] Kohavi, R., & John, G. H. (1997). Wrappers for feature subset selection. Artificial Intelligence, 97(1-2), 273-324.

[6] Lazar, C., Taminau, J., Meganck, S., Steenhoff, D., Coletta, A., Molter, C., et al. (2012). A survey on filter techniques for feature selection in gene expression microarray analysis. IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, 9, 1106-1119.

[7] Miao, J., & Niu, L. (2016). A Survey on Feature Selection. Procedia Computer Science, 91, 919-926.

[8] NOESIS Project Consortium. (2018). NOESIS Big Data in Transport Library. Retrieved May 3, 2019, from http://noesis-project.eu/

[9] Witten, I. H., Frank, E., Hall, M., & Pal, C. (2016). Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ANALIZA HISTOGRAMA PODATAKA

ANALYSIS OF DATA HISTOGRAMS

VIŠNJA OGNJENOVIĆ[1], FILIP LAKATUŠ[1], JELENA STOJANOV[1], VLADIMIR BRTKA[1], VESNA MAKITAN[1]

[1] Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin, visnjao@tfzr.uns.ac.rs

---

Rezime: *Histogrami predstavljaju važan izvor informacija o velikim podacima i često se na osnovu njih usmerava analiza podataka. U ovom radu se prikazuje analiziranje histograma pomoću analize binova histograma. Veličina binova zavisi od načina grupisanja podataka, ali je na osnovu dodatnih pokazatelja moguce pronalaženje optimalnih binova. U radu se prikazuje dodatna analiza veličine binova histograma, analizom segmentacije histograma.*

Ključne reči: *Analiza podataka, histogrami, binovi.*

Abstract: *Histograms are important sources of information on big data, hence they often direct the data analysis. The article presents histogram analysis by the analysis of their bins. Bin size is caused by data grouping method, but some additional indicators enable optimal bins finding. Bin size analysis based on histogram segmentation is proposed in the article.*

Keywords: *Data analysis, histograms, bins.*

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PRIMENA FURIJEOVE TRANSFORMACIJE ZA PREDVIĐANJE KRETANJA VREDNOSTI FINANSIJSKIH VREMENSKIH SERIJA

THE USE OF FOURIER TRANSFORM FOR VALUE FLUCTUATION PREDICTION OF FINANCIAL TIME SERIES

VALENTINA LJUBISAVLJEVIĆ[1], IVANA DRAGOVIC[2], ANA POLEDICA[3]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, vanja.vale95@gmail.com
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, dragovic.ivana@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, poledica.ana@fon.bg.ac.rs

---

Rezime: *U ovom radu biće predstavljena primena Furijeove transformacije za predviđanje vremenskih serija valutnih parova. Biće dat prikaz tehnike predviđanja budućih vrednosti valutnog para EUR/USD korišćenjem transformacije u frekventni domen pomoću Diskretne Furijeove transformacije i korišćenja novih informacija koje ovaj domen pruža. Na ovaj način, bilo je moguće doći do predikcije budućih fluktuacija vrednosti valutnih parova i pokazano je da se pomoću ove metode mogu detektovati promene u trendu kretanja vrednosti samih valuta, uz srednju apsolutnu grešku od 7.76% i koeficijent determinacije od 41.91%.*

Ključne reči: *predviđanje, Furijeova transformacija, vremenske serije, valutni parovi*

Abstract: *In this paper we will present the use of Fourier Transform on the prediction of financial series of exchange rates. We will show the technique to predict the future values of the EUR/USD exchange rate by its transformation to the frequency domain using Descrete Fourier Transform, and by using the new information this domain provides. In this way we were able to predict future fluctuations of exchange rates' values and to show that this method succeeds in detecting changes in exchange rate trends, with the mean absolute error of 7.76% and the coefficient of determination of 41.91%.*

Keywords: *prediction, Fourier Transform, time series, exchange rates*

1. UVOD

Od samog svog nastanka, finansijska tržišta su poznata po svojoj kompleksnosti. U prilog tome govori činjenica da ova tržišta predstavljaju kombinaciju interakcija hiljada pojedinaca koji žive na različitim geografskim područjima, u različitim vremenskim zonama, i imaju drugačije valute pre svega, zatim stavove prema riziku, pristup informacijama od značaja, kao i različite poglede na upotrebnu vrednost (Ghezelayagh 2013). Sve navedeno doprinosi postojanju heterogenosti na samim tržištima i čini ih jako promenljivim i teško predvidivim, pa stoga postoji mnogo različitih pristupa njihovom proučavanju.

Forex (*Foreign Exchange*) tržište je globalni finansijski sistem koji u sebi sadrži veliki broj distribuiranih mreža koje služe za trgovinu valutama. Valutni kurs predstavlja vrednost valute jedne zemlje izraženu u valuti druge zemlje. Određuje se na sledeći način: ako je na primer 1 evro (EUR) u nekom trenutku u vremenu mogao da se kupi za 1.36 američkih dolara (USD), to znači da je definisana cena za valutni par EUR/USD u tom trenutku bila 1.3600 na tržištu. Kada se trguje valutnim parovima, najmanje pomeranje u ceni koje može da se desi jeste *pip*, i iznosi 0.0001 za većinu parova (Eliasson 2018). Kako se promene u cenama na ovakvom tržištu prate u veoma malim jedinicama, što čini samo tržište lako promenljivim, to je podstaklo ljude iz različitih naučnih branši da na razne načine istražuju samo tržište i pokušaju da nađu način da prate promene koje nastaju na istom i da tako predvide njegovo buduće ponašanje.

Istraživanje finansijskih vremenskih serija predstavlja jedan od pristupa istraživanju ovakvih tržišta koje je privuklo ljude iz različitih naučnih disciplina, od menadžera fondova, do makroekonomista i ekonofizičara (Ghezelayagh 2013). Vremenska serija je skup podataka koji predstavlja vrednosti neke fizičke veličine ili pojave u vremenu. Predikcija vremenskih serija kao posebna vrsta analize istih predstavlja jednu od disciplina koja se poslednjih nekoliko decenija najdinamičnije razvija i menja (Božić 2017). Ova predikcija posebno je pogodna kada su finansijske serije u pitanju, pošto može da rezultuje kreiranjem strategija za trgovanje baziranim na određenim metodama pogodnim samo za rad sa vremenskim serijama.

Furijeova transformacija predstavlja jednu od metoda za obradu signala koja omogućava analizu funkcije vremena, odnosno signala, tako što ga dekomponuje u njegove sastavne frekvencije (Bracewell 2000). Ovime se omogućava proučavanje same pojave ne samo u vremenskom domenu signala, već i u njegovom odgovarajućem frekventnom domenu, koji može da omogući lakše izvršavanje lineranih operacija nad samim signalom. Primena Furijeove transformacije na signal i proučavanje transformisanog rezultata omogućava određivanje skupova frekvencija od kojih se signal sastoji, što dalje pruža mogućnost filtriranja tih skupova i određivanja najdominantnijih frekvencija koje najbolje opisuju signal, čime se omogućava predviđanje budućeg ponašanja samog signala (Eliasson 2018).

Furijeova transformacija našla je primenu u brojnim radovima iz oblasti finansija: za vrednovanje opcija (Carr and Madan 1999, Dempster and Hong 2002, Hurd and Zhou 2010, Attari 2004), za vrednovanje azijskih opcija (Benhamou 2000, Fusai 2004), zatim za vrednovanje finansijskih derivata (Barua et al. 2005), kao i za izračunavanje VaR-a (Albanese et al. 2004).

Cilj ovog rada jeste primena Furijeove transformacije nad vremenskom serijom valutnih parova, kako bi se proučavanjem vrednosti valuta u frekventnom domenu predvidela buduća kretanja vrednosti istih.

U nastavku će biti dat kratak opis Furijeove transformacije, a potom i detaljan opis problema i podataka nad kojim radimo, kao i prikaz rezultata i zaključaka do kojih smo došli prilikom rada.

2. FURIJEOVA TRANSFORMACIJA

Gotovo sve pojave ili procesi u prirodi mogu se opisati putem talasa – funkcija vremena, prostora ili neka druga fizička veličina. Furijeova transformacija (FT) predstavlja alat koji dekomponuje talas (signal ili funkciju) u njegovu alternativnu reprezentaciju okarakterisanu sinusima i kosinusima. FT pokazuje da se bilo koji talas može predstaviti u vidu sume sinusoidnih funkcija. FT funkcije vremena je funkcija kompleksne promenljive, čiji moduo predstavlja frekvenciju koja postoji u originalnoj, vremenskoj funkciji (Bracewell 2000).

FT je nastala iz teorije Furijeovih nizova, koje matematički predstavljaju periodične funkcije koje se sastoje iz harmonički povezanh sinusoida, kombinovanih pomoću otežane sume. U teoriji ovih nizova, složene periodične funkcije se zapisuju kao suma jednostavnih talasa, matematički predstavljenih pomoću sinusa i kosinusa. Zbog karakteristika koje sinusi i kosinusi imaju, moguće je otkriti amplitudu svakog od signala u Furijeovoj seriji pomoću integrala. FT je nastavak ove teorije, koji nastaje kada se perioda ovih funkcija produži i dozvoli joj se da teži beskonačnosti (Taneja 2008).

Postoji nekoliko uobičajenih konvencija za definisanje FT integrabilne funkcije f : **R** → **C**. Predstavlja se matematički na sledeći način (Rahman 2011):

$$\hat{f}(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-2\pi i x \xi} dx \tag{1}$$

za svaki realan broj ξ.

U samoj formuli eksponent je negativan iz razloga što se u elektrotehnici uobičajeno koristi $e^{-2\pi i \xi_0 x}$ da predstavi signal u nultoj inicijalnoj fazi sa frekvencijom ξ_0, koja može da bude pozitivna ili negativna (Bradley 2007). Negativni predznak prouzrokuje da vrednost proizvoda $e^{2\pi i \xi_0 x} e^{-2\pi i x \xi}$ bude jednaka 1 (frekvencija je 0) kada je $\xi = \xi_0$, što prourokuje da integral divergira. Rezultat ovoga predstavlja Dirakovu delta funkciju za $\xi = \xi_0$, što je jedina komponenta frekvencije sinusoidnog signala $e^{2\pi i \xi_0 x}$ (Rahman 2011).

Diskretna Furijeova transformacija prevodi niz od N kompleksnih brojeva $\{x_n\} := x_0, x_1, \ldots, x_{N-1}$ u njemu odgovarajući niz $\{X_k\} := X_0, X_1, \ldots, X_{N-1}$, koji je definisan na sledeći način (Akansu and Agirman-Tosun 2010):

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{i2\pi}{N} kn} = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \left[\cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - i \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right)\right] \tag{2}$$

gde se drugi izraz dobija upotrebom Ojlerove formule.

Prevođenje sinusa i kosinusa u kompleksne eksponente omogućava da Furijeovi koeficijenti imaju kompleksnu vrednost. Uobičajena interpetacija ovog kompleksnog broja je da on pokazuje amplitudu, tj. veličinu talasa prisutnog u funkciji, kao i fazu, odnosno inicijalni ugao talasa (Taneja 2008).

Kada nezavisna promenljiva *x* predstavlja vreme, transformaciona varijabla ξpredstavlja frekvenciju – ukoliko se vreme meri u sekundama (*sec*), onda se frekvencija meri u hercima (*Hz*).

Pod odgovarajućim uslovima, funkcija *f* je određena funkcijom $\widehat{f}$ sledećom inverznom transformacijom:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \widehat{f}(\xi) e^{2\pi i x \xi} d\xi \tag{3}$$

za svaki realan broj x. Ova formula poznata je kao Furijeova teorema inverzije (Fourier 1822). Funkcije *f* i $\widehat{f}$ se najčešće nazivaju Furijeovim parom integrala ili Furijeovim parom transformacija (Rahman 2011).

3. OPIS PROBLEMA I REZULTATI EKSPERIMENTA

3.1. Opis problema

U ovom radu se bavimo problemom predviđanja vremenskih serija valutnih parova pomoću Furijeove transformacije, odnosno jedne od metoda koje se koriste za obradu signala, tj. funkcija vremena. Cilj ovog eksperimenta nije predviđanje samih vrednosti valuta u budućem periodu, već nalaženje načina za određivanje promena u trendu kretanja ovih vrednosti, kako bi se u odnosu na to mogla doneti odluka o pravom trenutku za prodaju/kupovinu date valute.

Podaci na kojima je istraživanje rađeno predstavljaju vremensku seriju valutnog para EUR/USD, sa vrednostima koje je ova valuta imala na Forex tržištu u periodu između marta 2000. godine i septembra 2015. godine, pri čemu su vrednosti beležene jednom dnevnom. To nam daje vremensku seriju od 4087 vrednosti nad kojima treba izvršiti treniranje, kao i testiranje samog učinka primenjene metode.

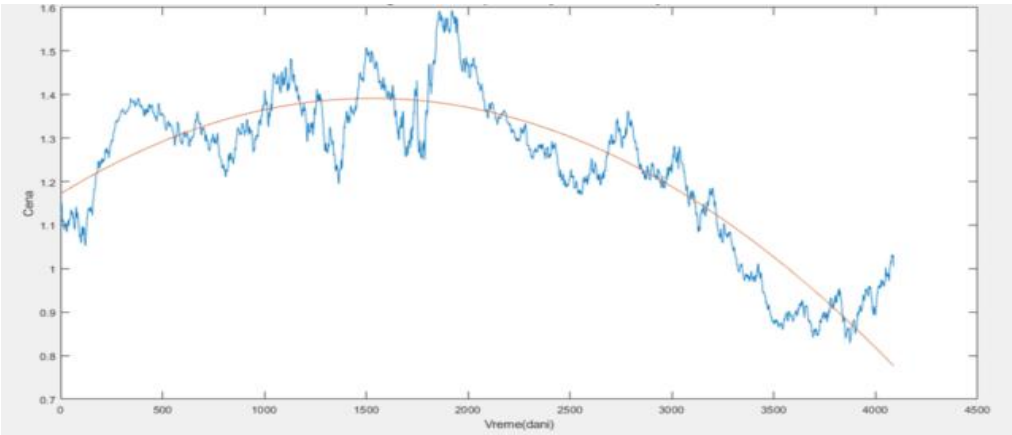
Eksperiment je rađen u programskom okruženju MATLAB, koji omogućava laku primenu Diskretne Furijeove transformacije pomoću algoritma *Fast Fourier Transform*.

Ideja na kojoj počiva rad zasnovana je na radu Barrett Williams (2016), koji predlaže model Diskretne Furijeove transformacije (DFT) za predviđanje budućih cena finansijskih instrumenata na berzi. Predloženi princip rada jeste da se nađe funkcija kojom se najbolje aproksimiraju vrednosti finansijske vremenske serije na delu podataka za treniranje u vremenskom domenu, i da se potom izvrši DFT nad razlikom između stvarnih i aproksimiranih vrednosti – u cilju smanjivanja raspona oscilacija koje finansijske serije sadrže. Potom se uzima kriva dobijena Inverznom Furijeovom transformacijom (IFT), koja nam je neophodna kako bismo u vremenskom domenu uspeli da interpoliramo vrednosti za budući period na kome će se vršiti samo predviđanje. Na taj način, formiramo inverznu krivu za celokupan vremenski period koji posmatramo, gde uspevamo da predvidimo buduće fluktuacije cena na osnovu njihovih kretanja tokom perioda treniranja.

3.2. Rezultati eksperimenta

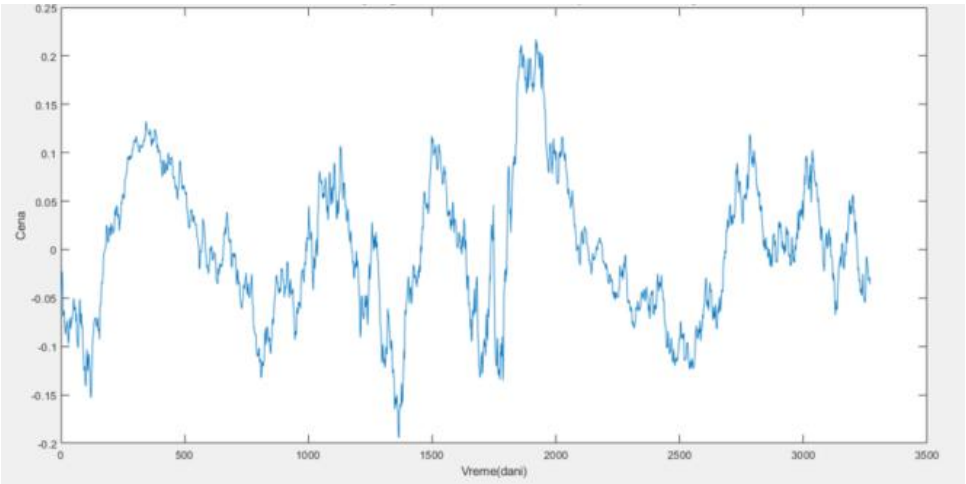
Podaci sa kojima radimo podeljeni su na skup podataka za treniranje i skup podataka za testiranje u odnosu 80:20, što čini 3270 vrednosti u skupu podataka za treniranje i 817 vrednosti u skupu za testiranje.

Prvi korak prilikom rada bio je pronalaženje funkcije kojom se aproksimira vremenska serija. Funkcija putem koje smo odabrali da vršimo aproksimaciju jeste polinom drugog stepena regresije, odnosno najmanje razlike kvadrata, 2. stepena. Za funkciju ovog reda smo se odlučili nakon testiranja kvadratnog, kubnog i četvrtog stepena i uverenja da viši stepeni ne daju bolje rezultate kada je aproksimacija vremenske serije u pitanju, pa je stoga izabrana kvadratna regresiona kriva kao najbolja. Na slici 1 može se videti kako izgleda regresiona kriva kojom se aproksimira data vremenska serija:



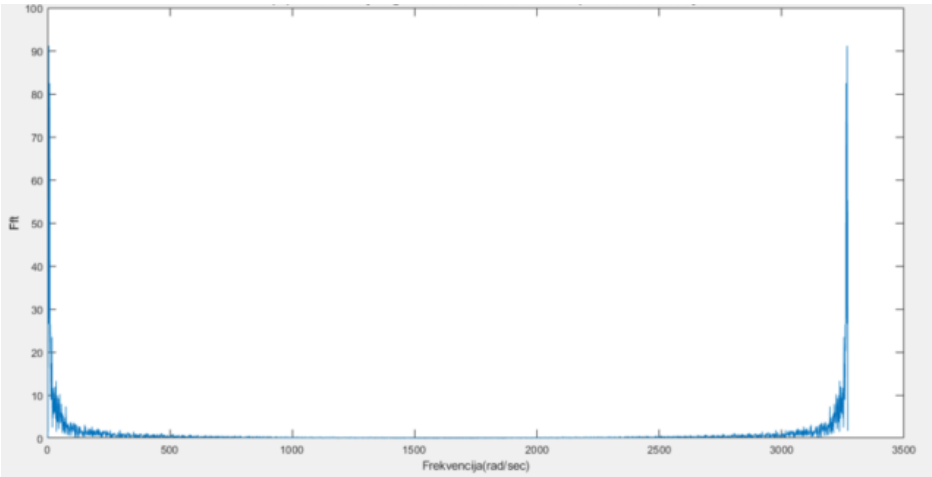
Slika 1: Regresiona kriva aproksimacije vremenske serije

Diskretna Furijeova transformacija rađena je potom na razlici između aproksimirajuće regresione krive i same vremenske serije, kako bi se smanjile oscilacije u samim vrednostima diskretne serije, ali i dobila neprekidna funkcija u vremenskom domenu, pogodna za sam *fft* algoritam. Na slici 2 možemo videti vrednosti koje ova razlika ima:



Slika 2: Razlika između regresione krive i stvarnih cena za prvih 3270 dana serije

Na slici 3 mogu se videti apsolutne vrednosti koje ova razlika ima nakon transformacije u frekventni domen, gde se njene vrednosti prikazuju u frekvenciji sinusoidnih krivih u jedinici rad/sec:



Slika 3: Apsolutna vrednost fft razlike između regresione krive i stvarnih cena za prvih 3270 dana

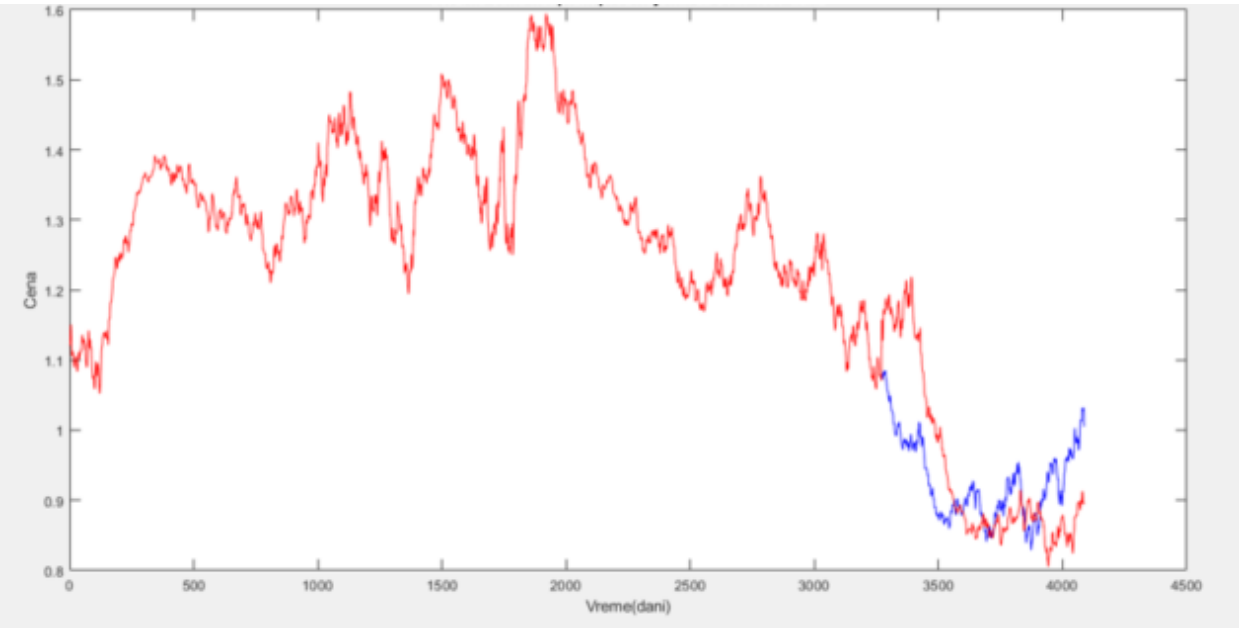
Potom je urađena Inverzna Furijeova transformacija na već transformisanoj razlici na delu podataka za treniranje, kako bi se omogućilo predviđanje u vremenskom domenu, odnosno kako bi se omogućila interpolacija neophodna za deo podataka za testiranje.

Kako smo dobili IFT krivu za deo podataka za treniranje, možemo je iskoristiti za interpoliranje podataka za testiranje i potom tu interpolaciju dodati na aproksimacionu krivu za period na kome vršimo predviđanje. Interpolacija je vršena pomoću sledeće formule:

$$YY(n) = YY(n) + real\big(Y(k)\big)\cos\left(2\pi\frac{k-1}{365}(n-1)\right) - imag\big(Y(k)\big)\sin\left(2\pi\frac{k-1}{365}(n-1)\right) \quad (4)$$

gde *Y(k)* predstavlja rezultate dobijene primenom DFT –a.

Ovime dolazimo do rezultata našeg eksperimenta, odnosno vidimo kako je predviđeno da cene fluktuiraju u periodu za testiranje. Na slici 4 možemo videti kako izgleda naša ukupna predviđena kriva(crveno) dobijena pomoću inverzne transformacije i interpolacije, naspram stvarne krive(plavo), pri čemu primećujemo da se one poklapaju na delu podataka za treniranje, odnosno za prvih 3270 dana:



Slika 4: Stvarne cene naspram predviđenih za svih 4087 dana

Ono što se može zaključiti na osnovu prethodne slike jeste da model dobro prati promene do kojih dolazi u trendu, sa većim ili manjim uspehom. Primećuje se da model bolje prati trend kada dolazi do značajnijih promena u istom, odnosno kada imamo neki veći pad/skok cene u seriji. Smatramo da se to može pripisati dugoj linearnoj promeni cene, što za ovakav model predstavlja poteškoću. Pri ovom pristupu predviđanju vrednosti vremenske serije valutnih parova dobija se srednja apsolutna greška od 7.76%, što je daleko bolje od očekivanog kada je u pitanju predviđanje ovako promenljive serije. Kako bismo dobili bolji uvid u performanse našeg predviđanja, izračunali smo koeficijent determinacije samog modela. Ovaj koeficijent određuje proporciju totalne sume kvadrata koju objašnjava sam model, odnosno količinu varijanse koju je model uspeo da objasni. Dobili smo rezultat koji označava da model objašnjava 41.91% varijabilnosti, što smatramo dovoljno dobrim rezultatom predviđanja vremenskih serija valutnih parova putem Furijeove transformacije.

4. ZAKLJUČAK

Prilikom ovog istraživanja uspeli smo da prikažemo mogućnost predviđanja trenda finansijske vremenske serije pomoću jedne od metoda za obradu signala. FT se pokazala kao odgovarajuća metoda prilikom predviđanja promene trenda kretanja vrednosti valutnih parova, sa srednjom apsolutnom greškom od 7.76% i koeficijentom determinacije od 41.91%. Međutim, sam model pokazuje izvesne nedostatke kada dolazi do češćih i kraćih promena u trendu, odnosno pokazuje tendenciju da takve promene uopšte ne detektuje.

Iako verujemo da je primena Furijeove transformacije na problem ovakvog tipa pokazala dovoljno dobre rezultate, i smatramo da bi sam eksperiment trebalo ponoviti uz upotrebu neke druge funkcije za aproksimaciju vremenske serije u cilju poboljšanja samih rezultata, ipak donosimo zaključak da primena ove metode nije u potpunosti zadovoljavajuća. Razlog za to je što se Furijeovom transformacijom u frekventni domen radi isključivo sa podacima kao funkcijama frekvencije, i gube se informacije koje se tiču samog vremena.

Na osnovu prethodnih informacija, zaključujemo da ova metoda predstavlja dobar uvod u temu predviđanja vremenskih serija pomoću metoda za obradu signala, kako nas navodi na metodu talasića (eng. *Wavelets*). Metoda talasića predstavlja tehniku za dekompoziciju pomoću talasića, iz ugla vremena i iz ugla frekvencije, i pruža efikasno dijagnostifikovanje glavnih frekvencijskih komponenti i izvlačenje apstraktnih lokalnih informacija iz samog vremenskog niza (Božić 2017), pa se samim tim prirodno javlja kao budući korak ovog istraživanja. Takođe, smatramo da se isto istraživanje treba sprovesti i pomoću neke tehnike računarske inteligencije ili neke od statističkih metoda, u cilju međusobnog upoređivanja njihovih rezultata kako sa rezultatima koje smo dobili pomoću Furijeove transformacije, tako i sa rezultatima koje će dati talasići.

LITERATURA.

[1] Akansu, A.N. & Agirman-Tosun, H. (2010) Generalized Discrete Fourier Transform With Nonlinear Phases. Transactions on Singal Processing. Vol. 58. No. 9. pp. 1-10. New York: IEEE.

[2] Albanese, C., Jackson, K., & Wiberg, P. (2004). A new Fourier transform algorithm for value-at-risk. Quantitative Finance, 4(3), 328-338.

[3] Attari, M. (2004). Option pricing using Fourier transforms: A numerically efficient simplification. SSRN 520042.

[4] Barrett Williams, M. (2016). Fast Fourier Transform in Predicting Financial Securities Prices. Salt Lake City: University of Utah.

[5] Barua, S., Thulasiram, R. K., & Thulasiraman, P. (2005). High performance computing for a financial application using Fast Fourier Transform. In European Conference on Parallel Processing (pp. 1246-1253). Springer, Berlin, Heidelberg.

[6] Benhamou, E. (2000). Fast Fourier transform for discrete Asian options. In EFMA 2001 Lugano Meetings.

[7] Božić, J. (2017). Predikcija vremnskih nizova pomoću talasića i neuralnih mreža sa primenom za predikciju valutnih parova. Beograd: Univerzitet Union.

[8] Bracewell, R.N. (2000). The Fourier Transform and Its Applications. (3rd ed.). Boston: McGraw-Hill.

[9] Bradley, S. (2007). Sign Conventions in Electromagnetic (EM) Waves. Cambridge: Massachusets Institute of Technology.

[10] Carr, P. & Madan, D. (1999). Option valuation using the fast Fourier transform. Journal of computational finance. 2(4). pp. 61-73.

[11] Dempster, M.A.H. & Hong, S.G. (2002). Spread option valuation and the Fast Fourier Transform. Mathematical Finance – Bachelior Congress 2000 (pp. 203-220). Springer, Berlin, Heidelberg.

[12] Ghezalayagh, B. (2013). Multiscale Analysis of Financial Volatility. Norwich: University of East Anglia.

[13] Eliasson, K. (2018). An Application of Continous Wavelet Transform to Financial Time Series. Lund: Lund University.

[14] Fourier, J.B.J. (1878) [1822]. The Analytical Theory of Heat, translated by Alexander Freeman. London: The University Press.

[15] Fusai, G. (2004). Pricing Asian options via Fourier and Laplace transforms. Journal of computational finance, 7(3), 87-106.

[16] Hurd, T.R. & Zhou, Z. (2010). A Fourier transform method for spreading pricing. SIAM Journal on Financial Mathematics, 1(1), 142-157.

[17] Rahman, M. (2011). Applications of Fourier Transforms to Generalized Funcitons. Southampton, WIT Press.

[18] Taneja, H.C. (2008). Chapter 18: Fourier integrals and Fourier transforms. Advanced Engineering Mathematics. (Vol. 2). New Delhi: I. K. International Pvt Ltd.

BUSINESS ANALYTICS

POSLOVNA ANALITIKA

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

KONKURENTNOST KOMPANIJE IZ UGLA ANALIZE VELIKIH PODATAKA

COMPETITIVENESS OF THE COMPANY FROM THE BIG DATA ANALYSIS POINT OF VIEW

BILJANA CHRONEOS KRASAVAC[1], EMA KARAMATA[2]

[1] Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, chronkra@gmail.com
[2] Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, ema.karamata@gmail.com

***Rezime**: U uslovima savremene digitalne ekonomije, prisutna je česta polemika o tome da li veliki podaci nude operacione prednosti za kompaniju ili njihovo posedovanje omogućava kompaniji ostvarenje održive konkurentske prednosti. U cilju sagledavanja odgovora na postavljeno pitanje, u radu je korišćen klasičan, na resursima baziran, pristup strategijskog menadžmenta, koji polazi od stava da veliki podaci moraju biti jedinstveni, retki, dragoceni i nezamenjivi, da bi obezbedili konkurentsku prednost za datu kompaniju. Cilj ovoga rada je da ukaže na činjenicu da sakupljanje i posedovanje velikih podataka samo za sebe ne predstavlja izvor benefita za kompaniju, već da razvoj konkurentske prednosti kompanije koja bazira na velikim podacima, podrazumeva razvoj novih kompetencija same kompanije. Da bi se, u uslovima okruženja bogatog podacima, ostvarila održiva konkurentska prednost kompanije, neophodno je da njen fokus bude na razvoju, kako alata, tako i organizacionih kompetencija, na način da koriste velike podatke i njihovom analizom obezbeđuju dodatnu vrednost za svoje potrošače.*

***Ključne reči**: veliki podaci, poslovne analitike, održivost, konkurentska prednost*

***Abstract**: In today's digital economy, there is frequent controversy as to whether big data offers operational advantages for the company or owning it allows the company to achieve a sustainable competitive advantage. In order to look at the answer to this question, the paper use a classic, strategic management resource-based approach, starting from the view that big data must be inimitable, rare, valuable and non-substitutable, to provide a competitive advantage for a company. The aim of this paper is to point out that the collection and possession of big data does not in itself constitute a source of benefits for the company, but that the development of a competitive advantage of the company based on big data implies the development of new competencies of the company itself. In a data-rich environment, in order to achieve a sustainable competitive advantage for a company, it is essential that the focus is on developing both tools and organizational competencies, by leveraging big data and providing added value to the customers by analyzing it.*

***Keywords**: big data, business analitics, sustainability, competitive adventage*

1. UVOD

Savremeni uslovi poslovanja i razvoj digitalne ekonomije sa sobom nose veliki broj izazova za kompanije kada je u pitanju održivost konkurentske prednosti na tržištu. Jedno od ključnih pitanja koje se postavlja pred kompanije u uslovima digitalne ekonomije jeste da li veliki podaci (*big data*) mogu da zaštite kompaniju od konkurencije. Da bi se došlo do odgovora na postavljeno pitanje u radu se pošlo od klasičnog, na resursima zasnovanog, pristupa strategijskog menadžmenta, gde održiva konkurentska prednost kompanije zahteva da resursi kompanije zadovoljavaju sledeće kriterijume (Barney, 1991):

- Jedinstvenost odnosno neuporedivost (inimitable)
- Retkost (rare);
- Dragocenost (valuable);
- Nezamenjivost (non-substitutable).

Postoji čitav niz primera u praski kojima se dokazuje da u slučaju kada kompanije imaju pristup velikim podacima, najčešće jedan, a nekada i više kriterijuma, nedostaje kada su u pitanju resursi koji doprinose održivosti konkurentske prednosti kompanije.

Cilj ovoga rada je da ukaže na činjenicu da sakupljanje i posedovanje velikih podataka samo za sebe ne predstavlja izvor benefita za kompaniju, već da razvoj konkurentske prednosti kompanija koja bazira na

velikim podacima, podrazumeva razvoj novih kompetencija same kompanije. Navedene kompetencije se mogu razvrstati u dve kategorije:

- Kompanija mora da privuče kvalifikovanu radnu snagu koja je u stanju da razvije algoritme koji će omogućiti da se veliki podaci pretvore u prepoznatljivu komparativnu prednost;
- Velike podatke kompanija mora da koristi na način koji joj omogućava razumevanje razvoja i načina promene potreba potrošača u vremenskom okviru, kako bi bila u mogućnosti da radi na unapređenju proizvoda i usluga koje nudi na tržištu.

Da bi se izvršila evaluacija strateške uloge velikih podataka iz ugla izvora održive konkurentske prednosti u radu se, kao što je gore navedeno, polazi od klasičnog, na resursima zasnovanog, pristupa strategijskog menadžmenta, koji bazira na stanovištu da resusri kompanije moraju biti jedinstveni, retki, dragoceni i nezamenjivi, da bi predstavljali izvor konkurentske prednosti (Barney, 1991). U nastavku rada izvršena je analiza velikih podataka, kao izvora komparativne prednosti za kompaniju iz ugla svake od navedenih dimenzija.

2. JEDINSTVENOST KAO KARAKTERISTIKA VELIKIH PODATAKA

Jedinstvenost velikih podataka se ogleda u tome da ostale kompanije nisu u mogućnosti da na jednostavan način repliciraju njihovu prednost. Postoje dva ključna ekonomska razloga zbog kojih možemo reći da u većini slučajeva veliki podaci nisu jedinstveni. Kao prvo, konzumiranje velikih podataka od strane jedne kompanije, ne umanjuje njihovu raspoloživost drugim kompanijama. Drugo, marginalni trošak proizvodnje i distribucije velikih podataka je skoro na nuli, čak i u slučaju njihove distribucije na velike udaljenosti (Shapiro i Varian, 1999). Rukovodeći se navedenim karakteristikama, kombinovanim sa činjenicom da potrošači u kontinuitetu ostavljaju trag o sebi na interenetu, ima za posledicu procvat industrije koja bazira na preprodaji velikih podataka o potrošačima.

Taj tip komercijalno raspoloživih velikih podataka omogućava sticanje novih uvida u karakteristike potrošača, slične onima kojima raspolažu firme koje su vlasnici velikih podataka o velikom broju potrošača. Postoje mnogi primeri velikih komercijalno raspoloživih skupova podataka. Na primer: kompanija *Acxiom* poseduje uvide iz višenamenskih izvora u otprilike 700 miliona potrošača širom sveta, sa preko 1600 različitih vrsta podataka po svakom potrošaču. Kompanija *Data Logics* navodi da podaci kojima oni raspolažu uključuju gotovo svako domaćinstvo u SAD-u. *Comcast* je licencirao podatke o TV gledaocima, koji su prikupljeni preko televizijskih uređaja i aplikacija. Ostale kompanije, kao npr. *Bluekai*, čiji je vlasnik *Oracle,* prodaju onlajn informacije o korisnicima radi sprovođenja ciljnog oglašavanja koje bazira na istorijskim podacima o aktivnostima i demografskim podacima o potrošačima. Statistika ove kompanije ukazuje da raspolaže podacima o 750 miliona jedinstvenih korisnika sa, u proseku 10 do 15 karektiristika po korisniku. Sa ciljem da zaštite, kako sebe, tako i svoje potrošače, ove kompanije preduzimaju neophodne mere kako bi njihovi skupovi podataka bili zaštićeni na način koji je u potpunosti u skladu sa pravilima o zaštiti podataka.

Imajući u vidu različite tipove velikih podataka, jedno od očiglednih pitanja koje se postavlja jeste da li se navedene analize mogu primeniti na slučajeve gde veliki podaci sadrže jedinstvenu ili individualnu informaciju o potrošaču. Na primer, skoro se u američkoj štampi pojavio naslov koji targetira široko poznatu prodavnicu *Target*, koja je koristila svoje podatke iz maloprodaje da predvidi trudnoću, čak i pre nego što su bliski rođaci imali informaciju o tome. Međutim, čak i takvi, visoko specifični i vremenski određeni podaci se mogu lako imitirati od strane kompanija koje ne raspolažu nacionalnim bazama podataka o maloprodaji. Kao na primer, marketinško odeljenje agencije koja se bavi kreditnim rejtingom u Sjedinjenim Američkim Državama, pod nazivom *Experian,* vrši prodaju ažuriranih podataka o roditeljima koji očekuju prinovu zajedno sa podacima o njihovim primanjima i informacijom o prvorođenom detetu.

Takođe, podaci koji su raspoloživi zahvaljujući praćenju potrošača na individualnom nivou se nadopunjuju sa eksplozijom sadržaja koji se generišu od strane korisnika interneta, gde sami potrošači kreiraju tragove o sebi sa stanovišta njihovog ponašanja, iskustva, interesovanja i onoga što vole (putem društvenih mreža). Novija istraživanja u oblasti kompjuterskih nauka naglašavaju da putem kombinovanja mnoštva eksternih onlajn profila, kompanije mogu obezbediti uvid u bilo kog potrošača (Narayanan i Shmatikov, 2008; Calandrino et al., 2011). Takođe, kompanije takvu vrstu sadržaja mogu da iskoriste kao direktnu zamenu za podatke o potrošačima. Kao primer se navodi sajt *Zillow.com,* kao veoma uspešna digitalna platforma za prodaju kuća i nekretnina, formirana na bazi raspoloživih podataka o proceni vrednosti nekretnina po gradovima.

Možemo zaključiti da tamo gde postoji tržište za podatke, mala je verovatnoća da su veliki podaci jedinstveni.

3. RETKOST VELIKIH PODATAKA

Stručna literatura retkost velikih podataka definiše na način da samo nekoliko kompanija ima mogućnost njihovog posedovanja. Međutim, postoje dva ključna razloga zbog čega je navedena tvrdnja malo verovatna. Prvo, velike promene u infrastrukturi ponude su dovele do toga da su alati za prikupljanje velikih podataka postali jednostavni. Resursi koji baziraju na oblaku (*cloud-based resources*), kao što su *Amazon, Microsoft* i *Rackspace* čine te alate nezavisnim od obima podataka što istovremeno dovodi do kontinuelnog pada troškova skladištenja podataka koji će jednoga dana doseći nivo nultog troška. Sve to daje mogućnost malim firmama da imaju pristup moćnim i jeftinim kompjuterskim resursima. Tehnologije otvorenih podataka kao što je *Hadoop* omogućavaju korisnicima da analiziraju velike baze podataka, besplatno, koje su raspoložive i dostupne široj javnosti.

S obzirom da se život potrošača sve više vezuje za internet, na njemu ostavljaju sve veći broj tragova o svojim potrebama i preferencijama. Kompanije koje su u stanju da priušte niskobudžetne digitalne tehnologije istovremeno dolaze do velikog broja mogućnosti za prikupljanje podataka o potrošačima. Telekomunikacione kompanije su u mogućnosti da prikupe podatke o potrošačima vezano za njihove pozive i za njihovo pretraživanje na mobilnim telefonima. Američke kompanije *Amazon, Macy's* i *Walmart* prikupljaju detaljne podatke o potrošačkim kupovnim navikama, dok digitalne platforme, kao što je *Bluekai*, prikupljaju široki opseg detaljnjih podataka o potrošačkim pretragama i kupovinama, na većem broju vebsajtova.

Činjenica je da korišćenje višestrukih različitih digitalnih usluga od strane potrošača dovodi do toga da slični delovi informacija postaju raspoloživi velikom broju različitih kompanija. Tako na primer, potrošači koji koriste višestruke onlajn društvene mreže (*Facebook, LinkedIn* ili *Instagram*) dele slične informacije kroz svaku od tih mreža. Takođe, pristup informacijama na aplikacijama ekosistema, posebno onim vezanim za lokaciju ili vremenske prilike, omogućava da je informacija o korisničkoj lokaciji uvek raspoloživa velikom broju firmi. Naravno, sve to je bezvredno ukoliko kompanije koje prikupe takve podatke, nemaju tehničkih mogućnosti da transformišu takvu vrstu podataka u informacije koje će predstavljati dodatu vrednost za kompaniju (Chroneos Krasavac et al., 2016).

Rukovodeći se navedenim, izvodi se zaključak da veliki podaci nisu jedinstveni ili retki što upućuje na pitanje da li su i kada su veliki podaci dragoceni za kompaniju.

4. VREDNOST / DRAGOCENOST VELIKIH PODATAKA

U većini postojeće literature vezane za menadžment, u fokusu je pitanje da li su veliki podaci zaista dragoceni za kompanije sa stanovišta unapređenja njihove sposobnosti da realizuju profitabilni odnos sa svojim potrošačima, odnosno klijentima. Prema Cuzzocrea et al. (2011) postoje tri otvorena problema koja trenutno predstavljaju izazov za analitičare i istraživače čiji je zadatak da potvrde činjenicu da su veliki podaci dragoceni za organizaciju. Možemo zaključiti da veliki podaci sami za sebe nisu dovoljni da se kreiraju prilike za povećanje profita.

Prvi izazov koji ograničava vrednost velikih podataka za kompanije odnosi se na kompatibilnost i integrisanost. Jedna od ključnih karakteristika velikih podataka jeste da potiču iz 'raznovrsnih' izvora. Međutim, ako ovi podaci nisu prirodno usklađeni ili ih nije lako integrisati, raznovrsnost izvora može otežati kompanijama da zaista ostvare uštede u troškovima ili ostvore dodatnu vrednost za kupce.

Drugi izazov sa stanovišta ograničenja dragocenosti velikih podataka za kompanije jeste njihova nestrukturirana priroda. Danas u praksi postoji čitav niz poslovnih analitika koje za cilj imaju da analizom tekstualnih podataka dođu do sličnih informacija kao i iz strukturiranih podataka (Soldić-Aleksić et al., 2019). Ono što i dalje predstavlja izazov sa stanovišta analize jesu video zapisi.

S obzirom na izazove koji sa sobom nose nestrukturirani podaci, njihovo postojanje stvara dodatu vrednost za kompaniju samo u slučaju kada se primenom savremenih poslovnih analitika uvećava njihova preciznost (Chen et al, 2012). Na primer, u slučaju istraživanja vezanih za naftu i gas, veliki podaci se koriste za unapređenje postojećih operacija, kao i za odgovarajuće analize u oblasti seizmičkih bušotina. U ovoj industriji, vrednost velikih podataka za kompaniju postoji samo u slučaju kada su oni dodatak na postojeće prakse i već izgrađenu infrastrukturu. Većina kompanija u savremenom okruženju ima sposobnost da analizira različite tipove velikih podataka, ali još uvek postoje ograničenja u pogledu njihovog zapisa sa stanovišta obima i brzine.

Treći izazov, a pri tome i najznačajniji ograničavajući faktor sa stanovišta vrednosti velikih podataka za kompaniju, ogleda se u poteškoći uspostavljanja odgovarajućih relacija u okviru velikog pula preklapajućih podataka. Veoma veliki skupovi podataka često sadrže veliki broj sličnih ili virtuelno identičnih opservacija koje mogu ukazati na lažne korelacije i za rezultat imati pogrešne menadžerske odluke. Još 2010. godine,

časopis *Economist* je u okviru svojih članaka ukazivao na činjenicu da iako mnoge firme imaju pristup veliki podacima, takvi podaci nisu uvek objektivni s obzirom da poteškoće postoje kod izvlačenja tačnih informacija iz takvih podataka. Takođe, određeni algoritmi mašinskog učenja koji se koriste za analizu velikih podataka, ponekad identifikuju korelacije koje nisu adekvatne za preduzimanje odgovarajućih menadžerskih aktivnosti. Algoritmi mašinskog učenja treba da se koriste kao neka vrsta vodiča za buduća istraživanja i to na način da omoguće kompanijama da predvide efekete njihovih preduzetih aktivnosti (Domingos, 2012). Drugim rečima, sama veština činjenja velikih podataka dragocenim za kompaniju se ogleda u prelasku sa korelacija utvrđenih posmatranjem na precizno identifikovanje onih korelacija koje predstavljaju osnovu za preduzimanje strateških akcija.

Jedan od najboljih primera velikih podataka jeste *Google Trends* koji koristi Guglove zapise agregiranih upita pretraživanja. To je takođe primer slučaja koji ukazuje na činjenicu da mala koreliranost podataka ograničava njihovu korisnost.

Da bi veliki podaci obezbedili vrednost za kompaniju, kompanija mora biti u mogućnosti da dizajnira i implementira smislene eksperimente koji će joj omogućiti da izvede zaključke da li su podaci u blagoj korelaciji ili je veza između podataka osnov za predviđanje budućih aktivnosti. Implementacija takvih eksperimenata, na osnovu kojih se donose adekvatni zaključci i preduzimaju adekvatne akcije, nije uvek jednostavna. Uspešne kompanije su one koje su u stanju da tokom vremena razviju sposobnost da dizajniraju, implementiraju, evaluiraju smislene eksperimente, a zatim i preduzimaju adekvatne akcije po sprovođenju istih na terenu. Tek u okruženju koje bazira na testiranju i učenju, uz podršku veština da se preduzmu određene akcije na osnovu uvida dobijenih iz eksperimenata, veliki podaci mogu predstavljati vrednost za kompaniju. Što se tiče zahteva eksperimenta u pogledu veličine podataka, Guglov primer da koristi slučajne uzorke u veličini od 0.1% od raspoloživih podataka da bi sproveo analize, ukazuje na činjenicu da veličina podataka nije presudan faktor za sprovođenje odgovarajućih analiza (Varian, 2014). Međutim savremena literatura ipak sugeriše da veličina velikih podataka može biti presudna imajući u vidu činjenicu da što je veća baza podataka, jednostavnije je obezbediti podršku za bilo koju postavljenu hipotezu. Drugim rečima, s obzirom da veliki podaci često sadrže velika preklapanja, dešava se da kompanije iz hiljaditog dela baze podataka dobiju slične informacije kao i u slučaju korišćenja celokupne baze podataka.

Eksperiment nije jedini metod koji kompanije mogu koristiti za izvođenje zaključaka na osnovu analize velikih podataka. Pored eksperimenta, kompanije mogu raditi na izgradnji savršenijih algoritama obrade velikih podataka. Jedan od takvih algoritama su sistemi preporuka. Ovi sistemi baziraju na algoritmima zasnovanim na koreliranim podacima, sa ciljem da preporuče najrelavantniji proizvod potrošaču. Upravo ovi algoritmi ukazuju na činjenicu da veličina podataka nije presudan faktor, već sposobnost da se identifikuju kritični delovi informacija koji najbolje predviđaju potrošačeve preference.

Na osnovu gore navedenog, može se zaključiti da u savremenim uslovima poslovanja najveći izazov za kompanije se krije u njihovoj sposobnosti da osmisle adekvatnu strategiju velikih podataka, da implementiranju sisteme i utvrde alate za analizu istih, kao i da izvrše prilagođavanje organizacionih kapaciteta kompanije.

5. NEZAMENJIVOST VELIKIH PODATAKA

Da bi izvor kao što su veliki podaci obezbedio održivu konkurentsku prednost kompanije, ne sme postojati drugo sredstvo za ostvarivanje uspeha u okviru odgovarajuće industrije u kojoj određena kompanija ostvaruje svoje poslovanje. Međutim, u savremenom digitalnom svetu postoji čitav niz primera kompanija koje su iznenada nastale, nemaju nikakvu prednost u pogledu raspoloživih podataka, ali su ipak u mogućnosti da privuku veliki broj potrošača jer nude superiorniji proizvod ili uslugu. U nastavku navodimo pet slučajeva u kojima se alternativne sposobnosti kompanija pojavljuju kao supstitut velikim podacima i samim tim veliki podaci nisu dovoljan i održiv izvor konkurentske prednosti kompanija.

Prvi slučaj je sektor komunikacija u kome se veliki skupovi podataka koriste za unapređenje operacija i za unapređenje ponude ka potrošačima. Mnoge tradicionalne komunikacione kompanije kao što su *Verizon* i *AT&T* u SAD-u, imaju velike skupove podataka koji služe za pružanje usluga slanja poruka. Uprkos tome, aplikacija *WhatsApp* je postala ozbiljan konkurent na tržištu slanja poruka zbog interfejsa koji je bio lak za upotrebu i veoma niskih troškova slanja poruka.

Drugi slučaj se odnosi na sektore u kojima su se istorijski posmatrano malo koristili podaci. Iako je logično da će kompanije iz bliskih sektora, koje raspolažu velikim podacima, imati neprikosnovenu prednost u modernizaciji sektora u kojima su se prethodno malo koristili podaci, uspon ekonomije deljenja je dokazao da to nije pravilo. Premda *Uber* i *AirBnB* prilikom ulaska na tržište nisu raspolagali velikom bazom podataka, postali su uspešni jer su uspeli da ponude uslugu koja adekvatnije zadovoljava zahteve njihovih korisnika, nego konkurenti.

Treći slučaj su sektori u kojima su podaci značajni za isporuku personalizovanog iskustva i gde je takvo iskustvo od posebnog značaja za iskustvo potrošača. Jedan od najznačajnijih primera jesu aplikacije za onlajn pronalaženje partnera, poput aplikacije *Tinder*. *Tinder* nije postao uspešan zahvaljujući velikim podacima, nego jer je korisnicima pružio bolje (jednostavnije) korisničko iskustvo.

Četvrti slučaj su sektori sa troškovima promene brenda i efektima umrežavanja, poput društvenih mreža. Zanimljivo je da veliki podaci nisu uspeli da zaštite najveće kompanije iz ove oblasti, poput *MySpace* mreže, koja je zamenjena društvenom mrežom *Facebook*, ne zato što je *Facebook* bolje koristio velike podatke, nego zato što je svojim korisnicima ponudio bolje korisničko iskustvo davanjem više kontrole nad njihovim interakcijama na toj društvenoj mreži.

Peti slučaj koji govori o tome da su veliki podaci zamenjivi, jeste slučaj finansiranja startap kompanija od strane „venture“ kapitala, koje zahvaljujući svojim inovativnim rešenjima na lokalnim tržištima postižu odlične rezultate i pored toga što ne poseduju velike podatke, dok su im konkurenti velike kompanije koje imaju pristup velikim podacima (primer američkog tržišta: male kompanije koje se bave dostavom ostvaruju uspehe na lokalnom tržištu iako su u konkurenciji sa kompanijama *Amazon Fresh* i *Google Express* koje imaju pristup velikim podacima o potrošačima).

Može se zaključiti da veliki podaci nisu nezamenjivi u slučaju pružanja onlajn usluga, iako je vlasništvo nad velikim podacima najčešće prirodna posledica uspešnosti u pružanju onlajn usluga. Ono što određuje uspeh u pružanju onlajn usluga jeste superiorna sposobnost da se razumeju i prepoznaju potrošačeve potrebe. U nestabilnim uslovima digitalnog poslovanja ne postoji dovoljno dokaza da je samo posedovanje velikih podataka dovoljna zaštita za kompanije u odnosu na one kompanije koje nude superiornije proizvode ili usluge.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Analiza velikih podataka sa stanovišta jedinstvenosti, retkosti, dragocenosti i nezamenjivosti prikazana u radu, ukazuje na činjenicu da glavni izazovi za kompaniju u uslovima digitalne ekonomije leže u formulisanju digitalne strategije, kao i strategije velikih podataka, koje treba da omoguće implementaciju sistema i alata za analiziranje istih, kao i da obezbede prilagođavanje kompanija sa stanovišta organizacionih sposobnosti. Rukovodeći se navedenim, možemo zaključiti da istraživanje konkurentske prednosti, u uslovima digitalne ekonomije, treba da se fokusira na privlačenje stručnog kadra koji će primenom odgovarajućih poslovnih analitika biti u mogućnosti da transformiše velike podatke u odgovarajuće alate koji obezbeđuju dodatu vrednost za kompaniju.

Da bi se obezbedila održiva konkurentska prednost kompanije, fokus digitalne strategije treba da bude na načinu korišćenja digitalnih tehnologija koji će omogućiti dodatu vrednost za samog potrošača i to na način koji je u prošlosti bio nezamisliv.

Prema tome, možemo zaključiti da razvoj održive konkurentske prednosti kompanije u uslovima novog okruženja koje bazira na bogatstvu podataka, zahteva da se kompanije fokusiraju na razvoj, kako alata, tako i organizacionih kompetencija i na taj način obezbede novu vrednost za svoje potrošače (Porter i Millar, 1985). Kompanije koje su bile u stanju da razviju načine uspešnog korišćenja velikih podataka ostvarile su kratkoročne operacione prednosti, kako sa stanovišta troškova, tako i sa stanovišta poslovnih performansi.

Jedno pitanje i dalje nije do kraja razjašnjeno, a odnosi se na dugoročne strateške implikacije velikih podataka za kompaniju (McAfee et al., 2012). U tom delu akademska javnost se razlikuje u svojim stavovima, da li to vodi novom vidu konkurentske prednosti ili ne (McGuire et al., 2012). Sistemski pristup ovom, za kompaniju veoma ključnom pitanju, do današnjih dana nije razvijen.

REFERENCE

[1] Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of management 17*(1), 99–120.

[2] Calandrino, J., Kilzer, A., Narayanan, A., Felten, E. and Shmatikov, V. (2011). You might also like: Privacy risks of collaborative filtering. In *Proceedings - 2011 IEEE Symposium on Security and Privacy, SP 2011,* 231-246.

[3] Chen, H., Chiang, R. H.. and Storey, V. C. (2012). Business intelligence and analytics: From big data to big impact. *MIS quarterly 36*(4), 1165–1188.

[4] Chroneos-Krasavac, B., Soldić-Aleksić, J. and Petković, G. (2016). The Big Data Phenomenon – Business and Public Impact. *Industrija, 44*(2). Ekonomski Institut, Beograd

[5] Cuzzocrea, A., Song, I.-Y. and Davis, K. C. (2011). Analytics over large-scale multidimensional data: The big data revolution! In *Proceedings of the ACM 14th International Workshop on Data Warehousing and OLAP, DOLAP '11*, 101–104.

[6] Domingos, P. (2012). A few useful things to know about machine learning. *Commununications of the ACM, 55*(10), 78-87.

[7] McAfee, A., Brynjolfsson, E., Davenport, T. H., Patil, D. and Barton D. (2012). Big data. The management revolution. *Harvard Business Review* 90(10), 61–67.

[8] McGuire, T., Manyika, J. and Chui, M. (2012). Why big data is the new competitive advantage. *Ivey Business Journal 76*(4), 1–4.

[9] Narayanan, A. and Shmatikov, V. (2008). Robust de-anonymization of large sparse datasets. In *Security and Privacy, SP 2008*, 111-125.

[10] Porter, M. E. and Millar, V. E. (1985). How Information Gives You Competitive Advantage, *Harvard Business Review, 63*(4), 149–160.

[11] Shapiro, C. and Varian, H. R. (1999). Information rules: a strategic guide to the network economy. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press

[12] Soldić-Aleksić, J., Chroneos-Krasavac, B. and Karamata, E., (2019). Business analytics: new concepts and trends. *Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, DOI: 10.7595/management.fon.2019.0013

[13] Varian, H. R. (2014). Big data: New tricks for econometrics. *The Journal of Economic Perspectives, 28*(2), 3–28.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ZLATNA KOPAČKA – KRITIKA TRENUTNE METODOLOGIJE

GOLDEN SHOE – CRITICISM OF CURRENT METHODOLOGY

MILAN RADOJIČIĆ[1], ALEKSANDAR ĐOKOVIĆ[2], SANDRO RADOVANOVIĆ[3], NIKOLA CVETKOVIĆ[4]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, milan.radojicic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, aleksandar.djokovic@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, sandro.radovanovic@fon.bg.ac.rs
[4] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, nikola.cvetkovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu predstavljena je kritika trenutnog sistema za dodelu nagrade za najboljeg strelca Evrope u fudbalu. Autori smatraju da trenutna metodologija, koja se zasniva na dodeli koeficijenata igračima po osnovu ranga lige, ne oslikava stvarnu težinu postizanja pogotka. U prethodnih deset godina svi osvajači „Zlatne kopačke" su te sezone igrali za klub iz Španije. Zbog lige u kojoj nastupaju njihovi golovi su se množili sa koeficijentom 2. Analiza prethodnih osam sezona za najviše divizije 26 evropskih zemalja je pokazala da je način na koji se dodeljuju koeficijenti neosnovan.*

Ključne reči: *definisanje koeficijenata, zlatna kopačka, fudbal,.*

Abstract: *In this paper represent a critique of the current award-winning system for Europe's best goalscorer. The authors argue that the current methodology, which is based on the allocation of coefficients to football players based on the rank of the league, does not reflect the real difficulty of scoring a goal. In the past ten years, all winners of „Golden Shoe" played for the Spanish club that season when they won award. Because of the league they play, their goals have multiplied with the coefficient of 2. The analysis of the previous eight seasons for the top divisions of 26 European countries has shown that the way in which the coeffcients are defined is unfounded.*

Keywords: *coefficient definition, golden shoe, football.*

1. UVOD

Kritički osvrt na trenutne trendove i metodologije u fudbalu obično je vezan za analizu ključnih indikatora koji doprinose uspešnosti ekipe (Mackenzie & Cushion, 2013), dok će se u ovom radu na kritički način sagledati metodologija prema kojoj se dodeljuje nagrada za najboljeg strelca Evrope. Cilj rada je da se primenom statističkih analiza pokažu slabosti te metodologije a ideja rada je da se dobije jaka osnova za buduća istraživanja koja će za cilj imati predlog novog, poboljšanog modela za određivanje najboljeg strelca Evrope.

Statističke analize vezane za fudbal mogu biti posmatrane sa ekonomske, ili sa sportske strane gledišta. Ukoliko u analizu ulaze finansijski pokazatelji kao što su na primer, plate igrača, ili vrednosti igrača na tržištu, onda govorimo o ekonomskim aspektima (Kulikova & Goshunova, 2014). Sportski aspekti analiziraju učinak na terenu, kao što je broj golova, broj asistencija, broj pobeda, pozicija na tabeli, i dr. Analize se mogu razlikovati i po tome da li se hipoteze koje se dokazuju, odnose na igrače, timove ili lige.

U literaturi se najčešće nalaze istraživanja koja se odnose na tehničke i taktičke aspekte timova (Castañer et al., 2016). Pregledom literature uočeno je da je posredstvom statističkih metoda multivarijacione analize ispitivan uticaj mentalnih (Sarmento et al., 2014), fizičkih (Bloomfield et al., 2007) i tehničkih (Bradley et al., 2013) karakteristika igrača na celokupan uspeh ekipe (Radojicic et al., 2013).

Čest je slučaj poređenja karakteristika među igračima u cilju merenja njihove efikasnosti i produktivnosti. Najveći broj takvih radova je zasnovan na ispitivanju kako učinak na terenu utiče na platu igrača (Frick, 2011; Lehmann & Schulze, 2008; Radojicic et al., 2016). Takvi radovi posmatraju fudbal sa ekonomske tačke gledišta. Međutim, analiza se može vršiti i sa sportskog aspekta. Fraj i koautori (Fry et al., 2014) su vršili analizu sporskog aspekta. Oni su procenjivali produktivnost igrača u smislu broja datih golova. Pronašli su da postoji povezanost broja postignutih golova sa sledećim parametrima: godinama starosti igrača, broju provedenih minuta u igri, visinom igrača, nogom kojom igrač šutira i pozicijom na terenu.

Najmanje je onih istraživanja koje se odnose na poređenja između liga različitih zemalja. Čak i ta istraživanja obično uključuju samo pet najpopularnijih liga (Frick, 2007). U ovom radu analizirano je 26 liga iz 26 različitih zemalja Evrope.

U sledećem delu rada biće objašnjen koncept i metodologija prema kojoj se dodeljuje nagrada za najboljeg strelca Evrope. U trećem poglavlju prikazani su rezultati statističkih analiza, dok četvrto poglavlje predlaže budući tok istraživanja i zaključuje rad.

2. OPIS PROBLEMA

„Zlatna kopačka“ predstavlja prestižnu i zvanično priznatu nagradu za najboljeg strelca Evrope. Nagrada se na kraju svake sezone dodeljuje od strane udruženja Evropski sportski mediji (ESM) igraču koji je postigao najveći broj golova u najvišoj diviziji države članice Unije evropskih fudbalskih asocijacija (UEFA). Dodeljuje se za period od jedne ligaške sezone i u obzir se uzimaju samo domaće ligaške utakmice, odnosno ne važe se golovi postignuti u domaćim kup takmičenjima, evropskim takmičenjima, niti prijateljskim utakmicama. Takođe, golovi postignuti na reprezenativnom nivou ne ulaze u ukupan zbir (“ESM,” 2019).

Prilikom obračuna postignutih golova ne uzima se u obzir broj utakmica na kojima je igrač učestvovao, kao ni broj kola koje jedna liga ima. Na ovaj način se igrači iz pojedinih liga implicitno favorizuju, pa tako recimo igrači koji nastupaju u najvišoj diviziji Nemačkog prvenstva – *Bundesligi*, ukupno u toku sezone mogu da odigraju najviše 34 utakmice, naspram igrača iz najviše divizije Španskog prvenstva – *La lige*, koji u toku sezone mogu da nastupe na 38 utakmica. To iznosi čak za 11% veći broj utakmica na kojima fudbaleri iz *La lige* mogu da postignu gol, koji bi im doneo prevagu u borbi za prvog strelca Evrope i osvajača „Zlatne kopačke“.

Pored ovog implicitnog favorizovanja određenih liga, postoji i eksplicitno, koje je definisano kroz kriterijum za dodelu nagrade. Naime, svaki postignuti gol se množi sa određenim koeficijentom koji predstavlja težinu lige. Ti koeficijenti se dodeljuju na osnovu ranga koji liga zauzima na UEFA listi (“UEFA,” 2019). Postoje tri vrednosti za koeficijente:

- 2 – golovi postignuti u prvih pet rangiranih liga, prema UEFA, se množe sa koeficijentom 2;
- 1.5 – golovi postignuti u ligama koje su prema UEFA rangirane od 6. do 22. mesta se množe sa koeficijentom 1.5;
- 1 – golovi postignuti u ligama koje su prema UEFA rangirane ispod 22. mesta se množe koeficijentom 1.

Ovaj način vrednovanja, praktično onemogućava da neki igrač koji ne nastupa u nekoj od pet prvorangiranih liga, osvoji „Zlatnu kopačku“. Dakle, igrač koji bi postigao 30 golova u nekoj ligi čija se težina vrednuje sa 1.5, bio bi slabije rangiran od igrača neke od pet prvoplasniranih liga koji je postigao 23 gola. Takođe, igrač iz lige čija se težina vrednuje sa 1, morao bi da postigne više od 46 golova kako bi bio ispred njih. Jedini igrač kome je pošlo za nogom da osvoji „Zlatnu kopačku“, a da ne nastupa u ligi čija se težina vrednuje sa najvećim koeficijentom je Henrik Larson. Švedski napadač je nastupajući za Seltik u škotskoj *Premijer ligi* u sezoni 2000/2001 postigao 35 golova, što mu je uz koeficijent lige od 1.5 donelo ukupno 52.5 bodova, što se ispostavilo kao dovoljno da bude prvorangirani (“The Rec.Sport.Soccer Statistics Foundation,” 2019). Treba istaći da su ovi koeficijenti uvedeni tek od sezone 1996/1997, a da je pre toga svaka liga vrednovana isto, odnosno, u obzir se uzimao samo broj postignutih golova, bez ponderisanja.

Trenutno važeća metodologija za dodelu „Zlatne kopačke“ treba da odgovori na dva osnovna pitanja:

- Zašto su definisane tri date vrednosti za koeficijente?
- Kako je napravljen presek između liga?

Kao osnovni razlog za ovakvo definisanje koeficijenata navodi se to što se smatra da je u prvih pet rangiranih liga igračima teže da postignu pogodak. Međutim, da li je to tako? Štaviše, i pod pretpostavkom da je ta tvrdnja tačna, da li je ispravno dodeliti koeficijente koji su trenutno dodeljeni. Trenutni koeficijenti impliciraju da je na primer u Španiji koja je trenutno provrangirana na UEFA listi, duplo teže postići pogodak nego u Škotskoj, koja zauzima 23. poziciju. Što se tiče odgovora na drugo pitanje, ni sam ESM nije bio siguran u presek koji treba biti napravljen, jer su u prvih nekoliko sezona kada su uvedeni koeficijenti, najveći koeficijent imale prvih osam rangiranih liga. Kasnije je to promenjeno na prvih pet.

Još jedna slabost trenutnog sistema je ta što ne postoji drugi kriterijum za rangiranje u onim slučajevima kada dva igrača ostvare isti broj bodova. Tako su u sezoni 2013/2014 dva igrača osvojila „Zlatnu kopačku“. Kristijano Ronaldo i Lus Suarez su postigli po 31 ligaški pogodak i bili su prvorangirani sa po 62 poena, iako su im drugi parametri po kojima je moglo da se izvrši dodatno rangiranje bili znatno različiti. Suarez je nastupio na dve utakimce više od Ronalda, ali je sve svoje golove postigao iz igre, dok je Ronaldo dao šest golova sa penala. Takođe, Suarez je imao tri asistencije više od Ronalda (“Transfermarkt,” 2019).

3. ANALIZA REZULTATA

U svrhu analize trenutne metodologije za dodelu „Zlatne kopačke“ prikupljeni su podaci iz prethodnih osam sezona za najviše divizije 26 država članica UEFA. Za svaku od osam sezona izvučeni su podaci i definisane su sledeće promenljive: Prosek_golova, Max_golova i Uefa_rank. Detaljnije objašnjenje svake promenljive se nalazi u Tabeli 1. Pošto je ideja da se anlizira koliko je „teško“ postići gol u određenoj ligi, onda su u analizu uključene one promenljive koje su u direktnoj vezi sa postizanjem golova.

Tabela 1: Promenljive korišćene u analizi

Naziv	Opis
Prosek_golova	Predstavlja prosečan broj golova po utakmici koji je postignut u toku jedne sezone. Izračunava se kao količnik ukupne sume postignutih golova svakog tima u ligi i ukupnog broja utakmica u ligi. Podaci preuzeti iz Transfermarktove baze podataka.
Max_golova	Predstavlja broj postignutih golova kluba koji je dao najviše golova u ligi te sezone. Podaci preuzeti iz Transfermarktove baze podataka.
Uefa_rank	Definisan od strane UEFA i računa se posebnom metodologijom na osnovu ranijeg uspeha klubova iz lige u evropskim takmičenjima. Podaci preuzeti sa zvaničnog UEFA sajta.

Kao osnovnu promenljivu logično je izabrati Prosek_golova po utakmici. Međutim, ta promenljiva može za pojedine lige da predstavi iskrivljenu sliku jer je čest slučaj da u pojedinim ligama postoji jedan ili dva dominantna kluba koji su znatno bolji od ostalih, pa samim tim i postižu više golova od ostalih u toj ligi, dok na ostalim utakmicama te lige bude mali broj pogodaka, pa bi onda ukupan prosek po utakmici bio niži, a igrači koji igraju u tim dominantnim klubovima bi postizali nesrazmerno visok broj golova u odnosu na prosek lige. Zbog toga je u analizu uključena i promenljiva Max_golova. Naša pretpostavka je proverena preko koeficijenata Pirsonove linearne korelacije između te dve promenljive. Dobijena je vrednost $r=0.372$ ($n=208$, $p<0.05$) što ukazuje na postojanje srednje pozitivne korelacije između te dve promenljive (Cohen, 2013). Obzirom da nismo dobili veliku jačinu korelacije opravdano je uvođenje promenljive Max_golova u analizu.

Tabela 2: Deskriptivna statistika

Država	Prosek golova 2011-2018	Max golova 2011-2018	UEFA rang 2018	Država	Prosek golova 2011-2018	Max golova 2011-2018	UEFA rang 2018
Austrija	2.82	110	15	Poljska	2.55	75	20
Belgija	2.80	69	9	Portugal	2.56	88	7
Češka	2.63	78	11	Rep. Irska	2.69	85	38
Danska	2.71	82	18	Rusija	2.40	85	6
Engleska	2.74	106	3	Škotska	2.66	106	23
Finska	2.64	86	36	Slovačka	2.55	82	31
Francuska	2.53	108	5	Slovenija	2.65	88	30
Grčka	2.30	88	14	Španija	2.77	121	1
Holandija	3.12	103	13	Srbija	2.33	97	28
Hrvatska	2.54	85	16	Švajcarska	2.91	92	12
Italija	2.67	94	4	Švedska	2.77	67	21
Nemačka	2.89	98	2	Turska	2.73	84	10
Norveška	2.95	73	25	Ukrajina	2.56	82	8

Osnovna premisa trenutne metodologije za dodelu „Zlatne kopačke“ se zasniva na ideji da je u slabije rangiranim ligama lakše postići gol. Autori ovog rada smatraju da to nije slučaj, pa bi osnovna hipoteza mogla da se definiše kao:

„Trenutna metodologija za dodelu “Zlatne Kopačke“ koja se zasniva na dodeli koeficijenata po osnovu UEFA ranga lige ne oslikava težinu postizanja pogotka.“

Ova hipoteza treba da se dokaže ili opovrgne na osnovu sledećih pitanja:

- Postoji li veza između proseka golova po ligama i UEFA ranga lige, odnosno opada li rang lige sa porastom proseka golova?
- Postoji li veza između broja golova najefikasnijeg tima lige i UEFA ranga lige, odnosno opada li rang lige sa porastom golova najefikasnijeg tima?

Posebno će biti ispitano da li postoji statistički značajna promena broj postignutih golova po ligama, kroz vremensku dimenziju.

Deskriptivna statistika za lige je prikazana u Tabeli 2. UEFA rang lige je prikazan samo za poslednju sezonu. Kao što se može primetiti iz Tabele 2, najmanje golova se postigne na utakmicama grčke *Super lige*, dok najviše golova postižu igrači koji nastupaju u holandskoj *Erdivisie*. Interesantno je to da je prema UEFA rangu za 2018. godinu holandska *Erdivisie* pozicionirana na 13. mestu dok je grčka *Super liga* na 14. mestu. Dakle, one se nalaze u istoj grupi zemalja, gde se pogodak igrača vrednuje koeficijentom od 1.5. Ovaj jednostavan primer pokazuje nelogičnost trenutne metodologije jer su dve lige u kojima statistički najčešće i najređe padaju golovi svrstane u istu kategoriju.

Tabela 3: Spirmanova korelacija između Uefa_rank i promenljivih vezanih za broj golova

Promenljiva	Spearman ro	Sig.	Uzorak
Prosek_golova	-0.098	0.160	208
Max_golova	-0.361	0.000	208

Kako bi smo dobili odgovore na postavljena pitanja izvršena je analiza koeficijenata Spirmanove korelacije ranga. Ova korelacija se smatra prikladnom jer je promenljiva Uefa_rank merena na ordinalnoj skali, odnosno njene vrednosti predstavljaju rangove liga. Dobijeni rezulatati su prikazani u Tabeli 3. Rezultati pokazuju da ne postoji veza između proseka golova po utakmici i ranga koji liga zauzima na UEFA listi. Ovakav rezulat indicira da „težina“ postizanja gola u nekoj ligi ne bi trebala da se meri preko UEFA ranga, odnosno da ne znači da što je liga bolje rangirana na listi da je u toj ligi teže postići pogodak. Takođe, broj pogodaka najefikasnijih timova liga ima srednju negativnu korelaciju sa UEFA rangom. To nam govori da je veća verovatnoća da će timovi koji dolaze iz prvorangiranih UEFA liga, postići veći broj pogodaka po sezoni od timova koji igraju u slabijerangiranim ligama. Ovakvi rezultati dodatno potvrđuju da je bespotrebno trenutno favorizovanje igrača koji igraju u klubovima koji nastupaju u nekoj od prvih pet liga, dodeljujući im veći koeficijent za svaki postignuti pogodak, kada oni i bez toga imaju veću verovatnoću da osvoje „Zlatnu kopačku“ od igrača neke nižeplasirane lige.

Tabela 4: Rezultati Fridmanovog testa

Promenljive	Uzorak	Hi-kvadrat	Stepeni slobode	Sig.
Prosek_golova	26	8.681	7	0.276
Max_golova	26	8.579	7	0.284

Tendencija promene broja postignutih golova po ligama, kroz godine, ispitivana je pomoću Fridmanovog testa. Lige predstavljaju uzorak koji je izmeren u osam različitih navrata (sezona). Rezultati su prikazani u Tabeli 4. Rezultati Fridmanovog testa pokazuju da ne postoji statistički značajna razlika po sezonama niti u smislu proseka golova po utakmici, niti u smislu broja golova koji postigne najefikasniji tim lige. Na osnovu toga može se zaključiti da u evropskim ligama postoji određena pravilnost u smislu broja postignutih golova. To znači da se može očekivati da će i u budućnosti u Holandiji biti postignuto mnogo više golova nego u Grčkoj, kao i da će najefikasniji tim španskog prvenstva biti i najefikasniji tim cele Evrope. Samim tim, napadači koji nastupaju u najefikasnijim španskim klubovima su u početnoj prednosti u odnosu na ostale igrače, s obzirom da ti klubovi postižu veći broj pogodaka od ostalih.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je kritikovana trenutna metodologija prema kojoj se dodeljuje nagrada za najboljeg strelca Evrope. Na osnovu statističkih tehnika za istraživanje veza između promenljivih pokazano je da dodela koeficijenata po osnovu UEFA ranga lige ne oslikava težinu postizanja pogotka. Nije pronađena korelacija između broja postignutih golova po utakmici i ranga lige. Štaviše, rezultati ukazuju na to da najefikasniji timovi u boljeplasiranim ligama postižu veći broj pogodaka od najefikasnijih timova nižerangiranih liga, što znači da ti klubovi imaju veću verovatnoću da na kraju sezone imaju igrača koji je postigao najveći broj pogodaka u Evropi. Takođe je pokazano da u evropskim ligama postoji određena pravilnost u smislu broja

golova koji se može očekivati da bude postignut kako u celim ligama, tako i u najefikasnijim klubovima tih liga.

U prethodnih osam sezona svi dobitnici „Zlatne kopačke“ su došli iz španske *La lige* gde se svaki postignuti gol množi sa koeficiejntom 2. Međutim, u čak šest od tih prethodnih osam sezona, dobitnici „Zlatne kopačke“ bi ostali isti i da u obzir nije uzet koeficijent, već samo broj postignutih golova (“Transfermarkt,” 2019). Na osnovu svega ovoga, nameće se zaključak da koeficijenti koji su definisani od strane ESM-a, ne služe kako bi se pravilno vrednovala „težina“ postizanja pogotka, već da bi se obezbedilo da pobednik bude igrač koji nastupa u jednoj od pet najjačih liga.

Budući pravac istraživanja bi trebao da ide ka predlogu novog, „pravednijeg“ modela za određivanje dobitnika „Zlatne kopačke“. Ističe se mogućnost definisanja koeficijenata na osnovu metode Ivanovićevog odstojanja (Ivanović, 1977). Primenom drugačijih koeficijenata, pružila bi se mogućnost i igračima koji nastupaju u nekima manje popularnim ligama da ravnopravno konkurišu za nagradu. Takođe, buduća analiza bi trebala da uključi svih 55 najviših divizija država članica UEFA.

LITERATURA

[1] Bloomfield, J., Polman, R., & O’Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. Journal of Sports Science & Medicine, 6(1), 63.

[2] Bradley, P. S., Carling, C., Gomez Diaz, A., Hood, P., Barnes, C., Ade, J., … Mohr, M. (2013). Match performance and physical capacity of players in the top three competitive standards of English professional soccer. Human Movement Science, 32(4), 808–821. https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.06.002

[3] Castañer, M., Barreira, D., Camerino, O., Anguera, M. T., Canton, A., & Hileno, R. (2016). Goal Scoring in Soccer: A Polar Coordinate Analysis of Motor Skills Used by Lionel Messi. Frontiers in Psychology, 7. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00806

[4] Cohen, J. (2013). Statistical power analysis for the behavioral sciences. Routledge.

[5] ESM. (2019). Retrieved May 15, 2019, from http://www.eusm.eu/item/goldenshoe_winners.htm

[6] Frick, B. (2007). The football players’ labor market: empirical evidence from the major european leagues. Scottish Journal of Political Economy, 54(3), 422–446. https://doi.org/10.1111/j.1467-9485.2007.00423.x

[7] Frick, B. (2011). Performance, salaries, and contract length: Empirical evidence from German soccer. International Journal of Sport Finance, 6(2), 87.

[8] Fry, T. R. L., Galanos, G., & Posso, A. (2014). Let’s Get Messi? Top-Scorer Productivity in the European Champions League. Scottish Journal of Political Economy, 61(3), 261–279. https://doi.org/10.1111/sjpe.12044

[9] Ivanović, B. (1977). Teorija klasifkacije. Beograd: Institut za ekonomiku industrije.

[10] Kulikova, L. I., & Goshunova, A. V. (2014). Efficiency measurement of professional football clubs: a non-parametric approach. Life Science Journal, 11(11), 117–122.

[11] Lehmann, E. E., & Schulze, G. G. (2008). What does it take to be a star?-The role of performance and the media for German soccer players. Applied Economics Quarterly, 54(1), 59.

[12] Mackenzie, R., & Cushion, C. (2013). Performance analysis in football: A critical review and implications for future research. Journal of Sports Sciences, 31(6), 639–676. https://doi.org/10.1080/02640414.2012.746720

[13] Radojicic, M., Djokovic, A., & Jeremic, V. (2016). Evaluating football players efficiency using different multivariate analysis approaches. In XLIII Симпозијум о операционим истраживањима – SYM-OP-IS (pp. 607–610). Tara.

[14] Radojicic, M., Milenkovic, N., Totic, S., Bijelic, A., & Djokovic, A. (2013). Statistička analiza performansi fudbalskih timova. In XL Simpozijum o operacionim istraživanjima – SYM-OP-IS (pp. 845–850). Zlatibor.

[15] Sarmento, H., Marcelino, R., Anguera, M. T., CampaniÇo, J., Matos, N., & LeitÃo, J. C. (2014). Match analysis in football: a systematic review. Journal of Sports Sciences, 32(20), 1831–1843. https://doi.org/10.1080/02640414.2014.898852

[16] The Rec.Sport.Soccer Statistics Foundation. (2019). Retrieved May 15, 2019, from http://www.rsssf.com/miscellaneous/gboot.html

[17] Transfermarkt. (2019). Retrieved May 15, 2019, from https://www.transfermarkt.com

[18] UEFA. (2019).Retrieved May15, 2019, from https://www.uefa.com/memberassociations/uefarankings/country/#/yr/2019

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM PRIMENOM ADEKVATNIH INDIKATORA PERFORMANSI

PRODUCTION MANAGEMENT BY APPLICATION OF APPROPRIATE PERFORMANCE INDICATORS

TEODORA RAJKOVIĆ [1], DRAGANA MAKAJIĆ-NIKOLIĆ [2], MIRKO VUJOŠEVIĆ [3], DANICA LEČIĆ-CVETKOVIĆ [4]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, teodora.rajkovic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, dragana.makajic-nikolic@fon.bg.ac.rs
[3] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, mirko.vujosevic@fon.bg.ac.rs
[4] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, danica.lecic-cvetkovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U upravljanju proizvodnjom postoji veliki broj performansi i indikatora performansi koji se mogu meriti i pratiti. Na osnovu definisanih ciljeva proizvodnog preduzeća, moguće je definisati performanse i indikatore performansi za četiri faze upravljanja proizvodnjom (planiranje, organizovanje, realizovanje, kontrola). Za svaku fazu upravljanja proizvodnjom potrebno je odrediti indikatore performansi koji su adekvatni, u određenom vremenskom perodu. Na osnovu merenja i praćenja vrednosti adekvatnih indikatora performansi, može se pratiti odvijanje svake faze upravljanja proizvodnjom i lakše i brže uočiti problemi u toj fazi upravljanja, nakon čega se preduzeće usredsređuje na rešavanje tih problema. U ovom radu prikazan je matematički model za izbor skupa adekvatnih indikatora performansi za upravljanje proizvodnjom, po fazama upravljanja. Ovaj model je primenjen na dva hipotetička primera proizvodnih preduzeća. Rezultati simulacije pokazuju da je primenom ovog modela moguće izabrati skup adekvatnih indikatora performansi za upravljanje proizvodnjom, kao i izračunati ukupnu adekvatnost indikatora performansi za upravljanje proizvodnjom za jedno preduzeće.*

Ključne reči: *upravljanje proizvodnjom, skup adekvatnih indikatora performansi, matematički model.*

Abstract: *A huge number of performances and performance indicators can be measured and monitored in production management. Based on the defined goals of the production company, it is possible to define them for the four phases of production management. For each phase is necessary to determine the appropriate performance indicators with which measurement is possible to monitor the development of each phase. It is easier to detect problems at that stage of management, after which the company focuses on solving these problems. This paper presents a mathematical model for the selection of a set of appropriate performance indicators for production management, by management phases. This model is applied to two hypothetical examples of production companies. The simulation results present the possibility of model application in selecting a set of appropriate performance indicators for production management, and to calculate the overall adequacy of performance indicators for production management for one company.*

Keywords: *Production Management, Set of Appropriate Performance Indicators, Mathematical Model.*

1. UVOD

U savremenom pristupu upravljanja, svako proizvodno preduzeće, u zavisnosti od tipa proizvodnje, definiše performanse i indikatore performansi koje meri i čije vrednosti prati. Njihove vrednosti ukazuju na rezultate poslovanja tog preduzeća. Određivanje skupa adekvatnih indikatora performansi u upravljanju proizvodnjom, u određenom vremenskom periodu, predstavlja kompleksan i zahtevan posao za svako preduzeće. Namera ovog rada je da se prikaže matematički model definisan za izbor skupa adekvatnih indikatora performansi za svaku fazu upravljanja proizvodnjom, pomoću koga se vrši izbor indikatora performansi koji su u najvećoj meri adekvatni načinu poslovanja i ciljevima određenog proizvodnog preduzeća, u određenom vremenskom periodu.

Rad se sastoji od šest poglavlja. Nakon uvoda, u drugom poglavlju su predstavljeni osnovni pojmovi vezani za upravljanje proizvodnjom, navedene su i objašnjene četiri faze upravljanja proizvodnjom (planiranje, organizovanje, realizovanje i kontrola). U trećem poglavlju su predstavljene performanse i

indikatori performansi u upravljanju proizvodnjom. U četvrtom poglavlju predstavljen je pojam adekvatnih indikatora performansi, kao i kratak pregled indikatora koji se najčešće koriste u upravljanju proizvodnjom. U petom poglavlju predstavljen je matematički model kreiran za izbor skupa adekvatnih indikatora performansi za svaku fazu upravljanja proizvodnjom. Takođe, prikazana je i njegova primena na dva hipotetička primera, kao i rezultati sprovedenih simulacija i diskusija dobijenih rešenja.

2. PROIZVODNJA I FAZE UPRAVLJANJA PROIZVODNJOM

Upravljanje proizvodnjom je kompleksan proces sa ciljem da se proizvede planirani (naručeni) proizvod određenog kvaliteta, proizveden za predviđeno, što kraće, vreme, sa što nižim troškovima. U upravljanju proizvodnjom postoje četiri osnovne faze: planiranje, organizovanje, realizovanje i kontrola. Prema autorima (Lečić-Cvetković & Atanasov, 2015) u okviru faze *planiranje* definišu se ciljevi upravljanja i određenom strategijom utvrđuje skup akcija za realizaciju postavljenih ciljeva; u fazi *organizovanje* utvrđuje se aparatura za ostvarivanje ciljeva postavljenih u planiranju, podrazumevajući podelu rada, autoritet i delegiranje, efikasno funkcionisanje i organizacionu dinamiku; u fazi *realizovanje* vrši se priprema i transformisanje predmeta rada angažovanjem resursa, za dobijanje proizvoda i/ili usluga; u fazi *kontrole* vrši se kontrola upravljanja, u cilju praćenja i provere dobijenih rezultata i preduzimanje korektivnih mera, kako bi se planirani rezultati postigli i ostvarili. Stalna poboljšavanja u upravljanju proizvodnjom imaju za cilj povećanje produktivnosti preduzeća kroz vezu između izlaza iz proizvodnog sistema i ulaza potrebnih za kreiranje ovih rezultata (Kosieradzka, 2016).

3. PERFORMANSE I INDIKATORI PERFORMANSI U UPRAVLJANJU PROIZVODNJOM

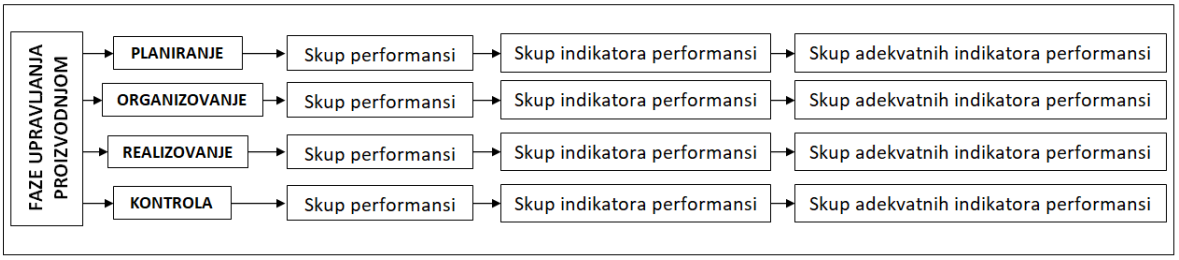
Performansa predstavlja karakteristiku, odnosno pokazatelj rezultata funkcionisanja preduzeća (Neely, 2007). Preduzeća koja koriste sistem za praćenje i merenje performansi bolje posluju od preduzeća koji to nemaju implementirano u svom poslovanju. Prema istom autoru, sistem za merenje performansi ima više elemenata (Neely, 2007): pojedinačne mere (koje kvantifikuju efikasnost i efektivnost akcije), skup mera koje se kombinuju (u cilju procene učinka preduzeća kao celine) i infrastruktura (koja omogućava prikupljanje, sortiranje, analizu, intrepetaciju i distribuciju podataka). Parada i drugi (2018) definišu indikatore kao koristan alat za prenošenje sažetih informacija o ukupnom učinku na relativno jednostavan način. Definisanje indikatora podrazumeva nekoliko faza, poput: prikupljanje podataka, odabir kriterijuma i individualnih indikatora, normalizacija i ponderisanje kriterijuma i indikatora, agregacija i poređenje ukupnog učinka alternativa i opcija. Indikatori performansi se primenjuju u planiranju poslovanja i praćenju ostvarenih rezultata na nivou preduzeća. Mogu se definisati na nivou manjih organizacionih celina, radnih mesta, sektora, kao i celokupnog preduzeća. Indikator performanse označava meru određene performanse, odnosno predstavlja način za određivanje vrednosti performanse, čime se kvantifikuje performansa u posmatranom trenutku ili u određenom vremenskom periodu (Atanasov, 2016). Kaufman (1988) je definisao pet elemenata preduzeća u okviru kojih se mogu primeniti indikatori performansi: *ulaz* (predstavljeni u vidu resursa, npr. materijali, planovi, sirovine, itd.), *proces* (transformacija ulaza u izlaze), *proizvod* (rezultat procesa), *rezultat* (zbir proizvoda preduzeća) i *ishod* (uticaj dobijenog rezultata u praktičnoj primeni).

Prema (Rakar *et al.* 2004), definisano je pet grupa indikatora proizvodnje: bezbednost i životna sredina, efikasnost proizvodnje, kvalitet proizvodnje, praćenje proizvodnog plana i problemi zaposlenih. Stricker i drugi (2017) kao najvažnije indikatore performansi proizvodnje definišu one u oblasti održavanja i nadzora rada mašina: vreme odmora, vreme preventivnog održavanja, vreme za potrebne korekcije, vreme realizacije, vreme za druge administrativne poslove, vreme otkaza i stvarna tehnička vremena kašnjenja sistema, dok kao najbitniji izdavajaju indikator Ukupna efikasnost opreme (*OEE*, eng. *Overall Equipment Effectiveness*).

4. ADEKVATNOST INDIKATORA PERFORMANSI U UPRAVLJANJU PROIZVODNJOM

Prema autorima u (Cronin & Sugimoto, 2014) osnovne karakteristike indikatora performansi koji se posmatraju u proizvodnom preduzeću su: adekvatnost indikatora objektu merenja, osetljivost na unutrašnju inerciju objekta merenja i homogenost dimenzija indikatora. Kod adekvatnosti indikatora performansi bitni su sledeći elementi (Atanasov, 2016): usklađenost indikatora, definisano vreme i cilj primene i uloga indikatora u određenoj fazi proizvodnje. Na adekvatnost indikatora performansi značajno utiču okolnosti iz okruženja poslovnog sistema. Suština definisanja skupa adekvatnih indikatora performansi jeste odabir odgovarajućeg skupa indikatora performansi koji su specifični i od velike važnosti za posmatrani proizvodni proces, kao i definisanje strategije za upotrebu tih indikatora, u cilju efikasnog upravljanja procesom proizvodnje. Definisan skup adekvatnih indikatora performansi prikazuju rezultate funkcionisanja faze upravljanja proizvodnjom za koju su definisani. Samim tim, ukazuju na kvalitet ostvarenih rezultata

određene faze upravljanja. Na Slici 1. prikazan je proces definisanja skupa adekvatnih indikatora performansi za svaku fazu upravljanja proizvodnjom.



Slika 1: Proces definisanja skupa adekvatnih indikatora performansi za faze upravljanja proizvodnjom

5. MODEL ZA IZBOR SKUPA ADEKVATNIH INDIKATORA PERFORMANSI ZA UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM

Problem izbora skupa adekvatnih indikatora performansi za upravljanje proizvodnjom je dosta kompleksan zadatak i rešava se izborom skupa adekvatnih indikatora performansi za svaku fazu upravljanja proizvodnjom. Pretpostavka modela je da za svaku fazu upravljanja proizvodnjom postoji skup performansi preko kojih se prati uspeh te faze, kao i da za svaku od skupa performansi postoji veći broj indikatora performansi preko kojih se oni mogu meriti. Zadatak je da se iz skupa svih indikatora performansi odaberu oni adekvatni. Izbor skupova adekvatnih indikatora performansi po fazama upravljanja proizvodnjom treba da bude takav da kvalitet informacija koje oni pružaju i na osnovu kojih se odlučuje o valjanosti celokupnog procesa upravljanja proizvodnjom (na nivou proizvodnog preduzeća) bude izražen kroz ukupnu adekvatnost indikatora performansi, koja treba da bude maksimalna. U ovom radu definisan je matematički model koji može da se koristi za rešenje ovog problema. Osnovni elementi tog modela su prikazani u nastavku rada.

5.1. Postavka problema

Za formulisanje matematičkog modela problema izbora skupa adekvatnih inidikatora performansi za upravljanje proizvodnjom koristiće se sledeća notacija:

- F – skup faza (planiranje, organizovanje, realizovanje i kontrola), $i \in F$, $F = \{1,2,3,4\}$,
- P – skup performansi, $j \in P$,
- IP – skup indikatora performansi, $k \in IP$,
- P_i – skup performansi za i-tu fazu, $P_i \in P$,
- IP_i – skup indikatora performansi za i-tu fazu, $IP_i \in IP$,
- w_{ijk} – pogodnost k-tog indikatora performansi za j-tu performansu i-te faze,
- $\underline{m_i}$, $\overline{m_i}$ – donja i gornja granica broja indikatora performansi za i-tu fazu.

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{ako se } k\text{-ti indikator koristi za } i-\text{tu fazu,} \\ 0, & \text{u suprotnom.} \end{cases}$$

Matematički model za izbor skupa adekvatnih indikatora performansi (u daljem tekstu SAIP):

$$\max \sum_{i \in F} \sum_{j \in P_i} \sum_{k \in IP_i} w_{ijk} \cdot x_{ik} \tag{1}$$

p.o.

$$\underline{m_i} \le \sum_{k \in IP_i} x_{ik} \le \overline{m_i},\ i \in F \tag{2}$$

$$\sum_{i \in F} x_{ik} \le 1,\ k \in IP \tag{3}$$

$$x_{ik} \in \{0,1\},\ i \in F,\ k \in IP_i \tag{4}$$

Funkcija cilja (1) predstavlja ukupan broj adekvatnih indikatora performansi za sve faze proizvodnje koju treba maksimizirati, na nivou jednog posmatranog preduzeća. Ograničenje (2) se odnosi na najmanji i

najveći broj indikatora performansi koji se posmatraju po fazi proizvodnje. Ograničenjem (3) se obezbeđuje, ukoliko se jedan indikator performansi pojavljuje u više faza, da se dodeljuje samo jednoj od tih faza. Ograničenje (4) se odnosi na binarnu vrednost promenljivih.

5.2. Numerički rezultati

Simulacija modela je izvršena na dva hipotetička primera: prvi primer se odnosi na malo i srednje preduzeće (MSP), a drugi primer na veliko preduzeće (VP). Karakteristike posmatranog MSP jesu: mali broj zaposlenih, veliki broj konkurenata na tržištu, s obzirom da proizvodi robu široke potrošnje, veliki broj kupaca, saradnja sa jako malim brojem dobavljača, kao i jako mali kapital sa kojim raspolažu. Cilj ovog preduzeća je da ostane konkurentno na postojećem tržištu i da zadovolji tražnju, maksimizirajući uspeh svojih zaposlenih i minimizirajući ukupne troškove. Karakteristike posmatranog VP jesu: veliko i stabilno preduzeće koje je monopolista na tržištu, koje definiše liniju proizvoda koju nudi na tržištu i vrši masovnu proizvodnju, i koje ima veliki broj pouzdanih dobavljača i kupaca na tržištu. Cilj ovog preduzeća jeste maksimizacija sopstvenog profita, zadovoljstvo zaposlenih i pravovremena organizacija i realizacija proizvodnje, bez velikih kašnjenja i propusta.

Posmatrane su četiri faze upravljanja proizvodnjom (planiranje, organizovanje, realizacija i kontrola), 11 različitih performansi i 41 različit indikator performansi. U Tabelama 1-4. prikazani su indikatori performansi definisani po performansama za svaku fazu upravljanja proizvodnjom za oba hipotetička primera. Prva vrednost u poljima u tabelama predstavlja težinski koeficijent indikatora performansi po performansi za MSP, a druga vrednost za VP. Za ocenjivanje vrednosti indikatora performansi korišćena je Porterova skala (0-5), gde vrednost 0 predstavlja najmanji značaj tog indikatora za posmatranu fazu, a vrednost 5 najveći značaj indikatora za posmatranu fazu.

Tabela 1. Pogodnost indikatora performansi po performansama za fazu planiranje

PLANIRANJE		INDIKATORI PERFORMANSI IP							
		IP11	IP12	IP13	IP21	IP31	IP41	IP42	IP43
		Vreme isporuke	Škart dostavljenih sirovina	Greške i propusti	Servis	Raspoloživi kapacitet mašina	Planirani troškovi proizvodnje (po jedinici proizvoda)	Planirani troškovi radnika	Planirani troškovi materijala/sirovina
PERFORMANSE P	P1 Saradnja sa dobavljačima	3/3	5/4	4/5	0/0	0/0	0	0/0	0/0
	P2 Saradnja sa kupcima	5/3	0/0	0/0	4/5	0/0	0	0/0	0/0
	P3 Performanse mašine	0/0	0/0	4/3	2/3	5/5	0/0	0/0	0/0
	P4 Performanse troškova	0/0	0/0	2/5	0/0	0/0	3/5	4/3	5/3

Tabela 2. Pogodnost indikatora performansi po performansama za fazu organizovanje

ORGANIZOVANJE		INDIKATORI PERFORMANSI IP										
		IP11	IP12	IP21	IP22	IP31	IP32	IP33	IP34	IP41	IP42	IP43
		Broj smena	Servis	Dostupnost potrebnog broja zaposlenih po planu proizvodnje	Rezervni radnici (u slučaju bolovanja/odmora)	Vreme za organizovanje alata	Vreme podešavanja alata	Vreme pripreme sirovina	Vreme pripreme potrebne dokumentacije	Trošak opreme i alata	Trošak radnika	Trošak sirovina/materijala
PERFORMANSE P	P1 Performanse mašine	3/5	5/3	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
	P2 Performanse zaposlenih	0/0	0/0	5/5	3/4	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
	P3 Performanse vremena	0/0	0/0	0/0	0/0	3/2	4/4	5/3	2/5	0/0	0/0	0/0
	P4 Performanse troškova	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	5/2	4/5	3/4

Tabela 3. Pogodnost indikatora performansi po performansama za fazu realizovanje

REALIZOVANJE			INDIKATORI PERFORMANSI IP										
			IP11	IP12	IP13	IP14	IP15	IP21	IP22	IP31	IP32	IP41	IP42
			Zastoj pr. linije zbog manjka materijala	Utrošak dodatne količine zaliha sir./mat.	Škart sirovina	Škart gotovih proizvoda	Iskorišćeni kapacitet mašine	Prekovremeni rad radnika	Zastoj pr. linije zbog greške radnika	Utrošeno vreme rada na pr. liniji	Kašnjenje materijala na pr. liniju	Ostvareni troškovi proizvodnje	Troškovi kašnjenja u proizvodnji
PERFORMANSE P	P1	Performanse proizvodnje	2/5	3/2	4/3	5/5	5/4	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
	P2	Performanse radnika (zaposlenih)	0/0	0/0	5/2	3/4	0/0	4/5	5/3	0/0	0/0	0/0	0/0
	P3	Performanse vremena	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	3/2	4/5	3/5	5/4	0/0	0/0
	P4	Performanse troškova	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	5/4	3/5

Tabela 4. Pogodnost indikatora performansi po performansama za fazu kontrola

KONTROLA			INDIKATORI PERFORMANSI IP											
			IP11	IP12	IP13	IP14	IP21	IP22	IP23	IP24	IP31	IP32	IP33	IP41	IP42
			Škart gotovih proizvoda	Oštećenje sir./mat. na pr. liniji	Kvalitet cele količine gotovih proizvoda	Ostvareni kvalitet	Žalbe na rok isporuke	Zadovoljstvo kupaca	Pouzdanost isporuke	Žalbe na kvalitet proizvoda	Produktivnost po radniku	Škart po radniku	Zadovoljstvo radnika	Ostvaren broj povreda na radu	Ostvarena količina štetnih materija
PERFORMANSE P	P1	Performanse kvaliteta	2/5	3/4	4/3	5/5	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
	P2	Saradnja sa kupcima	0/0	0/0	0/0	0/0	4/3	5/5	4/4	3/5	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
	P3	Performanse radnika	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	4/5	3/4	5/3	0/0	0/0
	P4	Performanse bezbednosti	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	5/4	3/5

Za rešenje postavljenog problema korišćen je softver *GLPK* (*GNU Linear Programming Kit,* 2019) na osnovu čega su dobijena rešenja modela SAIP, po fazama upravljanja proizvodnjom, prikazana u Tabeli 5. Rešenja su prikazana po vrsti preduzeća, za MSP i VP.

Tabela 5. Skup adekvatnih indikatora performansi (SAIP) za MSP i VP

Faze proizvodnje	Indikatori performansi za MSP	Indikatori performansi za VP
Planiranje	Vreme isporuke	Vreme isporuke
	Greške i propusti	Greške i propusti
	Servis	Servis
Organizovanje	Dostupnost potrebnog broja zaposlenih po planu proizvodnje	Dostupnost potrebnog broja zaposlenih po planu proizvodnje
	Vreme pripreme sirovina	Vreme pripreme potrebne dokumentacije
	Trošak opreme i alata	Trošak radnika
Realizovanje	Škart sirovina	Prekovremeni rad radnika
	Škart gotovih proizvoda	Škart gotovih proizvoda
	Zastoj proizvodne linije zbog greške radnika	Zastoj proizvodne linije zbog greške radnika
Kontrola	Zadovoljstvo kupaca	Žalbe na kvalitet proizvoda
	Zadovoljstvo radnika	Produktivnost po radniku
	Ostvaren broj povreda na radu	Ostvarena količina štetnih materija

Za dobijena rešenja ukupna adekvatnost posmatranih indikatora performansi za MSP je 80 težinskih poena, dok je za VP 81 težinski poen. Teorijski, što je u praksi gotovo nemoguće, maksimalna ukupna adekvatnost bi iznosila 240 težinskih poena. To bi bio slučaj kada bi, za svaku fazu proizvodnje, svaki od tri

izabrana indikatora imala pogodnost (w_{ijk}) vrednosti 5 za svaku od četiri performanse. U Tabeli 5. se može primetiti da za MSP i VP postoje zajednički, ali i oni indikatori koji nisu adekvatni za obe vrste preduzeća.

Za prvu fazu upravljanja proizvodnjom (planiranje) kao adekvatni indikatori performansi za obe vrste preduzeća izabrani su isti indikatori: *Vreme isporuke, Greške i propusti* i *Servis*. Za drugu fazu upravljanja proizvodnjom (organizovanje) samo se jedan indikator smatra adekvatnim za obe vrste preduzeća, a to je: *Dostupnost potrebnog broja zaposlenih po planu proizvodnje*. Za MSP se adekvatnim indikatorima smatraju i sledeća dva indikatora: *Vreme pripreme sirovina* i *Trošak opreme i alata*, dok se kod VP adekvatnim indikatorima smatraju: *Vreme pripreme potrebne dokumentacije* i *Trošak radnika*. Za treću fazu upravljanja proizvodnjom (realizovanje) za obe vrste preduzeća adekvatna su dva ista indikatora performansi*: Škart gotovih proizvoda* i *Zastoj proizvodne linije zbog greške radnika*. Kod MSP, trećim adekvatnim indikatorom smatra se: *Škart sirovina*, dok je kod VP to: *Prekovremeni rad radnika*. Za poslednju, četvrtu fazu upravljanja proizvodnjom (kontrolu) nema zajedničkih adekvatnih indikatora performansi, već se za MSP adekvatnim indikatorima performansi smatraju indikatori: *Zadovoljstvo kupaca, Zadovoljstvo radnika* i *Ostvaren broj povreda na radu*, dok su kod VP to: *Žalbe na kvalitet proizvoda, Produktivnost po radniku* i *Ostvarena količina štetnih materija.*

U matematičkom modelu SAIP, kao ograničenje je postavljeno da, ukoliko se isti indikator ponavlja u više od jedne faze, treba samo jedanput da se pojavi u skupu adekvatnih indikatora. Međutim, bitno je napomenuti da, u slučaju posmatranja SAIP po fazama upravljanja, ukoliko se isti indikator performansi pojavljuje u više faza, on može uticati na povećanje adekvatnosti posmatrane faze, za koju se na osnovu dobijenog rešenja taj indikator ne prepoznaje kao adekvatan indikator performansi posmatrane faze.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata dobijenih simulacijom matematičkog modela za odabir skupa adekvatnih indikatora performansi za sve faze upravljanja proizvodnjom, na nivou jednog proizvodnog preduzeća, može se zaključiti da postoji više indikatora performansi po fazi upravljanja proizvodnjom koji se smatraju adekvatnim za posmatranu vrstu preduzeća.

Jedan od pravaca budućih istraživanja autora ovog rada biće implementacija matematičkog modela na realnim primerima preduzeća i modifikacija izbora performansi i indikatora performansi na nivou posmatranog preduzeća, s obzirom da svako preduzeće ima jedinstvene ciljeve poslovanja kojima teži. Drugi pravac budućih istraživanja biće usložnjavanje posmatranog problema, kroz definisanje indikatora performansi koji se odnose na najmanje dve različite performanse za istu fazu upravljanja proizvodnjom, što će povećati kompleksnog problema i rešenja.

LITERATURA

[1] Atanasov, N. (2016). Model za izbor adekvatnog skupa indikatora performansi u upravljanju proizvodnjom, doktorska disertacija. Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

[2] Cronin, B., & Sugimoto, C. R. (Eds.). (2014). Beyond bibliometrics: Harnessing multidimensional indicators of scholarly impact. London: MIT Press.

[3] GLPK (GNU Linear Programming Kit), https://www.gnu.org/software/glpk/.

[4] Kaufman, R. (1988). Preparing Useful Performance Indicators. Training and Development Journal, 42(9), 80–84.

[5] Kosieradzka, A. (2017). Maturity model for production management. Procedia Engineering, 182, 342-349.

[6] Lečić-Cvetković, D., & Atanasov, N. (2015). Upravljanje proizvodnjom i pružanjem usluga. Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

[7] Neely, A. (2007). Business performance measurement: Unifying theory and integrating practice. London: Cambridge University Press.

[8] Parada, S.E., Blasco-Blasco, O., & Liern, V. (2018). Adequacy Indicators Based on Pre-established Goals: An Implementation in a Colombian University. Social Indicators Research, 1-24.

[9] Rakar, A., Zorzut, S., & Jovan, V. (2004): Assesment of production performance by means of KPI. Proceedings of the Control, 6-9.

[10] Stricker, N., Micali, M., Dornfeld, D., & Lanza, G. (2017). Considering interdependencies of KPIs–possible resource efficiency and effectiveness improvements. Procedia Manufacturing, 8, 300-307.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

POREĐENJE PERFORMANSI NEUROEVOLUCIJE I GRADIJENTNOG SPUSTA KAO ALGORITAMA ZA OPTIMIZACIJU TEŽINSKIH KOEFICIJENATA SINAPSI U NEURONSKIM MREŽAMA

PERFORMANCE COMPARISON OF NEUROEVOLUTION AND GRADIENT DESCENT AS ALGORITHMS FOR OPTIMIZING SYNAPSE WEIGHTS IN NEURAL NETWORKS

MILAN ŠUŠA

Fakultet organizacionih nauka, Beograd, milan_susa@hotmail.com

---

Rezime: *U ovom radu su opisane sličnosti i razlike između neuroevolucije i gradijentnog spusta. Opisani su istorijski događaji koji su doveli do razdvajanja pravaca razvoja ova dva algoritma u pogledu problema na koje se fokusiraju (kako su istorijski događaji doveli do toga da se neuroevolucija sve manje koristi za probleme klasifikacije u poređenju na gradijentni spust). Izneseni su naučni radovi koji su izuzetno doprineli razvoju oblasti neuroevolucije tokom istorije. Objašnjeno je kako je tokom vremena fokus istraživanja ove oblasti prebačen na probleme učenja ojačavanjem. Detaljno su objašnjeni koraci na osnovu kojih funkcionišu genetski algoritmi i gradijentni spust. Izvršen je eksperiment koji podrazumeva pravljenje bota za prelaženje igrice Roketz korišćenjem dva napomenuta algoritma a zatim su poređene i tumačene njihove performanse.*

Abstract: *This paper describes the similarities and differences between neuroevolution and gradient descent. Historical events have been described which led to the separation of the development directions of these two algorithms in terms of the problems they focus on (as the historical events have led to neuroevolution becoming less and less used for problems of classification in comparison to gradient descent). Scientific papers that have greatly contributed to the development of the field of neuroevolution throughout history have been presented. It has been explained that during the course of time, the focus of research on this area has been transferred to reinforcement learning. Detailed steps are explained on the basis of which genetic algorithms and gradient descent function. An experiment has been performed, which involves creating a bot for passing the Roketz game using the two algorithms mentioned above, and then comparing and interpreting their performance.*

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ANALIZA UTICAJA CENE FOSILNIH GORIVA I CO2 SERTIFIKATA NA FORMIRANJE CENE ELEKTRIČNE ENERGIJE

ANALYSIS OF FOSSIL FUELS AND CO2 CERTIFICATES PRICE INFLUENCE ON ELECTRICITY PRICE

MINJA MARINOVIĆ[1], MARKO NIKOLIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, minja.marinovic@fon.bg.ac.rs
[2] EFT Group, Beograd, Srbija, markonik@gmail.com

Rezime: *U ovom radu će biti predstavljena analiza uticaja različitih fosilnih goriva i cena CO2 sertifikata na cenu električne energije. Kako bi se što bolje prikazao njihov uticaj na formiranje konačne cene, korišćeni su podaci o svim pojedinačnim parametrima za poslednje četiri godine na dnevnom nivou. Urađena je uporedna analiza i prikazani su dobijeni rezultati. Kao što se moglo očekivati, najveću zavisnost na formiranje cene su imali CO2 sertifikati, čija se dnevna promena cene odmah preslikava i u promeni cene električne energije. Značajnu ulogu u promeni cene ima i cena prirodnog gasa, dok cene nafte a naročito uglja u manjoj meri ili uopšte nisu u korelaciji sa konačnom cenom struje.*

Ključne reči: *Cena električne energije, Fosilna goriva, CO2 sertifikati, uporedna analiza.*

Abstract: *The impact analysis of different fossil fuels and the the price of CO2 certificates on the electricity price will be presented in this paper. In order to make better illustration on the formation of the final price, authors used data for all individual parameters for the last four years on daily basis.A comparative analysis has been done, and the obtained results are presented. As maybe expected, biggest influence on the final price of the electricity had made by CO2 certificates, whose daily price change is immediately reflected in the change of the electricity price. Significant role in electricity price change is also made by natural gas price, while the prices of crude oil, and especially of coal, has lower or no correlation with its final price.*

Keywords: *Electricity price, Fossil fuels, CO2 certificates, comparative analysis.*

1. UVOD

Električna energija je nešto što koristimo svakodnevno u svim sferama naših života i bez koje bi bilo nemoguće zamisliti današnji život. Većina nas je samo koristi bez prevelikog interesovanja kako se ista proizvodi i šta sve utiče na njenu cenu. Nekada se proizvodnji električne energije nije davalo puno značaja jer se nije moglo uticati na procese unutar elektroenergetskih sistema, s obzirom na činjenicu da je bila pod kontrolom država. Ona je tradicionalno posmatrana kao roba kojom se ne trguje i koja se proizvodi i troši u okvirima zemlje u kojoj se i proizvodi (Srinivason, 2013). Međutim, krajem 20. veka su tržišta počela da se otvaraju i električna energija je postala predmet trgovine među državama i na berzama. Samim tim, pojavilo se i značajno interesovanje kako privrednika tako i istraživača koji su tražili najbolje moguće rešenje kako bi bili konkurentni na tržištu električne energiije. Do danas je objavljen veliki broj radova koji pokrivaju gotovo sve aspekte vezane za ovaj pojam, počevši od proizvodnje i potrošnje, do prenosa i trgovine (Marinović i Makajić Nikolić, 2018).

Najveći procenat proizvodnje struje tj. električne energije i dalje čini električna energija proizvedena u elektranama i nuklearkama širom sveta (oko 80%). Pored ovog načina, u poslednje vreme se sve više koristi energija koja je proizvedena pomoću solarnih panela, vetrenjača i sličnih izvora obnovljive energije. Kako se prilikom proizvodnje struje od neobnovljivih izvora koriste gas, ugalj i nafta, otuda i ideja za ispitivanjem međusobnog uticaja ovih energenata na cenu električne energije.

Dowlatabadi i Evans (1986) su autori koji su napisali jedan od prvih radova koji se bavio ovom tematikom i u kom su opisali način trgovine električne energije u to vreme na prostoru Velike Britanije. U literaturi se može naći mnogo radova i istraživanja na temu formiranja i određivanja cene električne energije. Predviđanje cene fosilnih goriva (energenata u daljem tekstu), cena CO2 sertifikata kao i cene električne energije uz pomoć multivariacionog modela je predstavljen od strane Garcia-Martos (2013). Panapakidis i Dagoumas (2016) su predstavili rad u kome analiziraju modele koji koriste neuronske mreže, kod kojih neki

od modela uz pomoć cena određenih energenata pokušavaju da odrede cenu električne energije za sledeći dan. Autori (Hendricks i dr., 2016) su radili predviđanje cene struje za područje Nemačke, na osnovu promena cena uglja, gasa, CO2 sertifikata i količine solarne enegrije i energije proizvedene uz pomoć vetrenjača. Jaka veza koja se javlja preplitanjem više vrsta tržišta kao i uticaja jednog tržišta na drugo je opisana od strane Schussera i Jaraite (2018). Oni su pokušali da opišu na koje načine i kako utiču jedni na druge, cena struje, CO2 sertifikata i tkz. zelenih sertifikata koji predstavljaju budućnost u proizvodnji električne energije. Pregled radova koji se bave predviđanjem cene električne energije je predstavljen od strane Marinovića (2018).

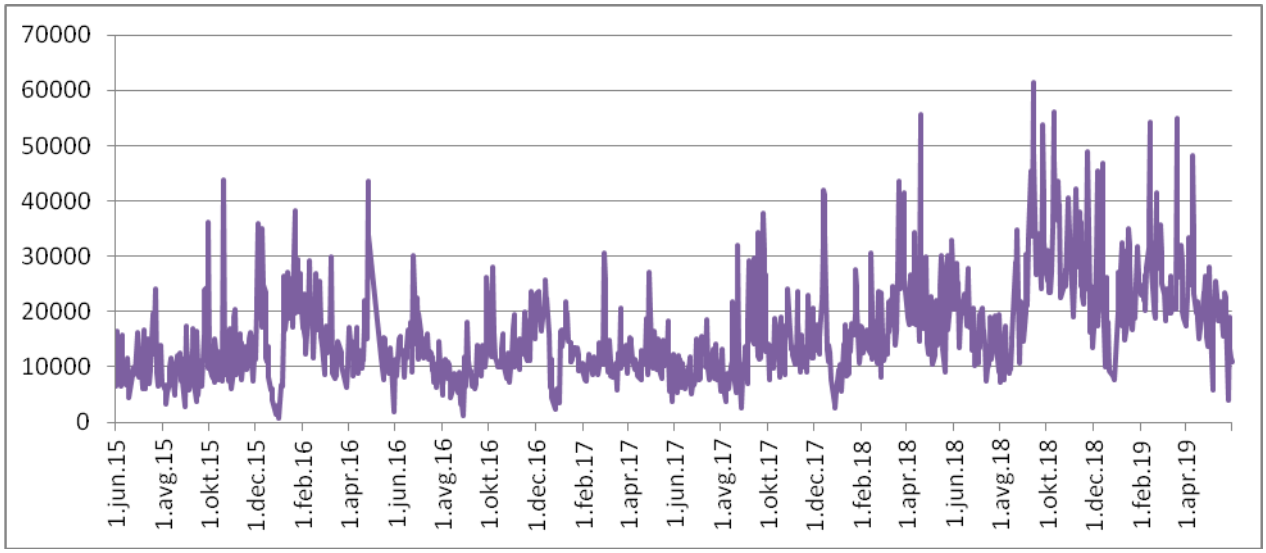
Struktura rada je organizovana na sledeći način. Nakon uvodnog poglavlja i pregleda literature, u poglavlju 2 je opisan način formiranja cene električne energije. U poglavlju 3 je urađena analiza uticaja energenata na formiranje cene električne energije. Zaključak rada kao i mogući pravci daljeg istraživanja su dati u poglavlju 4.

2. FORMIRANJE CENE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Cena električne energije je dinamična i menja se iz minuta u minut. Pored tražnje i ponude postoji još mnogo faktora koji je određuju. Neki od njih su i cena gasa, uglja, nafte kao i cena CO2 sertifikata. Pored njih, vreme tj vremenska prognoza znatno utiče na konačnu vrednost cene električne energije (Itaba i Mori, 2017). U zavisnosti od toga da li ima puno vetra, sunca, kiše i slično, proizvodnja struje tj način njene proizvodnje varira značajno i na taj način direktno i indirektno utiče na njenu konačnu cenu. Trenutno je količina solarne električne energije i električne energije proizvedene uz pomoć vetrenjača znatno manja nego struja proizvedena na tradicionalan način, ali svakako da utiče na njen ukupan iznos.

Termoelektrane i hidroelektrane i dalje drže primat u proizvodnji električne energije. Za proizvodnju se najčešće koristi ugalj, ali se sve više koriste i termoelektrane na gas, čiju takozvanu hemijsku energiju pretvaraju u električnu. Nafta kao jedan od najbitnijih energenata koji se koristi svakodnevno u značajnoj meri utiče na formiranje cene električne energije. Pored proizvodnje električne energije, nafta ima široku direktnu upotrebu u proizvodnji, transportu itd. što takođe utiče na njenu cenu.

Kada je električna energija u pitanju, pravila trgovanja i proizvodnje su više puta menjana. U poslednjih desetak godina, pored standardnih promena načina proizvodnje, proizvođači električne energije su morali da počnu da vode računa i o zagađenju životne sredine. Naime, prilikom proizvodnje el. energije u termoelektranama gde se lože velike količine uglja, u atmosferu se ispušta velika količina čađi, koja je najčešće pogubna po prirodu i živi svet u okolini. U termoelektrani se oslobađaju velike količine ugljen-dioksida (CO2) i gasa koji nastaje pri svakom sagorevanju. Nakon donošenja nekoliko međunarodnih sporazuma o ograničenoj količini emisije ugljen dioksida, na cenu su počeli da utiču i CO2 sertifikati. To su sertifikati koji se kupuju na berzi i čiji je broj ograničen, a odnose se na količinu emisije ugljen dioksida po toni. Od početka vođenja računa o emisiji štetnih gasova, broj iskorišćenih sertifikata se jeste povećavao, što se može videti na slici 1 ali je rasla i njihova cena tokom vremena. (slika 2) Jedna Dansko-Francuska start-ap kompanija je pokrenula projekat gde se u realnom vremenu može pratiti količina emisije CO2 u odnosu na njenu potrošnju (Electricity map, 2019).



Slika 1: Broj emitovanih CO2 sertifikata po danima za poslednje četiri godine

Slika 2: Cena CO2 sertifikata u eurima za poslednje četiri godine

S obzirom na ograničen broj CO2 sertifikata, njihove cene će se vremenom sve više povećavati dok se će broj raspoloživih sertifikata na dnevnom nivou značajno smanjivati.

3. ANALIZA UTICAJA FOSILNIH GORIVA I CO2 SERTIFIKATA NA CENU

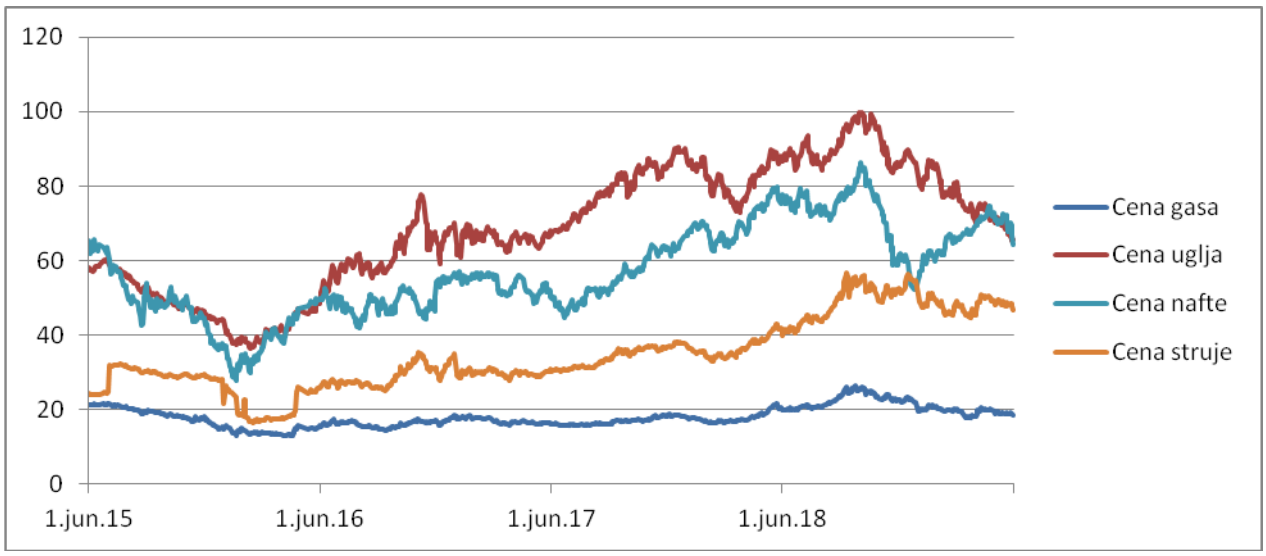
Kako bi se što bolje prikazao uticaj fosilnih goriva i CO2 sertifikata na cenu električne energije, korišćeni su pojedinačni podaci tj. cene energenata po danima. Bez obzira na činjenicu da se cene struje kao i ostalih parametara menjaju iz sata u sat, kao referente dnevne vrednosti su uzimane prosečne vrednosti za određeni dan. Analizirani su podaci u periodu od 01.06.2015 do 31.05.2019 godine, tj. periodu od četiri godine.

Tabela 1: Cene energenata i cena i broj emitovanih CO2 sertifikata za posmatrani period

	Minimalna vrednost	Maksimalna vrednost	Srednja vrednost	Standardna devijacija	01.06.2015.	31.05.2019.
Cena struje	16.63	56.65	34,76	9,40	24,13	46,90
Cena nafte	27.88	86.29	57,16	12,09	64,88	64,49
Cena gasa	13,03	26.35	18,11	2,67	21,38	18,52
Cena uglja	36,50	99.65	69,15	15,96	57,45	65,60
Cena CO2 sertifikata	3,93	27.53	10,38	6,63	7,28	24,78
Broj izdatih CO2 sertifikata	630.00	61468.00	16451,14	9023,62	6410,00	10952,00

U tabeli 1. su prikazane minimalne i maksimalne vrednosti za svaki od parametara za posmatrani period kao i minimalan i maksimalan broj emitovanih CO2 sertifikata na dnevnom nivou. Pored toga su prikazane i srednje vrednosti za sve parametre kao i standardna devijacija. Cene struje i gasa su izražene u eurima po MWh tj. po megavat času, cene uglja su date u eurima po toni, cene nafte u eurima po barelu, dok su cene CO2 sertifikata date u eurima po toni emisije štetnih gasova. Na osnovu prikazanih podataka se može primetiti da su u posmatranom periodu najveći porast cene zabeležili CO2 sertifikati, kao i da su cene gasa i nafte neznatno manje nego što je bila na početku posmatranog perioda. Broj emitovanih sertifikata u mnogome zavisi od dana do dana ali kao što se može videti taj broj mnogo varira i dostiže vrednosti od preko 60000 na dnevnom nivou.

Na slici 3 se mogu videti kretanja cena svih vrsta energenata kao i cena električne enrgije za poslednje četiri godine. U odnosu na početak posmatranog perioda samo se smanjila cena prirordnog gasa i nafte, dok su sve ostale cene manje ili više porasle. Takođe na osnovu posmatranog perioda se ne mogu uočiti trendovi tj sezone u cenama pojedinačnih parametara, ali tu treba tražiti opravdanje u kratkom posmatranom periodu kao i u vremenskoj prognozi koja u mnogome diktira način i vrstu proizvodnje električne energije.



Slika 3: Cena fosinlih goriva i električne energije za poslednje četiri godine

Prikupljeni podaci su obrađeni u statističkom programu SPSS, verzija 24 (IBM SPSS Statistics. 24). Za testiranje korelacije između cena energenata, CO2 sertifikata i broja izdatih CO2 sertifikata korišćen je hi-kvadrat test, a za granicu statističke značajnosti uzeto je $p<0,05$. Nakon uporedne analize svih vrsta energenata dobijeni su sledeći rezultati.

Tabela 2: Uporedna analiza zavisnosti energenata i cena i broja emitovanih CO2 sertifikata

	Struja	Nafta	Gas	Ugalj	CO2 sertifikati	Broj CO2 sertifikata
Struja		0,682	0,026	1,000	0,000	0,295
Nafta			0,000	0,794	0,000	0,584
Gas				0,000	0,000	0,055
Ugalj					1,000	0,53
CO2 sertifikati						0,082
Broj izdatih CO2 sertifikata						

U tabeli 2 se mogu videti zavisnosti svih pojedinačnih parametara. Može se primetiti da najveći uticaj na cenu električne energije imaju cena CO2 sertifikata kao i cena gasa i da postoji zavisnost između ovih parametara. Sa druge strane, neočekivan je podatak da cene uglja i struje uopšte nisu u korelaciji ako se uzme u obzir činjenica da samo u Srbiji količina proizvedene električne energije iz uglja čini gotovo dve trećine ukupne proizvodnje (EMS, Srbija). Međutim, ova činjenica se može tumačiti i malim uticajem stanja energenata u Srbiji na globalna kretanja. Cena sirove nafte je najviše u korelaciji sa cenama gasa i cenama CO2 sertifikata, što dalje dovodi da nafta indirektno utiče i na cenu električne energije. Prirodni gas je svakako jedan od energenata koji najviše zavisi i određuje cene svih ostalih energenata, kao i samu cenu električne energije. U prikazanoj tabeli se vidi i da cena CO2 sertifikata jeste u korelaciji sa gotovo svim parametrima izuzev uglja. Što se tiče samog broja emitovanih sertifikata, tu se ne može uočiti značajnost na osnovu prikupljenih i obrađenih podataka. Broj iskorišćenih sertifikata je nešto što je teško planirati i u mnogome zavisi od vremenskih prilika za posmatrani dan.

4. ZAKLJUČAK

Proizvodnja električne energije kao i njena razmena tj. trgovina na otvorenom tržištu, pored ogromnog potencijala za poslovanje i zaradu, otvara veliki broj istraživačkih problema. Mnogi od ovih problema su novijeg datuma a mnogi od postojećih su modifikovani uvođenjem regulativa i pravila koja uključuju CO2 sertifikate. U ovom radu je istraživan uticaj cena neobnovljivih izvora energije i CO2 sertifikata na cenu električne energije. Pri tome je skrenuta pažnja na samo nekoliko faktora i energenata koji direktno i indirektno utiču na njenu konačnu cenu. Kako će se vremenom morati sve više voditi računa o zaštiti životne sredine, tako će se i proizvodnja polako preorijentisati na druge izvore i načine proizvodnje električne energije. S obzirom na svetske tendencije vezane za proizvodnju električne energije, sa naglaskom na zaštiti

životne sredine, u daljem radu bi trebalo uključiti i analizu uticaja obnovljivih izvora energije na cenu električne energije i kretanje parametara vezanih za CO2 sertifikate.

LITERATURA

[1] Dowlatabadi, H. & Evans, N. (1986). Electricity trade in the UK economic prospects and future uncertainty, Energy Policy, Broj 14, Izdanje 1, 35-44, ISSN 0301-4215, https://doi.org/10.1016/0301-4215(86)90087-X.

[2] Electricity map, Climate Impact by Area, (https://www.electricitymap.org)

[3] Elektromreža Srbije, (2019). Godišnji izveštaj za 2018. godinu. (https://ems.rs/media/uploads/2018/Garancije%20porekla/Godisnji_izve%C5%A1taj_o_nacionalnom_.pdf)

[4] García-Martos, C., Rodríguez, J. & Jesús Sánchez, M. (2013). Modelling and forecasting fossil fuels, CO2 and electricity prices and their volatilities, Applied Energy, Broj 101, 363-375, ISSN 0306-2619, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.046.

[5] Hendricks, C., Ehrhardt, M. & Günther, M. (2016). Integrated Forecasting of Day-Ahead Prices in the German Electricity Market, European Consortium for Mathematics in Industry, 333-339. DOI:10.1007/978-3-319-23413-7_44.

[6] IBM SPSS, (https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software)

[7] Itaba, S., Mori, H. (2017). A Fuzzy-Preconditioned GRBFN Model for Electricity Price Forecasting, Procedia Computer Science, Izdanje 114, 441-448, ISSN 1877-0509, https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.09.010.

[8] Marinović. M. (2018). Pregled optimizacionih problema u elektroenergetskim sistemima, XLV Simpozijum o operacionim istraživanjima, SYMOPIS 2018, Zlatibor, 16-18 Septembar, 376-381, ISBN 978-86-403-1567-8,

[9] Marinović. M. (2018). Review of forecasting and P2P models in electricity trading, XIII Balkan Conference on Operational Research, BALCOR 2018, Beograd, 25-28 Maj, 357-363, ISBN: 978-86-80593-64-7

[10] Panapakidis, I. P. & Dagoumas, A. S. (2016). Day-ahead electricity price forecasting via the application of artificial neural network based models, Applied Energy, Izdanje 172, 132-151, ISSN 0306-2619, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.089.

[11] Schusser, S. & Jaraitė, J. (2018). Explaining the interplay of three markets: Green certificates, carbon emissions and electricity, Energy Economics, Izdanje 71, 1-13, ISSN 0140-9883, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.01.012.

[12] Srinivasan, S. (2013). Electricity as a traded good, Energy Policy, Broj 62, 1048-1052, ISSN 0301-4215, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.004.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MIP - PROTOTIP MODELA INTELIGENTNOG PREDUZEĆA

MIP - PROTOTYPE OF THE MODEL OF INTELLIGENT ENTERPRISE

DRAGAN VUKMIROVIĆ[1], TIJANA ČOMIĆ[2], ŽELJKO BOLBOTINOVIĆ[3], ĐORĐE DABETIĆ[4], MARINA JOVANOVIĆ MILENKOVIĆ[5]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, dragan.vukmirovic@fon.bg.ac.rs
[2] GOPA mbH, STAT, Bad Homburg, Germany, tijana.comic@gopa.de
[3] Tekijanka d.o.o., Kladovo, zeljko@tekijanka.com
[4] Akademija poslovnih strukovnih studija, Beograd, djordje.dabetic@bpa.edu.rs
[5] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, marina.jovanovic.milenkovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U radu je predstavljen Model inteligentnog preduzeća koji je definisan kao prototip modela za implementaciju koncepta veštačke inteligencije u malim i srednjim preduzećima. Predloženi model se bazira na Big Data tehnologijama i poslovnoj analitici. Iznete su osnovne postavke i pretpostavke za njegovu implementaciju i opisane osnovne komponente – faze modela. U zaključku su elaborirani budući koraci u daljoj implementaciji predloženog rešenja.*

Ključne reči: *big data, model, poslovna analitka, implementacija, preduzeća*

Abstract: *The paper presents the Model of Intelligent Enterprise, which is defined as the prototype of the model for the implementation of the Artificial intelligence concept in small and medium enterprises. The proposed model is based on Big Data technologies and business analytics. The basic settings and assumptions for its implementation are outlined and described the basic components - phases of the model. In conclusion, the future steps for further implementation of the proposed solution are elaborated.*

Keywords: *Big Data, Model, Business analytics, Implementation, Enterprises*

1. UVOD

Predmet istraživanja rada je implementacija savremenih infomaciono-komunikacinih tehnologija (IKT), posebno Big Data (BD) i poslovne analitike (PA) u preduzećima. U cilju podrške, pre svega sektoru malih i srednjih preduzeća (MSP) u Srbiji, definisan je orginalni model za implementaciju BD rešenja (ne samo tehnologija, već i poslovne filozofije) u preduzeću. Prikazane su osnovne komponente modela, način funkcionisanja, ograničenja i preduslovi za njegovu implementaciju.

Polazna pretpostavka na kojoj se bazira predložene rešenje je da osnovni cilj kompanije predstavlja povećanje korporativne inteligencije koja se definiše kao funkcija znanja baziranog na podacima:

$$IQcorp = f(podatak, znanje) \quad (1)$$

Smatrajući da se ovaj cilj može postići primenom BD tehnologija i koncepta, za implementaciju se predlaže Model inteligentnog preduzeća (MIP) baziran na BD tehnologijama i PA, kojom upravljaju naučnici - stručnjaci za podatke (*data scientists* - DS). MIP predstavlja prototip, rudimentni model za implementaciju koncepta veštačke inteligencije (VI) u preduzećima.

Uspešna primena ovog koncepta zahteva promenu filozofije poslovanja i poslovne paradigme čiji je krajnji cilj je da se izgradi inteligentna kompanija koja je pametnija i brža u reakciji od čoveka koji njome rukovodi. Naravno, to ne znači da će tradicionalne organizacije nestati preko noći a pogotovo da će tehnologije i VI u potpunosti zameniti ljude. Neko mora da uči. Prvo čovek, da bi to znanje preneo na „mašine“. Ono što se trenutno čini izvesnim je da će menadžere koji ne koriste savremene tehnologije zamenit menadžeri koji ih koriste.

2. OSNOVNE POSTAVKE MODELA

MIP model se teorijski oslanja na osnovnim postavkama BD i napredne poslovne analitike. Pri tome, ograničenje predstavlja nedovoljno teorijsko uporište BD kao naučne discipline. U prošlosti, nova naučna i

tehnološka dostignuća su prevashodno razvijana u laboratorijama i rezultati su se prvi put objavljivali u stručnim i naučnim publikacijama. Slično je bilo i sa statistikom, pre masovne upotrebe personalnih računara i interneta, novi statistički metodi razvijeni su od strane akademske zajednice i istraživača koji su svoje rezultate objaviljivali kao teorijske radove u stručnim i naučnim časopisima. Često su trebale godine da se nove metode uključe u statističke pakete (SAS, SPSS, Stata, R i sl.) koji su široko dostupni analitičarima podataka. Danas se svakodnevno pojavljuju nove metode i alati. Istraživači objavljuju nove i poboljšane metode, zajedno sa kodom za njihovo kreiranje, na lako dostupnim veb stranicama, neretko bez dovoljno razvijenog metodološkog (naučnog) postupka (Kabacoff, 2015).

Nove tehnologije, sa svojom lakoćom usvajanja, ukazuju na sledeći horizont analitike podataka. Brza evolucija BD tehnologija i prihvatanje koncepta od strane javnog i privatnog sektora ostavili su malo vremena da se diskurs razvije u akademskom domenu (Gandomi & Haider, 2015). U doktorskoj disertaciji Tijana Čomić razmatra BD kao četvrtu paradigmu u razvoju nauke – tabela 1. Pri tome se referencira na Mihaela Stonbrekera (*Michael Stonebraker*), dobitnika Turingove nagrade (*Turing Award*), koja se smatra nekom vrstom Nobelove nagrade u oblasti računarstva. Ovaj stručnjak smatra da je četvrta paradigma možda jedini sistemski način za rešavanje nekih od najvećih globalnih izazova s kojima se današnje društvo (uključujući i ekonomiju) u celini suočava. U zaključku se navodi da četvrta paradigma nije samo promena u metodoligiji naučnog istraživanja, već i promena u načinu na koji ljudi misle i funkcionišu (Čomić, 2019).

Tabela 1: Evolucija nauke, prema paradigmama (Čomić, 2019)

Paradigma	Trajanje	Naziv paradigme	Kratak opis	Primer
1.	Hiljadu godina	Eksperimentalna nauka	Opis prirodnih fenomena	Posmatranje prirodnih pojava
2.	Poslednjih nekoliko stotina godina	Teorijska nauka	Proučavanja različitih zakona i teorema	Njutnovi zakoni, Maksvelova jednačina…
3.	Poslednjih nekoliko decenija	Računarska nauka	Simulacija kompleksnih fenomena	Simulacioni modeli
4.	Danas	Nauka o intezivnoj upotrebi podataka	Korišćenje velikih količina podataka	*Big Data*, nauka o podacima

Iako u direktnom prevodu znači „velika količina podataka“, BD predstavlja kompleksniju pojavu. Ukoliko bi smo ovaj doslovni prevod uzeli kao definiciju napravili bi smo grešku, obzirom da ni podaci koji su prikupljani u prethodnom periodu nisu „mali“, a još više zbog činjenice da BD nije samo tehnologija već da u sebi sadrži određeni inovativni potencijal (Vukmirovic et al., 2016).

U stručnoj i naučnoj literaturi može se naći veliki broj definicija BD (između ostalih: Gandomi & Haider, 2015; Blazquez & Domenech, 2017). Najkraća, i dovoljno precizna, definicija kaže da se „Big Data“ odnosi na informacije koje se ne mogu obraditi i analizirati na tradicionalna način, korišćenjem konvecionalnih procesa i alata (Dumbill, 2013).

U prethodnih nekoliko decenija podaci postaju sve više "nestruktuirani". Procena je da nestrukturirani podaci čine 95% BD-a (Gandomi & Haider, 2015). Iz tog razloga najveći izazov predstavlja razvoj efikasnih metoda za skladištenje, obradu i analizu ogromne količine heterogenih podataka, pre svega u tekstualnim, audio i video formatima. Jedan od pristupa predstavlja modelovanje podataka i njihovih relacija u cilju redukcije dimenzije i nivoa strukturiranosti BD (Čomić, 2019). U literaturi su opisane različite analitičke metode koje se koriste za strukturiranje nestrukturiranih podataka, što uključuje i njihovu transformaciju u organizovane setove podataka, sa jasno definisanim varijablama i identifikovanim odnosima među njima (Hastie et al., 2013).

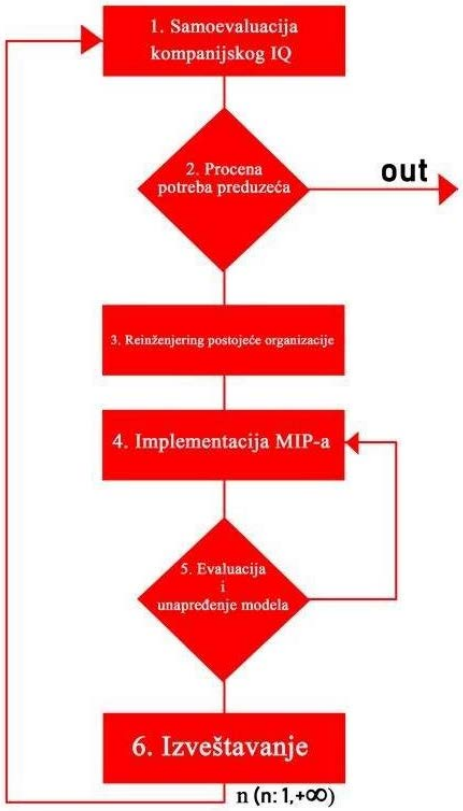
3. IMPLEMENTACIJA MODELA

Model je jednostavno koncipiran i prati KISS princip (*Keep It Simple, Stupid*). Isto važi za outpute modela: Previše informacija često deluje zbunjujuće na donosioce odluka. Preporuka je da se u izveštajima implementira infografički koncept vizuelnog otkrivanja znanja baziran na grafičkim prikazima, slikama i animacijama, koji uz minimalnu količinu teksta, na brz i jednostavan način daje uvid u predmet istraživanja (Majooni, et al. 2018).

MIP se bazira na osnovnim postulatima četvrte paradigme: Nove tehnologije dovode do novog načina razmišljama i poslovanja, što rezultuje novim poslovnim modelima, odnosno:

MIP = f (podatak, model, reinženjering) (2)

U osnovi, MIP predstavlja iterativni proces (slika 1.) koji se sastoji od 6 algoritamskih koraka – faza u razvoju modela. Iterativnost pristupa se ogleda u postupku maksimizacije IQcorp kroz beskonačni proces učenja i unapređenje organizacije (Slika 1).



Slika 1: MIP model

Najveća greška koja može da se na pravi u pogledu modela baziranih na mašinskom učenju je da su oni kao i svaki drugi tip softvera. Pretpostavka da će jednom implementirani model nastaviti da radi normalno – bez nadzora i daljih intervencija, nije tačna. Uzrok leži u prirodi mašinskog jezika – učenju. Sa protokom vremena, odnosno unosom novih setova podataka, „mašine postaje pametnije“. Bez kontinuiranog priliva novih podataka model će degradirati u kvalitetu - i to brzo (Talbi, 2018). U skladu sa navednim postulatima, MIP model je baziran na konceptu drifta, koji ukazuje da predviđanja statičkih mašina za učenje postaju manje precizna i efikasna, kako vreme prolazi (Webb et al, 2017).

Kompanije moraju da se suoče sa činjenicom da ne postoji konačna verzija modela, te da će on nastaviti da se ažurira tokom vremena u cilju daljeg unapređenja. Time se obezbeđujee održivost postojećeg rešenja i nakon implementacije modela, kako bi se osiguralo ne samo njihovo funkcionisanje, već i tačnost.

U nastavku rada ukratko je opisana svaka faza u razvoju modelu, uz napomenu da se je potrebno mnogo više prostora za detaljniji opis komponenti, koje pri tome nisu sve definisane do kraja, nitije to moguće. MIP model se može smatrati prototipom koji se i dalje razvija.

3.1. Samoevaluacija kompanijskog IQ

Samoevaluacija kompanijskog IQ može se izvršiti kroz istraživanje bazirano na anketi. Predmet i cij istraživanja: ocenjivanje kompanijskog IQ. Ciljna grupa: menadžment svih nivoa. Postupak: ocenjivanje kompanijskog IQ kroz procenu korporativne inteligencije - u smislu koliko je kompanija, kao uređen sistem, pametnija i brža u reakciji od čoveka koji njome rukovodi. Rezultat istraživanja: Ocena (nivoa) kompanijskog IQ.

Globalno, većina uspešnih poslovnih lidera upoznata je sa potencijalom savremenih IKT , novim analitičkim alatima i rešenjima , prepoznaje prilike koji oni donose i osećaju pritisak da se razvijaju u tom pravcu. Nedavna istraživanja su pokazala da ulaganje u podatke i jačanje analitičkih sposobnosti mogu dovesti do povećanja produktivnosti preduzeća od 6 do 8 posto (MGI, 2016).

3.2. Procena potreba preduzeća

Izlaz iz ove faze može biti dvojak: DA – pređi na korak 3, NE – otkaži dalje aktivnost i odustani od modela. Jedan od razloga za neodustajanje možda leži baš u rečima direktora Mekinzija (*McKinsey*) Dejvida Korta (*David Court*) koji je u oktobru 2012 izjavio: „Pre nekoliko godina, pitao sam se: "Imamo sve ove podatke. Sigurno postoji nešto što možemo učiniti s njima. ". Sada mogu da konstatujem da moji konkurenti znaju šta da rade sa podacima i osećam da zaostajemo za njima" (Court, 2015). Slično navodi i Debora Lef (*Deborah Leff*), rukovodilac tehnologja vezanih za DS i VI u IBM-u: „Ako su vaši konkurenti implementirali VI i pronašli način da vam odmaknu, oni će se stvarno, veoma brzo i da vam pobegnu" (VB, 2019).

Sa strane aplikacije, rezultati istraživanja opominju. Naime, u praksi većina kompanija ostaje u početnoj fazi implementacije (investirali su u tehnologiju podataka i analitike, ali tek treba da ostvare rezultate ili se još uvek bore sa narednim koracima). Mnogi projekti i propadaju.

Nove tehnologije i rešenje nisu namenje samo najvećim, posebno onim koji se bave IT industrijom ili proizvodima/uslugama visokog informacionog inteziteta. *Walmart*, *GE*, *Ferrari F1* i *Union Pacific* su primeri (američkih) kompanija u tradicionalnim industrijama čija su ulaganja u podatke i analitiku dovela do značajnog povećanja profita njihovim vlasnicima (MGI, 2016).

Ograničavajući se na domaću ekonomiju, možemo zaključiti da pozitivni trendovi koji se odnose na: eksponencijalni rast raspoloživih podataka, pojavu novih alata za njihovu analizu, broj školovanih stručnjaka, kapaciteti računara u smislu povećanja procesorke snage i memorije, kao i dostupnost *cloud* tehnologija, ukazuju da je došao pravi trenutak za implementaciju BD data i napredne poslovne analitike u poslovanje MSP.

3.3. Reinženjering postojeće organizacije

Reinženjering postojeće organizacije se odnosi transformaciju poslovnih procesa kroz prelazak na novu tehnološku paradigmu baziranu na osnovnim postulatima četvrte naučne paradigme. Dakle, nije dovoljno da se usklade tehnološka rešenja, neophodano je da se uspostavi takva organizacija da različiti sektori unutar kompanija sarađuju kako bi se obezbedilo prikupljanje podataka i njihovo korišćenje. U suštini, reč je o digitalnoj transformaciji koja se odnosi na ljude, procese i tehnologiju. Neophodan je optimalni miks znanja i veština, kao i odgovarajuća tehnologija kako bi se stvorilo okruženja u kojima će ljudi raditi i napredovati (Brightom, 2018).

3.4. Implementacija MIP-a

Prema podacima Gartnera iz 2015 čak 60% BD projekata ne doživi potpunu implemetaciju, odnosno, ne razviju se dalje od pilotiranja i eksperimentiranja (Goasduff, 2015). Kao osnovni razlozi za neuspeh, prema istraživanju Mekinzija iz 2015, navedeni su: odsustvo strategije, nedovoljna podrška od strane top menadžmenta, nedostatak stručnjaka, neodgovarajuća organizaciona struktura i tehnološka infrastruktua (MGI, 2016).

Upravo iz navedenih razloga definisan je prototip MIP modela sa idejom da se prevaziđu najvažniji izazovi pri implementaciji. U skladu sa predloženim rešenjem, faza implementacije modela bazira se na sukcevisnim koracima prikazanim u tabeli 2.

Tabela 2: Koraci u Implementacija MIP-a

Redni broj	***Korak***	***Definicija***	***Odgovornost***
1	Izbor inicijalnog poslovnog problema/mogućnosti za inicijalnu implementaciju.	Poslovni proces	Top menadžment
2	Kreiranje internog tima za implementaciju u sastavu: Menadžment srednjeg nivoa zadužen za poslovni proces, IT stručnjaci, stručnjaci za analitiku (podatke)	Interni tim za implementaciju	Menadžment srednjeg nivoa
3	Odluka o načinu implementacije: unutar kompanije ili van (*outsorce*).	Način implementacije	Top menadžment
4	Izbor odgovarajuće platforme i modela poslovne analitike.	Izabrano rešenje	Interni tim za implementaciju
5	Implementacija izabranog rešenja	Implementacija	Interni tim za implementaciju

Faza implementacije je veoma važna obzirom da je vezana sa određenim odlukama koje se moraju doneti vezano za izbor BD tehnologije i odgovarajućih alata PA. Kada je reč o tehnologijama, odnosno o infrastrukturi, univerzalno rešenje ne postoji. Generalno, kompanije mogu ići u dva pravca: ka izradi sopstvenih rešenja ili kupovini odgovarajućih alata. Analiza različitih tehnoloških rešenja se može naći na internetu, u stručnim i naučnim časopisima (npr. Gandomi & Haider, 2015; Oussous et al., 2018; Pääkkönen & Pakkala, 2015; Sivarajah, et al., 2017; Vukmirović, 2017). Takođe, mnogi vendori su objavili tzv. Bele stranice (*white pages*) o njihovim alatima (IBM, Microsoft, Google, Oracle, SAP, SAS, itd.).

Slično je i sa alatima za PA. Ukoliko se ne odluče za kupovinu gotovih paketa, pred kompanijama je izazov da razvijaju sopstvene modele. Uvid u različite alate, modele i algoritme, namenjene PA takođe pruža veliki broj objavljenih radova u ovoj oblasti.

3.5. Evaluacija modela

U ovoj fazi vrši se ocenjivanje kompletnog MIP-a, a na bazi izlaza output-a. Izlazi modela predstavljaju rezultat implemetiranih rešenja PA. Obzirom da su podaci iz BD izvora iskazani su u nedovoljno strukturiranoj formi, tako da su metapodaci koji ih opisuju najčešće nepotpuni ili nepodudarni, ukoliko uopšte postoje, proces evaluacije se ne može vršiti standardnim statističkim procedurama za merenje standardne greške i sl. Prema tome, konzistentnost i dugoročna pouzdanost izlaznih rezultata modela predstavlja realno ograničenje za tekuću upotrebu (Čomić, 2019).

Za sada, evaluacija se vrši tako što se unose podaci iz prethodnog perioda i mere razlike outputa u odnosu na stvarno ostvarene poslovne rezultate. Praktično, vrši se a posteriori interpretacija i verifikacija rezultata vezanih za definisani Poslovni proces. Ukoliko se ne dobiju zadovoljavajući rezultati (u skladu sa očekivanjima internog tima za implementaciju), preporučuje se unos novih podataka i ponovna evaluacija u naknadnim iteracijama. U slučaju da se i dalje ne postiže poboljšanje, rešenje se traži u vraćanju na prethodne faze modela kako bi se uvele nove solucije, pre svega u izboru modela PA.

Pitanje pristrasnosti, generalno u VI, je otvoreno u mnogim javnim diskusijama i predstavlja predmet izučavanja u različitim naučnim oblastima, sa rezultatima objavljenim u dostupnim naučnim i stručnim publikacijama (npr. Blight, 2018; Osoba & Welser, 2017).

3.6. Unapređenje modela

Obzirom da je evaluacija dobijenih rezultata otvoreno pitanje, faze evaluacije i unapređenja modela se praktično paralelno odvijaju. Poboljšanje izlaznih performasi MIP-a, bazirano je na teorijskoj definiciji mašinskog učenja (kao osnovnom alatu u PA), da model uči na prethodno dobijenim rezultatima. Zato je neophodno obezbediti nove setove ulaznih podataka čime se ostvaruje repetativnost i kontinuranost u funkcionisanju modela.

Dugoročno praćenje efekata je svako jedan od načina za merenje efikasnosti i unapređenje modela.

4. ZAKLJUČAK - BUDUĆI PRAVCI DELOVANJA

U radu je predstavljen MIP, model za implementaciju BD tehnologija i napredne analitike u cilju ostvarivanja vizije inteligentnog preduzeća koja se bazira konceptima VI. Model je prvenstveno namenjen MSP, obzirom da velike kompanije imaju svoja korporativna rešenja i van su domašaja istraživanja.

Predloženi model predstavlja prototip koji će se u skorijoj budućnosti testirati u sektoru trgovine i maloprodaje da bi se utvrdilo da li vodi u dobrom smeru. Krajnji cilj autora je da definišu model koji se potencijalno, u budućnosti, može implementirati u različitim oblastima poslovanja u Republici Srbiji.

Da bi MIP evoluirao iz krajnje teorijske postavku u praktičnu implementaciju, kao jedan od važnih preduslova je strateška podrška države, prvenstveno usvajanjem pravnog i strateškog okvira, kao i uspostavljanje privatno-javno-akademskog partnerstva u domenu BD, PA i VI. Mnogo države su to već uradile i pred donosiocima odluka u Srbiji je da preduzmu odgovarajuće korake (Čomić, 2019).

LITERATURA

[1] Blazquez, D., & Domenech, J. (2017). Big Data sources and methods for social and economic analyses, Technological Forecasting & Social Change 130 (2018) 99–113, doi.org/10.1016/j.techfore.2017.07.027

[2] Blight, K. J. (2018). Artificial Intelligence, AI biases and risks, and the need for AI-regulation and AI ethics: some examples, Project: Micro aggression and social exclusion in data-driven lives, DOI: 10.13140/RG.2.2.23455.00160

[3] Brightom, J. (2018). Digital Intelligence Briefing: 2018 Digital Trends, E Consultancy & Adobe, https://www.adobe.com/content/dam/acom/en/modal-offers/pdfs/0060629.en.aec.whitepaper.econsultancy-2018-digital-trends-US.pdf

[4] Court, D. (2015). Putting Big Data and advanced analytics to work, in Marketing & Sales Big Data, Analytics, and the Future of Marketing & Sales. McKinsey & Company, McKinseyonMarketingandSales.com, pg. 31

[5] Čomić, T. (2019). Unapređenje zvanične statistike primenom Big Data koncepta, doktorska disertacija, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu

[6] Dumbill, E. (2013). Making Sense of Big Data. Big Data Vol. 1. Iss. 1. doi.org/10.1089/big.2012.1503

[7] Gandomi, A. & Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. International Journal of Information Management. 35. 137-144. 10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007

[8] Goasduff, L. (2015). Explore Advanced Analytics at the Gartner Business Intelligence & Analytics Summit 2015, October 14-15 in Munich, Germany, https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2015-09-15-gartner-says-business-intelligence-and-analytics-leaders-must-focus-on-mindsets-and-culture-to-kick-start-advanced-analytics

[9] Hastie T., Tibshirani R., & Friedman, J. (2013). The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction Springer Series in Statistics. (3rd), Springer

[10] Kabacoff, R. I. (2015). R in Action, Data analysis and graphics with R, Second Edition, Manning Publication Co. New York, ISBN 9781617291388

[11] Majooni, A., Masood, & Akhavan, A. (2018). An eye-tracking study on the effect of infographic structures on viewer's comprehension and cognitive load, Information Visualization, Vol 17, Issue 3, 2018, doi.org/10.1177/1473871617701971

[12] MGI (2016).The age of analytics: Competing in a data-driven world, McKinsey Global Institute in coolaboration with McKinsey Analytics, www.mckinsey.com/mgi.

[13] Oussous, A., Benjelloun, F-Z, Lahcen, A. A., Belfkih, S. (2018). Big Data technologies: A survey, Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences 30 (2018), 431–448, dx.doi.org/10.1016/j.jksuci.2017.06.001

[14] Pääkkönen, P., D. Pakkala (2015). Reference Architecture and Classification of Technologies, Products and Services for Big Data Systems, Big Data Research 2 (2015) 166–186, doi.org/10.1016/j.bdr.2015.01.001

[15] Osoba, O. & Welser, W. (2017). An Intelligence in Our Image The Risks of Bias and Errors in Artificial Intelligence, Rand Corporation, Santa Monica, California, ISBN: 978-0-8330-9763-7, https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1744.html

[16] Sivarajah, U., Kamal, M. M., Irani, Z. & Weerakkody, V. (2017). Critical analysis of Big Data challenges and analytical methods, Journal of Business Research 70, doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.08.001

[17] Talby, D. (2018). Lessons learned turning machine learning models into real products and services, O'Reilly, pristupljeno 22.5.2019 https://www.oreilly.com/ideas/lessons-learned-turning-machine-learning-models-into-real-products-and-services

[18] VB (2019). Why do 87% of data science projects never make it into production? VB Staff, VentureBeat, pristupljeno 19.7.2019. https://venturebeat.com/2019/07/19/why-do-87-of-data-science-projects-never-make-it-into-production/

[19] Vukmirović, D., Vukmirović, J., Jovanović Milenković, M., Vukmirović, A & Brbaklić Tepavac, M. (2016). Big Data and marketing research, 35th International Conference on Organizational Science Development, Portorož, Slovenia

[20] Vukmirović, A. (2017). Model infrastrukture za internet marketing istraživanja u elektronskom poslovanju, Doktorska disertacija, Fakulet organizacionih nauka, Beograd

[21] Webb, G, I., Lee, L. K., Goethals, B. & Petitjean, F. (2017). Understanding Concept Drift, Computer Science. arXiv:1704.00362

RELIABILITY AND RISK MANAGEMENT

POUZDANOST I UPRAVLJANJE RIZIKOM

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

РАЗМИШЉАЊЕ ЗАСНОВАНО НА РИЗИКУ У СИСТЕМУ МЕНАЏМЕНТА КВАЛИТЕТА: ПРЕГЛЕД *HAZOP* МЕТОДЕ

RISK-BASED THINKING IN QUALITY MANAGEMENT SYSTEM: OVERVIEW OF HAZOP METHOD

АЛЕКСА СЕКУЛОВИЋ[1], ЈЕЛЕНА РУСО[1]

[1] Факултет организационих наука, Београд, aleksa.sekulovic.fon@gmail.com; jelena.ruso@fon.bg.ac.rs

Резиме: *Креирањем „структуре високог нивоа“, Међународна организација за стандардизацију је размишљање засновано на квалитету подигла са нивоа политике и циљева, на ниво управљачког тела (енг. Governing body), односно све се чешће помиње у организацијама концепт GRC (G-управљање на највишем нивоу, R-менаџмент ризика, C-усклађеност пословања). Начин на који се организација односи према ризику зависи од њене делатности и величине, тако да се ризик може посматрати из различитих аспеката. Циљ овог рада јесте преглед концепата менаџмента ризика, размишљања заснованог на ризику и њихова веза са системом менаџмента квалитета, као и представљање значаја који концепт ризика има у данашњем пословању. Свака организација је јединствена према одређеним аспектима у односу на друге, те мора да препозна своје ризике и на ефективан начин управља њима. У раду је дат приказ захтева стандарда за систем менаџмта квалитета ISO 9001:2015, који су у вези за менаџментом ризика. Такође, дат је детаљан преглед HAZOP методе која се користити за идентификацију, анализу и вредновање ризика.*

Кључне речи: *Ризик, Менаџмент ризика, Размишљање засновано на ризику, HAZOP, ISO 9001.*

Abstract: *By establishing „high-level structure“, International Organization for Standardization raised quality-based thinking from policy and objective level, to the level of governing body. GRC conept is increasingly mentioned in organizations(G-governance, R-risk management, C-compliance). The way that organization considerates the risk depends on its activity and size, so the risk can be viewed from different aspects. The purpose of this paper is overview of the risk management concepts, risk-based thinking and their connection with quality management system, as well as presenting the importance of the risk in today's business. Each organization is unique according to some aspects and has to recognize its own risks and manage them effectively. This paper presents an overview of the requirements for quality management system standard ISO 9001: 2015 related to risk management and provides a detailed overview of the HAZOP method used to identify, analyze and evaluate risks.*

Keywords: *Risk, Risk management, Risk-based thinking, HAZOP, ISO 9001.*

1. УВОД

Појам ризика, као стања у коме је могуће нежељено одступање од жељеног резултата, одувек постоји у организајама и њиховим окружењима, а поготово у данашњим, динамичним условима пословања. Многи фактори који доводе до оваквог стања, попут економске кризе, глобализације, велике понуде производа и услуга, захтевају да менаџмент посвети пажњу ризицима и управља њима. Менаџмент ризика се огледа у систематичном спречавању наступања штетних догађаја преузимањем добро усмерених мера у вези са било којим пословним активностима (ISO, 2015). Захтеви за менаџмент организација који се односе на заштиту људи, животне средине, јавну одговорност су стандардизовани у циљу постизања баланса између развоја и заштите друштва (Oliver, 1997). Са једне стране, снажно конкурентно окружење ствара прилике за развој, док са друге стране притиска организације да се фокусирају на смањење трошкова у циљу повећања профита (Morris et al., 2005). Једна од кључних промена последње ревизије стандарда ISO 9001 јесте успостављање системског приступа у разматрању ризика, уместо третирања „превенције—као одвојене компоненте система менаџмента квалитета. Ризик је својствен свим аспектима система менаџмента квалитета и постоји у свим системима, процесима и функцијама.

2. РАЗМИШЉАЊЕ ЗАСНОВАНО НА РИЗИКУ

У научној литератури постоји велики број дефиниција термина „ризик―Неки аутори математички дефинишу ризик, док други користе дефиниције које су „лакше―за разумевање. Holten (2004) сматра да се ризик састоји од две есецијалне компоненте: изложеност и неизвесност. Ризик се фокусира на избегавање губитака услед неочекиваних догађаја (Williams, 1995). Aven (2008) наводи да ризик представља комбинацију могућих последица са повезаном неизвесношћу, док стандард ISO 9000:2015 дефинише ризик као „одступање од очекиваног―, било оно позитивно или негативно. Термин неизвесности се објашњава као недостатак информација или знања о догађају који се може појавити, кроз последице и вероватноћу његовог настанка. Стандард ISO 9000:2015 напомиње и да се ризик често карактерише позивањем на потенцијалне „догађаје" и „последице" или њихову комбинацију. Иако је неизвеност немерљива, може се проценити кроз субјективне технике за њену процену (Raftery, 1994).

Менаџмент ризика не представља активност „саму за себе―већ је интегрални део свих процеса у организацији. Такође, представља део одговорности менаџмента, укључујући стратешко планирање и све процесе пројектног менаџмента и менаџмента промена (ISO, 2009). Процеси менаџмента ризика теже откривању слабости у методама коришћеним за развој производа кроз струтурни приступ у циљу спровођења правовремених акција за избегавање ризика, преношење ризика, смањење вероватноће појаве или утицаја ризика (Risk Management Standard AS/NZS 4360, 1999).

Није само идентификација ризика на локалном нивоу изазов који се јавља за менаџмент организације, већ и схватање његовог глобалног утицаја. Организација не може функционисати изоловано, већ у систему са испоручиоцима, корисницима, па и конкуренцијом. Управо то представља огромну комплексност менаџмента ризика (Kaarbøe et al., 2013). Ефективни менаџмент ризика ће значајно умањити трошкове јер промене у фази пројектовања коштају мање него промене које настају у фази имплементације, односно правовремено откривање ризика је увек пожељније од неусаглашености на које није могуће превентивно деловати (Salamone, 1995; Jo et al., 1993).

Стандард ISO 31000:2009 дефнише 7 итеративних процеса који чине менаџмент ризика: упостављање контекста, идентификација ризика, анализа ризика, вредновање ризика, поступци са ризикиком, комуницирање и консултације, праћење и преиспитивање ризика.

У стандарду ISO 9001:2015, овај принцип размишљање засновано на ризику се разматра од почетка и кроз читав систем и на тај начин се могу успоставити превентивне мере које се односе на активности планирања, реализације, анализе и вредновања. У овом међународном стандарду ризици и прилике често иду заједно, али прилике не треба разматрати као позитивне стране ризика. Прилика је скуп тренутних околности, које утичу на могућност спровођења одређене активности. Одлука да ли ће организација искористити одређену прилику везује се за различите нивое ризика (ISO, 2015; ISO, 2009).

Последња ревизија стандарда ISO 9001:2015 захтева од организације да разуме свој контекст и утврди ризике који представљају основу за планирање. Систем менаџмента квалитета је сам по себи превентиван, и због тога у овом стандарду не постоји тачка о превентивним мерама, већ се тежи концепту размишљања заснованог на разику (ISO, 2015).

Размишљање засновано на ризику инкорпорира комбинацију идентификације, анализе и вредновања, односно оцењивање ризика које се може спровести применом великог броја метода, алата, техника или шема, од којих свака има своје предности и недостатке. Једна од тих метода јесте HAZOP чији је детаљан преглед дат у наставку рада, а која може да се примени у свакој фази оцењивања ризика.

3. СТУДИЈА ХАЗАРДА И ОПЕРАТИВНОСТИ (ЕНГ. HAZARD AND OPERABILITY STUDY)

Идентификација опасности (енг. Hazard), односно извора инцидента или акцидента, представља први и најзначајнији део менаџмента ризика у циљу обезбеђивања безбедних операција, избегавајући нежељене отказе система (Dunjo *et al.*, 2010). Циљ HAZOP-a, чији се назив састоји од анализе опасности и студије оперативности (енг. operability study) јесте идентификација скупа узрочно-последичних сценарија који се односе на одговор система на одступања од пројектованог стања или уобичајених оперативнних услова (Rossing *et al.*, 2010). Метода је настала у Великој Британији, тачније у *Imperial Chemical Industries*-у, крајем 60-их година прошлог века, одакле се интензивно ширила и на остале делове света (Swann, 1995). Аутори попут Klertz-a (1999) и Nolan-a (1994) истраживали су и дискутовали о овој методи, спроводили детаљне студије које су стекле широко признавање. Последњих деценија, HAZOP се примењује у различитим областима, попут

информационих технологија или транспортних система (Robinson,1995), где је метода успешно предвиђала саобраћајне проблеме и проналазила нове девијације током имплементације нових технологија (Jagtman et al., 2005). Такође, ова метода укључује и људски аспект, односно проблеме које могу да изазову људске грешке (Aspinall, 2006), међутим њеном применом се не долази до квантитативног излаза (IEC, 2009).

У основи HAZOP процедура се састоји од детаљног описа процеса који се спроводе у разматраном постројењу и систематског испитивања понашања сваког његовог дела како би се установило каква се одступања од пројектованих циљева могу десити (Erčić & Bjegović, 2004). HAZOP се негде дефинише као метода, негде као студија или анализа, чак се и у самим стандардима IEC 61882 и IEC 31010 спорадично користе разиличити термини.

На основу IEC 61882 и стандарда IEC 31010 следи преглед HAZOP методе. Први корак у спровођењу ове студије јесте подела система у циљу дефинисања обима студије. Студија почиње описом система како би се оформљени тим информисао, након чега следи испитивање „чворова― (енг. node), који представљају локације у којима ће се испитивати одступања процесних параметара од намераваних вредности (енг. intention). Затим се генеришу одступања, узимајући у обзир комбинацију параметара и водећих речи (енг. guidewords). Параметри се такође називају елементима, кључним речима или својствима, док су водеће речи кратке речи/фразе које се користе за дефинисање специфичних типова могућих одступања од пројектованог стања. Комбинација параметара и водећих речи резултује дефинисањем могућих одступања. Неке од најчешће коришћених параметара који се комбинују са водећим речима (Не, Мање, Више, Исто као, Део од, Супротно, Другачије) јесу притисак, температура, ниво, композиција, проток, покренути, зауставити (Erčić & Bjegović, 2004; IEC 61882, 2016).

Уопштено, тим сачињен од експерата из различитих области за спровођење ове студије, прво дефинише „чворове―, који се најчешће приказују цртежима, а за сваки од изабраних чворова се приказују пројектоване вредности. Затим се комбинацијом водећих речи и параметара за сваки чвор анализирају могућа одступања. Тим утврђује узроке и последице одступања, као и њихов значај за циљ студије. Анализирањем постојећих заштитних мера, утврђују се акције које је потребно спровести у циљу елиминисања или смањења одступања.

У циљу представљања HAZOP студије на практичном примеру, спроведена је чеклиста у циљу идентификације ризика који се односе на процес пружања услуге високог образовања:

Табела 1 Пример чеклисте за идентификацију ризика у високом образовању (Израдио аутор)

Категорија ризика	Фактор ризика
Настава (запослени)	Лоша комуникација са студентима
	Непостојојање/некоришћење модерне технологије
	Незаинтересованост студената
Праксе	Погрешан избор компанија
	Неодговорност студената
	Неодовољно знање студената
Информациони систем	Нестанак електричне енергије
	Пад сервера
	Спор проток интернета
	Неовлашћен приступ подацима
	Вируси у мрежи
Финансије	Ниско интересовање студената за факултет
	Немогућност наплате пројеката
Студенти	Конкуренција других факултета
	Инфомрациона асиметрија
	Негативан маркетинг
	Високи трошкови школарине
	Неперспективни студентски програми
Менаџмент	Погрешан избор стратешких праваца
	Правне/друштвене/економске околности

Чеклиста у овом примеру представља улаз за примену HAZOP студије на процес пружања услуге високог образовања. Следи спроведена HAZOP студија која показује како се идентификовани ризици могу детаљније анализирати и документовати, уз предлагање акција/прилика које организација може да примени у циљу смањивања или отклањања извора идентификованих ризика:

Табела 2 Пример HAZOP радног листа за ризике у процесу пружања услуге високог образовања (Израдио аутор)

Водећа реч	Параметар	Узрок	Последица	Препоручене акције
Не	Информације о предметима	Лоша комуникација са студентима	Незадовољство студената	Пружити праве и правовремене информације студентима (сајт предмета)
Не	Савремени рачунари	Непостојање/некоришћење модерне технологије	Лоше искуство студената	Набавка опреме, обука предавача
Мање	Присуство студената на настави	Незаинтересованост студената	Негативан утицај на репутацију факултета	Праћење задовољства студената анкетирањем
Мање	Број запослења након праксе	Погрешан избор компанија	Незадовољство студената	Сарадња са адекватним компанијама
Више	Приговор компанија	Неодговорност студената	Негативан утицај на репутацију факултета	Селекција студената који се препоручују
Више	Прекид спровођења пракси	Недовољно знање студената	Негативан утицај на репутацију факултета	Додатно се посветити областима из којих студенти не показују захтеване резултате
Не	Функционисање агрегата	Нестанак електричне енергије	Губитак података	Превентивно одржавање агрегата
Више	Број пада сервера	Пад сервера	Немогућност приступа подацима	Периодично тестирање сервера, креирање резервних копија података
Мање/Не	Проток интернета	Спор проток интернета	Незадовољство запослених и студената	Пријава на интернет факултета уз потврду статуса студента/запосленог
Не	Механизми заштите поверљивих информација	Неовлашћен приступ подацима	Губитак поверења, нетачни подаци	Успостављање шифри, избегавати неверификоване медије
Супротно	Непостојање вируса	Вируси у мрежи	Упитан интегритет података	Ажурирање анти-вирус софтвера
Мање	Број пријављених студената за полагање пријемног испита	Ниско интересовање студената за факултет	Мањи приход	Интензивне активности маркетинга
Више	Време чекања до наплате	Немогућност наплате пројекта	Незадовољство запослених	Алтернативни извори финансирања, партнерство са компанијама лидерима
Исто као	Интересовање за друге факултете из сродних области	Конкуренција других факултета	Мањи приход	Бенчмаркинг анализа
Другачије	Доступност информација о факултету	Информациона асиметрија	Погрешне информације	Организација информативних догађаја, програм менторства
Другачије	Коментари студената на друштвеним мрежама	Негативан маркетинг	Негативан утицај на репутацију факултета	Акитвно учешће на друштвеним платформама
Више	Молбе за смањење школарине	Високи тршкови школарине	Незадовољство студената	Већи број рата за плаћање школарине
Више	Време до запослења након дипломирања	Неперспективни студентски програми	Губитак поверења	Праћење трендова на тржишту рада
Не	Позиција на Шангајској листи	Погрешан избор стратешких праваца	Негативан утицај на репутацију факултета	Примена размишљања заснованог на ризику
Више	Трошкови услед неусклађености са законом	Правне/друштвене/економске околности	Виши трошкови, негативан утицај на репутацију факултета	Примена друштвено одговорног пословања

Примена HAZOP анализе нуди велики број предности (IEC, 2009):

- омогућује систематично и потпуно испитивање система, процеса или процедуе;
- укључује мултидисциплинаран тим, који поседује адекватна знања и искуство;
- применљива је на широки опсег система, процеса и процедура;
- омогућује експлицитно разматрање узрока и последица људских грешака;
- генерише решења и мере које се односе на третирање ризика;
- креира писани запис процеса који се може користити за приказ постојећег стања (енг. due diligence).

HAZOP-у су, такође, својствена и одређена ограничења:

- детаљна анализа може захтевати доста времена, односно трошкова;
- захтева висок ниво документације или спецификације система, процеса или процедуре;
- фокус може бити на пробелеме пројектовања, несагледавајући ширу слику, где окружење може да изазове проблем;
- процес се базира на експертизи пројектаната који треба да буду објективни у проналажењу проблема у решењима која су они пројектовали.

4. ЗАКЉУЧАК

Јасно је да је ризик постао један од кључних аспеката квалитета пословања сваке организације. Управо у овој области организације може да створи конкурентску предност, у зависности од начина на који поступа са ризиком. ISO 9001:2015 дефинише ризик као одступање од очекиваног, позитивно или негативно. Термин „неизвесност‒се може објаснити као недостатак информација или знања о догађају који се може појавити, кроз последице и вероватноћу његовог настанка (Kymal & Reid, 2015).

Овај рад даје преглед концепата менаџмент ризика, размишљања заснованог на ризику и повезује их са системом менаџмента квалитета. Концепти описани у раду представљају дугорочне процесе, односно пут, а не дестинацију који ће довести до побољшања (Loosemore & Raftery, 2006). Уколико их организација примењује зато што то тако „треба‒, или зато што то неко захтева од ње, прави резултати су тешко достижни. Зато је неопходна потпуна посвећеност највишег менаџмента при њиховом спровођењу.

У последњем делу рада дат је преглед HAZOP студије, која не представља само крај једног процеса, већ и полазну тачку за комуницирање о ризику и обезбеђује улазне податке за неку накнадну анализу. Комбиновањем ове методе са неким другим алатима квалитета који се односе на ризике, може се доћи до решења за захтеве стандарда ISO 9001:2015 који су дати у овом раду. Доследна примена менаџмента ризика је неопходна, јер једном смањени ризик може опет бити критичан, а одређени ризик високог приоритета може изгубити тај статус у поновној анализи. Многе организације примењују овај приступ и континуирано предузимају активности како би ризици били на прихватљивом нивоу (Čaušević & Peulić, 2011).

Стандарди ISO 31000 и IEC 31010, иако нису намењени сертификацији, дају смернице организацији за менаџмент ризика и могу јој помоћи да примењује размишљање засновано на ризику. Тенденција је ће се ова област и даље развијати, јер организација тешко може бити свесна сваке неизвесности, а то је још једна прилика за инжењере организационих наука да пронађу своје место у данашњем пословном свету.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Aspinall, P. (2006). HAZOPs and Human Factors. In Hazards Xix—Process Safety and Environmental Protection—What Do We Know? Where Are We Going? Institution of Chemical Engineers. Rugby, UK. pp. 820–829.

[2] Aven, T. (2008). Risk management. Oslo: Universitetsforlaget.

[3] Dunjo, J., Fthenakis, V., Vilchez, J.A., Arnaldos, J. (2010). Hazard and operability (HAZOP) analysis. A literature review. J. Hazard Mater. 173, pp. 19–32.

[4] Eričić, Ž., Bjegović, P. (2004). Studija Hazarda i Operativnosti. Vodoprivreda, pp. 399-404.

[5] Holten, G. A. (2004). Defining Risk. Financial Analysts Journal Vol. 60, No. 6, 19-25.

[6] IEC 61882. (2016). Hazard and Operability studies (HAZOP studies)- Application guide.

[7] IEC 31010. (2009). Risk management — Risk assessment techniques.

[8] Jagtman, H.M., Hale, A.R., Heijer, T. (2005). A support tool for identifying evaluation issues of road safety measures. Reliab. Eng. Syst. Saf. 90, pp. 206–216.

[9] Jo, H.H., Parasaei, H.R.,Sullivan, W.G. (1993). Principles of concurrent engineering. Concurrent Engineering: Contemporary Issues and Modern Design Tools. Chapman & Hall, London, pp. 3-23.

[10] Kaarbøe, K., Tynes Pedersen, L., Eide Andvik, C., &Meidell, A. (2013). Enterprise Risk Management. Magma. Econas Tidskrift For Økonomi OgLedelse.

[11] Kletz, T.A. (1999). HAZOP & HAZAN: Identifying and Assessing Process Industry Hazards, 4th ed. Institution of Chemical Engineers: Rugby, UK.

[12] Kymal, C.,Reid, D. (2015). Risk-Based Thinking and ISO 9001:2015. Quality Digest. From: http://www.qualitydigest.com/inside/quality-insider-article/082115-riskbased-thinking-and-iso90012015.html (April 4, 2018)

[13] Loosemore, M., Raftery, J. (2006). Risk management in projects, Taylor & Francis, New York.

[14] Morris, M., Schindehutte, M., Allen, J. (2005). The entrepreneur's business model: toward a unified perspective. Journal of Business Research 58, pp. 726–735.

[15] Nolan, D.P. (1994). Application of HAZOP and What-If Safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical and Chemical Industries. Noyes Publications: Park Ridge, NJ, USA.

[16] Oliver, C.(1997). Sustainable competitive advantage: combining institutional and resourcebased views. Strategic Management Jouranl Vol. 18:9, pp. 697–713.

[17] Raftery, J. (1994), Risk Analysis in Project Management, Chapman & Hall, London.

[18] Risk Management Standard AS/NZS 4360 (1999) Risk Management Standard AS/NZS 4360, Standards Association of Australia, Sydney.

[19] Robinson, B.W. (1995). Application of hazard and operability studies to a wide range of industries and activities. Qual. Reliab. Eng. Int. 11, pp. 399–402.

[20] Rossing, N.L., Lind, M., Jensen, N., Jørgensen, S.B. (2010). A functional HAZOP methodology. Comput. Chem. Eng. 34, pp. 244–253.

[21] Salamone, T.A. (1995). What Every Engineer Should Know About Concurrent Engineering, Marcel Dekker, New York, NY.

[22] SRPS ISO 9000:2015. (2015). Системи менаџмента квалитетом- Основе и речник. Институт за стандардизацију Србије.

[23] SRPS ISO 9000:2015. (2015). Системи менаџмента квалитетом- Захтеви. Институт за стандардизацију Србије.

[24] SRPS ISO 31000:2009. (2009). Menadžment rizikom- Princip i ismernice. Институт за стандардизацију Србије

[25] Swann, C.D., Preston, M.L., (1995). Twenty-five years of HAZOPs. J. Loss Prev. Process Ind.8, pp. 349–353.

[26] Williams, T. (1995). A classified bibliography of recent research relating to risk management. European Journal of Operational Research, Vol. 85 No. 1, pp. 18-38.

[27] Čaušević, N., V. Peulić, (2011). Rizik kao osnovg izgradnje integrisanog sistema i sistema upravljanja znanjem. Zbornik radova Proceedings, I MeĐunarodni naučni skup o ekonomskom razvoju i životnom standardu EDASOL 2011 - Economic development and Standard of living. Banja Luka.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

OPTIMIZACIJA STEPENA POUZDANOSTI BLIZINSKIH ELEKTRONSKIH UPALJAČA

OPTIMIZATION OF PERMANENT RELIABILITY OF CLINICAL ELECTRONIC FITTINGS

ZDRAVKO BIJELIĆ[1], VELJKO PETROVIĆ[2], BILJANA MILANOVIĆ[1]

[1] IROE LOGOS u osnivanju Novi Sad, bijeliczdravko51@gmail.com
[2] MO Uprava za odbrambene tehnologije, Beograd, veljko.petrovic@mod.gov.rs

Rezime: *Osnovna karakteristika sredstava naoružanja i vojne opreme je izuzetno visok stepen efektivnosti i efikasnosti. Posledica zahtjeva za visokim stepenom efektivnosti i efikasnosti je da sredstva naoružanja i vojne opreme imaju mnogo veću cijenu koštanja nego proizvodi opšte upotrebe. Stepen pouzdanosti funkcionisanja proizvoda za vojne potrebe u različitim ambijentima je ključni pokazatelj tehničke funkcionalne efikasnosti. Sredstva naoružanja i vojne opreme su sve više izložena tržišnoj konkurenciji, što nameće potrebu upravljanja sa većeg broja aspekta. Pored tehnički funkcionalnih i bezbjednosnih komponenti, na konkurentnost sve više utiče i cijena ovih proizvoda. U ovakvoj situcije rješenje problema treba tražiti u sistemskom matematičkom modeliranju koje omogućuje optimizaciju upravljanja sa aspekta integrisane mjere vrijednosti. U radu su prtikazani rezultati istraživanja vezano za matematičko modeliranje problema optimizacije integrisanog upravljanja stepenom pouzdanosti elektronskih blizinskih upaljača za minobacačku i artiljerijsku municiju.Razvijeni model je efikasan mehanizam za primjenu u praksi u fazi razvoja blizinskih upaljača.*

Ključne reči: *Optimizacija, Pouzdanost, Upravljanje, Matematičko modeliranje.*

Abstract: *The basic characteristic of weapons and military equipment is an extremely high degree of effectiveness and efficiency. The consequence of the demand for a high degree of effectiveness and efficiency is that weapons and military equipment have a much higher cost price than products of general use. The degree of reliability of product performance for military needs in different environments is a key indicator of technical functional efficiency. The assets of weapons and military equipment are increasingly exposed to market competition, which imposes the need for management from a number of aspects. In addition to the technical functional and safety components, competitiveness is increasingly influenced by the price of these products. In this situation, the solution to the problem should be sought in system mathematical modeling that enables optimization of management from the aspect of the integrated value measure. The paper presents the results of the research related to the mathematical modeling of the problem of optimizing the integrated control of the degree of reliability of electronic close lighter for mortar and artillery ammunition. The developed model is an effective mechanism for application in practice in the phase of developing close lighter.*

Keywords: *Optimization, Reliability, Management, Mathematical Modeling.*

1. UVOD

Blizinski elektronski upaljač je složeno sredstvo naoružanja i vojne opreme koje ima postavljen zahtjev za veoma visokim stepenom pouzdanosti sigurnosne i izvršne funkcije. Sigurnosna funkcija je u funkciji bezbjednosti osoblja koje rukuje minobacačem ili topom. Izvršna funkcija obezbjeđuje pouzdanost aktiviranja mine ili granate na projektovanim visinama. Upaljači moraju ispunjavati zahtjev visokog stepena pouzdanosti u raličitim uslovima ambijenta.

U savremenim uslovima ratovanja eksplozivna sredstva (razne mine i granate), sve više poprimaju ulogu zastrašivanja neprijatelja, odnosni ulogu psihološkog pritiska na neprijateljsko ljudstvo. Danas kao ključna mjera efikasnosti ratovanja nije više broj poginulih i ranjenih na neprijateljskoj strani, već intenzitet slabljenja motivacije i rasta straha kod neprijateljskih vojnka i civilnog stanovništva. Na ove nove okolnosti veoma dobro ukazuju ratovi koji su se vodili krajem prošlog vijeka na prostorima bivše Jugoslavije. U ovako promjenjenim okolnostima nema potrebe da se insistira na izuzetno visokom stepenu pouzdanosti koncentracije visina na kojima dolazi do eksplozije minobacačke mine ili granate sa blizinskim elektronskim upaljačem. Pored ove činjenice, danas proizvođaći sredstava naoružanja i vojne opreme su sve više izloženi

oštroj tržišnoj konkurenciji mjereno ne samo aspektom tehničkog kvaliteta, već i cijenom proizvoda. Visok stepen pouzdanosti izvršne funkcije, neminovno dovodi do izuzetno visokih troškova razvoja i proizvodnje blizinskih upaljača.

U novonastalim okolnostima problem upravljanja se mora posmatrati sa aspekta optimizacije integrisanih razvojnih promjena (Bijelić 2018). Razvojne promjene po prirodi su promjene, koje se projektuju u funkciji efekata u budućem vremenu. U uslovima intenzivnih, dinamičnih i teško predvidljivih promjena u okruženju, a pogotovo na globalnom nivou, problem optimalnog upravljanja razvojnim promjenama je postao izuzetno kompleksan. Upravljanje razvojnim promjenama, odnosno razvojnim sistemima i procesima u biti se svodi da odlučivanje o optimalnoj razvojnoj putanji ne samo tehničkih sistema kao što je upaljač, već i bioloških i organizacionih sistema. Biološki, tehnički i organizacioni sistemi i procesi su međusobno isprepleteni međusobnim uticajima, odnosno interakcijama. Stepen neodređenosti, mjereno numeričkim vrijednostima sve više je izražen. Sa aspekta matematičkog modeliranja ovakve situcije se uspješno mogu rješavati primjenom mekog računarstva, odnosno fazi skupova (Bijelć 2018).

Problem kojim se bavi ovaj rad je razvoj matematičkog modela primjenom mekog računarstva u svrhu optimizacije integrisanih efekata blizinskih elektronskih upaljača koji se koriste za minobacačke mine i razne artiljerijske granate. Cilj rada je da se primjenom naučnog metoda pokaže da je moguće razviti matematički model na bazi mekog računarstva koji se može koristiti kao efikasan upravljaški mehanizam pri projektovanju pouzdanosti i drugih integrisanih efekata blizinskih upaljača. Kako je rad nastao na bazi praktičnih istraživanja, drugi cilj rada je da se, ne samo proizvođačima blizinskih upaljača, već i drugih sredstava, ukaže na potrebu primjene integrisanog upravljanja razvojnim tehničko-tehnološkim promjenama.

2. SISTEMSKA ANALIZA

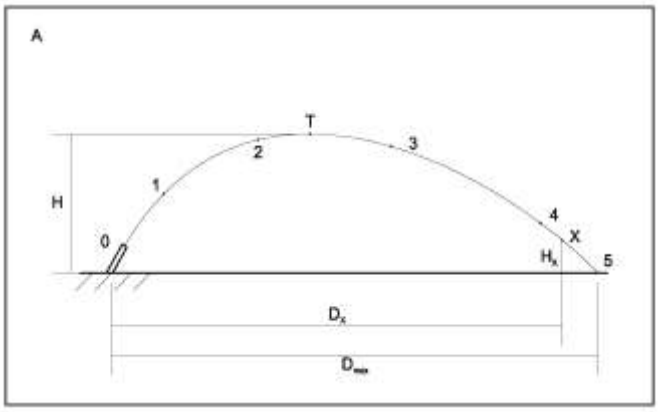
Blizinski elektronski upaljači su izetno složena tehnička sredstvo naoružanja i vojne opreme. Sastoji se iz veoma velikog broja podsistema i elemenata. Osnovni podsistemi, odnosno sklopovi blizinskog upaljača su: mehanizam za osiguranje, izvor za napajanje električnom energijom (turbina sa generatorom ili samonalijevajuća baterija) i elektronski upravljački blok. Tradicionalno blizinski upaljač, kao i sva druga sredstva naoružanja i vojne opreme, ima postavljen zahtjev za veoma visokim stepenom pouzdanosti sigurnosne i izvršne funkcije. Sigurnosna funkcija je u funkciji bezbjednosti osoblja koje rukuje minobacačem ili topom. Izvršna funkcija obezbjeđuje pouzdanost aktiviranja mine ili granate na projektovanim visinama od terena na kojem se nalazi neprijateljske vojne snage. Upaljači moraju ispunjavati zahtjev visokog stepena pouzdanosti u različitim uslovima ambijenta korišćenja kao što je ambijent sa ekstremnim temperaturama, ekstremnom vlažnošću i ekstremnim mehaničkim opterećenjima. Pored ovih uslova upaljači moraju imati visok stepem pouzdanosti i u situaciji izuzetno brze promjene ambijenta. Izuzetno veliki broj podsistema, elemenata i interakcija čini upaljač veoma složenim sistemom sa aspekta upravljanja projektovanom pouzdanošću. Iz teorije upravljanja sistemima poznao je da složenost upravljanja (SU) raste sa faktorijalom broja elemenata sistema (N!) (Bijelić 2018).

Tehnologija proizvodnje blizinskih elektronskih upaljača je izuzetno složena. Tehnološki proces čini veoma veliki broj tehnološko-proizvodnih operacija. Organizacija, odnosno tip proizvodnje sa aspekta serijlnosti određen je količinom upaljača i dinamikom proizvodnje, odnosno ritmom proizvodnje. Mjereno vremenom trajanja montažnih i operacija testiranja, odnosno kontrole raznih tehničkih parametara, jedna trećina tehnološkog vremena odnosi se na montažu, a dvije trećine na testiranje. Profil kadrova koji rade na testiranju je na višem stepenu nego profil kadrova na montažnim operacijama. Većina mašinskih pozicija, odnosno elektronskih komponenti se obezbjeđuje putem kooperanata ili dobavljača koji su tehnološki osposobljeni za proizvodnju komponenti i elementa u skladu sa projektovanom tehničkom dokumentacijom. Dobavljači moraju garantovati projektovani kvalitet odgovarajućim potvrdama o kvalitetu iz kojih moraju biti vidljive vrijednosti parametara koje se provjeravaju. Međutim, i pored ove činjenice proizvođač upaljača mora u sklopu svoje ulazne kontrole kvaliteta da izvrši provjeru dokumentacijom propisanih parametara. Ova provjera se najčešće vrši metom uzorkovanja.

Tip proizvodnje upaljača je najčešće serijski ili velikoserijski, što zahtjeva stalno posmatranje stabilnosti proizvodno-tehnološkog procesa, odnosno sistema. Uspješno upravljanje stabilnošću proizvodno-tehnološkog procesa je ključni faktor koji određuje konačne preformanse upaljača. Najčešće korišćeni upravljački mehanizam održavanja stabilnosti proizvodno-tehnološkog procesa su razne statističke karte. Nekad su se takve karte radile ručno, međutim danas u uslovima primjene savremenih informacionih sistema informacije o toku proizvodnog procesa se dobijaju automatizovano na osnovu informacija o vrijednostima podataka koji se mjere u procesu testiranja raznih projektovanih tehničkih pokazatelja. Da bi se obezbijedila trajnost stabilnosti proizvodno-tehnološkog procesa, pored proizvodno-tehnoloških testiranja, odnosno mjerenja raznih parametara, proizvodnja upaljača mora imati posebno organizovanu službu tehničke kontrole

kvaliteta u formi sektor ili odjeljenje kontrole kvaliteta. Tehnička kontrola kvaliteta mora biti autonomna i orgnizaciono izvan proizvodnje. Ljudi koji rade u kontroli kvaliteta moraju imati izuzetno visok stepen profesionalne odgovornosti.

Bivši poslovni sistem „Čajavec“ Banja Luka je zajedno sa kompanijom „Slavko Rodić“ Bugojno proizvodio blizinske upaljače za minobacačku i artiljerijsku municiju. Karakter proizvodnje sa aspekta serijlnosti bio je velikoserijska proizvodnja. Zbog ove činjenice i razvojne politike u bivšoj Jugoslaviji, proizvodnja elektonskog upravljačkog sklopa prenešena je na lokacije jedne od izrazito nerazvijenih opština. Uspješno je osvojena proizvodnja sa visokom ocjenom osposobljenosti za proizvodnju sredstava naoružanja i vojne opreme (NVO). Odnosi i saradnja između učesnika u zajedničkoj proizvodnji bila je na visokom nivou. Upaljači su se najvećim dijelom proizvodili za izvoz i obezbjeđivali su zavidne finansijske rezultate.



Slika 1: Grafička ilustracija putanje

U jedno periodu tokom 1985. godine pri ispitivanju kvaliteta upaljača u realim uslovima na pologonu Prevlaka počeli su se pojavljivati problemi kvaliteta sa aspekta smanjena pouzdanosti sigurnosne i izvršne funkcije. Na uzlaznom dijelu putanje (slika 1) počele su se pojavljivati povremeno prerane eksplozije (putanja od tačke 1 do 2) i učestalije rane eksplozije (putanja tačka 2 do 3.. Optimalna visina eksplozije je tačka 4, a dozvoljeno rasipanje je na putanji od tačke 3 do tačke 5. Pored problema ranih eksplozija ni statističko rasipanje ispravnih pojedinačnih eksplozija nije zadovoljavalo kriterijum kumulativnog kvaliteta uzorka koji je korišćen za ispitivanje tehnologijom eksperimenta. Predmet eksperimenta se ne može analizirati, jer se upaljači uništavaju eksplozijom. (Bijelić, Z., Milanović, B., Bijelić, M., Miletić, D. 2018).

Poslije višemjesečnih istraživanja došlo se do spoznaje da je problem termodinamičke prirode, a ne lošeg kvaliteta u procesu proizvodnje i lošeg kvaliteta sklopova i komponenti upaljača. Sumnja na eventualne elektromagnetne smetnje su se takođe pokazale kao netačne. Problem koji je izazivao prerane i rane eksplozije bio je rezultat vlage koja se stvarala unutar upaljača, jer su ispitivanja vršena u rano jutro, kad je povećana magla i koncentracija vlage u vazduhu iznad površine mora. U toku istraživanja ispitivanja su vršena i na poligonu Manjača i Nikinci. Rezultati ovih ispitivanja bili su zadovoljavajući u skladu sa propisanim pravilima kvaliteta za blizinske elektronske upalkače.

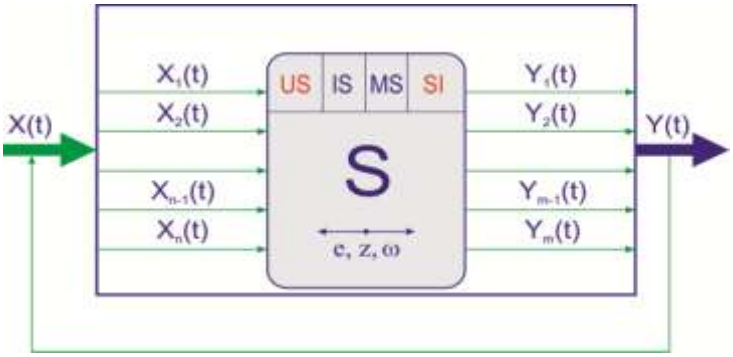
Naučna spoznaja ovog eksperimenta je to da često puta i ambijent eksperimentalnog ispitivanja može stvoriti pogrešnu sliku o kvalitetu proizvoda. Ova spoznaja se ne odnosi samo na sredstava naoružanja i vojne opreme, već i ostale proizvode. Važna naučna spoznaja je da se složeni istraživački problemi ne mogu rješavati bez multidisciplinarnih znanja i ljudi koji posjeduju takva znanja. (Bijelić 2018, Bijelić 1985).

3. MATEMATIČKI MODEL

Razvojni sistemi su sistemi koji su kreirani u svrhu apstraktnog predstavljanja rasta i razvoja realnog sistema (objekta). Objekat može imati veliki broj različitih razvojnih faktora. Ukoliko sistem obuhvata manji broj razvojnih faktora on je jednostavniji. Sa rastom broja razvojnih faktora razvojnog sistema raste složenost upravljanja razvojnim sistemima. Razvojni sistemi su po prirodi dinamički sistemi, odnosno stanje sistema je funkcija vremena. Ova činjenica u velikoj mjeri usložnjava upravljanje. Efikasnost i efektivnost razvojnih sistema i procesa je numerička mjera sposobnosti razvojnog sistema da optimalno upravlja razvojnim promjenama. Najčešće korišćena mjera sposobnosti je uspješnost razvojne promjene. Uspješnost razvojne promjene je funkcija većeg broja nezavisno promjenljivih faktora. Moguća struktura skupa faktora od kojih

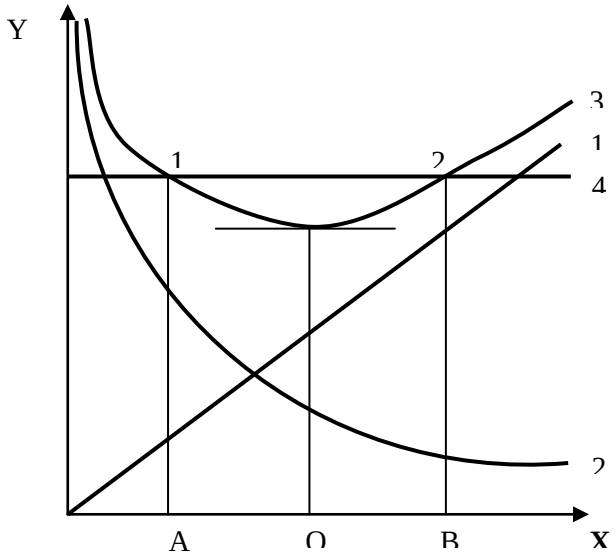
zavisi uspješnost razvojnih promjene je: snaga promjene (energija), znanje (bazno tehnološko-tehničko i upravljačko), otpor prema promjenama, motivacija za promjene, uticaj okruženja na promjene. rizik promjene, brzina promjene i ostalo. Koristeći teoriju fazi skupova uz izvrsno poznavanje naučne oblasti kojoj pripada razvojni sistem lako se matematički modelira uspješnost razvojnih promjena kao funkcija napred navedenih faktora. Analogno modeliranju uspješnosti razvojne promjene moguće je modelirati bilo koji problem vezano za razvojne sisteme tehničke, biološke i organizacione prirode. Za uspješno modeliranje potrebna su multidisciplinarna znanja.

Stepen koristi od matematičkog modeliranja zavisi od toga u kojoj mjeri model odražava realni sistem da bi se ostvarili potrebni vidici postavljeni za rješavanje konkretnog upravljačkog problema. Bitno je u model uključiti što veći broj faktora uticaja, odnosno veza i elemenata sistema. Time se model usložnjava i dovodi do rizika vezano za egzaktnost matematičkog rješenja. U ovakvoj situaciji bitno je izabrati optimalnu kombinaciju broja faktora koji se posmatraju u konkretnom slučaju. Na slici 2 dat je prikaz dinamičkog složenog sistema sa većim brojem ulaza (n) i većim brojem izlaza (m). Pored problema većeg broja ulaza i izlaza, problem se usložnjava zbog kvantitativne promjenljivost ulaza i izlaza u vremenu. Ulazi i izlazi sistema su funkcija vremena.



Slika 2: Opši model dinamičkog sistema sa više ulaza i izlaza

Kad je u pitanju problem upravljanja razvojnim promjenama, vezano za matematičko modeliranje u cilju kreiranja modela koji se može uspješno koristiti za optimizaciju pouzdanosti blizinskih upaljača ključno je da se definiše matematička funkcija između integrisane vrijednosti ulaza i integrisane vrijednosti izlaza.



Slika 3: Grafička ilustracija zavisnosti integrisanog izlaza od integrisanog ulaza

Prvi autor rada je razvio opšti sistemski pritup matematičkom modeliranju koje se temelji na naučnoj ideji da se izvrši integracija višedimenzionalnih ulaza i izlaza primjenom fazi skupova (Bijelić 2018). Matematička forma integracije primjenom fazi skupova (Slika 2) bila bi:

$$X = p_1X_1 + p_2X_2 + \ + p_nX_n \quad (1)$$

$$Y = s_1Y_1 + s_2Y_2 + \ + s_mY_m \quad (2)$$

Razvojne promjene po prirodi su rastuća funkcija vremena. Vrijeme posmatranih razvojnih promjena treba podijeliti na određen broj vremenskih faza i za svaku fazu odrediti vrijednost integrisanog ulaza i izlaza. Na osnovu tako određenih integrisanih faznih ulaza i izlaza lako je u prvom koraku odrediti funkcije koje zadovoljavajuće odražavaju zavisnost integrisanog ulaza i izlaza u funkciji vremena. U drugom koraku, eliminacijom vremena dobije se funkcija Y = F(X). Na slici 3 data je grafička ilustracija vezano za problem optimizacije stepena pouzdanosti blizinskih elektronskih upaljača. Ako je P_o minimalno dozvoljena pouzdanost, a X razvojna promena pouzdanost ($X = P - P_o$) i ako je integrisani izlaz sistema Y mjera efikanosti (rizik ili cijena koštanja upaljača) grafička ilustracija na slici 3 može se predstaviti pomoću sljedeće funkcije:

$$Y = aX + b/X \quad (3)$$

Optimalna vrijednost razvojne promjene pouzdanosti određuje se iz uslova da je prvi izvod funkcije (3) nula.

$$Y_o = (b/a)^{1/2} \quad (4)$$

Ako je b=25, a=1 imaćemo da je optimalna razvojna promjena pouzdanosti X_o=5. U slučaju kad je minimalna pouzdanost P_0 = 90%, optimalna pouzdanost biće 95%.

4. SINTEZA ISTRAŽIVANJA

Zbog ograničenosti obima rada data je kraća sinteza rezultata istraživanja na bazi postavljenih ciljeva i istraživačkih hipoteza. Problem kojim se rad bavi je razvoj matematičkog modela primjenom mekog računarstva u svrhu optimizacije integrisanih efekata blizinskih elektronskih upaljača koji se koriste za minobacačke mine i razne artiljerijske granate. Cilj rada je da se primjenom naučnog metoda pokaže da je moguće razviti matematički model na bazi mekog računarstva koji se može koristiti kao efikasan upravljaški mehanizam pri projektovanju pouzdanosti i drugih integrisanih efekata blizinskih upaljača. Kako je rad nastao na bazi praktičnih istraživanja, drugi cilj rada je da se proizvođačima blizinskih upaljača i drugih sredstava naoružanja i vojne opreme, ukaže na potrebu primjene integrisanog upravljanja razvojnim tehničko-tehnološkim, ekonomskim i bezbjednosnim promjenama.

U radu su postavljene sljedeća hipoteze:

1. Problem optimalnog upravljanja efikasnišću blizinskih elektronskih upaljača može se riješiti matematičkim modeliranjem primjenom mekog računarstva, odnosno fazi skupova.
2. Razvijeni model se može uspješno koristiti u razvoju i proizvodnji blizinskih elektronskih upaljača i drugih sredstava naoružanja i vojne opreme.

Postavljene hipoteze su potvrđene tako što je razvijen model i na bazi analize problema u praksi. Potrebno je nastaviti sa daljim istraživanjima u svrhu prijene u praksi za konkretne tipove blizinskih elektronskih upaljača.

5. ZAKLJUČAK

U uslovima kad savremeno ratovanje dobija nove vrijednosne dimenzije sa aspekta efikasnosti bacačkih ubojitih sredstava i u sitaciji veoma oštre konkurentnosti na tržištu blizinskih elektronskih sredstava, potrebno je primjenjivati integrisani pristup upravljanja efikasnošću. Posebno je bitno optimalno upravljanje pouzdanošću upaljača. Problem se uspješno rješava na bazi matematičkih modela rezultat primjene mekog računarstva, odnosno fazi skupova. Da bi se uspješno rješavao problem optimizacije pouzdanosti i drugih faktora efikasnosti potrebna su savremena upravljačka, tehničko-tehnološka i vojno-bezbjednosna znanja.

LITERATURA

[1] Bijelić, Z., Petrović., Milanović, J. (2019). Research the possibility and limitation of the revitalization of the production of weapons and military equioent in the Pepublic of Srpska. International Conference DEMI 2019, Book of Abstracts 25. University of Banja Luka Faculty of Mechanical Engineering.

[2] Bijelić, Z., Milanović, B., Petrović, J. (2019). Integrisano upravljanje kvalitetom proizvodima visokog stepena pouzdanosti. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem Quality 2019. Neum. BiH.

[3] Bijelić, Z., Milanović, B., Bijelić, M., Miletić, D. (2018). Tradicionalno i savremeno sistemsko upravljanje kvalitetom sredstava NVO. Naučni skup sa međunarodnim učešćem ETIKUM 2018, 65-68. Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.

[4] Bijelić, Z., Milanović, B., Bijelić, M., Bijelić, Ž. (2018). Upravljanje integrisanim kvalitetom sa aspekta optimizacije integrisanih razvojnih promjena. Naučni skup sa međunarodnim učešćem ETIKUM 2018, 61-64. Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.

[5] Bijelić, Z., Milanović, B., Bijelić, M. (2018). Optimalno kibernetsko upravljanje integrisanim promjenama privređivanje budućnosti. Međunarodni naučni skup NAKA I PRAKSA 2018, 1-16. Univerzitet za poslovne studije Banja Luka.

[6] Bijelić, Z., Milanović, B., Miletić, D. Razvoj matematičkog modela za optimalno upravljanje tehnološkim razvojnim promjenama. Međunarodna konferencija MMA 2018, 297-300. Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.

[7] Bijelić, Z. (2018). Razvoj modela optimizacije upravljanja integrisanim razvojnim promjenama. Druga doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.

[8] Bijelić, Z., Milanović., Bijelić, M. (2017). Razvoj integrisanih modela primjenom integrisane optimizacije u funkciji integrisanog kvaliteta, Naučni skup sa međunarodnim učešćem ETIKUM 2017, 9-12. Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.

[9] Bijelić, Z. (1990). Model ispitivanja pouzdanosti uređaja koji se koriste jednokratno, Međunarodana konferncija Industrijski sistemi`90, 457-460. Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.

Bijelić Z. (1990). Model ispitivanja pouzdanosti uređaja koji se koriste jednikratko. Naučna konferencija Industrijski sistemi IS'90, 457-460. Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.

[10]Bijelić, Z. (1990). Model ispitivanja pouzdanosti uređaja koji se koriste jednokratno, Naučna konferencija IS'90, 457-460, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.

[11]Bijelić, Z. i dr. (1985). Projekat istraživanja preranih i ranih eksplozija na MES sa blizinskim upaljačem. Banja Luka.

[12]Ivanović G., Stanivuković D. (1987). Pouzdanost teničkih sistema. Mašinski fakultet. Beograd.

[13]Maynard, N. B. (1984). Industrijski inženjering I, II, III i IV, Privredni pregled. Beograd.

[14]Mitrović, Ž. (1985). Osnove integrisanog upravljanja kvalitetom proizvoda. Institut za unapređenje robnog prometa Beograd.

[15]Minić S., Arsenić Ž. (1998). Modeli održavanja tehničkih sistema. Vojnoizdavački zavod. Beograd.

[16]Petrović, R. (1977). Specijalne metode optimizacije sistema. Tehnička knjiga. Beograd.

[17]Popović, B., Kamberović, B. (1987). Upravljanje kvalitetom. Naučna knjiga, Beograd.

[18] Stanić J. (1990). Metod inženjerskog merenja. Mašinski fakultet. Beograd.

[19]Zelenović D., Todorović J. (1990). Efektivnost sistema u mašinstvu. Naučna kniga. Beograd.

[20]Zelenović, D. (1973). Proizvodni sistemi. Naučna knjiga. Beograd.

[21]Viner, N. (1964). Kibernetika i društvo. Nolit. Beograd.

OR APPLICATIONS IN CIVIL ENGINEERING

PRIMENE OI U GRAĐEVINARSTVU

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

OPTIMIZACIJA IZBORA I ALOKACIJA GRAĐEVINSKE MEHANIZACIJE ZA ZEMLJANE RADOVE NA GRAĐEVINSKIM PROJEKTIMA

SELECTION OPTIMIZATION AND ALLOCATION OF EARTHMOVING EQUIPMENT ON CONSTRUCTION PROJECTS

MARKO DRAGOJEVIĆ[1], ABEL DURAN[2], NATAŠA PRAŠČEVIĆ[3]

[1] Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, markomionica@gmail.com, [2]aduran@grf.bg.ac.rs, natasa@grf.bg.ac.rs

Rezime: *Cilj ovog istraživanja je izbor i alokacija mehanizacije na građevinskim projektima. Sa ovim problemom često se susreću građevinske firme u praksi kada konkurišu za velike građevinske projekte. Optimizacija izbora i alokacija građevinskih mašina se postiže jasnim definisanjem funkcije cilja i odgovarajućih uslova ograničenja uz zadovoljenje preferencija donosioca odluke, u ovom slučaju investitora. Kako je osnovni cilj izbor građevinske mehanizacije koja će osigurati da će se razmatrani projekti izvesti u zahtevanom roku, a uz istovremeno zadovoljenje tehničko-tehnoloških zahteva i planiranog budžeta, za pronalazak optimalnog rešenja ovog problema primenjeno je fuzzy linearno programiranje u slučaju rasplinutosti same kriterijumske funkcije i koeficijenata uz ograničenja. Uzimanjem u obzir pet različitih projekata sa različitim količinama zemljanih radova kao i predloženi okvirni budžet postavljeni problem je rešen tako što su izabrana četiri bagera, dva utovarivača, osam kamiona kipera, dva dozera i jedan skreper. Sa ovako definisanom kombinacijom ostvareni budžet iznosi dva miliona i trista-četrdeset hiljada evra, a stepen zadovoljenja zahteva je 0,7.*

Ključne reči: *građevinska mehanizacija, izbor, alokacija, linearno programiranje, fuzzy broj.*

Abstract: *The aim of this research is selection and allocation of earthmoving equipment on construction projects. Construction companies often encounter this problem in practice when they bid for the large construction projects. Selection optimization and allocation of construction equipment is achieved by clearly defining the target function and all relevant conditions of restrictions, together with ensuring that interests of the decision- maker, in this case Employer, preferences are met. Bearing in mind that main objective during the process of selection of construction equipment is to ensure timely completion of all projects considered, while at the same time technical-technological requirements and planned budget are satisfied, in order to find an optimal solution to the aforementioned problem, fuzzy linear programming was applied in the case of the fuzzy criterion function itself and the coefficients with restrictions. Taking into account five different construction projects, all with different quantities of earthworks, as well as the proposed general budget, the problem was solved by selecting four excavators, two loaders, eight dump trucks, two bulldozers and one scrapper. With aforementioned choice, the achieved budget amounts to two million and three hundred-forty thousand euros, with the level of satisfaction of the request is 0.7.*

Keywords: *construction equipment, selection, allocation, linear programming, fuzzy number.*

1. UVOD

Izbor i alokacija građevinske mehanizacije na građevinskim projektima predstavlja jedan veoma kompleksan zadatak i izazov za građevinske inženjere. Prilikom ovog procesa neophodno je sagledati čitav niz zahteva i uslova ograničavajućih faktora, kao i jasno definisati cilj i rešenje učiniti ekonomičnim, produktivnim, efektivnim, efikasnim i sl.[6]

Izbor i alokacija mehanizacije koja je prikazana i dokazana u okviru ovog rada na konkretnom primeru iz prakse podrazumeva rešavanje problema nabavke optimalnog broja i vrste građevinskih mašina za više različitih građevinskih projekata, pri čemu je okvirno definisan raspoloživi budžet za realizaciju ovog zadatka. Građevinske firme se svakodnevno susreću sa ovakvim i sličnim problemima prilikom konkurisanja

za nove poslove, posebno kada se isti realizuju u inostranstvu i podrazumevaju realizaciju većeg broja projekata na datom tržištu. Kako se ukupna vrednost ponude jedne građevinske firme u slučaju obimnih zemljanih radova u velikoj meri zasniva na troškovima mehanizacije kvalitetno rešenje nabavke građevinskih mašina jeste jedan od preduslova za uspešno dobijanje posla i ostvarivanje profita.

Osnovna pitanja na koja treba odgovoriti su:

- Koju vrstu radova odnosno aktivnosti treba izvršiti?
- Koji je obim tih radova i koji je zahtevani vremenski rok?
- Koje vrste mašina to mogu uraditi?
- Koje mašine i kolikog kapaciteta treba angažovati?

Jasnim davanjem odgovora na prethodno navedena pitanja možemo biti sigurni da će se zadovoljiti unapred definisani parametri koji su u skladu sa zahtevima i potrebama investitora. Sa ovim problemom često se susrećemo u praksi. Po prirodi svaki građevinski projekat je unikatan i jedan ovakav problem nije moguće ručno rešiti. Iz tog razloga pribegava se automatizaciji ovog procesa, a efikasno rešenje se postiže primenom odgovarajuće metode, u ovom slučaju fuzzy linearnog programiranja.

Kako je čest problem inženjerima u praksi sa naučnog stanovišta objasniti značaj i praktičnu primenu jednog ovakvog modela, fuzzy linearno programiranje se nameće kao veoma logičan, a opet dovoljno tačan izbor, jer funkcija cilja i uslovi ograničenja predstavljaju pojmove koje lako mogu razumeti i oni koji nemaju dovoljno predznanja iz oblasti metoda optimizacije. Kompleksniji model bi definitivno naišao na otpor inženjera u praksi, posebno u slučaju kada model treba prilagoditi novom konkretnom problemu, a što nije slučaj sa metodom fuzzy linearnog programiranja.

2. POSTAVKA ZADATKA, ANALIZA KARAKTERISTIKA PROJEKATA I DEFINISANJE FUNKCIJE CILJA I USLOVA OGRANIČENJA

Građevinska firma je angažovana na realizaciji pet različitih tipova projekata. Jedan od posebnih zahteva i uslova koje je investitor postavio jeste i nabavka građevinske mehanizacije za zemljane radove. U okviru ovih radova predviđene su aktivnosti na iskopu, utovaru, transportu („u proseku 10 km“) i istovaru materijala na deponiju. Radovi na projektima se ne moraju izvoditi istovremeno. Za ovaj deo troškova predložen je okvirni iznos (BUDGET) od 2,2 do 2,4 miliona evra. Zadatak inženjera je da napravi plan nabavke mehanizacije u zavisnosti od raspoloživih sredstava i uslova ograničenja koji su nametnuti konkretnim uslovima na projektu. U nastavku je dat tabelarni prikaz podataka o projektima, vrstama i količinama radova koje je potrebno izvesti.

Tabela 1: Podaci o projektima

Oznaka projekta			P1	P2	P3	P4	P5	
Vrsta objekta			stambeni	poslovni	parking	podzemna	put - usek	
Dužina (a) [m^1]			30	100	200	50	1000	
Širina (b) [m^1]			30	70	100	40	10	
Površina (P) [m^2]			900	7000	20000	2000	10000	
Dubina iskopa (D) [m^1]			5	10	1	20	2	
Zapremina (V) [m^3]			4500	70000	20000	40000	20000	
Trajanje radova (t) [dan]			20	150	30	100	60	
Dnevni rad (h) [h]			6	6	10	8	10	
Potreban učinak (Up,potr.)			37,5	77,8	66,7	50,0	33,3	**max Up,potr.**
MAŠINE	1.	Bager	●	/	/	●	/	**50,0**
	2.	Utovarivač	/	●	●	/	●	**77,8**
	3.	Kiper	●	●	●	●	●	**77,8**
	4.	Dozer	/	●	/	/	●	**77,8**
	5.	Skreper	/	/	●	/	/	**66,7**

Funkcija cilja predstavlja iznos budžeta (B) tj. vrednost raspoloživih finansijskih sredstava za nabavku građevinske mehanizacije. Obzirom da je ovo okvirna vrednost, prilikom rešavanja problema biće razmatrana kao „fuzzy“ broj: [1]

$$B = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + C_4 X_4 + C_5 X_5 \quad (1)$$

B – Planirani budžet za kupovinu mehanizacije („fuzzy“ broj)

C_i – Tržišne vrednosti građevinskih mašina

X_i – Broj građevinskih mašina koje treba nabaviti

Uslovi ograničenja su postavljeni po svim projektima posebno i obuhvataju učinke mašina koje su neophodne za obavljanje neophodnih radnih operacija. Svako od ovih ograničenja predstavlja uslov da praktični učinak svake od mašina bude veći ili jednak od potrebnog učinka za odgovarajući projekat.

Projekat 1 $$U_p^{BAG.} \cdot X_1 \geq U_{p,1}^{potr.} \;;\; U_p^{KIP.} \cdot X_3 \geq U_{p,1}^{potr.} \quad (2)$$

Projekat 2 $$U_p^{UTOV.} \cdot X_2 \geq U_{p,2}^{potr.} \;;\; U_p^{KIP.} \cdot X_3 \geq U_{p,2}^{potr.} \;;\; U_p^{DOZ.} \cdot X_4 \geq U_{p,2}^{potr.} \quad (3)$$

Projekat 3 $$U_p^{UTOV.} \cdot X_2 \geq U_{p,3}^{potr.} \;;\; U_p^{KIP.} \cdot X_3 \geq U_{p,3}^{potr.} \;;\; U_p^{SKR.} \cdot X_5 \geq U_{p,3}^{potr.} \quad (4)$$

Projekat 4 $$U_p^{BAG.} \cdot X_1 \geq U_{p,4}^{potr.} \;;\; U_p^{KIP.} \cdot X_3 \geq U_{p,4}^{potr.} \quad (5)$$

Projekat 5 $$U_p^{UTOV.} \cdot X_2 \geq U_{p,5}^{potr.} \;;\; U_p^{KIP.} \cdot X_3 \geq U_{p,5}^{potr.} \;;\; U_p^{DOZ.} \cdot X_4 \geq U_{p,5}^{potr.} \quad (6)$$

3. ULAZNI PARAMETRI GRAĐEVINSKIH MAŠINA

U tabeli 2 prikazani su sledeći podaci o mašinama: vrsta mašine, proizvođač i oznaka mašine, kapacitet radnog organa, tržišna vrednost, snaga motora i proračunati praktični učinci.[2][5] Prilikom izbora mašina treba voditi računa i o drugim uslovima ograničenja, a pre svega o odnosu dimenzija mašine i veličine gradilišta, mogućnosti manevrisanja, opterećenja na tlo itd.

Tabela 2: Podaci o mašinama

R.Br.	Vrsta masine	Proizvođač i oznaka	Radni organ [m^3, m^1,..]	Tržišna vrednost [€]	Snaga motora [kW]	Praktični učinak [m^3/h]
1	Bager	CAT M322D	0,86	220.000	129	37,70
2	Utovarivač	CAT 924HZ	1,5	80.000	96	49,37
3	Kamion Kiper	VOLVO FH 12	15,0	85.000	309	10,20
4	Dozer	CAT D3K	1,61	135.000	75	41,73
5	Skreper	CAT 613	8,4	350.000	112	72,96

4. FAZIFIKACIJA PARAMETARA I DEFINISANJE MATEMATIČKOG MODELA

Finansijska sredstva koja stoje na raspolaganju za nabavku mašina data su kao okvirni iznos, a koji se može predstaviti u obliku fuzzy trouglastog broja $B = (b_l, b_m, b_r)$. Kako u formulama za proračun praktičnih

učinaka mašina figurišu koeficijenti koji su procenjeni, prema tome i praktične učinke možemo predstaviti fuzzy trouglastim brojevima $U_p^X = (u_l^x, u_m^x, u_r^x)$.

Tabela 3: Podaci o mašinama

„fuzzy“	B	$U_p^{BAG.}$	$U_p^{UTOV.}$	$U_p^{KIP.}$	$U_p^{DOZ.}$	$U_p^{SKR.}$
LEFT (80%) $b_l(u_l^*)$	2.200.000,00	30,16	39,50	8,16	33,38	58,37
MIDDLE (100%) $b_m(u_m^*)$	/	37,70	49,37	10,20	41,73	72,96
RIGHT (110%) $b_r(u_r^*)$	2.400.000,00	41,47	54,31	11,22	45,90	80,26
k_i	/	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Nakon sređivanja matematičkih izraza, a prema literaturi [1], dolazi se do sledećeg modela:

$$\max F = h \tag{7}$$

$$C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 \geq b_l + h(b_r - b_l) \tag{8}$$

$$C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 \leq b_r + h(b_r - b_l) \tag{9}$$

$$U_p^{BAG.} * X_1 \geq \max_{BAG.}(U_{p,i}^{potr.}) \tag{10}$$

$$U_p^{UTOV.} * X_2 \geq \max_{UTOV.}(U_{p,i}^{potr.}) \tag{11}$$

$$U_p^{KIP.} * X_3 \geq \max_{KIP.}(U_{p,i}^{potr.}) \tag{12}$$

$$U_p^{DOZ.} * X_4 \geq \max_{DOZ.}(U_{p,i}^{potr.}) \tag{13}$$

$$U_p^{SKR.} * X_5 \geq \max_{SKR.}(U_{p,i}^{potr.}) \tag{14}$$

Opšti izvedeni fazifikovani oblik za jednačine (10) do (14) glasi:

$$u_m^x X_i + (1 - k_i)(u_r^x X_i - u_m^x X_i) \geq \max_x(U_{p,i}^{potr.}) \tag{15}$$

4. REŠENJE I DISKUSIJA

Nivo zadovoljenja k_i u vezi sa učincima građevinskih mašina treba prethodno zadati, a stepen zadovoljenja investitorovog zahteva h treba maksimizovati.

Nakon ubacivanja odgovarajućih koeficijenata u izraze (7-9) i (15) dobijamo sledeće:

$$\max F = h \tag{16}$$

$$220.000X_1 + 80.000X_2 + 85.000X_3 + 135.000X_4 + 350.000X_5 - 600.000h \geq 2.200.000 \tag{17}$$

$$220.000X_1 + 80.000X_2 + 85.000X_3 + 135.000X_4 + 350.000X_5 - 600.000h \leq 2.400.000 \tag{18}$$

$$X_1 \geq 1,30 \;\; ; \;\; X_2 \geq 1,54 \;\; ; \;\; X_3 \geq 7,48 \;\; ; \;\; X_4 \geq 1,83 \;\; ; \;\; X_5 \geq 0,90 \tag{19}$$

Rešenje ovog problema dobijeno je definisanjem programa u okviru programskog jezika „MATLAB“ definisanjem parametara funkcije ***intlinprog***: [3]

$$X_1 = 4 \;\; ; \;\; X_2 = 2 \;\; ; \;\; X_3 = 8 \;\; ; \;\; X_4 = 2 \;\; ; \;\; X_5 = 1 \tag{20}$$

$$\max F = h = 0,700 \; [-] \tag{21}$$

$$BUDGET = 2.340.000,00 \; [€] \tag{22}$$

Kao što se može videti iz budžeta koji je dobijen, isti zadovoljava unapred postavljene uslove ograničenja od strane investitora i time se može zaključiti da je razmatranje funkcije cilja kao fuzzy broja u potpunosti opravdano. U slučaju da je investitor fiksirao maksimalni iznos finansijskih sredstava koja inženjeru stoje na raspolaganju za nabavku građevinske mehanizacije onda bi bilo potrebno i funkciju cilja posmatrati na drugačiji način, odnosno metoda fuzzy broja koja je pogodna kada su u pitanju rasponi dozvoljenih vrednosti ne bi bila adekvatna.

Još jedan sličan problem sa kojim se inženjeri u praksi mogu susresti jeste da budžet nije uopšte predmet razmatranja, već je neophodno da inženjer na osnovu raspoložive mehanizacije koju firma već poseduje treba da izabere onu kombinaciju koja će na optimalan način zadovoljiti potrebe više građevinskih projekata. U slučaju takvog problema jedan od načina za njegovo rešavanje bila bi i primena linearnog programiranja.

5. ZAKLJUČAK

Uzimanjem u obzir pet različitih projekata sa različitim količinama zemljanih radova kao i predloženi okvirni budžet postavljeni problem je rešen tako što su izabrana četiri bagera, dva utovarivača, osam kamiona kipera, dva dozera i jedan skreper. Sa ovako defiisanom kombinacijom ostvareni budžet iznosi dva miliona i trista-četrdeset hiljada evra, a stepen zadovoljenja zahteva je 0,7.

Jedan ovakav model sa sobom povlači niz slučajnih veličina koje treba unapred proceniti tako da se ostvarene vrednosti mogu značajno razlikovati. Preporuka je da se model permanentno popravlja tako što se uvidom u realno stanje na terenu i merenjem vrednosti parametri modela mogu preciznije odrediti. Najosetljiviji među njima su oni koji utiču na ostvareni učinak mašine, a to su konkretni uslovi na terenu i u tlu i pouzdanost rada mašine.

Prednost jednog ovakvog rešenja jeste u tome što inženjerima u praksi daje mogućnost da probleme koje bi bilo nemoguće ručno rešiti automatizuju i reše iste u opštem obliku pri čemu se za svaki sledeći konkretan problem jednostavnom zamenom vrednosti ulaznih parametara dolazi do optimalnog rešenja i na taj način ostvaruju uštede i štite interesi svih učesnika na projektu.

Osnovno ograničenje jednog ovakvog modela jeste što ne razmatra slučaj kada se svi navedeni projekti realizuju paralelno, na međusobno bliskim lokacijama, odnosno mogućnost razmene i kombinacije mašina između navedenih projekata. Kako se i ovakav slučaj često dešava u praksi logičan put za nastavak

istraživanja i proširivanje modela jeste razmatranje slučaja paralelnog odvijanja više međusobno sličnih građevinskih projekata i mogućnost korišćenja jedne iste građevinske mašine na više projekata, po potrebi.

Takođe, jedan od mogućih pravaca za buduća istraživanja jeste i poređenje efikasnosti i tačnosti rešenja primenom ove metode i drugih metoda, kao i analiza i komentarisanje rezultata primene ovakvog pristupa od strane inženjera u praksi, kao i implementacija njihovih primedbi i sugestija i pronalaženje jednog univerzalnog modela koji bi doprineo ekonomičnijoj realizaciji projekata.

6. ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci kroz projekte III 47014 i TR - 36038.

LITERATURA

[1] Dušan Teodorović, Shinya Kikuchi (1994). FUZZY skupovi i primene u saobraćaju. Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu. YUISBN 86-80897-42-6

[2] gramak.com/, preuzeto 18. maj 2019

[3] Nikola Klem, Miloš Kovačević, Nataša Praščević, Đorđe Nedeljković (2010). Osnove programiranja u MATLAB-u. Građevinska knjiga. ISBN 978-86-395-0609-4

[4] Slobodan Mirković (2005). Građevinska mehanizacija. Građevinska knjiga. ISBN 86-395-0434-2

[5] https://www.machineryzone.rs/, preuzeto 23.05.2019.

[6] Živojin Praščević (1992). Organizacija građenja. Zavod za udžbenike. ISBN 86-17-022-57-4

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MODEL EKONOMSKE OPTIMIZACIJE IZBORA GRAĐEVINSKE MEHANIZACIJE ZA ZEMLJANE RADOVE PRIMENOM PRISTUPA LINEARNOG PROGRAMIRANJA

AN ECONOMICAL OPTIMIZATION MODEL FOR EARTHMOVING EQUIPMENT SELECTION USING LINEAR PROGRAMMING APPROACH

MARKO DRAGOJEVIĆ[1], ABEL B. DURAN[2], NATAŠA PRAŠČEVIĆ[3]

[1] Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, markomionica@gmail.com
[2] Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, aduran@grf.bg.ac.rs
[3] Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, natasa@grf.bg.ac.rs

---

Rezime: *Cilj ovog istraživanja je određivanje modela ekonomske optimizacije izbora građevinske mehanizacije za zemljane radove - iskop zemlje treće kategorije korišćenjem pristupa linearnog programiranja. U građevinskoj praksi ovakav model ekonomske optimizacije se često naziva i uži izbor građevinske mehanizacije. Kako se prava vrednost ovakvog modela ogleda u njegovoj primeni na konkretnim građevinskim projektima, u okviru ovog rada isti je razvijen na konkretnom primeru iz prakse, a koji podrazumeva da se radovi realizuju u okviru projekta izgradnje stambeno-poslovnog kompleksa površine P=30.000,0 m^2 u planiranom trajanju od τ=45 dana. Optimizacija je izvršena tako da tehnološki proces teče fluidno, bez značajnih zastoja, odnosno na način koji obezbeđuje maksimalnu uposlenost građevinske mehanizacije uz adekvatno zadovoljenje ekonomskih parametara produktivnosti i ekonomičnosti. Nakon razmatranja više potencijalnih kombinacija kao optimalana izabrana je kombinacija broj 3, odnosno dva dozera, četiri utovarivača i deset kamiona kipera. Pri ovakvom izboru jedinična cena radova iznosi 34,02 €/m^3, dok je praktični učinak 203,25 m^3/h. Ukupna cena svih radova je 3.061.800,00 €, a ukupno trajanje iskopa iznosi 44,3 dana.*

Ključne reči: *građevinska mehanizacija, zemljani radovi, ekonomska optimizacija, linearno programiranje.*

Abstract: *The aim of this research is determination of an economical optimization model for earthmoving equipment selection using linear programming approach. In construction practice model along these lines is often called shortlist of construction equipment. Bearing in mind that actual practical value of the following model is in its application on particular construction projects, in this paper aforementioned model is developed and proved on the practical example, which implies that works are being done within construction project of the residential-commercial building complex with total area of P=30.000,0 m^2 during the period of τ=45 days. Optimization has been done in a manner which guarantees that technological process flows fluently, without significant congestions, or in other words, in a way that ensures employment maximization of the construction equipment, while in the same time economical and productivity parameters are adequately fulfilled. After considering several potential combinations, a combination No. 3 have been selected as optimal one i.e. two bulldozers, four loaders and ten dump trucks. With aforementioned choice, the unit price of the works is 34,02 €/m^3, while practical productivity is 203,25 m^3/h. The total cost of all works amounts 3.061.800,00 €, and the total duration of the excavation works is 44,3 days.*

Keywords: *construction equipment, earthworks, economical optimization, linear programming.*

1. UVOD

Optimizacija izbora građevinske mehanizacije na investicionim projektima predstavlja kreativan posao sa potencijalom značajne uštede finansijskih sredstava. Osnovni cilj ovog zadatka jeste da izbor vrste, tipa i broja građevinskih mašina bude urađen na način koji će obezbediti da se planirani obim radova završi u ugovorenom vremenskom roku, a da se pri tome direktni troškovi angažovane mehanizacije što je moguće više umanje i ostavi prostor za ostvarivanje maksimalnog profita. Naravno, kako svaka vrsta posla nosi pojedine specifičnosti u vidu uslova i ograničenja, poznavanje prirode posla i tehnologije izvođenja radova na gradilištu predstavlja jedan od glavnih preduslova za uspešnu realizaciju jednog tako složenog zadatka.

Građevinske firme se svakodnevno susreću sa ovakvim i sličnim problemima prilikom konkurisanja za nove poslove, posebno kada se isti realizuju na tržištu gde postoji veliki broj konkurentnih ponuđača i gde se podrazumeva realizacija većeg broja projekata sa značajnim obimom posla koji uključuje mehanizovani rad. Kako se ukupna vrednost ponude jedne građevinske firme u slučaju obimnih zemljanih radova u velikoj meri zasniva na troškovima mehanizacije kvalitetno rešenje prethodno navedenog problema jeste jedan od preduslova za uspešno dobijanje posla i ostvarivanje profita.

Kombinacija različitih vrsta i tipova mašina, kao i njihov broj, imaju presudan uticaj na kvalitet tehnološkog procesa koji će biti uspostavljen. Da bi kombinacija mašina bila optimalna, potrebno je da bude definisana kroz razmatranje većeg broja varijantnih rešenja od kojih se kao optimalno usvaja ono koje u najboljoj meri zadovolji unapred zadate parametre.

Metoda linearnog programiranja je pogodna za rešavanje jednog ovakvog problema jer se egzaktno može postaviti funkcija cilja i uslovi ograničenja i u skladu sa njima izabrati optimalna kombinacija iz raspoloživog voznog parka. Alternativa ovoj metodi bi bila primena pristupa kombinatorne optimizacije kada bi od svih tipova mašina u okviru jedne kombinacije šireg izbora izabrali onu najpovoljniju, a nakon toga i najpovoljniju kombinaciju. U svakom slučaju neophodno je matematički definisati merilo vrednosti određene kombinacije kako bi se zaista izabrala ona koja je optimalna.

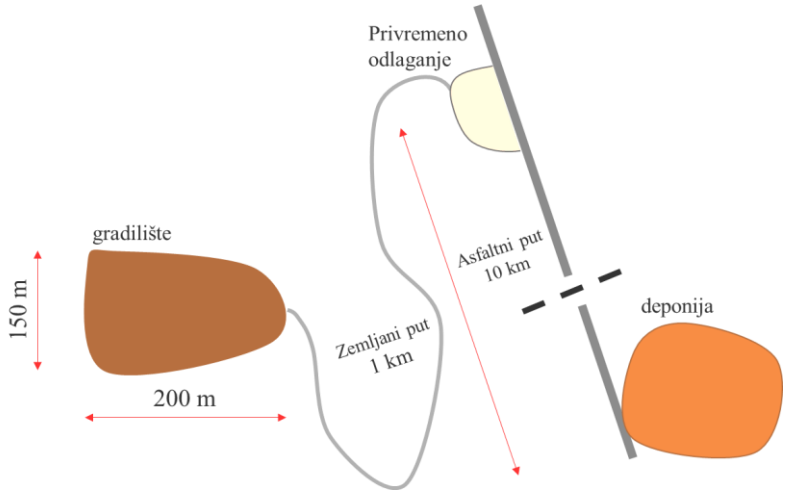
2. OBIM POSLA I POTREBNI PRAKTIČNI UČINAK

Građevinska firma izvodi zemljane radove u okviru projekta stambeno-poslovnog objekta, na parceli površine $P = 30.000,0\ [m^2]$ (dužine $a = 200\ [m]$ i širine $b = 150\ [m]$), a planirano trajanje radova je $\tau = 45\ [dan]$. Zemljani radovi podrazumevaju iskop zemlje treće kategorije, gde je prosečna dubina iskopa $d = 3,0\ [m]$. Prema tome, obim radova (Q) i potrebna produktivnost, odnosno praktični učinak ($U_{p,potr.}$) iznose:

$$Q = P * d = 30.000,0[m^2] * 3,0[m^1] = 90.000,0[m^3] \tag{1}$$

$$U_{p,potr.} = \frac{Q}{\tau} = \frac{90.000,0[m^3]}{45[dan] * 10[\frac{h}{dan}]} = 200,0[\frac{m^3}{h}] \tag{2}$$

Na slici 1 prikazana je šema transporta zemljanog materijala od gradilišta do deponije udaljene 11 km. Prvu deonicu puta čini zemljani put u dužini od 1 km, do mesta za privremeno odlaganje materijala, dok je druga deonica puta dobro nosivi asfaltirani kolovoz dužine 10 km.



Slika 1: Šema transporta

3. PRELIMINARNA SELEKCIJA GRAĐEVINSKE MEHANIZACIJE (ŠIRI IZBOR)

Prvi korak prilikom optimizacije izbora građevinske mehanizacije, konkretno u ovom slučaju građevinskih mašina koje će se koristiti za iskop zemlje treće kategorije, jeste razlaganje tehnološkog procesa na logične celine, odnosno radne operacije. Svaka radna operacija je definisana tako da se može obaviti pomoću jedne od raspoloživih mašina. [3] Kako je potrebno izvršiti iskop i transport materijala na deponiju, to će tehnološki proces biti podeljen na sledeće radne operacije:

- iskop zemljanog materijala;
- utovar na transportno sredstvo;
- transportovanje utovarenog materijala na deponiju (uključujući i unutrašnji i spoljašnji transport) i
- istovar materijala.

Nakon jasnog definisanja, potrebno je predložiti nekoliko različitih kombinacija mašina koje su adekvatne za obavljanje svake od navedenih operacija. Različitim kombinacijama se smatraju dve kombinacije kod kojih se makar jedna mašina razlikuje po vrsti ili tipu. U nastavku je dat tabelarni prikaz prvog koraka u sprovođenju ekonomske optimizacije izbora građevinske mehanizacije gde je iskop zemlje podeljen na navedene operacije i gde su date 4 različite kombinacije mašina koje mogu zadovoljiti potrebe tehnološkog procesa.

Tabela 1: Širi izbor građevinske mehanizacije

Aktivnost	Zemljani radovi – Iskop zemlje III kategorije i transport na deponiju				
Kombinacija	Mašina	Radne operacije			
		Iskop	Utovar	Unutrašnji transport	Spoljašnji transport i istovar
1.	Bager	●	●		
	Kamion kiper			●	●
2.	Bager	●			
	Utovarivač		●		
	Kamion kiper			●	●
3.	Dozer	●			
	Utovarivač		●		
	Kamion kiper			●	●
4.	Skreper	●		●	
	Utovarivač		●		
	Kamion kiper				●

4. ULAZNI PARAMETRI GRAĐEVINSKIH MAŠINA

U narednoj tabeli prikazani su ulazni parametri građevinskih mašina od kojih je izabrana optimalna kombinacija. Ovi parametri podrazumevaju vrstu i tip mašine, praktični učinak, produktivnost i koštanje radnog sata. [1]

Tabela 2: Podaci o mašinama

R.br.	Kod		Mašina	Tip	Kh_{ij} [€/h]	p_{ij} [-]	Up_{ij},k [m^3/h]			
	i	j					Kombinacija k			
							1	2	3	4
1	1	1	Bager	Caterpillar 245B 268kW	122,21	0,90	55,0	70,0		
2		2	Bager	Caterpillar 235C 186kW	86,97	0,70	30,0	40,0		
3	2	1	Dozer	Caterpillar D9N 276kW	123,30	0,95			130,0	
4		2	Dozer	Caterpillar D8N 212kW	98,45	0,70			115,0	
5	3	1	Skreper	Caterpillar 627G 294kW	178,54	0,70				30,0
6		2	Skreper	Caterpillar 637G 373kW	186,23	0,80				35,0
7	4	1	Utovarivač	Caterpillar D7R 171kW	86,67	0,70		90,0	70,0	100,0

8		2	Utovarivač	Caterpillar 824C 235kW	101,82	0,75		100,0	75,0	110,0
9	5	1	Kiper	MAN 18224LK 162kW	52,81	0,70	20,0	20,0	20,0	30,0
10		2	Kiper	MAN 26240 177kW	52,97	0,85	25,0	25,0	25,0	35,0

5. DEFINISANJE KRITERIJUMSKE FUNKCIJE, USLOVA OGRANIČENJA I REŠENJE PROBLEMA (UŽI IZBOR MAŠINA)

Funkcija cilja (kombinacija k)

$$\min F = \sum_{i=1,N_k\,;\,j=1,n_i} \frac{Kh_{ij}}{p_{ij} \cdot Up_{ij,k}} \cdot X_{ij} \quad [\frac{€}{m^3}] \tag{3}$$

Kh_{ij} – koštanje radnog sata mašine ; p_{ij} – pouzdanost mašine ; $Up_{ij,k}$ – praktični učinak mašine za kombinaciju k ; X_{ij} – broj mašina ; N – broj različitih vrsta mašina u kombinaciji k

Uslovi ograničenja (Kombinacija k)

$$\sum_{j=1}^{n_i} p_{ij} \cdot Up_{ij,k} \cdot X_{ij} \geq Up, potr. \;,\; i = 1, N \quad [\frac{m^3}{h}] \quad ; \quad X_{ij} \geq 0 \tag{4}$$

U formulama (3) i (4) isključuju se mašine koje ne učestvuju u kombinaciji. [2]

Kombinacija 1

$$\min F_{k=1} = 2,47 X_{11} + 4,14 X_{12} + 3,77 X_{51} + 2,49 X_{52} \tag{5}$$

$$0,9 \cdot 55 X_{11} + 0,7 \cdot 30 X_{12} \geq 200 \;;\; 0,7 \cdot 20 X_{51} + 0,85 \cdot 25 X_{52} \geq 200 \tag{6}$$

Rešenje: $X_{11} = 5$; $X_{12} = 0$; $X_{51} = 0$; $X_{52} = 10$; $\min F_{k=1} = 37,25$

Kombinacija 2

$$\min F_{k=2} = 1,94 X_{11} + 3,11 X_{12} + 1,38 X_{41} + 1,36 X_{42} + 3,77 X_{51} + 2,49 X_{52} \tag{7}$$

$$0,9 \cdot 70 X_{11} + 0,7 \cdot 40 X_{12} \geq 200 \;;\; 0,7 \cdot 90 X_{41} + 0,75 \cdot 100 X_{42} \geq 200$$

$$0,7 \cdot 20 X_{51} + 0,85 \cdot 25 X_{52} \geq 200 \tag{8}$$

Rešenje: $X_{11} = 4$; $X_{12} = 0$; $X_{41} = 0$; $X_{42} = 3$; $X_{51} = 0$; $X_{52} = 10$; $\min F_{k=2} = 36,74$

Kombinacija 3

$$\min F_{k=3} = 1,00 X_{21} + 1,22 X_{22} + 1,77 X_{41} + 1,81 X_{42} + 3,77 X_{51} + 2,49 X_{52} \tag{9}$$

$$0,95 \cdot 130 X_{21} + 0,7 \cdot 115 X_{22} \geq 200 \;;\; 0,7 \cdot 70 X_{41} + 0,75 \cdot 75 X_{42} \geq 200$$

$$0,7 \cdot 20 X_{51} + 0,85 \cdot 25 X_{52} \geq 200 \tag{10}$$

Rešenje: $X_{21} = 2$; $X_{22} = 0$; $X_{41} = 3$; $X_{42} = 1$; $X_{51} = 0$; $X_{52} = 10$; $\min F_{k=3} = 34,02$

Kombinacija 4

$$\min F_{k=4} = 8,50X_{21} + 6,65X_{22} + 1,24X_{41} + 1,23X_{42} + 2,51X_{51} + 1,78X_{52} \quad (11)$$

$$0,7 \cdot 30X_{31} + 0,8 \cdot 35X_{32} \geq 200 \; ; \; 0,7 \cdot 100X_{41} + 0,75 \cdot 110X_{42} \geq 200$$

$$0,7 \cdot 30X_{51} + 0,85 \cdot 35X_{52} \geq 200 \quad (12)$$

Rešenje: $X_{31} = 0 \; ; \; X_{32} = 8 ; \; X_{41} = 0 \; ; \; X_{42} = 3 \; ; \; X_{51} = 0 \; ; \; X_{52} = 7 \; ; \min F_{k=4} = 69,35$

$$F^* = \min\left\{F_{k=1} ; F_{k=2} ; F_{k=3} ; F_{k=4}\right\} = F_{k=3} = 34,02 \; [\frac{€}{m^3}] \quad (13)$$

$$CENA_{radova} = Q \cdot F^* = 90.000,0[m^3] \cdot 34,02 \; [\frac{€}{m^3}] = 3.061.800,00 \; [€] \quad (14)$$

$$Up_{radova} = \min_i \left\{\sum_{j=1}^{n_i} X_{ij} \cdot Up_{ij,k=3}\right\} = \min\left\{2 \cdot 0,95 \cdot 130; 3 \cdot 0,70 \cdot 70 + 1 \cdot 0,75 \cdot 75; 10 \cdot 0,85 \cdot 25\right\} \quad (15)$$

$$Up_{radova} = \min\left\{247 \; ; \; 203,25 \; ; \; 212,5\right\} = 203,25 \; [\frac{m^3}{h}]$$

$$\tau_{radova} = \frac{Q}{Up_{radova}} = \frac{90.000,0 \; [m^3]}{203,25 \; [\frac{m^3}{h}]} = 442,80 \; [h] = \frac{442,80 \; [h]}{10 \; [\frac{h}{dan}]} = 44,3 \; \square \; 45 \; [dan] \quad (16)$$

6. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Kombinacija 3 ima optimalnu (minimalnu) vrednost definisane funkcije cilja i zadatih uslova ograničenja. Iz ove činjenice proizilazi da će procenjena cena radova na iskopu zemlje treće kategorije iznositi 34,02 [€/m^3], a da će za to biti potrebno da se angažuju dva dozera, četiri utovarivača i deset kamiona kipera. Pri ovom izboru praktični učinak čitavog tehnološkog procesa iznosi 203,25 m^3/h, dok će ukupno trajanje radova biti 44,3 dana. Ukupna cena iskopa je 3.061.800,00 €.

Jedan ovakav model sa sobom povlači niz slučajnih veličina koje treba unapred proceniti tako da se ostvarene vrednosti mogu značajno razlikovati. Preporuka je da se model permanentno popravlja tako što se uvidom u realno stanje na terenu i merenjem vrednosti parametri modela mogu preciznije odrediti. Najosetljiviji među njima su oni koji utiču na ostvareni učinak mašine, a to su konkretni uslovi na terenu i u tlu i pouzdanost rada mašine.

Kao ključno ograničenje ovog modela nameće se nemogućnost sagledavanja svih realnih uslova na terenu i nedovoljna tačnost ulaznih podataka. U slučaju promene nekih od ovih parametara model bi logično davao drugačije rezultate. Neophodno je ispitati njegovu osetljivost u zavisnosti od promene svakog od relevantnih parametara kako bi se pronašli oni koji imaju najveći uticaj i kako bi se istima posvetila posebna pažnja u smislu pažljivijeg osmatranja i beleženja realnih vrednosti.

Doprinos rada se ogleda u tome što se na potpuno analogan način isti model može prilagoditi bilo kom konkretnom problemu nezavisno od vrste projekta, kompleksnosti operacija, raspoložive mehanizacije i sl. Model predstavlja odličnu osnovu za izradu softvera sa kvalitetnim grafičkim interfejsom u kome bi algoritmi u pozadini omogućili inženjerima u praksi i građevinskim firmama na projektima da u rekordno kratkom roku nađu najisplativiju kombinaciju građevinskih mašina koja će rešiti postavljeni zadatak.

Buduća istraživanja bi podrazumevala testiranje ovog modela u konkretnim uslovima kao i anketiranje inženjera nakon primene i komentarisanje rezultata. Povratne informacije i sugestije bi bile ključne za razvijanje konačnog modela koji bi našao široku primenu u praksi i omogućio da se građevinski projekti realizuju kvalitetno, ekonomično i efikasno.

7. ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci kroz projekte III 47014 i TR - 36038.

LITERATURA

[1] gramak.com/, preuzeto 22. maj 2019

[2] Nikola Klem, Miloš Kovačević, Nataša Praščević, Đorđe Nedeljković (2010). Osnove programiranja u MATLAB-u. Građevinska knjiga. ISBN 978-86-395-0609-4

[3] Serafim Opricović (1998). Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu. ISBN 86-80049-82-4

[4] Slobodan Mirković (2005). Građevinska mehanizacija. Građevinska knjiga. ISBN 86-395-0434-2

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ANALIZA NASELJA UGROŽENIH OD POPLAVA NA PODRUČJU GRADA BANJA LUKA

ANALYSIS OF SETTLEMENTS INCREASED BY FLOODS IN THE AREA OF BANJA LUKA

NEVENA ĐURĐEVIĆ[1], SANDRA KOSIĆ-JEREMIĆ[2], SNJEŽANA MAKSIMOVIĆ[3]

[1] Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, nevenadjurdjevic53@gmail.com
[2] Arhitektonsko-Građevinsko-Geodetski fakultet, Banja Luka, sandra.kosic-jeremic@ aggf.unibl.org
[3] Arhitektonsko-Građevinsko-Geodetski fakultet, Banja Luka, snjezana.maksimovic@ aggf.unibl.org

Rezime: *U radu su analizirani stambeni objekti dva Banjulučka naselja: Česma i Budžak, koji su plavljeni u maju 2014. Kreiran je anketni upitnik koji su popunjavali stanovnici tih naselja, a koji je sadržavao podatke o stanovništvu, veličini parcele, udaljenosti objekta na parceli od korita rijeke, plavljenost objekata i visina štete prilikom poplava. Posmatrana je udaljenost tih objekata u odnosu na rijeku, analizirana plavljenost i nastala šteta. Dobijeni rezultati su predstavljeni putem deskriptivne statistike i adekvatnih statističkih testova u analitičko-softverskom paketu SPSS v.23.*

Ključne reči: *poplava, stambeni objekti, statistika, šteta*

Abstract: *In this paper the housing units of two Banja Lukas settlements were analyzed: Česma and Budžak, which were flooded in May of 2014. A survey questionnaire was created which was filled by the inhabitants of these settlements, population data, plot size, distance of the object on the plot of the river bed, height of flood damage. The distance of these objects in relation to the river was also analyzed, flooding and damage that occurred. The obtained results were presented through descriptive statistics and adequate statistical tests in the analytical-software package SPSS v.23.*

Keywords: *the damage, the flood, the housing , the statistic*

1. UVOD

Bosna i Hercegovina je podložna brojnim prirodnim nepogodama poput poplava, klizišta, suša, požara i potresa. Poplave u maju 2014. godine, kao najgore poplave u posljednjih 120 godina, pogodile su četvrtinu njene teritorije. Intenzivne padavine dovele su do izlijevanja nekoliko rijeka iz svojih korita – posebno Vrbasa, Vrbanje, Bosne i Save, kao i Drine, Une, Sane i njihovih pritoka, uzrokujući iznenadne i ekstremno velike poplave u brojnim mjestima u dolini Bosne, uz najveće izljevanje koje je premašilo povratni period javljanja od 500 godina (Imamomić A. 2015). Majske poplave i klizišta uzrokovala su štetu na infrastrukturi, u poljoprivredi, na javnim institucijama i lokalnoj ekonomiji, u iznosu koji se procjenjuje na 1,67 milijardi dolara i pogodile su oko milion osoba (http://www.ba.undp.org/content/bosnia_and_herzegovina/bs/home/operations/projects/response_to_floods/support-to-flood-recovery-and-risk-mitigation-in-bosnia-and-herz.html). U tom kontekstu, poplave, klizišta i druge pojave nestabilnosti su se pokazala naročito problematičnim zbog odsustva jasno defnisane nadležnosti raznih institucija koje se primarno bave njima, potom nepostojanja strategija, odsustva informacija i podataka, hazarda i rizika, te konačno i niskom stepenu svijesti o poplavama i njihovim posljedicama u široj javnosti, kao i raznim nivoima vlasti (http://www.ba.undp.org/content/bosnia_and_herzegovina/bs/home/operations/projects/response_to_floods/support-to-flood-recovery-and-risk-mitigation-in-bosnia-and-herz.html). Pokazalo se da je stanovništvo bilo nepripremljeno za takve situacije. To je bila opomena da se mnogo više pažnje treba posvetiti mjerama zaštite i prevenciji budućih prirodnih nepogoda. Obnova oštećenog i stvaranje ponovnih uslova za život stanovništva pogođenih poplavama je mnogo veći finasijski izazov za zemlju u odnosu na ulaganje u mjere zaštite. Neke od mjera zaštite od poplava koje su urađene nakon toga su: napravljen je funkcionalan sistem otpadnih voda koji će u budućnosti spriječavati vraćanje

otpadnih voda nazad u domove, riječna korita su proširena i ojačana, ojačane su brane i nasipi i sanirani mostovi (http://www.ba.undp.org/content/bosnia_and_herzegovina/bs/home/operations/projects/responsetofloods/support-to-flood-recovery-and-risk-mitigation-in-bosnia-and-herz.html).

Poplave su pogodile i stambeni sektor. Na teritoriji BiH je poplavama 2014. pogođeno 8 103 620 metara kvadratnih izgrađene stambene površine i ugroženo 283 777 stanovnika .U gradu Banja Luka je poplavama pogođeno 312 930 metara kvadratnih izgrađene stambene površine i ugroženo 11 327 osoba (http://www.msb.gov.ba/PDF/HRA_BHS_Final21122015.pdf).

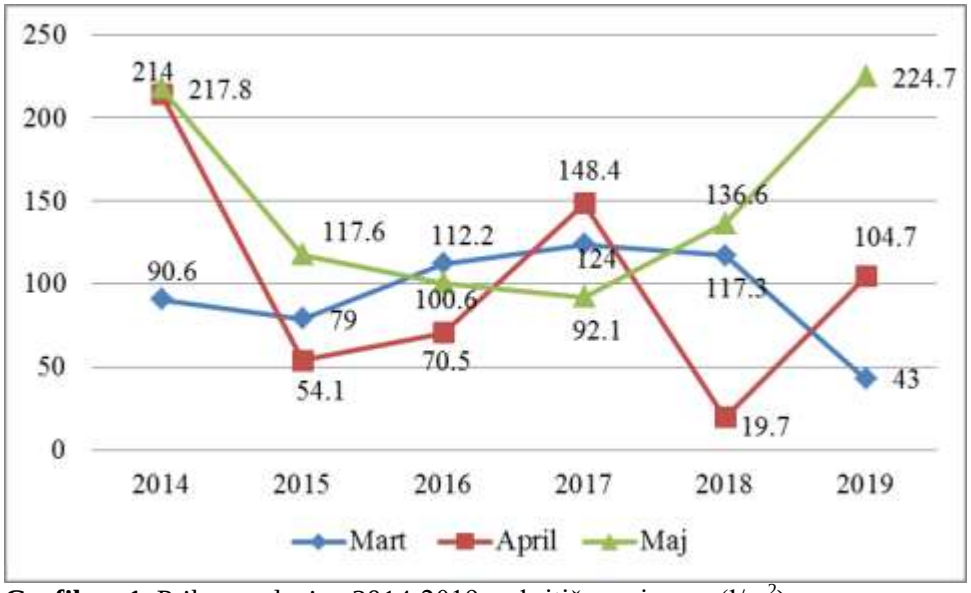
Najveći ograničavajući faktori za procjenu rizika od poplava za stambeni sektor u BiH su sljedeći (http://www.msb.gov.ba/PDF/HRA_BHS_Final21122015.pdf):

- nedostatak dostupnih mapa opasnosti od poplava, posebno za Republiku Srpsku,
- procjena broja stanovnika korištenjem dvije različite metode, zavisno o dostupnosti podataka:
  - izračun gustine naseljenosti u određenim mapama opasnosti od poplava gdje nedostaju stambeni objekti
  - izračun broja stanovnika pripisivanjem određenog broja osoba svakom od tipova stambenog objekta koji su prisutni u poplavnom području,
- nedostatak hidrodinamičkog modela zbog čega je korištena hidrološka metoda.

U radu je analizirano 38 parcela i objekata, kao i populacija koja tu živi, u dva Banjalučka naselja (Česma i Budžak) koji imaju najveći rizik od plavljenja i koji su bili plavljeni u maju 2014. (neki i više puta). Posmatrana je udaljenost tih objekata u odnosu na korita rijeka Vrbas i Vrbanja i analizirana njihova plavljenost.

2. CILJ I ORGANIZACIJA ISTRAŽIVANJA

Na grafikonu 1 su prikazani podaci o količini padavina za mjesece mart, april i maj u periodu 2014-2019. godine na teritoriji grada Banja Luka (https://rhmzrs.com/).



Grafikon 1. Prikaz padavina 2014-2019 za kritične mjesece (l/m^2)

Najveće količine padavina su pale u aprilu i maju 2014. godine, a zanimljiv podatak je da je 2019. godine u maju bila veća količina padavina nego u maju 2014. godine . To nam je dalo motivaciju da analiziramo stambene objekte koji imaju najveći rizik od plavljenja (Grafikon 1).

Uzorak našeg istraživanja čini 38 stambenih objekata u kojima živi 81 stanovnik (35 muškaraca, 37 žena, 9 djece). U našem uzorku je 35 stambenih objekata plavljeno u maju 2014. godine, od kojih je 8 stambenih objekata plavljeno više puta u posljednjih 10 godina, dok samo 3 stambena objekta nisu plavljena.

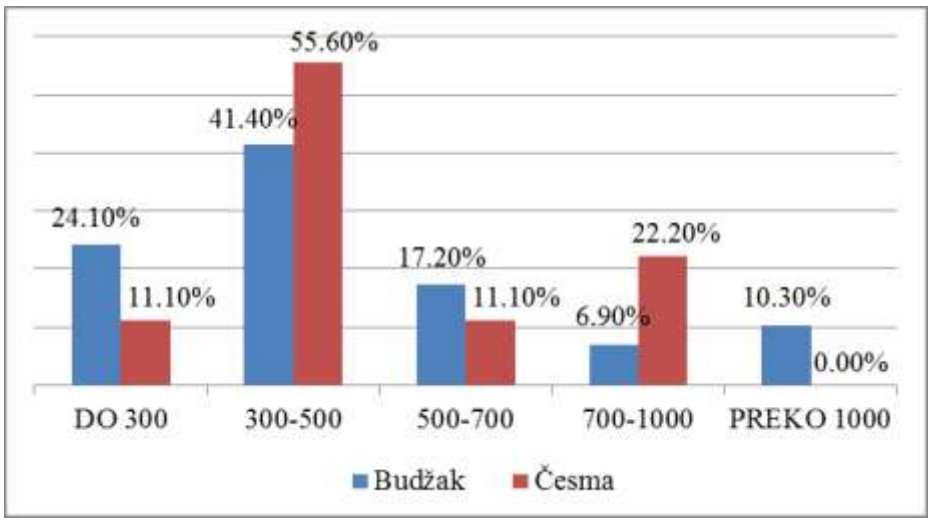
3. ANALIZA REZULTATA I DISKUSIJA

Rezultati koje smo dobili su obrađeni su primjenom analitičko-statističkog alata SPSS (originalno: Statistical Package for the Social Sciences v.23, kasnije modifikovani: Statistical Product and Service Solutions) [Palant, J. 2009., Preradović Lj., Đajić V. 2011] pri čemu smo koristili deskriptivnu statistiku i Mann-Whitney U test (dobijeni podaci nisu normalno raspoređeni).

Tabela 1: Udaljenost objekata od korita reke (u metrima) u odnosu na veličinu parcele

		UDALJENOST				
		0-50	51-100	101-200	PREKO 200	Ukupno
PARCELA	DO 300 m^2	2	3	1	2	8
	300-500 m^2	7	7	2	1	17
	500-700 m^2	2	1	2	1	6
	700-1000 m^2	0	1	2	1	4
	PREKO 1000 m^2	1	0	1	1	3
Ukupno		12	12	8	6	38

Na svakoj od analiziranih parcela u uzorku je izgrađena po jedna stambena jedinica, uglavnom porodična kuća. Iz tabele 1 se vidi da je u posmatranom uzorku najviše objekata na parcelama veličine od 300 do 500 m^2, ukupno 17, a da je od njih po 7 objekata udaljeno 0-50 m i 51-100 m od korita rijeke. Od ukupno 38 parcela i isto toliko objekata, po 12 je udaljeno u istim intervalima.



Grafikon 2. Raspoređenost parcela (po površini) po naseljima

Posmatrajući veličine parcela po naseljima u posmatranom uzorku, najviše parcela je veličine od 300-500 m^2 i to 41,40% u naselju Budžak, a 55,60% u naselju Česma. Velikih parcela (preko 1000 m^2) je u posmatranom uzorku bilo samo u naselju Budžak (ukupno 3 parcele).

Tabela 2: Plavljenost naselja u periodu od 2014-2019

			KADA JE PLAVLJENO			
PLAVLJENO			NIJE PLAVLJ.	MAJ2014	VISEPUTA	Ukupno
DA	NASELJE	ČESMA		19	8	27
		BUDŽAK		8	0	8
	Ukupno			27	8	35
NE	NASELJE	ČESMA	2			2
		BUDŽAK	1			1
	Ukupno		3			3
Ukupno	NASELJE	ČESMA	2	19	8	29
		BUDŽAK	1	8	0	9
	Ukupno		3	27	8	38

Iz tabele 2 se vidi da od posmatranih 38 objekata u dva naselja, samo njih tri nije plavljeno, najviše objekata je poplavljeno u maju 2014. godine i 8 objekata je plavljeno više puta u posljednjih 10 godina.
Od tri objekta koja nisu plavljena, jedan objekat se nalazi na udaljenosti 50 m od korita rijeke, jedan na udaljenosti od 300 m, a jedan na udaljenosti 2000 m.

Tabela 3: Raspoređenost stanovništva po parcelama

	Broj članova domaćinstva								
	1	2	3	4	5	6	7	9	Ukup.
Frekvencije	2	6	13	13	1	1	1	1	38
Postotak	5.3	15.8	34.2	34.2	2.6	2.6	2.6	2.6	100.0

Iz tabele 3 se vidi da na 13 parcela živi po tri, a takođe na 13 parcela po četvoro stanovnika. To nam govori o naseljenosti posmatranih područja, da ukupno 68,4% posmatranih domaćinstava uz rijeku ima tri ili četiri člana.

Tabela 4: Procijenjene visine štete u poplavljenim domaćinstvima

NASELJE	Aritm.sred	N	Std. Dev.	Median	Min	Max
ČESMA	20925.9	27	9396.9	20000.0	10000	50000
BUDŽAK	15875.0	8	4673.3	17500.0	10000	20000
Ukupno	19771.4	35	8755.1	20000.0	10000	50000

Procijenjena visina štete u naselju Česma u prosjeku je iznosila 20 926 KM, a u naselju Budžak 15 857 KM (Tabela 4). Posmatrajući visinu štete po naseljima, između Česme (N=27, Md=20 000) i Budžaka (N=8, Md = 17 500) nije dobijena statistički značajna razlika (U=74.500, z=-1.350, p=0.177).

Tabela 5: Informisanost stanovništva o mjerama zaštite od poplava

		INFORMISANOST			
		DA	NE	DJELIMICNO	Ukupno
NASELJE	CESMA	7	8	14	29
	BUDZAK	0	4	5	9
Total		7	12	19	38

Na osnovu Tabele 5 zaključuje se da je polovina stanovništva (50%) koje živi u ugroženim područjima djelimično informisana o mjerama zaštite od poplava.

Tabela 6: Da li je država preduzela potrebne mjere zaštite od poplava

		DRZAVA JE PREDUZELA POTREBNE MJERE				
		DJELIMICNO	MALO	NE	NE ZNAM	Ukupno
NASELJE	CESMA	7	1	20	1	29
	BUDZAK	2	3	4	0	9
Ukupno		9	4	24	1	38

Po mišljenju anketiranog stanovništva čak njih 24 (63%) smatra da država nije preduzela potrebne mjere zaštite od poplava. Odgovora DA nije bilo tj. niko nije odgovorio sa DA.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata i analize podataka zaključujemo da je u našem uzorku od 38 parcela koje se nalaze u blizini rijeka Vrbas i Vrbanja i smatraju se ugroženim od poplava najviše manjih parcela veličine od 300 do 500 m^2, ukupno 17 (44,7%), a da je najviše objekata, njih 14 (36,8%) udaljeno od korita rijeka do 100 m.

Od 38 objekata njih 35 je plavljeno i to 27 (71%) u maju 2014. Godine. Samo tri objekta sa ovih područja nisu nikad plavljena. Štete u domaćinstvima su bile velike, procijenjena šteta je u prosjeku oko 19 770 KM i to viša u naselju Česma.

Informisanost stanovništva koje živi u ugroženim područjima nije na zadovoljavajućem nivou, samo polovina (50%) je djelimično informisano o mjerama zaštite od poplava, a njih 31,6% je potpuno neinformisano. Takođe, većina stanovništva smatra da država ne preduzima ili nedovoljno preduzima mjere zaštite od polava.

Na osnovu svega navedenog zaključujemo da je neophodno izvršiti pritisak na odgovarajuće državne institucije da se preduzmu veće mjere zaštite, kao da se organizuju predavanja ili kursevi za stanovništvo gdje bi se informisali o odgovarajućim mjerama zaštite od poplava.

Potrebno je u budućnosti voditi računa i o objektima koji se grade na obalama rijeka, davanju građevinskih dozvola za takve objekte i procijeniti rizik gradnje.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva za naučnotehnološki razvoj, visoko obrazovanje i informaciono društvo vlade Republike Srpske po projektu br. 19/6-020/961-47/18.

LITERATURA

[1] Imamomić A. (2015). Uzroci poplava u slivu rijeke Bosne sa posebnim osvrtom na poplave u maju 2014. godine**,** Zbornik radova simozijuma Upravljanje rizicima od poplava i ublažavanje njihovih štetnih posljedica, 131-145.

[2] Palant, J. (2009). SPSS Priručnik za preživljavanje, Mikro knjiga, Beograd.

[3] Preradović Lj., Đajić V. (2011). Analitičko-statističke tehnike u savremenim istraživanjima, Arhitektonsko-građevinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, 2011.

[4] Procjene rizika od poplava i klizišta za stambeni sektor u Bosni i Hercegovini, Institut za hidrotehniku Sarajevo, studija UNDP projekta Podrška oporavku od poplava i smanjenju rizika u Bosni i Hercegovini, http://www.msb.gov.ba/PDF/HRA_BHS_Final21122015.pdf posjećeno 9.6.2019.

[5] http://www.ba.undp.org/content/bosnia_and_herzegovina/bs/home/operations/projects/response_to_floods/support-to-flood-recovery-and-risk-mitigation-in-bosnia-and-herz.html posjećeno 9.6.2019.

[6] http://www.ba.undp.org/content/bosnia_and_herzegovina/bs/home/operations/projects/response_to_floods/support-to-flood-recovery-and-risk-mitigation-in-bosnia-and-herz.html posjećeno 9.6.2019.

[7] https://rhmzrs.com/ posjećeno 11.6.2019.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

POVEZANOST USPJEHA STUDENATA GEODEZIJE TOKOM STUDIJA SA KVALIFIKACIONIM ISPITOM I ZAVRŠENOM SREDNJOM ŠKOLOM

THE CORRELATION OF THE GEODESY STUDENTS SUCCESS WITH THE QUALIFICATION EXAM AND COMPLETED HIGH SCHOOL

LJUBIŠA PRERADOVIĆ[1], SANDRA KOSIĆ-JEREMIĆ[1]

[1] Univerzitet u Banjoj Luci Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka
ljubisa.preradovic@aggf.unibl.org, sandra.kosic-jeremic@aggf.unibl.org

Rezime: *U radu je analizaran uspjeh kandidata koji su konkurisali na studijski program Geodezija tokom juna mjeseca 2012, 2013 i 2014. godine . Poređen je uspjeh na kvalifikacionom ispitu sa uspjehom u srednjoj školi, razlika u uspjehu u odnosu na vrstu završene srednje škole, veza sa ocjenama iz matematike u srednjoj školi i konačno upoređen je uspjeh na kvalifikacionom uspjehu sa uspjehom na studiju kao i uspjehom na matematičkim predmetima za studente koji su upisali ovaj studij.*

Ključne reči: *Analiza uspjeha, kvalifikacioni ispit, srednja škola, matematika, statistički testovi*

Abstract: *The paper analyzes the success of the candiates who applied for the study program in Geodesy in June2012, 2013 and 2014. The success in the qualification exam with the success of the secondary school was compared, the difference in success in realtion to the type of completed secondary, the conection with the grades in mathematics in the high school success on mathematics subjects for the students was compared. Finally, it was compared the qualification success with success in mathematics subjects for the students who enrolled this study.*

Keywords: *Analysis of success, qualification exam, secondary school, mathematics,statistical tests*

1. UVOD

Prva generacija studenata studijskog programa Geodezija na Arhitektonsko-građevinsko-geodetskom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci upisana je šk. 2007/08. god. Od te školske godine svi nastavni planovi i programi su u potpunosti prilagođeni bolonjskom procesu (Preradović *et al*. 2013), a nastava se odvija po modelu 4+1, gdje prvi ciklus studija traje četiri godine (240 bodova), a drugi ciklus studija traje jednu godinu (60 bodova). Svake godine prvi ciklus studijskog programa Geodezija upiše 40 studenata sa završenom četvorogodišnjom srednjom školom.

Kvalifikacioni ispit se sastoji od deset zadataka iz matematike (svaki po pet bodova), koji pripadaju gradivu prvog, drugog i trećeg razreda srednje škole. Broj bodova koje kandidat treba osvojiti da bi položio kvalifikacioni ispit je 15. U toku juna mjeseca se svake godine organizuje i pripremna nastava iz matematike u trajanju od dvije sedmice, u ukupnom fondu od 30 školskih časova.

Ukupan prosječan uspjeh ostvaren tokom srednjoškolskog obrazovanja se vrednuje sa maksimalno 50 bodova. Rang lista kandidata koji konkurišu za upis na studfijski program Geodezija se formira na osnovu zbira bodova ostvarenih u srednjoj školi i usjeha na kvalifikacionom ispitu.

Na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu osnovne akademske studije geodezije traju tri godine (180 ECTS), a master studije dve godine (120 ECTS). Prijemni ispit se polaže iz matematike i sastoji se od 20 zadataka. Prijemni ispit se vrednuje sa maksimalno 60 poena, dok se upjeh iz srednje škole vrednuje sa 40 bodova. Takođe se organizuje i pripremna nastava u trajanju od 12 termina po četiri časa, u periodu od kraja februara do kraja maja. (http://egeo.grf.bg.ac.rs/gig/upisi.html).

Na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu ukoliko se na konkurs prijavi veći broj kandidata od utvrđenog broja, redoslijed kandidata za upis utvrđuje se prema opštem uspjehu u srednjoj školi, uspjehu iz predmeta Matematika i Fizika, te uspjehu postignutom na kvalifikacionom ispitu o čemu odlučuje Nastavno-naučno vijeće Fakulteta. (http://gf.unsa.ba/wp/studij/upis-studenata/). Osnovne studije traju triine,master dvije godine.

Na Geodetskom fakulteta Sveučilišta u Zagrebu ne polaže se prijemni ispit, već se za upis na fakultet vrednuje uspjeh u srednjoj školi – do 400 bodova i položeni ispiti na državnoj maturi. Ako je kandidat položio oba predmeta, za bodovanje se uzima onaj predmet iz kog je kandidat ostvario bolji uspjeh.Osnovne studije tri godine (180 ECTS) a master studije 2 godine (120 ECTS) (http://www.geof.unizg.hr/mod/book/view.php?id=706&chapterid=18).

Razni autori pokušavaju kreirati različite modele algoritama za ispitivanje faktora koji utiču na akademski uspjeh studenata. Kreiranje takvih modela zahtijeva prikupljanje podataka o upisanim studentima, počevši od njihovog uspjeha u srednjoj školi, vrsti srednje škole, rezultatima prijemnih ispita ili rezultatima državnog ispita, položenim ispitima u toku studija itd. (https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8580296, Mesarić, J. Šebalj, D. 2016). Prema (Simeunović, V. Preradović, Lj. 2014, Preradović, Lj. *et al.* 2018), analiziranje akademskog uspjeha je za institucije visokog obrazovanja veoma važno sa aspekta strateškog planiranja upisne politike, izmjene i poboljšanja kurikuluma studijskih programa, kao i modificiranje pedagoškog i obrazovnog procesa zavisno o postignućima učenika. Brojni autori koriste data mining tehnike za predviđanje uspjeha studenata. (https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8580296, Mesarić, J. Šebalj, D. 2016, Simeunović, V. Preradović, Lj. 2014, Simeunović, V. 2015, Preradović, Lj. *et al.* 2018).

U ovom radu ćemo izvršiti analizu uspjeha na kvalifikacionom ispitu kandidata koji su konkurisali za upis na studijski program geodezija u toku tri školske godine, ispitati da li postoji razlika u uspjehu između kandidata po vrsti srednje škole kao i po prosječnom uspjehu u srednjoj školi. Takođe, za kandidate koji su upisani ćemo ispitati da li postoji veza između uspjeha na prijemnom ispitu i prosječne ocjene iz matematike u srednjoj školi, kao i uspjeha na matematičkim predmetima u prvoj i drugoj godini studija. Takođe će se izvršiti i detaljna analiza uspjeha i statusa upisanih studenata od momenta upisa do kraja 2018. Godine.

2. ORGANIZACIJA I METODE ISTRAŽIVANJA

Studenti koji upisuju studij Geodezije na Arhitektonsko-građevinsko-geodetskom fakultetu (AGGF) u Banjoj Luci dolaze iz različitih škola i gradova sa različitim uspjehom (prosječnom ocjenom).
Uzorak koji je posmatran u ovom istraživanju čini ukupno 269 kandidata, koji su konkurisali za upis na studijski program Geodezija 2012, 2013 i 2014. godine. U tabela 1 su prikazani uspjeh u srednjoj školi, bodovi osvojeni tokom kvalifikacionog ispita i ukupni bodovi koje su ostvarili kandidati.

Tabela1: Uspjeh u srednjoj školi, bodovi osvojeni tokom kvalifikacionog ispita i ukupni bodovi koje su ostvarili kandidati

		Godina upisa			
		2012.	2013.	2014.	Ukupno
Uspjeh u srednjoj školi	N	100	102	67	269
	Minimum	27,23	23,75	27,02	23,75
	Maximum	50,00	50,00	50,00	50,00
	Median (Md)	40,8900	35,8300	42,9100	39,1700
	Mean	40,2157	36,1558	41,4631	38,9870
	Std. Dev.	6,32241	7,57817	5,72361	7,04440
Kvalifikacioni ispit - bodovi	N	100	102	67	269
	Minimum	,0	,0	,0	,0
	Maximum	46,0	47,0	50,0	50,0
	Median (Md)	10,000	10,000	18,000	12,000
	Mean	13,380	15,971	19,149	15,799
	Std. Dev.	11,9695	14,0385	14,2905	13,5089
Ukupan broj bodova	N	100	102	67	269
	Minimum	27,23	25,75	27,02	25,75
	Maximum	94,60	95,33	99,02	99,02
	Median (Md)	52,0900	46,6600	59,2700	52,0500
	Mean	53,5957	52,1264	60,6124	54,7862
	Std. Dev.	15,41455	17,90867	17,75123	17,26123

U tabeli 2 su prikazani uspjeh u srednjoj školi, bodovi osvojeni tokom kvalifikacionog ispita i ukupni bodovi koje su ostvarili kandidat prema završenoj srednjoj školi.

Tabela 2: Uspjeh u srednjoj školi, bodovi osvojeni tokom kvalifikacionog ispita i ukupni bodovi koje su ostvarili kandidati prema završenoj srednjoj školi

Srednje škole		Uspjeh u srednjoj školi	Kvalifikacioni ispit - bodovi	Ukupan broj bodova
Gimnazija	N	65	65	65
	Median (Md)	41,0900	19,000	58,6000
	Mean	40,1120	18,385	58,4966
Građevinska škola	N	106	106	106
	Median (Md)	36,2500	14,500	47,4900
	Mean	36,3713	17,038	53,4091
Ostale tehničke škole	N	22	22	22
	Median (Md)	38,1550	6,500	44,8450
	Mean	37,3791	8,727	46,1064
Ostale škole	N	76	76	76
	Median (Md)	42,1350	8,000	50,8300
	Mean	42,1383	13,908	56,0462
Ukupno	N	269	269	269
	Median (Md)	39,1700	12,000	52,0500
	Mean	38,9870	15,799	54,7862

Rezultati koje su kandidati postigli tokom prijemnog ispita obrađeni su primjenom analitičko-statističkog alata SPSS (originalno: Statistical Package for the Social Sciences, kasnije modifikovani: Statistical Product and Service Solutions) (Preradović *et al*. 2013, Preradović, Lj. Đajić, V. 2011).

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Primjenom Kruskal Wallis-ovog testa dobijena je visoko statistički značajna razlika u uspjehu u srednjoj školi (χ^2 = 26.144, p = 0.000) i u ukupnom broju osvojenih bodova (χ^2 = 11.092, p = 0.004), a statistički značajna razlika u bodovima tokom kvalifikacionog ispita (χ^2 = 6.989, p = 0.030) koji su kandidati osvojili tokom tri godine upisa.

Dodatnom primjenom Mann-Whitney-evog testa dobijena je visoko statistički značajna razlika (z = -3.963, p = 0.000) u uspjehu tokom srednjoškolskog obrazovanja kandidata koji su polagali kvalifikacioni ispit tokom 2012. god. (N = 100, Md = 40,89) i 2013. god. (N = 102, Md = 35,83). Takođe je dobijena visoko statistički značajna razlika u uspjehu tokom srednjoškolskog obrazovanja (z = -4.613, p = 0.000) kandidata koji su polagali kvalifikacioni ispit tokom 2013. god. (N = 102, Md = 35,83) i 2014. god. (N = 67, Md = 42,891), dok nije dobijena statistički značajna razlika (z = -1.234, p = 0.217) u uspjehu tokom srednjoškolskog obrazovanja kandidata koji su polagali kvalifikacioni ispit tokom 2012. god. (N = 100, Md = 40,89) i 2014. god. (N = 67, Md = 42,91).

Bodovi ostvareni tokom kvalifikacionog ispita statistički se značajno razlikuju (z = -2.697, p = 0.007) kod kandidata koji su polagali prijemni ispit 2012. god. (N = 100, Md = 10,00) i 2014. god. (N = 67, Md = 18,00), dok se u ostalim slučajevima statistički značajno ne razlikuju.

Ukupno ostvareni bodovi statistički se značajno razlikuju (z = -3.087, p = 0.002) kod kandidata koji su polagali prijemni ispit 2013. god. (N = 67, Md = 46,66) i 2014. god. (N = 67, Md = 59,27), a statistički značajno razlikuju (z = -2.578, p = 0,10) kod kandidata koji su polagali prijemni ispit 2012. god. (N = 100, Md = 52,09) i 2014. god. (N = 67, Md = 59,27), dok statistički ne razlikuju (z 0 -1.169, p = 0.242) kod kandidata koji su polagali prijemni ispit 2012. god. (N = 100, Md = 52,09) i 2013. god. (N = 102, Md = 46,66).

Primjenom Kruskal Wallis-ovog testa dobijena je visoko statistički značajna razlika i u uspjehu u srednjoj školi (χ^2 = 31.546, p = 0.000) i u bodovima tokom kvalifikacionog ispita (χ^2 = 12.001, p = 0.007) i u ukupnom broju osvojenih bodova (χ^2 = 12.176, p = 0.007), koji su kandidati osvojili tokom tri godine upisa u odnosu na završenu srednju školu.

Dodatnom primjenom Mann-Whitney-evog testa dobijena je visoko statistički značajna razlika (z = -3.198, p = 0.001) u uspjehu tokom srednjoškolskog obrazovanja kandidata koji su završili gimnaziju (N = 65, Md = 41,09) i građevinsku školu (N = 106, Md = 36,25), a statistički značajna razlika z = -2.191, p =

0.028) u ukupnom broju bodova kandidata koji su završili gimnaziju (N = 65, Md = 58,60) i građevinsku školu (N = 65, Md = 44,49), dok nije dobijena statistički značajna razlika u broju osvojenih bodova tokom kvalifikacionog ispita.

Dobijena je visoko statistički značajna razlika i u osvojenim bodovima tokom kvalifikacionog ispita (z = -3.217, p = 0.001) između kandidata koji su završili gimnaziju (N = 65, Md = 19,00) i ostale tehničke škole (N = 22, Md = 6,50) i u ukupnom broju bodova (z = -3.398, p = 0.001) između kandidata koji su završili gimnaziju (N = 65, Md = 58,60) i ostale tehničke škole (N = 65, Md = 44,845), dok nije dobijena statistički značajna razlika u uspjehu tokom srednjoškolskog obrazovanja.

Upoređujući kandidate koji su završili gimnaziju i ostale škole dobijena je statistički značajna razlika (z = -2.374, p = 0.018) u broju osvojenih bodova tokom kvalifikacionog ispita koji su ostvarili kandidati sa završenom gimnazijom (N = 65, Md = 19,00) u odnosu na kandidate koji su završili ostale škole (N = 76, Md = 8,00), dok nije dobijena statistički značajna razlika u uspjehu tokom srednjoškolskog obrazovanja i ukupnom broju bodova.

Kandidati koji su završili građevinsku i ostale tehničke škole se statistički značajna razlikuju (z = -2.503, p = 0.012) u broju osvojenih bodova tokom kvalifikacionog ispita, dok nije dobijena statistički značajna razlika u uspjehu tokom srednjoškolskog obrazovanja i ukupnom broju bodova.

Poredeći kandidate koji su završili građevinsku i ostale škole dobijena je visoko statistički značajna razlika (z = -5.342, p = 0.000) u uspjehu tokom srednjoškolskog obrazovanja, a nije dobijena statistički značajna razlika u broju bodova osvojenih tokom kvalifikacionog ispita i ukupnom broju bodova.

Uspjeh u srednjoj školi se visoko statistički značajno razlikuje (z = -3.027, p = 0.002) kod kandidata koji su završili ostale tehničke i ostale škole, a ukupno ostvaren broj bodova se statistički značajno razlikuje (z =-2.307, p = 0.021), dok nije dobijena statistički značajna razlika u bodovima osvojenim tokom kvalifikacionog ispita.

Primjenom Mann-Whitney-evog testa dobijena je visoko statistički značajna razlika i u uspjehu u srednjoj školi (z = -4.537, p = 0.000) kandidata koji su položili (N = 126, Md = 42.25) i koji nisu položili kvalifikacioni ispit (N = 143, Md = 37.50) i u bodovima osvojenim tokom kvalifikacionog ispita (z = -14.175, p = 0.000) kandidata koji su položili (N = 126, Md = 27.00) i koji nisu položili kvalifikacioni ispit (N = 143, Md = 5.0) i u ukupnom broju osvojenih bodova (z = -13.123, p = 0.000) kandidata koji su položili (N = 126, Md = 68.645) i koji nisu položili kvalifikacioni ispit (N = 143, Md = 42.50).

Primjenom Kruskal Wallis-ovog testa dobijena je visoko statistički značajna razlika u uspjehu tokom srednjoškolskog obrazovanja (χ^2 = 12.236, p = 0.007), dok nije dobijena statistički značajna razlika ni u broju bodova osvojenih tokom kvalifikacionog ispita ni u ukupnom broju osvojenih bodova kandidati koji su završili pojedine srednje škole.

Dodatnom primjenom Mann-Whitney-evog testa dobijena je visoko statistički značajna razlika (z = -3.445, p = 0.001) u uspjehu tokom srednjoškolskog obrazovanja kandidata koji su završili građevinsku (N = 53, Md = 40,85) i ostale škole (N = 27, Md = 45,11), a statistički značajna razlika (z = -2.297, p = 0.022) kod kandidata koji su završili gimnaziju (N = 41, Md = 41,09) i ostale škole (N = 27, Md = 45,11).

U tabeli 3. je prikazana povezanost bodova osvojenih tokom kvalifikacionog ispita, uspjeha u srednjoj školi i polaganja pojedinih ispita povezanih sa kvaifikacionim ispitom (Linearna algebra i analitička geometrija, Diferencijalni i integralni račun 1, Diferencijalni i integralni račun 2 i Matematika za geodete). Vidljivo je da su bodovi osvojeni tokom kvalifikacionog ispita i uspjeha u srednjoj školi visoko statistički značajno povezani sa polaganjima ispita iz matematičkih predmeta. Predmet Linearna algebra i analitička geometrija polagalo je ukupno 113 studenata, a položio je 81 student u tekućoj, 11 u narednoj školskoj godini, dok 21 student nije položio ispit. Predmet Diferencijalni i integralni račun 1 položilo je ukupno 76 studenata u tekućoj, 10 u narednoj školskoj godini, a 23 studenta nije položilo ispit. Diferencijalni i integralni račun 2 polagalo je 99 studenata, od kojih je položilo ukupno 37 u tekućoj, po 25 u narednoj i nakon dvije godine, a 12 studenata nije položilo ispit. Predmet Matematiku za geodete takođe je polagalo 99 studenata, od kojih je položilo ukupno 37 u tekućoj, 34 u narednoj, te devet nakon dvije godine, a 19 studenata nije položilo ispit. Do kraja akademske 2018/19. god. ukupno je diplomirao 41 student (18 studenata upisanih 2012, 20 – 2013. i tri – 2014. god), od kojih je 14 završilo gimnaziju, 17 građevinsku školu, jedno ostale tehničke škole i devet ostale škole.

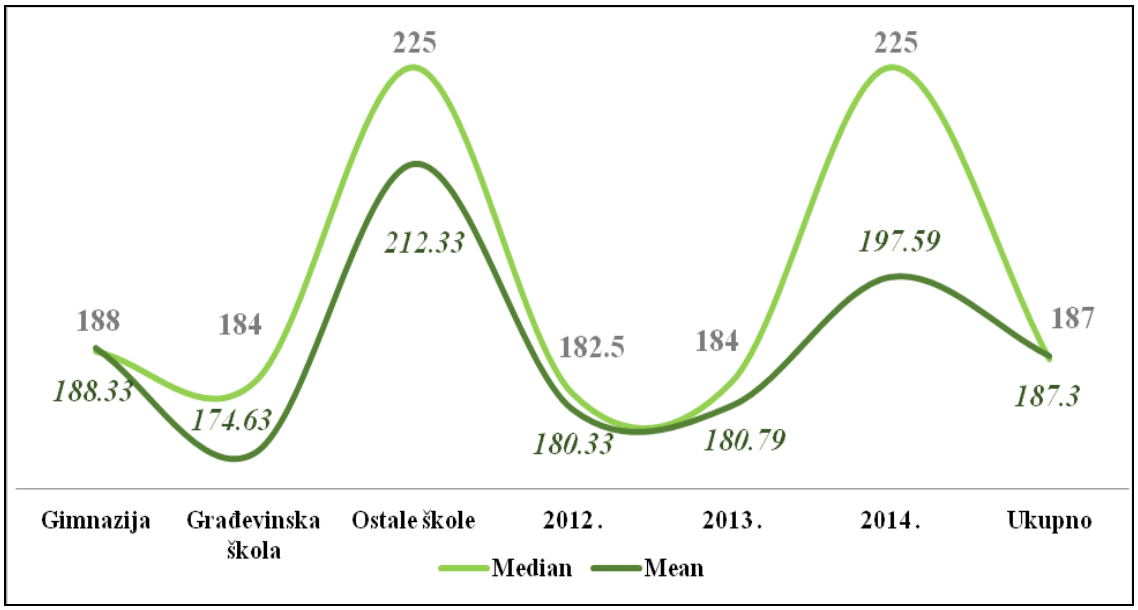
Od 43 aktivna studenta koja nisu diplomirala 12 studenata su se upisali 2012. god. i prosječno imaju ostvarenih 180,33 (Md = 182.50) ECTS bodova, 14 studenata su se upisali 2013. god. i prosječno imaju ostvarenih 180,79 (Md = 184) ECTS bodova, a 17 studenata su se upisali 2014. god. i prosječno imaju ostvarenih 197,59 (Md = 225) ECTS bodova.

Studenti koji su završili gimnaziju, a nisu još diplomirali, imaju prosječno ostvarenih 188 (Md = 188,33), građevinsku školu – 174,63 (Md = 184), dok su studenti koji su završili ostale škole prosječno ostvarili 212,33 (Md = 225) ECTS bodova (grafikon 1).

Tabela 3: Povezanost bodova osvojenih tokom kvalifikacionog ispita i polaganja pojedinih ispita

Spearman's rho		Kvalifikacioni ispit - bodovi	Uspjeh u srednjoj školi	LAAG	DIF 1	DIF 2	MM za geodete
Kvalifikacioni ispit - bodovi	ρ	1,000	,322**	,553**	,367**	,505**	,447**
	p	.	,000	,000	,000	,000	,000
	N	269	269	92	90	87	80
Uspjeh u srednjoj školi	ρ	,322**	1,000	,406**	,536**	,606**	,517**
	p	,000	.	,000	,000	,000	,000
	N	269	269	92	90	87	80
Linearna algebra i analitička geometrija	ρ	,553**	,406**	1,000	,312**	,539**	,471**
	p	,000	,000	.	,003	,000	,000
	N	92	92	92	89	87	80
Diferencijalni i integralni račun 1	ρ	,367**	,536**	,312**	1,000	,711**	,549**
	p	,000	,000	,003	.	,000	,000
	N	90	90	89	90	87	80
Diferencijalni i integralni račun 2	ρ	,505**	,606**	,539**	,711**	1,000	,732**
	p	,000	,000	,000	,000	.	,000
	N	87	87	87	87	87	80
Matematika za geodete	ρ	,447**	,517**	,471**	,549**	,732**	1,000
	p	,000	,000	,000	,000	,000	.
	N	80	80	80	80	80	80

Primjenom Kruskal Wallis-ovog testa nije dobijena statistički značajna razlika u broju ostvarenih ECTS bodova studenata koji nisu diplomirali (χ^2 = 2.805, p = 0.246) u odnosu na godinu upisa, kao i na vrstu završene srednje škole (χ^2 = 5.226, p = 0.073).
Na grafikonu 1 prikazani su medijana i prosječan broj ostvarenih ECTS bodova studenata koji nisu diplomirali.



Grafikon 1. Medijana i prosječan broj ostvarenih ECTS bodova studenata koji nisu diplomirali

4. ZAKLJUČAK

Izbor kandidata pri upisu na studije nije nimalo jednostavan proces imajući u vidu da veliki broj kandidata koji žele upisati tehničke studije u većini slučajeva završavaju odgovarajuću tehničku školu ili drugu tehničku školu ili gimnaziju. Većina kandidata koji upisuju Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet dolazi iz građevinske škole. U manjim gradovima i opštinama dosta škola je „grupisano" u srednjoškolski centar ili „mješovite" škole koje obuhvataju mnoga usmjerenja, pa je i sama analiza otežana.

Realizacijom našeg višegodišnjeg istraživanja u kome su praćeni kandidati pri upisu na Arhitetktonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci tokom tri godine pratili smo uspjeh tokom srednjoškolskog obrazovanja, polaganja kvalifikacionog ispita i polaganja „matematičkih" ispita, te diplomiranje i ostvarenje ECTS bodova.

Najbolje rezultate tokom srednjoškolskog obrazovanja i polaganja kvalifikacionog ispita postigli su kandidati koji su polagali kvalifikacioni ispit 2014. Godine iz čega možemo zaključiti da je ova generacija, od tri posmtrane, bila najuspješnija. Međutim, u praksi je primijećeno da uspjeh kao i predznanje kandidata koje donose iz srednje škole iz godine u godinu varira.

Najbolji uspjeh tokom srednjoškolskog obrazovanja imali su kandidati koji su završili ostale škole, dok su najbolje rezultate tokom kvalifikacionog ispita ostvarili kandidati koji su završili gimnaziju. U radovima (Preradović *et al*. 2013, Preradović, Lj. & Kosić-Jeremić, S. 2015) je pokazano da uspjeh kandidata zavisi i od mjesta gdje je srednja škola pohađana i završena.

Povezanost bodova osvojenih tokom kvalifikacionog ispita i polaganja pojedinih „matematičkih" ispita je visoko statistički značajna.

Kandidati koji su polagali kvalifikacioni ispit 2014. god, a nisu još diplomirali ostvarili su i najveći broj ECTS bodova (iako su najkraće studirali).

Iz dobijenih rezultata i svega navedenog proizilazi važnost kvalifikacionog ispita iz matematike, jer u toku studija studenti Geodezije imaju ukupno četiri matematička predmeta i to Linearnu algebru i analitičku geometriju, Diferencijalni i integralni račun 1, Diferencijalni i integralni račun 2 (u prvoj godini) i Matematika za geodete (u drugoj godini studija). Izučavanjem ovih predmeta studenti stiču matematička znanja koja su im neophodna za dalje izučavanje i savladavanje stručnih predmeta.

LITERATURA

[1] http://egeo.grf.bg.ac.rs/gig/upisi.html, posjećeno 18.4.2019

[2] http://www.etf.bg.ac.rs/index.php?option=com_ content&task=view&id=50&Itemid=60, posjećeno 17.4.2019.

[3] http://geof.unizg.hr/mod/book/view.php?id=706&chapterid=18, posjećeno 18.4.2019.

[4] http://gf.unsa.ba/wp/studij/upis-studenata/, posjećeno 18.4.2019.

[5] https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8580296, posjećeno 19.4.2019.

[6] http://www.pripreme-pomak.hr/fakulteti-i-drzavna-matura, posjećeno 17.4.2019.

[7] Mesarić J. & Šebalj D. (2016). Decision trees for predicting the academic success of students, Croatian Operational Research Review 367 CRORR, 367–388

[8] Preradović, Lj. et al. (2013). *Uticaj srednjoškolskog obrazovanja i pripremne nastave na uspjeh kandidata pri polaganju kvalifikacionog ispita na Arhitektonsko-građevinskom fakultetu Univerziteta u Banjaluci tokom 2012. godine*, Arhitektonsko-građevinski fakultet, Banja Luka,

[9] Preradović, Lj. & Đajić, V. (2011). Analitičko-statističke tehnike u savremenim istraživanjima, Banja Luka: Arhitektonsko-građevinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci

[10] Preradović, Lj. & Kosić-Jeremić, S. (2015). Student achievement in the university entrance examination and the effects of preparation classes, Technical gazette, vol.22, No.3, 785-791

[11] Preradović, Lj. Stojisavljević, Đ, Gaćina A. (2018). Primjena informacionih tehnologija u analizi i predviđanju uspjeha studenata, AGG+ časopis za arhitekturu, grasđevinarstvo, geodeziju i srodne naučne oblasti, br.6, 28-38

[12] Romano, A. D. (2013). Rezultati prijemnog ispita na Mašinskom fakultetu u Banjoj Luci, održanog 02.07.2012. MAT-KOL, XIX(2) 15-19.

[13] Simeunović V. (2015). Informacioni model i softverska podrška za predviđanje uspješnosti studiranja – doktorska disertacija, Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka

[14] Simeunović, V. Preradović, Lj. (2014). Using data mining to predict success in studying. Croatian Journal of Education, 16(2), 491-523.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MOGUĆNOST PRIMENE 3D MODELA DOBIJENIH METODAMA BLISKOPREDMETNE FOTOGRAMETRIJE ZA DOKUMENTOVANJE ELEMENATA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA – ASPEKTI TAČNOSTI

POSSIBILITY APPLICATIONS 3D MODELS OBTAINED BY METHODS OF CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY FOR THE DOCUMENTATION OF BUILDING CONSTRUCTIONS ELEMENTS - ASPECTS OF ACCURACY

SLAVOLJUB TOMIĆ[1], JELENA TRIVUNOVIĆ[2], SLOBODAN PANDŽIĆ[3]

[1] Viskoka graševinsko-geodetska, Beograd, tomicslavoljub@vggs.rs
[2] Agencija „GEOPREMER“, Pančevo, agencijageoptremer@gmail.com
[3] Viskoka graševinsko-geodetska, Beograd, slobodanpandzic@vggs.rs

Rezime: *Potreba za dokumentovanjem građevinskih objekata od istorijskog značaja zahteva izbor odgovarajuće tehnologije koja, pored fotorealističnosti, može da obezbedi i zahtevanu geometijsku tačnost. 3D modeli ovakvih objekata, dobijeni primenom metoda bliskopredmetne fotogrametrije, obezbeđuju vrhunsku fotorealističnost, pa je potrebno utvrditi da li mogu da zadovolje i zateve geometrijske tačnosti. U radu je prikazan eksperiment koji se bavi aspektima geometrijske tačnosti fotogrametrijski generisanih 3D modela istorijski značajnih građevisnkih objekata.*

Ključne reči: *Bliskopredmetna fotogrametrija, 3D model, geometrijska tačnost.*

Abstract: *The need for documentation of construction objects of historical significance requires the choice of appropriate technology which, in addition to photorealism, can provide the required geometric accuracy. 3D models of these objects, obtained using the methods of close range photogrammetry, provide top photorealisticity, so it is necessary to determine whether they can satisfy the requirements of geometric accuracy. The paper presents an experiment dealing with the aspects of the geometric accuracy of photogrammetrically generated 3D models of historically significant construction objects..*

Keywords: *Close range photogrammetry, 3D model, geometric accuracy.*

1. UVOD

Zaštita i očuvanje građevinskih objekata koji imaju status zaštićenih spomenika kulturne baštine su predmet posebne pažnje. Radi očuvanja nihovog autentičnog izgleda i konstrukcije preduzimaju se postupci rekonstrukcije, restauracije i konzervacije. Da bi se ovi radovi uspešno planirali, projektovali i izvodili neophodno je da se poseduje odgovarajuća tehnička dokumentacija o ovim objektima. Pošto arhivska dokumentacije često ne postoji ili nije pogodna, neophodno je da se na efikasan i pouzdan našin obezbedi izvor podataka za izradu nove tehničke dokumentacije. Kao jedan od najpogodnijih načina sveobuhvatnog tehničkog dokumentovanja ovakvih građevinskih objekata je izrada njihovih 3D modela iz kojih je kasnije moguće generisati tražena tehnička dokumentacija.

Izradu 3D modela ove vrste građevisnkih objekata je najpogodnije izvoditi metodama bliskopredmetne (inženjerske) fotogrametrije, koja se nameće svojom efikasnošću, ekonomičnošću i pre svega svojom fotorealističnošću. Pored toga, ove metode je moguće primeniti sredstvima „low cost“ fotogrametrije, gde se koriste amaterske fotografske kamere i „open source“ softeri za obradu podataka. Neophodno je samo da se obezbedi i zahtevana geometrijska tačnost ovako dobijenih 3D modela.

U radu će se analizirati aspekti geometrijske tačnosti 3D modela građevinskih objekata dobijenih metodtama bliskopredmetne fotogrametrije, gde će se eksperimentalno utvrditi relana mogućnost ostvarivanja geometrijske tačnosti oblaka tačaka i 3D modela objekta u realnim uslovima. Eksperimentalna provera je sprovedena na primeru izrade 3D modela ostataka sakralnog objekta u kompleksu Smederevske tvrđave.

2. METODOLOGIJA

Analiza aspekata geometrijske tačnosti fotogrametrijski generasnih 3D modela građevinskih konstrukcija istorijski značajnih objekata je sprovedena na bazi eksperimenta koji je obuhvatao komparaciju koordinata identičnih kontrolnih tačaka na objektu, koje su dobijene klasičnim geodetskim merenjima (totalnim stanicama) i izmerenih na 3D modelu objekta koji je izrađen obradom fotogrametrijskih snimaka.

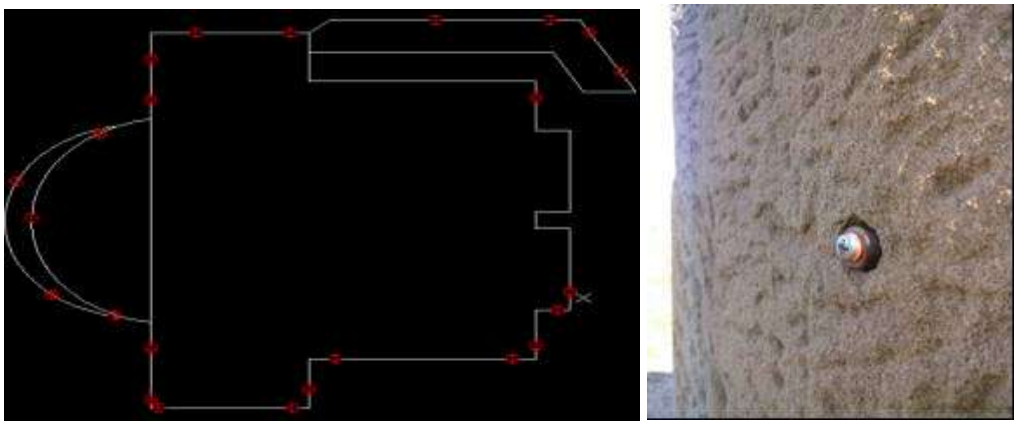
Za potrebe ovog eksperimenta su u delove izabranog objekta, po unapred planiranom rasporedu, ugrađene namenske belege (mesingane bilcne), čije će koordinate biti određene konvencionalnim geodetskim merenjma oslonjenim na posebno razvijenu geodetsku osnovu. Ove tačke su korišćene u funkciji orijentacionih tačaka za georeferenciranje 3D modela objekta, a jedan izabrani deo za komparaciju geometrijske tačnosti njihovih koordinata koje će se dobiti na osnovu fotogrametrijski generisnog 3D modela (odnsno oblaka tačaka).

Izabrani objekat je, po posebnom planu i principima bliskopredmetne (inženjerske) fotogrametrije, fotografisan sa ciljem da se obradom snimaka kreira oblak tačaka koji će reprezentovati snimljeni objekat i na osnovu koga će se generisati njegov 3D model. Pri tome se mora se voditi računa da odabrane kontrolne tačke budu na odgovarajući način fotosignalisane (specijslnim markicama koje softver može automatski da prepozna na fotografijama).

Za eksperiment je korišćena relativno jevtina i širokodostupna oprema i pribor, a obrada podata je vršena sa „open source“ softverskim rešenjima i „trial“ verzijama komercijalnih softvera. Dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultaima sličnih eksperimenata u svetu.

3. EKSPERIMENT

Za sprovođenje eksperimenta su odabrani ostaci sakralnog objekta u kompleksu Smederevske tvrđave, koji su predmet konzervatorskih radova. Prema posebnom planu u delove objekta je ugrađeno 37 mesinganih belega (slika 1), koje su stabilne i na koje je moguće precizno postaviti fotogrametrijske markice, od kojih je izabrano 28, koje će imati ulogu orijentacionih tačaka.



Slika 1: Izgled i raspored mesinganih belega

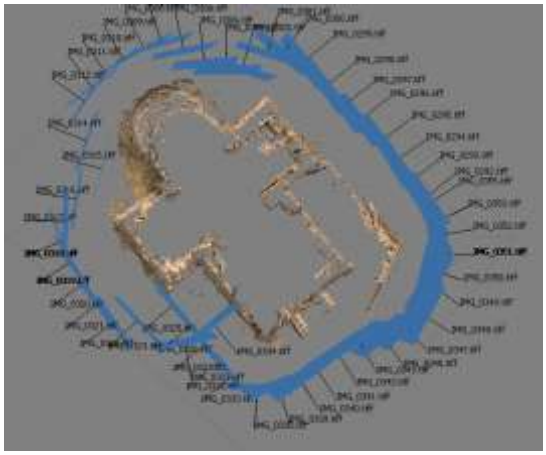
Za potrebe geodetskih merenja je razvijena namenska geodetska mreža koja omogućava da se obave standardna geodetska merenja totalnom stanicom, na osnovu kojih će se kasnije izravnanjem odrediti koordinate svih tačaka u državnom koordinatsnom sistemu. Geodetska merenja su obavljena sa totalnom stanocom TOPCON GTS31, koja ima tačnost merenja uglova od 2" i tačnost merenja dužina od 2mm +2ppm. Izravnanjem ovih merenja su dobijene koordinate svih orijentacionih i kontrolnih tačaka sa ocenjenim vrednostima njihovih srednjih grešaka.

Fotografisanje objekta je obavljeno sa amaterskom fotografskom kamerom *Canon EOS Kiss X4* sa objektivom *Canon EF 50mm f/1.8 II sa*. sledećim karakteristikama:

- tip: 35.8 x 23.9 mm *CMOS*,
- efektivnih piksela: *Approx. 12.8 megapixels*,
- veličina piksela: 8.24µm
- ukupno piksela: *Approx. 18.7 megapixels*,
- odnos stranica formata slike: 3:2,
- *JPEG*: (L) 4368 x 2912, (M) 3168 x 2112, (S) 2496 x 1664,
- *RAW*: (*RAW*) 4368 x 2912;

Pre snimanja sproveden je postupak kalibracije objektiva kamere korišćenjem odgovarajućeg test polja, pri čemu je dobijena vrednost konstante kamere c = 52,86mm. U okviru eksperimenta prikupljeno je 55 snimaka koji su obuhvatali objekat (Slika 2). Razdaljina između kamere i objekta u trenutku snimanja je bila u proseku 7,5 metara u svim slučajevima. Razmak između dva susedna stajališta bio je oko 2,16 metara čime je obezbeđen podužni preklop od 60% ili više između dva snimka u nizu.

Slika 2: Primeri snimaka objekta



Slika 3: Raspored pozicija kamera prilikom snimanja objekta

Na osnovu ovako dobijenih snimaka, softverom *Agisoft PhotoScan* izvršena je njihova obrada, tako što je prvo generisan redak oblak tačaka sa pozicijama kamera, a na osnovu kojeg se dobija uvid u približan oblik i položaj objekta od interesa.

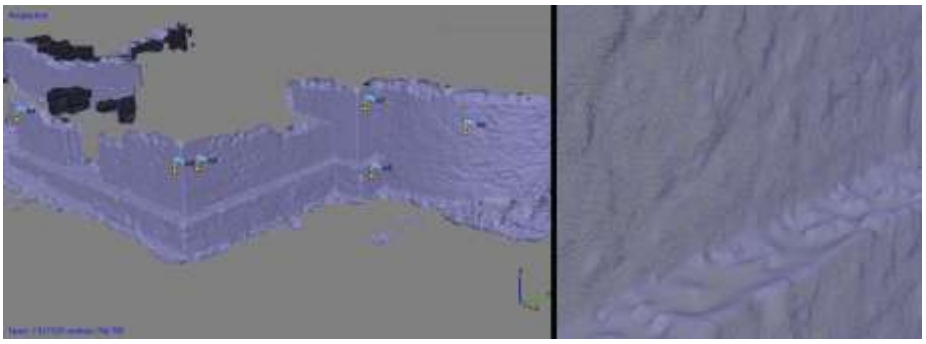
Dobijeni oblak tačaka, a time i budući 3D model objekta je georeferenciran na osnovu koordinata prethodno postavljenih i snimljenih orijentacionih tačaka. U slučaju fotosignalizacije sakralnog kompleksa u Smederevskoj tvrđavi, kodirane markice su prilikom postavljana probušene kroz sredinu tačke tako da softver nije uspeo da detektuje markice automatski, pa je bilo neophodno njihovo manuelno označavanje (slika 4).

Slika 4: Izgled markera orijentacionih tačaka na snimku (levo) i na modelu (desno)

Dobijeni inicijalni oblak tačaka potrebno je znatno progustiti, što u zavisnosti od veličine objekta može biti veoma zahtevan proces koji iziskuje velike računarske resurse. Kao rezultat dobijen je veoma gust oblak tačaka koji se može upoređivati sa gustinom tačaka koje nastaju tehnologijom terestričkog laserskog skeniranja (slika 5).

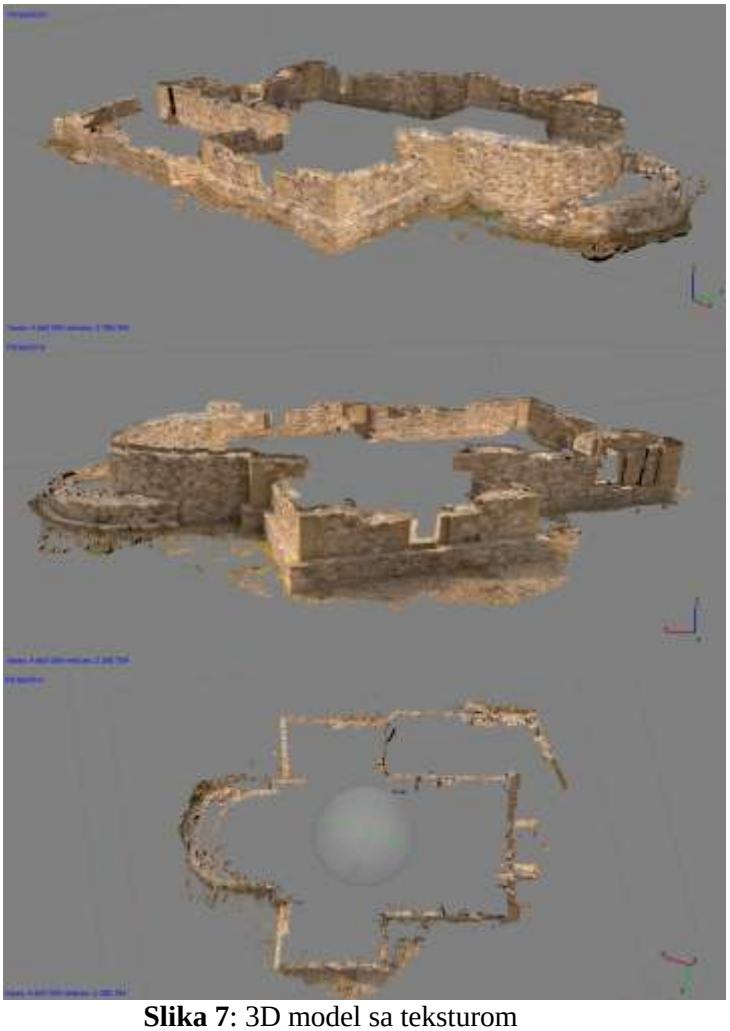
Slika 5: Gust oblak tačaka

Nakon uspešno završene izrade gustog oblaka tačaka, potrebno je te tačke povezati u mrežu poligona koji će reprezentovati konture objekta koji se snima (slika 6).



Slika 6: Mreža poligona

Kako bi 3D model bio kompletan, preko mreže poligona se dodaje tekstura objekta (slika 7).



Slika 7: 3D model sa teksturom

4. PRETHODNA OCENA TAČNOSTI

Kao i kod svih standardni geodetskih projekata, sprovedena je prethodna ocena tačnosti. Time je provereno da predviđena metodologija i odabrana oprema mogu da zadovolje postavljene uslove geometrijske tačnosti. U slučaju snimanja sakralnog kompleksa u tvrđavi Smederevo odlučeno je da na svakom snimku bude obuhvaćen ceo objekat u visinskom smislu tako da je udaljenost stajališta prilikom snimanja iznosila Y=7.5m, a pošto je vrednost žižne daljine dobijena iz procesa kalibracije kamere c=52.86 mm, dobijena je razmera snimanja približno 1:150.

Na osnovu poznatih dimenzija senzora kamere (36mm x 24mm) i broja piksela (4368x2912) dobijena je veličina piksela na snimku od 8,242μm, odnsno prostorna rezolucija (veličina piksela u prirodi) od 1.236mm. Širina zahvata jednog snimka u prirodi (landscape) od 5,4m uslovila je da optimalna dužina baze snimanja za podužni preklop od 60% bude 2,16m.

Prethodna ocena tačnosti koordinata detaljnih tačaka za normalan slučaj stereorestitucije po standardnom postupku je dala sledeće vrednosti standardnih odstupanja koordinata orijentacionih tačaka:

- $\sigma_Y = 4.292\text{mm}$
- $\sigma_X = 1.673mm$
- $\sigma_Z = 1.110\text{mm}$

5. OCENA TAČNOSTI

Nakon kreiranja 3D modela potrebno je testirati i oceniti njegovu tačnost kako bi se utvrdila mogućnost njegovog korišćenja u daljim fazama izrade tehničke dokumentacije, a pre svega da se ima uvid u njegovu položajnu i visinsku tačnost. Za ove potrebe generisan je još jedan 3D model sakralnog kompleksa, tako da u odnosu na prvobitni model nisu sve orijentacione tačke uključene u proces izravnanja snimaka i kreiranje modela. Ideja je da se orijentacione tačke koje nisu ušle u proces izravnanja snimaka izmere na modelu i uporede sa vrednostima koordinata dobijenih nakon snimanja tačaka klasičnom terenskom metodom (totalnom stanicom).

Novi model je georeferenciran koristeći 16 orijentacionih tačaka dok su 11 tačaka izostavljene iz izravnanja i korišćene su za ocenu tačnosti. Nakon kreiranja 3D modela ocenjene su koordinate orijentacionih tačaka koje nisu ušle u proces izravnanja snimaka. Oduzimanjem vrednosti ocenjenih modelskih koordinata od vrednosti dobijenih terenskim merenjima dobijene su razlike koje su prikazane u Tabeli 1.

Tabela 1: Razlika merenih i ocenjenih vrednosti orijentacionih tačaka i srednje kvadratne vrednosti odstuapanja

Oznaka tačke	dY[m]	dX[m]	dZ[m]	Broj snimaka na kojima je tačka merena	SX[m]	SY[m]	SZ[m]
m3	-0.0742	-0.0315	0.0037	4	0.0044	0.0083	0.0075
m8	-0.0733	0.0513	-0.0148	13	0.0040	0.0094	0.0071
m11	-0.0226	0.0788	-0.0207	3	0.0039	0.0100	0.0071
s3	0.0153	-0.0283	-0.0027	12	0.0037	0.0094	0.0070
d2	-0.0199	0.0038	0.0004	7	0.0042	0.0084	0.0071
d4	0.0384	-0.0105	-0.0079	6	0.0040	0.0074	0.0065
d6	0.0538	-0.0205	-0.0083	8	0.0040	0.0074	0.0065
d8	0.0279	-0.0415	-0.0002	2	0.0039	0.0073	0.0065
t6	-0.0261	-0.0185	0.0138	15	0.0037	0.0074	0.0060
σ_i	0.043	0.039	0.010				

Rezultati prikazani u Tabeli 1 pokazuju da su razlike koordinata dobijenih merenjem tačaka na modelu u proseku manje od 4cm. Takođe rezultati pokazuju i da je tačnost modela u visinskom smislu dosta bolja u odnosu na položajnu tačnost modela, što je i očekivano.

5. ZAKLJUČAK

Pokazatelji ocene geometrijske tačnosti 3D modela ukazuju da je visinska tačnost (Z osa) znatno bolja od položajne tačnosti (X i Z ose), što je i očekivano i saglasno predhodnoj oceni tačnosti. Pri tome treba imati u vidu i činjenicu da su se greške terenskih geodetskih merenja orijentacionih tačaka prenele i na greške nastale prilikom ocenjivanja tačnosti 3D modela.

Tačnost koja je dobijena u ovom eksperimentu je saglasna sa rezultatima koji su ostvareni u sličnim eksperimentima. Jasno je da bi se uz određene modifikacije metodologije, izbor kvalitetnije opreme i softvera za obradu podataka, kao i višu tačnost primarnih geodetskih merenja (određivanje koordinata orijentacionih tačaka) dobili bolji rezultati.

Ovako dobijeni 3D model može da posluži kao dobra osnova za dokumentovanje građevinskih objekata od istorijskog značaja, a njegova tačnost može zadovoljiti zahteve za aktivnosti koje se odnose na planiranje i idejno projektovanje neophodnih radova.

LITERATURA

[1] Bolognesi, M., Furini, A., Russo, V., Pellegrinelli, A., Russo, P. (2014). Accuracy of cultural heritage 3D models by R-pas and terrestrial photogrammetry, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Technical Commission V Symposium, Riva del Garda, Italy, 23 – 25 June 2014, str. 113-119, ISPRS archives XL-5-113-2014

[2] Jeličić, M.(2011). Primena amaterske digitalne kamere visoke rezolucije CANON EOS 550D za 3D modeliranje objekta, diplomski rad, Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, str. 2-4

[3] Trivunović, J. (2017). Izrada 3D modela objekta na osnovu oblaka tačaka generisanog 3D laserskim skenerom sa integrisanim kalibrisanim digitalnim fotoaparatom, seminarski rad, Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, 2017, str. 5-12

[4] Trivunović, J. (2017). Digitalno dokumentovanje arheoloških lokaliteta metodom digitalne fotogrametrije sa osvrtom na ocenu tačnosti, primenjeno-istraživački rad, Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, 2017, str. 3-41

[5] Trivunović, J. (2019). Automatsko generisanje 3D modela u bliskopredmetnoj fotogrametriji sa aspekta analize tačnosti, završni-master rad, Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, , str. 68-117

[6] Šalipur, M. (2016). Izrada 3D modela objekta na osnovu oblaka tačaka generisanog fotogrametrijskim i laserskim skeniranjem, specijalistički rad, Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd**,** str. 7-12

[7] Zacharek, M., Delis, P., Kedzierski, M., Fryskowska, A.(2017). Generating accurate 3D models of arhitectural heritage structures using low-cost camera and open-source algorithms, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Geomatics& Restoration-Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, Florence, Italy, 22–24 May 2017,str. 99-104, ISPRS archivesXLII-5/W1 -99-2017

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MODELOVANJE PONAŠANJA UHPC PRI SAVIJANJU

FLEXURAL BEHAVIOR MODELING OF UHPC

DRAGAN NIKOLIĆ[1], GORAN ĆIROVIĆ[2], SNEŽANA MITROVIĆ[3], OLIVERA JEREMIĆ[4]

[1] Visoka građevinsko-geodetska škola Beograd, nikolic@vggs.rs
[2] Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, cirovic@sezampro.rs
[3] Visoka građevinsko-geodetska škola Beograd, mitrozs@sezampro.rs
[4] Visoka građevinsko-geodetska škola Beograd, oliverajeremic@vggs.rs

Rezime: *Beton ultra visokih čvrstoća (UHPC) poseduje izuzetno visoka mehanička svojstva i u poređenju sa konvencijalnim betonima predstavlja superioran materijal kako u pogledu mehaničkih svojstava, tako i u pogledu trajnosti. Da bi se moglo predvideti ponašanje elemenata od UHPC, neophodno je da se opiše ponašanje samog materijala pri delovanju momenata savijanja .*

Ključne reči: *Modelovanje, UHPC, savijanje.*

Abstract: *Ultra high performance concrete (UHPC) has a high level of mechanical properties, and when compared with conventional concrete it is a more superior material both in terms of its mechanical properties and its durability. In order to predict the behaviour of UHPC beams, first of all it is necessary to describe the flexural behavior of the material itself.*

Keywords: *Modeling, UHPC, flexure.*

1. UVOD

Inženjerstvo često podrazumeva primenu konzistentnih pristupa u rešavanju problema. Opšti pristup u rešavanju problema može se definisati kroz varijantna rešenja za specifične probleme i neophodan je metodičan pristup, primenom algoritama ili "korak-po-korak" procedura pomoću kojih se dolazi do rešenja. Potrebno je istaći definisanje problema, kreiranje modela rešenja i njegovu implementaciju kao nezaobilazne korake u izboru najboljeg rešenja u skupu raspoloživih alternativa.

Modeli ponašanja betona pri dejstvu napona pritiska opisuju jednu od najznačajnijih svojstava betona i zasniva se na posmatranju ispitivanja uzoraka pri kontrolisanim deformacijama. Beton visokih čvrstoća je u odnosu na čelik izrazito krt materijal i pod određenim uslovima opterećenja pokazuje eksplozivno ponašanje pri dostizanju graničnog naprezanja [3]. Pri visokim čvrstoćama pri pritisku, beton pokazuje duži interval linearnog ponašanja. Pri kontrolisanim deformacijama, kod UHPFRC linearna zavisnost napona i deformacije je izražena gotovo do pojave vršnog napona. Ukoliko kompozit ne bi sadržao vlakna, ne bi bio primetan deo tzv. omekšavanja tokom povećavanja deformacija.

Prema preporukama AFGC-SETRA, usvaja se linearna zavisnost napona i deformacija do vršne čvrstoće bez prirasta dela deformacija pri konstantnom naponu, odnosno omekšavanja dela dijagrama za granično stanje upotrebljivosti (Slika 1-a). Kod graničnog stanja nosivosti postoji ravni deo prirasta deformacija do 3.0‰ pri konstantnom naponu s_{bcu} (Slika 1-b).

Za granično stanje upotrebljivosti:

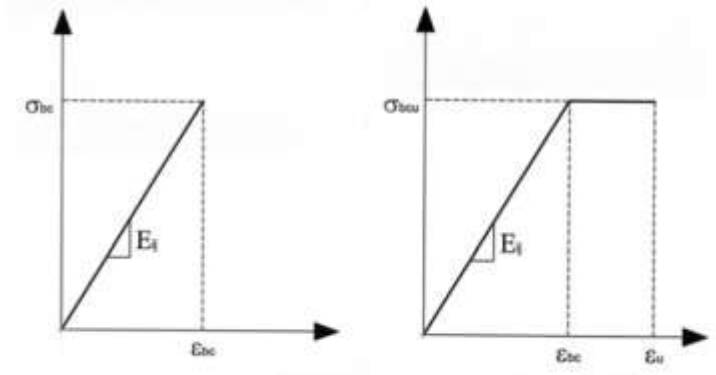
$$\sigma_{bc} = 0.6 \cdot f_{cj} \tag{1}$$

gde je f_{cj} – karakteristična čvrstoća pri pritisku

Za granično stanje nosivosti:

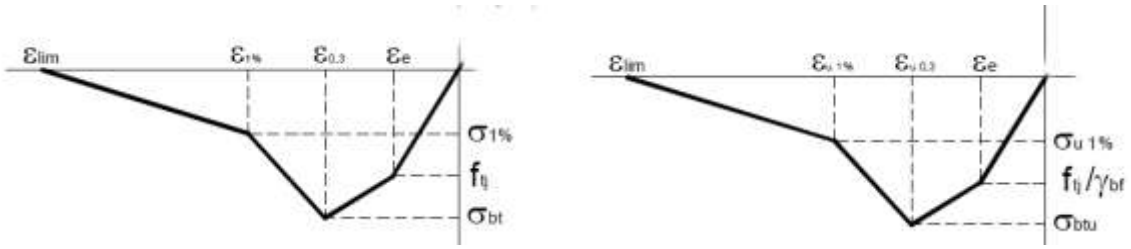
$$\sigma_{bcu} = 0.85 \cdot \frac{f_{cj}}{\theta \gamma_b} \tag{2}$$

gde je g_b – parcijalni koeficijent



Slika 1. Radni dijagram napon-deformacija pri dejstvu napona pritiska (AFGC-SETRA, 2002)

Modeliranje nosivosti pri delovanju napona zatezanja ima veoma važnu ulogu pri optimizaciji grednih nosača od UHPFRC. U poslednjoj deceniji je razvijeno nekoliko naprednih modela u okviru mehanike loma kvazi krtih materijala opterećenih na zatezanje. Nekoliko pristupa modelovanja zavisnosti napona i deformacija UHPFRC podrazumeva postojanje dela očvršćavanja sa povećanjem deformacija nakon linearnog dela zavisnosti, a potom i omekšavanja sa povećanjem deformacija (AFGC-SETRA, 2002; JSCE, 2004).



Slika 2. Radni dijagram napon-deformacija pri dejstvu napona zatezanja (AFGC-SETRA, 2002)

2. UTICAJ ČELIČNIH VLAKANA NA PONAŠANJE UHPC

Za proračun krive opterećenja i ugiba za čisto savijanje primenjen je dijagram napona i deformacije dat u preporukama AFGC za UHPC (AFGC-SETRA, 2002.). Vrednosti na krivoj opterećenja i ugiba se određuju tako što se za niz vrednosti deformacije u najudaljenijem zategnutom vlaknu poprečnog preseka grede, određuje odgovarajuća deformacija u gornjem pritisnutom vlaknu, a potom se računa odgovarajući moment.

Za granično stanje upotrebljivosti:

$$\varepsilon_e = \frac{f_{tj}}{E_e} \tag{3}$$

gde je: f_{tj} elastični deo napona zatezanja koji se dobija ispitivanjem prizmatičnih uzoraka na savijanje (elastični deo zavisnosti napona i ugiba), Ee je modul elastičnosti

$$\varepsilon_{0.3} = \frac{w_{0.3}}{l_c} + \frac{f_{tj}}{E_e} \tag{4}$$

gde je: $w_{0.3}$ širina prsline od 0.3mm, a lc je karakteristična dužina prsline (najčešće 2/3h, a h je visina grede).

$$\varepsilon_{1\%} = \frac{w_{1\%}}{l_c} + \frac{f_{tj}}{E_e} \tag{5}$$

gde je $w_{1\%}$ širina prsline jednaka 0.01H (H je visina prizmatičnog uzorka ispitanog na savijanje)

$$\varepsilon_{\lim} = \frac{l_f}{4 \cdot l_c} \tag{6}$$

gde je l_f dužina čeličnog vlakna

$$\sigma_{bt} = \frac{\sigma(w_{0.3})}{K};\ \sigma_{1\%} = \frac{\sigma(w_{1\%})}{K} \tag{7}$$

gde je: 1/*K* je koeficijent koji obuhvata razliku u ponašanju grednog nosača i ispitnog uzorka.

Za granično stanje nosivosti:

$$\varepsilon_e = \frac{f_{tj} / \gamma_{bf}}{E_e}$$

$$\varepsilon_{0.3} = \frac{w_{0.3}}{l_c} + \frac{f_{tj} / \gamma_{bf}}{E_e}$$

$$\varepsilon_{1\%} = \frac{w_{1\%}}{l_c} + \frac{f_{tj} / \gamma_{bf}}{E_e}$$

$$\sigma_{bt} = \frac{\sigma(w_{0.3})}{K};\ \sigma_{1\%} = \frac{\sigma(w_{1\%})}{K}$$

gde je g_{bf} parcijalni koeficijent sigurnosti (1.3 za osnovne, 1.05 za incidentne kombinacije opterećenja)

Ukupna sila u pritisnutoj zoni prema navedenom modelu ponašanja se računa kao (Slika 1.):

$$F_c = \begin{cases} \frac{1}{2} \cdot b \cdot x \cdot \sigma_{bcu} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{bc}} & za\ \ 0 < \varepsilon < \varepsilon_{bc} \\ \frac{1}{2} \cdot b \cdot x \cdot \sigma_{bcu} \cdot \frac{\varepsilon_{bc}}{\varepsilon} + b \cdot x \cdot \sigma_{bcu} \cdot \frac{\varepsilon - \varepsilon_{bc}}{\varepsilon} & za\ \ \varepsilon_{bc} < \varepsilon < -3.0‰ \end{cases}$$

Ukupna sila zatezanja se sastoji od tri člana: doprinosa od UHPFRC (Ft), klasične armature i kablova za prednaprezanje. Doprinos UHPC se računa prema navedenom modelu ponašanja (Slika 2).

$$F_t = \begin{cases} \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{tj}}{\gamma_{bf}} \cdot b \cdot (h-x) \cdot \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_e} & za\ \ \varepsilon_t < \varepsilon_e \\ \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{tj}}{\gamma_{bf}} \cdot b \cdot (h-x) \cdot \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_t} + \frac{\frac{f_{tj}}{\gamma_{bf}} + \sigma_{btu}}{2} \cdot b \cdot (h-x) \cdot \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_e}{\varepsilon_t} & za\ \ \varepsilon_e < \varepsilon_t < \varepsilon_{u,0.3} \\ \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{tj}}{\gamma_{bf}} \cdot b \cdot (h-x) \cdot \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_t} + \frac{\frac{f_{tj}}{\gamma_{bf}} + \sigma_{btu}}{2} \cdot b \cdot (h-x) \cdot \frac{\varepsilon_{u,0.3} - \varepsilon_e}{\varepsilon_t} + & \\ \frac{\sigma_{btu} + \sigma_{u,1\%}}{2} \cdot b \cdot (h-x) \cdot \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_{u,0.3}}{\varepsilon_t} & za\ \varepsilon_{u,0.3} < \varepsilon_t < \varepsilon_{u,1\%} \\ \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{tj}}{\gamma_{bf}} \cdot b \cdot (h-x) \cdot \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_t} + \frac{\frac{f_{tj}}{\gamma_{bf}} + \sigma_{btu}}{2} \cdot b \cdot (h-x) \cdot \frac{\varepsilon_{u,0.3} - \varepsilon_e}{\varepsilon_t} + \frac{\sigma_{btu} + \sigma_{u,1\%}}{2} \cdot b \cdot (h-x) \cdot \frac{\varepsilon_{u,0.3} - \varepsilon_{u,1\%}}{\varepsilon_t} & \\ + \frac{\sigma_{u,1\%}}{2} \cdot b \cdot (h-x) \cdot \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_{u,1\%}}{\varepsilon_t} & za\ \varepsilon_{u,1\%} < \varepsilon_t < \varepsilon_{\lim} \end{cases} \tag{10}$$

$$F_a = \begin{cases} A_s \cdot \varepsilon_s \cdot E_s & za\ \ \varepsilon_s \le \frac{f_y}{E_s} \\ A_s \cdot \varepsilon_y & za\ \ \frac{f_y}{E_s} \le \varepsilon_s \le 20‰ \\ 0 & za\ \ \varepsilon_s \ge 20‰ \end{cases}$$

gde je:

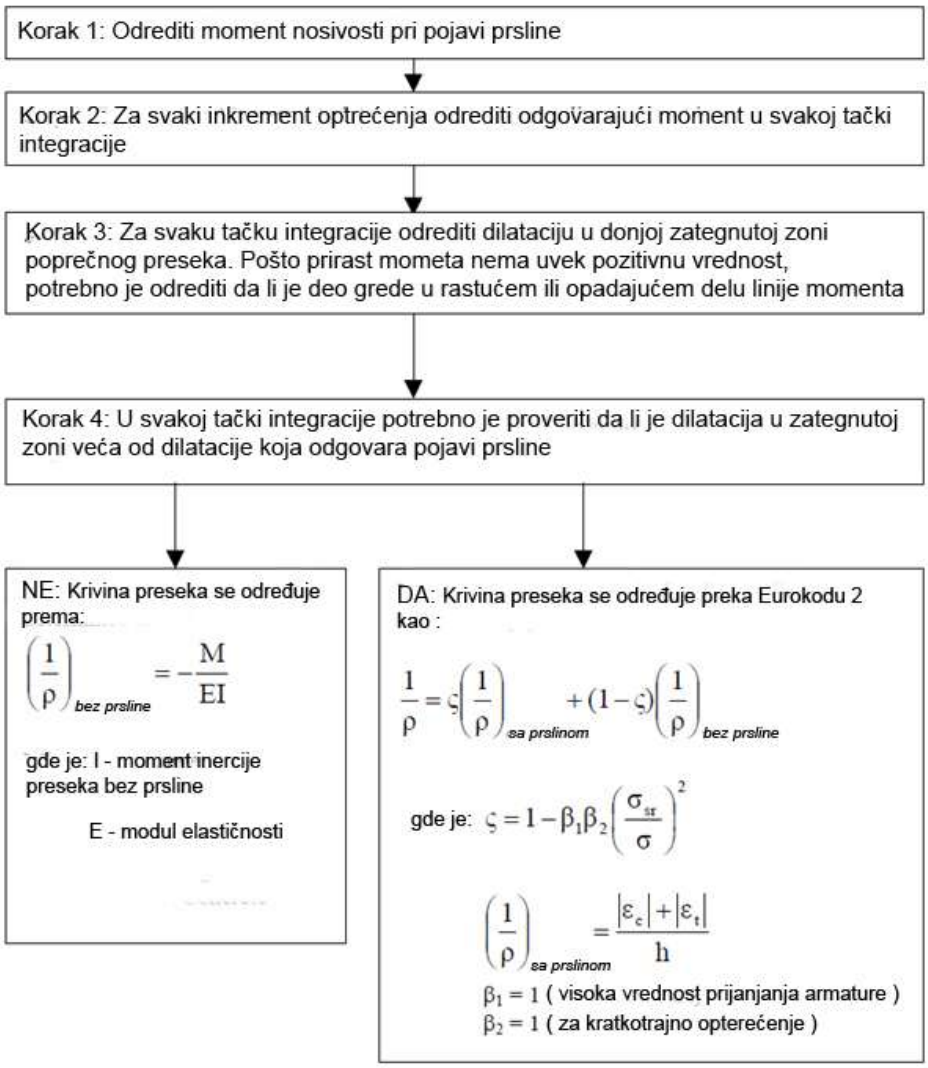
$$\varepsilon_s = \varepsilon_t \cdot \frac{d-x}{h-x}$$

d - udaljenost težišta armature u odnosu na gornju pritisnuti ivicu poprečnog preseka

3. POSTUPCI ZA ODREĐIVANJE NOSIVOSTI

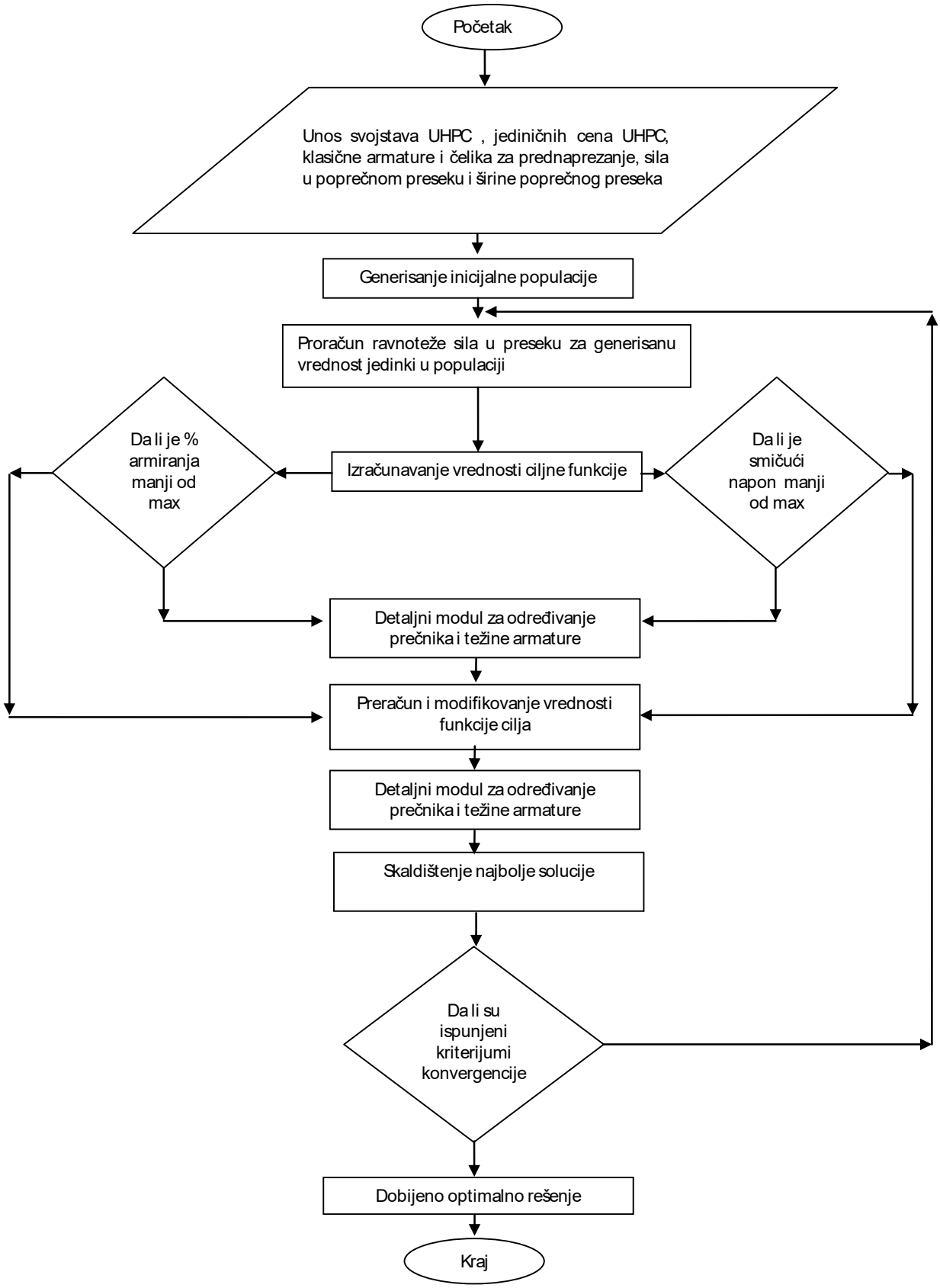
Proračun ugiba za dato opterećenje se vrši dvostrukom integracijom krivine preseka duž grede. Proračun krivine je usvojen prema Eurocode 2, a metod je ukratko prikazan na Slici 3. Prilikom modelovanja ponašanja grednih nosača pri dejstvu napona zatezanja, istraživači se najčešće oslanjaju na eksperimentalo ispitivanje prizmatičnih uzoraka opterećenih na savijanje, modelovanje metodom konačnih elemenata kao i analitičkim putem primenom ravnoteže sila u preseku. Svojstva mikroarmiranih betona pri dejstvu aksijalnih napona zatezanja pokazuju značajne razlike pri različitom udelu čeličnih vlakana i određivanje ponašanje grednih uzoraka je dosta komplikovan proces.

Inverzna analiza je procedura na osnovu koje je moguće računskim putem odrediti svojstva materijala pri zatezanju na osnovu eksperimentalnih rezulatata ispitivanja uzoraka na savijanje. Procedura inverzne analize se sastoji od tri koraka. Prvi korak se odnosi na aproksimaciju zavisnosti napona i deformacije, odnosno napona i širine prsline. Drugi korak predstavlja numeričko računanje odgovora grede opterećene na savijanje u zavisnosti od geometrije, graničnih uslova i svojstva materijala. Treći korak se sastoji od utvrđivanja odstupanja između računskih i eksperimentalno dobijenih rezultata.



Slika 3. Postupak određivanja nosivosti poprečnog preseka grede

Ako su odstupanja iznad dozvoljenih, vrši se korekcija ulaznih parametara i čitava procedura se ponavlja sve dok odstupanja ne budu u zadovoljavajućim okvirima. Numerička analiza se može sprovesti metodom konačnih elemenata, ali i na osnovu analitičkog određivanja ravnoteže sila u preseku.



Slika 4. Algoritam za za optimizaciju grednih nosača od UHPC primenom genetskih algoritama

4. ZAKLJUČAK

Predviđanje ponašanja grednih nosača od UHPFRC opterećenih na savijanje predstavlja dosta složen proces. Potrebno je pre svega odrediti mehanička svojstva samog kompozita, a potom prema preporukama izvršiti dimenzionisanje poprečnog preseka. Pošto je UHPFRC znatno skuplji materijal u odnosu na konvencijalne betone, pored pažnje koju je potrebno usmeriti ka nosivosti i trajnosti konstrukcije neophodno je voditi računa i o ekonomskoj opravdanosti.

Primena genetskih algoritama omogućava pretragu široke oblasti mogućih rešenja sa velikim brojem parametara za relativno kratak vremenski period, a opravdanost upotrebe UHPFRC direktno zavisi od uspešnosti procesa optimizacije. Bitne parametre za gredne nosače predstavljaju opterećenja, dimenzije nosača i svojstava koje treba da ispuni kompozit. Uštede koje se mogu ostvariti pri primeni optimalnog odnosa komponentih materijala i procenta armiranja su daleko izraženije u odnosu na konvencijalne materijale i svakako da opravdava utrošeno vreme prilikom optimizacije.

Modelovanje ponašanja mikroarmiranih betona, a posebno mikroarmiranih betona izuzetno visokih mehaničkih svojstava kao što je UHPFRC mora se zasnivati na prethodnim eksperimentalnim ispitivanjima.

ZAHVALNICA

Autori zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci u okviru projekata TR-36017.

LITERATURA

[1] Yazıcı, H., The effect of curing conditions on compressive strength of ultra high strength concrete with high volume mineral admixtures. Building and Environment, 2007, 42, 2083–2089.

[2] Cwirzen, A., Penttala, V.,Vornanen, C., Reactive powder based concretes: Mechanical properties, durability and hybrid use with OPC. Cement and Concrete Research, 2008, 38, 1217–1226.

[3] Yang, I.H., Joh, C., Kim, B.,S., Structural behavior of ultra high performance concrete beams subjected to bending. Engineering Structures, 2010, 32, 3478-3487.

[4] Campione, G., Simplified Flexural Response of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams. Journal of Materials in Civil Engineering, 2008, 20, 283-293.

[5] Skazlić, M., Bjegović, D., Mrakovčić, S., Mikroarmirani betoni visokih uporabnih svojstava, Građevinar, 2004, 56-2, 69-78.

[6] Yang, S.L., Millard, S.G., Soutsosb, M.N., Barnett , S.J., Le, T.T., Influence of aggregate and curing regime on the mechanical properties of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC). Construction and Building Materials,2009, 2291–2298.

[7] Dvorkin ,L., Dvorkin , O., V. Zhitkovsky , V., Ribakov, V., A method for optimal design of steel fiber reinforced concrete composition. Materials and Design, 2011, 32 ,3254–3262.

[8] Malešev, M., Radonjanin, V.,Ršumović, M., Uticaj novih vrsta cementa na svojstva betona. Materijali i konstrukcije, 2002, 45 (2-3), 64-68.

[9] Camp, C.V., Pezeshk, S., Hansson, H., Flexural design reinforced concrete frames using a genetic algorithm. ASCE Journal of Structural Engineering, 2003,129,105–115.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MOGUĆNOSTI PRIMENE METODA VIŠEKRITERIJUMSKOG VREDNOVANJA U PROCESU PROJEKTOVANJA SAOBRAĆAJNIH INFRASTRUKTURNIH SISTEMA

POSSIBLE APPLICATION OF MULTICRITERIA EVALUATION METHOD IN DESIGNING TRAFFIC INFRASTRUCTURE

LJUBO MARKOVIĆ[1], LJILJANA MILIĆ MARKOVIĆ[2]

[1] Fakultet tehničkih nauka, 38220 Kosovska Mitrovića, ljubo.marković@pr.ac.rs

[2]Arhitektonsko građevinsko geodetski fakultet, 78 000 Banja Luka, ljmilic@agfbl.org

---

Rezime: *U radu je ukazano na mogućnosti primene višekriterijumskog vrednovanja u procesu projektovanja saobraćajnih infrastrukturnih sistema (putnih ili železničkih) kao i na parametre koji mogu uticati na pogodnost upotrebe određene metode višekriterijumskog vrednovanja. Prikazane su osnovne karakteristike nekih od metoda višekriterijumskog vrednovanja (SAW, TOPSIS, ELECTRE, AHP, PROMETHEE, VIKOR), izvršena njihova analiza (prednosti i mane), uporedna analiza metoda i mogućnost njihove primene.*

Ključne reči: *projektovanje, saobraćajni infrastrukturni sistemi, varijantna rešenja, vrednovanje, metode višekriterijumskog vrednovanja.*

Abstract:*The paper presents possible applications of multicriteria evaluation in designing traffic infrastructure systems (road or railroad), as well as parameters which could influence the preference of application of a specific multicriteria evaluation method. Basic characteristics are shown of some multicriteria evaluation methods (SAW, TOPSIS, ELECTRE, AHP, PROMETHEE, VIKOR), they have been analysed (their advantages and disadvantages), and the comparative analysis of methods and possibilities of their application have been given.*

Keywords: *designing, traffic infrastructure systems, variant solutions, evaluation, multicriteria evaluation method.*

1. UVOD

Jedan od osnovnih zahteva kod projektovanja saobraćajnih infrastrukturnih sistema (putnih ili železničkih) je osmišljavanje projektnih rešenja (varijanti) koje se zasniva na balansiranju između postavljenih ciljeva (funkcionalni zahtevi saobraćaja, ekonomska i socijalna opravdanost, ekologija) i postojećih ograničenja.
Ovo balansiranje realizuje se kroz odgovarajuća projektna rešenja na odgovarajućim podlogama koje su oslonjene na opšti nivo saznanja iz više naučnih disciplina, intuiciju i kreativne sposobnosti stručnog tima. (Shelton and Medina 2010).

Projektovanje predstavlja iterativni proces optimizacije rešenja po nizu kriterijuma koji, u svojoj završnoj fazi, dovodi do najpovoljnijeg rešenja.

2. VIŠEKRITERIJUMSKO VREDNOVANJE

Višekriterijumsko vrednovanje predstavlja pristup rešavanju problema i skup različitih tehnika i metoda, čiji je krajnji rezultat redosled, odnosno rangiranje varijanata, od najpovoljnije do najnepovoljnije varijante. Varijante koje se razmatraju u datom problemu mogu se razlikovati u stepenu ispunjavanja postavljenih ciljeva odabranih kriterijuma, pri čemu je verovatno da se nijedna varijanta neće pokazati kao najpovoljnija po svim ciljevima i kriterijumima. Takođe, čest je slučaj da su ciljevi i kriterijumi međusobno konfliktni.

Tipičan višekriterijumski problem matematički se može predstaviti na sledeći način (Department for Communities and Local Government 2009):

$$(VKV)\ \{\ Select: A_1, A_2, \ldots, A_m \quad s.k.: K_i, K_2, \ldots, K_n \qquad (1)$$

gde:

$A = (A_1, A_2, A_m)$ predstavlja *m* varijanata,

$K = (K_1, K_2, K_n)$ *je* skup od *n* kriterijuma za opisivanje situacije u kojoj se odluka donosi.

Višekriterijumsko vrednovanje predstavlja neraskidivi deo procesa projektovanja. U procesu višekriterijumskog vrednovanja u obzir se uzimaju različiti kriterijumi na osnovu kojih se, uz pomoć nekih od metoda višekriterijumskog vrednovanja, analiziraju ponuđene alternative. U procesu realizacije višekriterijumskog vrednovanja, na osnovu znanja i kreativnih sposobnosti, učestvuje tim stručnjaka različitih specijalnosti (inženjeri, planeri, ekonomisti i sociolozi).

3. MOGUĆNOSTI PRIMENE METODA VIŠEKRITERIJUMSKOG VREDNOVANJA

U literaturi je prisutno više metoda višekriterijumskog vrednovanja (SAW, TOPSIS, ELECTRE, AHP, PROMETHEE, VIKOR i druge). Ove metode spadaju u diskretne metode višekriterijumskog vrednovanja.

Kod metode SAW rangiranje varijanti obavlja se na osnovu sumarnih vrednosti proizvoda elemenata bezdimenzionalne matrice *R* i relativnih težina kriterijuma W_j. Ova metoda najčešće se koristi u kombinaciji sa nekom drugom metodom višekriterijumskog vrednovanja i služi za dobijanje preliminarnih rezultata (rang-liste varijantnih rešenja).

Metoda TOPSIS pristupa problemu koji se zasniva na premisi da najpovoljnija varijanta ima najmanje Euklidsko rastojanje od idealnog rešenja. Takođe, najpovoljnija varijanta treba da poseduje najveće Euklidsko rastojanje od anti-idealnog rešenja. Određivanje idealnog i anti-idealnog rešenja kod metode TOPSIS, analogno je određivanju indeksa saglasnosti i nesaglasnosti u metodi ELECTRE (Zanakis et al. 1998).

Metoda ELECTRE je primenljiva u realnim situacijama, jer generiše indekse saglasnosti i nesaglasnosti za svaki par varijanti. Indeks saglasnosti predstavlja sumiranu vrednost težina kriterijuma po kojim je varijanta A bolja od varijante B. Indeks nesaglasnosti ukazuje na (apsolutnu) razliku jednog para varijanti u odnosu na maksimalnu razliku među svim parovima varijanti. Uspostavljanjem graničnih vrednosti za ova dva indeksa, može se doći do skupa varijanti koje nisu dominirane od strane ostalih varijanti.

Metoda AHP (eng. Analitic Hierarchy Process) predstavlja jednu od nejčešće korišćenih višekriterijumska metoda u oblasti saobraćaja. AHP omogućava interaktivno kreiranje hijerarhije problema kao pripremu scenarija odlučivanja, a zatim vrednovanje u parovima elemenata hijerarhije (ciljeva, kriterijuma i alternativa) u top-down smeru (Saaty 1980). Pored toga, tokom vrednovanja elemenata hijerarhije, sve do kraja procedure i sinteze rezultata, proverava se konzistentnost rezonovanja donosioca odluka i utvrđuje ispravnost dobijenih rangova alternativa i kriterijuma, kao i njihovih težinskih vrednosti. Izdvajaju se četiri koraka ove metode: struktuiranje problema, prikupljanje podataka i njihova analiza, izračunavanje relativnih težina kriterijuma i određivanje rešenja problema. AHP ima sposobnost da identifikuje i analizira nekonzistentnosti donosioca odluka tako što odmerava stepen konzistentnosti (Saaty 1980) i o tome obavestava donosioca odluka. Stepen konzistentnosti CR izračunava se po formuli:

$$\mathbf{CR} = \frac{\mathbf{CI}}{\mathbf{RI}} \tag{2}$$

gde je: CI - indeks konzistentnosti

RI - slučajni indeks koji zavisi od reda matrice poređenja.

$$\mathbf{CI} = \frac{\boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{max}} - \mathbf{n}}{\mathbf{n} - \mathbf{1}} \tag{3}$$

λ_{max} - maksimalna sopstvena vrednost matrice poređenja

$$\boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{max}} = \boldsymbol{\Sigma}_{I=1}\ \boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{i}} \tag{4}$$

Ako je stepen konzistentnosti CR manji od 0.10, rezultat je dovoljno tačan. Ako je stepen konzistentosti veći od 0,10 rezultate bi trebalo ponovo analizirati i ustanoviti razloge nekonzistentnosti. U praksi se često dešava da stepen konzistentnosti bude veći od 0,10, a da se izabrana alternativa ipak zadrži kao najbolja (Karlsson et al. 1998).

Metoda PROMETHEE (eng. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) omogućava sagledavanje i agregaciju kvantitativnih i kvalitativnih kriterijuma različitih težina. U metodi PROMETHEE definišu se kriterijumi na osnovu tipa relacije preferencije, pa tako oni mogu biti: kvazi kriterijum, kriterijum sa linearnom preferencijom, kriterijum sa stepenima konstantne preferencije, kriterijum sa linearnom preferencijom i područjem indiferencije i Gausov kriterijum (www.Promethee. pdf) . Koji će se tip kriterijuma primeniti zavisi od prirode višekriterijumskog problema. Krajnji rezultat može biti parcijalno (delimično) rangiranje varijanti (PROMETHEE I) ili potpuno rangiranje varijanti (PROMETHEE II).

Primenu metode PROMETHEE karakterišu dva koraka (www.Promethee. pdf):

- generisanje relacije preferencije u skupu varijanti A,
- korišćenje te relacije u cilju rešavanja višekriterijumskog problema.

Ova metoda zasniva se na formiranju složene relacije preferencije koja se bazira na generalizaciji kriterijuma. Preferencije ustvari određuju koliko je neki kriterijum važan za donošenje odluka, tj. što je preferencija veća - kriterijum je važniji. Definiše se indeks preferencija, a relacija se prikazuje u vidu grafa preferencije. Suština ovog koraka sastoji se u tome da donosilac odluke mora izraziti sopstvene preferencije (dati prednost) između varijanata po svakom od izabranih kriterijuma, na osnovu težinskih faktora dodeljenih kriterijumima (www.Promethee. pdf).

Metoda VIKOR je razvijena na osnovu elemenata iz kompromisnog rangiranja. Naziv je skraćenica od reči *VI*še*K*riterijumsko *O*ptimalno *R*ešenje ili *VI*šekriterijumsko *KO*mpromisno *R*ešenje. Na osnovu metode urađen je i programski paket (VIKOR) koji rešava zadatke optimizacije sa više heterogenih i konfliktnih kriterijuma. Dobijeno rešenje je kompromisno, može biti jedinstveno ili predstavljati skup bliskih rešenja. Kompromisno rešenje je ono dopustivo rešenje koje je najbliže idealnom. Idealno rešenje se određuje na osnovu najboljih vrednosti kriterijuma i obično se ne nalazi u datom skupu alternativnih rešenja (Opricović and Tzeng 2007).

Pretpostavka je da sve metode višekriterijumskog vrednovanja mogu precizno da rešavaju višekriterijumske probleme. Međutim, čest je slučaj da različite metode daju i različite rezultate kod rešavanja potpuno istog problema (Gershon and Duckstein, 1983.). Razlozi pojave ove nedoslednosti u rezultatima mogu se posmatrati u sledećem kontekstu (Zanakis et al. 1998):

- metode različito upotrebljavaju težine kriterijuma u svojim matematičkim proračunima,
- metode koriste različite algoritme u svom pristupu odabira najpovoljnijeg varijantnog rešenja,
- mnogi algoritmi koji se koriste u metodama rangiraju postavljene ciljeve, što utiče na određivanje težina kriterijuma,
- neki algoritmi uvode i koriste neke dodatne parametre koji mogu uticati na odabir rešenja.

Ovim razlozima treba dodati i značajne razlike u uslovima u kojima se višekriterijumsko vrednovanje sprovodi, kao i uticaj verodostojnosti informacija u procesu odlučivanja.

Na osnovu navedenog, opravdano se postavlja pitanje o upotrebi i načinu upoređivanja različitih metoda višekriterijumskog vrednovanja.

Potrebu za upoređivanjem metoda i važnost ovog problema odabira prvi je prepoznao K. R Maccrimmon (Maccrimmon,1973) . Nešto kasnije, ovom problematikom i klasifikacijom metoda bavili su se i drugi autori (Ozernoy 1992), (Hwang and Yoon 1981). U rešavanju ovog problema koristili su test primere koji su zasnovani na realnim ili hipotetičkim situacijama. Pored izučavanja prirode metoda, radile su se i procene uticaja ljudskog faktora, odnosno kvaliteta i kvantiteta potrebnih informaćija. Metode višekriterijumskog vrednovanja ocenjivane su sa više aspekata:

- jednostavnosti upotrebe,
- pouzdanosti,
- složenosti,
- kvalitet.

Definisana su sledeća pitanja (Zanakis et al. 1998):

- Koja metoda je najpogodnija za rešavanje određenog tipa višekriterijumskog problema?
- Koje su prednosti i nedostaci jedne metode u odnosu na neku drugu?
- Da li se dobijaju drugačiji krajnji rezultati upotrebom različitih metoda? Ako je odgovor potvrdan, šta je uzrok tome i koliki je stepen neslaganja rezultata?

Neke odgovore na prethodna pitanja mogu da pruže i računarske simulacije. Simulacije omogućavaju generisanje i sagledavanje raznovrsnih problema, sa mogućnošću ponavljanja eksperimenta i jednostavne promene ulaznih parametara. To omogućava stvaranje obimne baze podataka (rezultata simulacija) na osnovu kojih se izučavaju određena pravila i zakonitosti u procesima donošenja odluka kod različitih metoda višekriterijumskog vrednovanja. Parametri čiji se uticaji na rezultate primene različitih metoda analiziraju su (Zanakis et al. 1998):

- broj kriterijuma - kako se broj kriterijuma povećava, pokazano je da metode (naročito metoda ELECTRE, a metoda TOPSIS u manjoj meri) daju različite rezultate, odnosno različit krajnji poredak varijanti. Pojavljuju se i razlike u konačnim ocenama varijanti. Ove razlike u ocenama se smanjuju kako raste broj kriterijuma. Rezultati primene metode TOPSIS drugačiji su od ostalih metoda, više po pitanju konačnog rangiranja varijanti nego po njihovim konačnim ocenama. Poredak varijanti metodom TOPSIS drugačiji je nego poredak koji se dobija primenom metoda SAW, AHP, PROMETHEE i VIKOR kada je broj kriterijuma veliki (oko 20). Kada je broj kriterijuma manji (oko 5) ova metoda se ponaša slično kao metoda ELECTRE.
- broj varijantnih rešenja - sa povećanjem broja varijantnih rešenja, njihove konačne ocene teže ocenama koje se dobijaju upotrebom metode SAW. Međutim, kada je broj varijantnih rešenja veliki, stepen diverziteta poredaka varijanti na rang-listama je visok kod svih metoda (u manjoj meri kod metoda TOPSIS, VIKOR i PROMETHEE). Uzrok tome leži u činjenici da kada postoji veliki broj varijantnih rešenja veći je i broj i raspodela težina kriterijuma, pa su i izraženije razlike u konačnom poretku varijanti, s obzirom da svaka koristi drugačije matematičke obrasce za odabir najpovoljnijeg rešenja.
- raspodela težina kriterijuma - ravnomerna raspodela težina kriterijuma (dodeljivanje podjednake važnosti svim kriterijumima) ne znači da će rezultati primene različitih metoda višekriterijumskog vrednovanja biti identični. Metode AHP i TOPSIS generalno daju drugačiji poredak varijanti u odnosu na metode SAW i PROMETHEE kada se dodeli podjednaka važnost svim kriterijumima. Razlog tome može se naći u samoj prirodi metoda AHP i TOPSIS. Metoda AHP već u svojim prvim koracima razdvaja varijante, setove kriterijuma i kriterijume na hijerarhijske nivoe, pa je uticaj ravnomerne raspodele težine kriterijuma manje izražen. Metoda TOPSIS traga za rešenjima na osnovu njihovih udaljenosti od idealnog i anti-idealnog rešenja. Udaljenost od ovih hipotetičkih rešenja, kada se dodele iste važnosti kriterijuma, dobija na značaju, što ima uticaja na konačan poredak varijantnih rešenja.

Međutim, ne treba se oslanjati isključivo na simulacije, već treba koristiti i analize i zaključke iz realnih primera što je više moguće (Zanakis et al. 1998). U praksi se pokazalo da se više koriste metode koje su jednostavne i transparentne, iako ne odražavaju uvek željene težine kriterijuma.

Izbor najbolje metode zavisi, pre svega, od prirode višekriterijumskog problema, ali i od aspiracija donosioca odluke, odnosno njegovog poznavanja dostupnih metoda.

4. UPOREDNA ANALIZA IZABRANIH METODA VIŠEKRITERIJUMSKOG VREDNOVANJA

Na osnovu uporedne analize rezultata metoda višekriterijumskog vrednovanja putem računarskih simulacija, mogu se doneti neki opšti zaključci.

Veliki broj kriterijuma koji se razmatraju u jednom višekriterijumskom problemu ima najveći uticaj na metode ELECTRE i TOPSIS. Metoda TOPSIS daje drugačiji poredak varijanti od metoda SAW i PROMETHEE i VIKOR kada je broj kriterijuma veliki (Macharis et al. 2004).

Kako se broj varijanti u višekriterijumskom problemu povećava, metode daju slične rezultate po pitanju vrednosti konačnih ocena varijanti, ali različite rezultate u smislu rangiranja (poretka) varijanti, naročito kada je broj varijanti veliki.

Ravnomerna raspodela težina kriterijuma ima manji uticaj na rezultate primene metoda nego što je to slučaj sa uticajem broja kriterijuma i varijanata. Ovaj uticaj drugačije se ispoljava kod svake metode višekriterijumskog vrednovanja. Podjednaka važnost svih kriterijuma, smanjuje razliku između varijantnih rešenja, odnosno njihovih konačnih ocena.

Može se reći da metoda AHP daje rezultate slične metodi SAW i VIKOR, dok metoda ELECTRE ima najmanje sličnosti sa metodom SAW, a najviše sa metodama TOPSIS i PROMETHEE (Zanakis et al. 1998).

Sve iznete rezultate analiza metoda treba uzeti sa oprezom, pošto primenljivost ovih metoda zavisi, pre svega, od prirode višekriterijumskog problema koji se posmatra, zatim definisanih ciljeva i kriterijuma.

5. ZAKLJUČAK

U procesu projektovanja saobraćajnih infrastrukturnih sistema (putnih ili železničkih), višekriterijumsko vrednovanje ima aktivnu ulogu u procesu odabira najpovoljnije varijante i čini sastavni deo projektne dokumentacije.

Svaka metoda višekriterijumskog vrednovanja poseduje određene prednosti i nedostatke. Prednosti i nedostaći odnose se na neke mogućnosti metoda, kao što su:

- efikasno struktuiranje problema,

- generisanje konačnog poretka varijanti (rangiranje varijanti),
- jasno predstavljanje višekriterijumskog problema, ciljeva i kriterijuma (vizualizacija problema),
- jednostavnost generisanja različitih scenarija (sagledavanje budućeg stanja),
- fleksibilnost i dostupnost softvera i računarskih aplikacija.

Kod struktuiranja i vizualizacije višekriterijumskog problema najbolje se pokazala metoda AHP zbog svoje mogućnosti da na jednostavan način uspostavi nivoe hijerarhije između ciljeva, kriterijuma i varijantnih rešenja. Takođe, izmenama u okviru ovih nivoa hijerarhije, metode AHP I VIKOR pružaju rangiranje varijanti na osnovu mogućih scenarija u budućnosti na jednostavan način. Po dostupnosti softvera i računarskih aplikacija, izdvajaju se metode TOPSIS, ELECTRE i PROMETHEE.

Projektna rešenja saobraćajnih infrastrukturnih sistema (putnih ili železničkih) u praksi često sadrže nekoliko varijantih rešenja (3 ili 4) za koje se definiše 10 do 15 kriterijuma kojima se dodeljuju različite važnosti, tj. težinski koeficijenti.

Na osnovu analize primenljivosti metoda višekriterijumskog vrednovanja, zaključak je da su sve iznete metode prigodne za rešavanje problema odabira najpovoljnije varijante u infrastrukturnim projektima.

Preporuka je da se koristi više metoda i pažljivo da se pristupi objektivnom određivanju težinskih koeficijenata kako bi rezultati bili verodostojniji.

Koje metode će se izabrati za višekriterijumsko vrednovanje varijantnih rešenja zavisi od donosioca odluke, odnosno od njegove upoznatosti sa metodama, složenosti metoda, kao i od dostupnosti softvera i aplikacija za njihovu primenu.

LITERATURA

[1] Department for Communities and Local Government (2009). Multi-criteria analysis: a manual, Communities and Local Government Publications, London.

[2] Gershon and Duckstein (1983). Multiobjective Approaches to River Basin Planning, Journal of Water Resources Planning and Management 109(1).

[3] Hwang, C., Yoon, K. (1981). Multiple Atribute Decision Making: Methods and applications, Springer, New York, USA.

[4] Karlsson, J., Wohlin, C., Regnell, B. (1998). An evaluation of methods for prioritizing software requirements. Information and Software Technology, 39 (14-15), 939-947.

[5] Maccrimmon, K. R. (1973). An Overview of Multiple Objective Decision Making, Article.

[6] Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K., Verbeke, A. (2004)."PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis", European Journal of Operational Research, No.153, pp. 307-317.

[7] Opricović, S., Tzeng, G.,H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking, European Journal of Operational Research 178, No.2, pp. 514-529.

[8] Ozernoy, V., M. (1992). Choosing The “Best” Multiple Criterlv Decision-Making Method, INFOR Information Systems and Operational Research, Volume 30, - Issue 2, https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03155986.1992.11732192.

[9] Saaty,T., L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill, New York.

[10] Shelton, J., Medina, M. (2010). Integrated multiple-criteria decisionmaking method to prioritize transportation projects, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2174, pp. 51-57,

[11] www.foi.hr/CMS_library/studiji/pds/mps/Promethee. pdf

[12] Zanakis, S., Solomon, A., Wishart, N., Dublish, S. (1998). "Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods", *European* Journal of Operational Research, No. 107, pp. 507-529.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

EMBODIRANI UGLJENIK KAO KRITERIJUM ZA VREDNOVANJE PROJEKTA INDIVIDUALNOG STAMBENOG OBJEKTA SA ASPEKTA UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU

EMBODIED CARBON AS A CRITERIA FOR VALUATION OF A FAMILY DWELLING PROJECT FROM THE ASPECT OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT

MARINA NIKOLIĆ TOPALOVIĆ[1], GORAN ĆIROVIĆ[2]

[1] Visoka građevinsko geodetska škola, Beograd, marinatopnik@gmail.com;
[2] Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za građevinarstvo i geodeziju, goran.cirovic@uns.ac.rs.rs.

Sažetak: *U istraživanju se analizira mogućnost poboljšanja metodologije izrade arhitektonskih projekata primenom obračuna embodiranog ugljenika kao kriterijuma za procenu uticaja objekta na životnu sredinu iz faze A1 do A5. Za potrebe istraživanja formirana su tri modela konstruktivnog rešenja porodičnog stambenog objekta, uobičajena u Srbiji, u energetskom razredu C. U istraživanju se koristi metodologija Analize životnog ciklusa (LCA) koja je osnov za Analizu životnog ciklusa ugljenika (LCACO2), za obračun embodiranog ugljeničnog otiska. Za obračun ugljeničnog otiska koristi se ICE databaze i Carbon Calculator, Agencije za zaštitu životne sredine UK, a za proračun energetskog razreda koristi se program URSA, građevinska fizika 2, za dimanzionisanje termičkog omotača. Istraživanje je pokazalo da se u fazi projektovanja može identifikovati projektno rešenje sa manjim embodiranim ugljenikom, odnosno manjim uticajem na životnu sredinu. Istraživanje ukazuje na potrebu da se osim operatibnog ugljenik, koji se prema sadašnjoj metodologiji računa kod procene uticaja objekta na životnu sredinu, treba uvažiti i uticaj embodiranog ugljenika projektnog rešenja.*

Ključne reči: *energetski razred, embodirani ugljenik, operativni ugljenik, analiza životnog ciklusa.*

Abstract: *The study analyzes the possibility of improving the methodology of architectural designs using the calculation of the embodied carbon as a criterion for assessing the environmental impact of the facility from phase A1 to A5. For the research needs, three models of a constructive solution for a family housing unit, commonly used in Serbia, were developed in the energy class C. The study uses the Life Cycle Analysis Methodology (LCA), which is the basis for the Carbon Lifecycle Analysis (LCACO2), the calculation of the embodied carbon imprint. To calculate the carbon footprint ICE databases and Carbon Calculator was used, Environmental Protection Agency UK, and for the energy rating, the program URSA, Construction Physics 2, is used to make the required thermal membrane dimensioned. The research has shown that at the design stage, a design solution with a smaller embodied carbon, or a smaller environmental impact, can be identified. The research points to the need, in addition to operational carbon, which, according to the present methodology of calculating the environmental impact of an object, should also, take into account the influence of the embodied carbon of the design solution.*

Key words: *energy rating, embodied carbon, whole life carbon, life cycle analysis.*

1. UVOD

Na globalnom nivou građevinski sektor je u vrhu po potrošnji resursa, primarnih materijala, energije, vode i produkciji otpada. Zbog toga je na globalnom nivou prisutno nastojanje da se smanje uticaji izgradnje objekata na životnu sredinu. Preduzimaju se mere i usvaja regulativa kojom se ograničava potrošnje energije u fazi korišćenja objekta. Klasifikacija objekata prema potrošnji energije po m2 je obavezni deo u regulativi Srbije od 2012. godine. Projektanti i izvođači objekata su u obavezi da projekte rade tako da oni zadovolje energetski razred C kao minimalno prihvatljiv energetski nivo novih objekata. U propisanoj metodologiji za energetsko rangiranje projekta računa se samo energija potrebna za konforno korišćenje objekta (operativna energija) [3-4] i uticaji koji nastaju iz operativne faze. Međutim uticaj objekta na životnu sredinu počinje sa

eksploatacijom sirovina radi proizvodnje građevinskih materijala i proizvoda, preko transporta, prerade, dopremanja na gradilište i ugradnje na samom objektu, znači mnogo pre početka korišćenja objekta. U fazi projektovanja je moguće identifikovati projekat sa manjim uticajem na životnu sredinu kroz obračun embodiranog ugljenika kao mere uticaja projekta na životnu sredinu od faze uzimanja sirovina iz prirode do početka korišćenja objekta.

Na potrebu za redukcijom emisije CO2 za 26,9% do 2020. godine ukazuju Kim et al., [14]. Autori kao što je Beak et all. zaključuju da je procena ugljeničkog otiska u fazi izrade projekta [2] bitna za smanjenje uticaja građevinarstva na životnu sredinu. Studije, koje se često navode kao primeri uticaja građevinskog sektora [1], pokazuju da je upotreba cementa odgovorna za 8,6% emisije CO2 u svetu [15].

U Srbiji je potrošnja energije u građevinskom sektoru u 2011. godini iznosila 41% [6]. Proizvodnja i potrošnja energije je direktno povezana sa proizvodnjom CO2. U 2013. godini nacionalni ekološki otisak u Srbiji je 3,02 globalna hektara [9]. Više od 50% ekološkog otiska u Srbiji potiče od proizvodnje CO2 [9].

Metodologija za obračun energetskih potreba zgrade u Srbiji [18-19], se zasniva na obračunu operativne energije zgrade(energija koja se koristi za udobno korišćenje zgrade), kao i regulativa EU u toj oblasti.

Ovim istraživnjem se želi ukazati na postojanje mogućnosti za smanjenje uticaja iz građjevinskog sektora kroz fazu projektovanja objekta u koju je uključena analiza uticaja koji ima odabrani konstruktivni sistem i materijali pri izradi projekta objekta. Sadašnja metodologija energetskog rangiranja objekata zanemaruje opterećenja na životnu sredinu koja su posledica eksploatacije i proizvodnje građjevinskih materijala, transporta, izgradnje, načina upravljanja otpadom, transporta radne snage i potrošnje vode.

U studiji koju je uradio Ibn-Mohammed et al., (2013) [11], zaključuje da za ublažavanje klimatskih promena, zgrade treba da budu projektovane i konstruisane sa minimalnim uticajem na životnu sredinu.

Analizirajući operativnu i embodiranu energiju zgrade u Italiji, Cellura et al., (2014) [16] navode da je ključno pitanje embodirane energija zgrade i zaključuju da je ona posebno važna za niskoenergetske zgrade. Postojeći evropski propisi daju smernice arhitektama da dizajniraju energetski efikasne zgrade sa nultom potrošnjom energije [22], sa tendenciom da do 2020. godine sve javne zgrade budu zgrade nulte energije.

U studijama o energetskoj efikasnosti zgrada, Karimpour et al., (2014) [13] zaključuju da u blagoj klimi embodirana energija u zgradama može učestvovati oko 25% ukupne energije životnog ciklusa. Isti autori veruju da će trend dizajniranja i izgradnje zgrada nulte energije dovesti do povećanja embodirane energije u ukupne energije u životnom ciklusu zgrade. Fay et al., (2000) [8] zaključuju da je embodirana energija postala važna i da je potrebno uzeti u obzir i njene uticaje.

Važnost uticaja primenjenih građevinskih materijala kroz analizu životnog ciklusa materijala prepoznaju i domaći autori. U svojim radovima Slavković et al. (2014) [20] i Jovanović Popović et al. (2009) [12] navode da je za dalju uštedu energije potrebno istražiti utrošenu energiju u materijalima tokom njihovog životnog ciklusa.

S tim u vezi, cilj istraživanja je procena vrednosti ugrađenog ugljika za analizirane scenarije, kroz koje su za isti projekat primenjena tri različita konstruktivna sistema uobičajena u Srbiji za izgradnju individualnih stambenih objekata.

2. METODOLOGIJA

Analiza životnog ciklusa (LCA) kao metodologiju za identifikaciju i intervenciju u okruženju i potencijalne uticaje koje proizvod ili usluga ima tokom svog životnog ciklusa je metodologija propisana standardima ISO 14040: 2006 i 1044: 2006. i od strane Evropske komisije je preporučen alat za procenu uticaja na životnu sredinu.

Ovo istraživanje, ima za cilj procenu vrednosti emodiranog ugljenika za jedno projektno rešenje u tri različita konstruktivna sklopa. Granice sistema su u skladu sa ciljem istraživanja. Materijali, aktivnosti i izvori energije se računaju pomoću normi i standarda rada u građevinarstvu [17], a to je inventar životnog ciklusa unutar granica sistema. Procena uticaja će biti izražena kroz ugljenični otisak (embodirani ugljenik za analizirane modele i njihovo vrednovanje). Shodno tome, LCA je osnova za izračunavanje emisije CO2. Analiza ugrađenog ugljeničnog otiska zgrade je metodologija koja se oslanja na principe metodologije za merenje performansi životnog ciklusa zgrade i svrha je da se izračuna embodirani ugljenik u fazi izrade projekta. Zbog složenosti procesa izgradnje, velike količine materijala, aktivnosti, različitih izvora energije, otpada i eksploatacije zgrada, metodološki opseg za izgradnju LCA je klasifikovan od strane Organizacije za standardizaciju u standardu EN 15978: 2011 [5]. Prema tom standardu, životni ciklus zgrade je podeljen u četiri faze: proizvodnja, izgradnja, korišćenje objekta i kraj životnog ciklusa. U ovom istraživanju granice sistema su od A1 do A5. Van granica sistema su korišćenje objekta i kraj životnog ciklusa.

Baze podataka su izvori informacija za analizu ulaza i izlaza (LCIA) u LCA. Budući da Srbija nema dostupne javne podatke niti nacionalnu bazu materijala i proizvoda, baza podataka korišćena za ovo

istraživanje je ICE verzija 2: Inventar ugljika i energije [10]. Baza podataka ICE proučava koncept implementiranih materijala u odnosu na njihovu ugrađenu energiju i ugrađeni ugljenik, u širem opsegu gasovi sa efektom staklene bašte (GHG), građevinske komponente i transport. Karbonski kalkulator Agencije za zaštitu životne sredine UK [7] se koristi za analizu ugljeničnog otiska. Ovaj softver ima bazu podataka o materijalima proizvedenim od prirodnih sirovina (primarnih materijala), što je jedan od razloga za njegovu upotrebu u istraživanju. Programom URSA građevinska fizika 2 [21] korišćen je za izračunavanje energetskog razreda zgrade na osnovu kojeg je izvršeno dimenzionisanje termičkog omotača zgrade.

Ova studija će pokazati kako je moguće, računanjem ugrađenog ugljenika u fazi projektovanja, proceniti nivo uticaja na životnu sredinu koji proizilazi iz odabira konstruktivnog rešenja za jedan te isti projekat.

3. CILJ I ORGANIZACIJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje se radi na projektu izgradnje individualnog stambenog objekta neto površine od 110 m2 u blizini Beograda. U tu svrhu su za potrebe istraživanja na nivou projekta za izgradnju formirana tri uobičajena modela izgradnje porodičnih kuća u Srbiji: MG (opekarski proizvodi i AB konstrukcija), MY (laki betonski blokovi i AB konstrukcija) i MD (objekat od drvenih prefabrikovanih panela). To je urađeno na način da su za referentne modele projekta korišteni primarni materijali. To znači da su modeli MG, MY i MD projektovani u energetskom razredu C, prema zakonodavstvu u Srbiji [18-19]. Proizvodi i materijali koji se koriste za izgradnju su iz lokalne građevinske industrije, svi transportni pravci su izračunati za svaku poziciju, kao i vrste transporta: drumski transport, kamionima od fabrike do gradilišta, a manje količine dostavnim vozilima manje nosivosti. Radna snaga za izgradnju je angažovana sa distance do 30 km. Trajanje izgradnje je 15-16 nedelja, što je u skladu sa normama i standardima rada u građevinarstvu [17], a izračunavanje ugljeničnog otiska obuhvata, pored potrebnih građevinskih materijala i proizvoda, aktivnosti izgradnje, smeštaja radne snage, generisanje građevinskog i komunalnog otpada i njegovo zbrinjavanje, voda, električna energija, potrošnja goriva za uređaje i mašine na gradilištu u cilju merenja uticaja analiziranih modela.

Program URSA 2 [21] se koristi za izračunavanje energetske ocene zgrade i dimenzionisanje termičkog omotača, dok se koriste ICE baza podataka [10] (Inventar ugljika i energije - ICE) i softver iz Agencije za zaštitu životne sredine UK [7], za obračun embodiranog ugljenika.

Osnovni model 1 (MG) je zgrada projektovana u masivnom konstruktivnom sistemu. Zidovi su oz šupljih opekarskih blokova debljine 25 cm, sa 12 cm toplotne izolacije na fasadnim zidovima završo obrađeni dekorativnim malterom. Sa unutrašnje starne zidovi su malterisani. Stubovi su AB, horizontalni i vertikalni. Tavanica tipa LMT sa 15 cm debelom toplotnom izolacijom prema tavanu. Lagana armirana podna ploča preko koje je 10 cm debela termo izolacija, cementna košuljica i pod u skladu s namenom prostorije. Drvena krovna konstrukcija a krovni pokrivač je crep. Fasadna stolarija sa poboljšanim termičkim karakteristikama je u skladu sa minimalnim zahtevima prema novim propisima. Izgradnja traje 16 nedelja.

Model 2 (MY) je zgrada projektovana od lakih gasbetonskih blokova debljine 25 cm, sa 10 cm toplotne izolacije sa dekorativnom malterom spolja, a tankoslojnim sa unutrašnje strane. Stubovi, horizontalni i vertikalni su AB. Plafonska ploča, bela Ytong tavanica sa 10 cm toplotne izolacije prema tavanu. Lako armirana podna ploča prekrivena je toplotnom izolacijom debljine 10 cm, cementnom košuljicom i završnom obradom podova u skladu s namenom prostorije. Fasadna stolarija sa poboljšanim termičkim karakteristikama je u skladu sa minimalnim zahtevima prema novim propisima. Izgradnja traje 15 nedelja.

Model 3 (MD) je zgrada projektovana sa zidovima i tavanicama od prefabrikovanih drvenih panela sa 25 cm toplotne izolacije na fasadnim zidovima sa dekorativnim malterom sa spoljašnje strane i gipsanim pločama sa unutrašnje strane. Drvena krovna konstrukcija, krovni pokrivač je crep. Lagana ojačana podna ploča prekrivena je toplotnom izolacijom debljine 10 cm, cementna košuljica i završna obrada poda u skladu su sa namenom prostorije. Fasadna stolarija je sa poboljšanim termičkim karakteristikama u skladu sa minimalnim zahtevima prema novim propisima. Izgradnja traje 15 nedelja.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Vrednosti ugrađenog ugljeničnog otiska za analizirane modele dobijene su kao zbir svih analiziranih komponenti. Grupisanje materijala prikazanih u Tabeli 1. je u skladu sa Britanskim nacionalnim standardom, za grane industrije i prosečne vrednosti koje su relevantne za potrošnju energije u industrijskom sektoru. Vrednosti embodiranog ugljeničnog otiska za grupe materijala i aktivnosti koje učestvuju u izgradnji osnovnog modela MG i analiziranih modela MY i MD prikazane su u Tabeli 1. Da bi dobili rezultate ugljeničnog otiska CO2e (embodirani ugljen) operativna faza (operativni ugljenik) nije uključena u proračun jer je izvan granica sistema u ovom istraživanju.

Model sa najvećim ukupnim vrednostima embodiranog ugljenika ima model MG sa embodiranim ugljeničnim otiskom koji iznosi 148,20 tona CO2e. Najveće vrednosti embodiranog ugljenika u modelu MG ima grupa materijala koji se dobijaju iz tla 44,40 tona CO2e, što je posledica primene opekarskih proizvoda, opeke, crepa, tavanice i kamenih agregata. Drugu grupu materijala sa velikim embodiranim ugljenikom čine betoni, malteri i cementi sa 28,40 tona CO2e., kao i metali 23,90 tona CO2e. Odabrani konstruktivni sistem i primenjeni materijali dovode do toga da su emisije iz te grupe materijala značajne. Svaka ušteda u količini ovih komponenti i optimizacija može smanjiti emisije iz ove grupe materijala i ukupnog embodiranog ugljenika. Transport osoblja je u ovom modelu veći u odnosu na ostala dva modela, zbog toga što je za izgradnju modela MG potrebno više vremena nego za modele MY i MD.

Vrednost embodiranog ugljeničnog otiska u modelu MY je 112,50 tona CO2e. Najveće vrednosti embodiranog ugljenika u modelu MY ima grupa beton, malter i cement sa 38,30 tona CO2e., što je posledica primene lakih betonskih blokova i tavanica. Odabrani konstruktivni sistem i primenjeni materijali dovode do toga da su emisije iz te grupe materijala značajne. Svaka ušteda u količini ovih komponenti i optimizacija može smanjiti emisije iz ove grupe materijala i ukupnog embodiranog ugljenika. Drugu grupu materijala sa velikim embodiranim ugljenikom čine metali sa 15,80 tona CO2e. Vrednosti embodiranog ugljenika za materijale iz tla su 13,10 tona CO2e. Transport radne snage, zbog manje dužine gradnje ovog modela je manji u odnosu na model MG.

Vrednost embodiranog ugljeničnog otiska u modelu MD je 102,50 tona CO2e. Najveće vrednosti embodiranog ugljenika u modelu MD ima grupa drvenih materijala sa 13,70 tona CO2e., što je posledica primene prefabrikovanih panela sa drvenim kosturom za zodove i tavanice. Odabrani konstruktivni sistem i primenjeni materijali dovode do toga da su emisije iz te grupe materijala značajne. Svaka ušteda u količini ovih komponenti i optimizacija može smanjiti emisije iz ove grupe materijala i ukupnog embodiranog ugljenika. Drugi način za uštedu u ovoj grupi materijala je primena drvene građe iz sertifikovanih šuma, što u Srbiji nije uobičajeni način. Drugu grupu materijala sa velikim embodiranim ugljenikom čine betoni, malteri i cementi sa 20,20 tona CO2e. Vrednosti embodiranog ugljenika za materijale iz tla su 13,10 tona CO2e. Transport materijala u ovom modelu je manji u odnosu na ostala dva modele MG i MY, ali je transport radne snage, zbog manje dužine gradnje ovog modela manji u odnosu na model MG.

Tabela 1. Vrednosti embodiranog ugljenika i učešće u analiziranim modelima (MG, MY i MD)

Grupe materijala i aktivnosti	MG	MY	MD
	tona CO_2e	tona CO_2e	tona CO_2e
Materijali iz tla (kamen, zemlja)	44,40	13,10	13,10
Drveni materijali	3,40	3,30	13,70
Beton, Malter & Cement	28,40	38,30	20,20
Metalni materijali	23,90	15,80	11,80
Plastični materijali	5,80	5,80	5,80
Stakleni materijali	0,90	0,90	0,90
Različiti materijali	9,00	9,60	12,00
Završna obrada, premazi & lepkovi	7,10	5,60	5,50
Uređaji i oprema-uticaji	5,40	5,30	5,40
Izmeštanje otpada	3,90	2,80	2,70
Uticaj od smeštaja osoblja	2,00	1,90	2,00
Transport materijala	5,60	6,30	5,20
Transport osoblja	8,40	6,00	6,20
Ukupni Embodirani ugljenični otisak	148,20	112,50	102,50

Uporedni pregled vrednosti embodiranog ugljenika prikazan je u Tabeli 2. Vrednost embodiranog ugljenika modela MG iznosi 148,40 tona CO2 e, što je najviša vrednost u sva tri modela. Na osnovu količine embodiranog ugljenika, model MG je najmanje povoljan u pogledu uticaja na životnu sredinu. Sledeći model sa manjim uticajem na životnu sredinu, je model MY koji ima vrednost embodiranog ugljenika 112,50 tona CO2e., što je 35,70 tona CO2e manje nego u modelu MG ili manje za 24,09%. Najpovoljniji model za životnu sredinu, je model MD čiji je embodirani ugljenik 102,50 tona CO2e, što je 45,70 tona CO2e manje nego u modelu MG ili manje za 30,84%.

Rezultati su pokazali da model MD, ima najmanji embodirani ugljenik koji je 102,70 tona CO2 e, a drugi model MY čija je vrijednost embodiranog ugljenika 112,50 tona CO2 e. Model MG ima najveću vrednost embodiranog ugljenika koji iznosi 148,20 tona CO2 e.

Tabela 2. Poređenje vrednosti embodiranog ugljenika za modele MG, MY i MD

Analizirani modeli		Embodirani ugljenik		
		Tona CO_2 e za celu zgradu	Manje tona CO_2 e od modela (MG)	Procenat smanjenja %
1.	MG	148,20	0,00	0
2.	MY	112,50	35,70	24,09%
3.	MD	102,50	45,70	30,84%

Na početku eksploatacije zgrade, model MD je najpovoljniji za životnu sredinu zbog najnižeg nivoa embodiranog ugljenika. Razlika od 45,70 tona CO2 u embodiranom ugljeniku omogućava da model MD ima manji ugljenični otisak od modela MG. Upoređivanjem modela MG sa modelom MY, može se zaključiti da model MG ima veće vrednosti ugljeničnog otiska za 35,70 tona CO2 e od modela MY.

Poređenjem modela MY sa modelom MD, zaključuje se da model MY ima veće vrednosti embodiranog ugljenika za 10,00 tona CO2 e nego model MD.

Rezultati pokazuju da je najpovoljniji model u smislu uticaja na životnu sredinu iz faze izgradnje od A1-A5, model MD koji ima najmanji embodirani ugljenik. Povećanje embodiranog ugljenika u fazi izgradnje, za analizirane modele MG i MY, proizašlo je zbog veće količine materijala iz tla, betona, cementa i metala, što donosi veće opterećenje životne sredine za ova dva modela, što ih čini manje povoljnim za životnu sredinu.

5. ZAKLJUČAK

Zaključak je da, izgradnja u modelu MD ima najmanji uticaj na životnu sredinu nakon čega sledi model MY sa većim uticajem i na kraju model MG sa najvećim uticajem na životnu sredinu u granicama od A1 do A5.

Istraživanje ukazuje na potrebu da se u fazi projektovanja uključiti obračun embodiranog ugljenika, a ne samo operativnog ugljenika, kako je sada propisano u energetskom rangiranju zgrade. Obračunom embodiranog ugljenika, i njegovim sabiranjem sa operativnim se dobija prava slika o uticaju projekta i njegovoj energetskoj proceni. Rezultati ukazuju i na mogućnost da se kroz uštede u embodiranom ugljeniku, ostvarene u fazi projektovanja stvara mogućnosti za smanjenje uticaja na životnu sredinu iz građevinskog sektora, ako bi se u fazi projektovanja primenila metodologija procene embodiranog ugljenika pri donošenju odluka koji je projekat povoljniji za životnu sredinu.

Istraživanje ukazuje na potrebu za formiranjem nacionalne baze podataka o građevinskim materijalima i proizvodima i njihovim inventarom uticaja na životnu sredinu, kao i potrebu za nacionalnim programom za obračun ugljeničnog otiska izgradnje.

Istraživanje ukazuje na potrebu za niskougljeničnim građevinskim proizvodima u nacionalnoj građevinskoj industriji, što će pomoći da se premosti jaz između rastuće potrebe za izolacionim materijalima i potrebe za smanjenjem emisije CO2.

Zahvalnost: Istraživanje u ovom radu je deo tehnološkog projekta TR 36017 finansiranog od Ministarstva prosvete, nauke I tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

[1] Abd Rashid, A.F. Idris, J. S. Yusoff, S. (2017). Environmental Impact Analysis on Residential Building in Malaysia Using Life Cycle Assessment, *Sustainability, 9*, 329-338. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/su9030329.Strunk, W., Jr., & White, E.B. (2000). The elements of style. (4th ed.). New York: Longman.

[2] Baek, C. Park, S. Suzuki, M. Lee, S. (2013). Life cycle carbon dioxide assessment tool for buildings in the schematic design phase, *Energy Build*, *61*. 275-287. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.01.025.

[3] Council directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16. Dec 2002. on the energy performance of buildings, Brussels, 2002.

[4] Council directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19. May 2010. on the energy performance of buildings, Brussels, 2010.

[5] EN 15978:2011 Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation methods, Geneva, Switzerland: International Standards Organization, 2011.

[6] Energy balance of the Republic of Serbia, Retrieved from: www.mre.gov.rs/.../EN%20BILANS%20ZA%2014>, [accessed: 20. 12. 2017].

[7] Environment Agency UK, Construction carbon calculator, Retrieved from: https://www.gov.uk/government/organisations/environment-agency> [accessed: 2. 12. 2015].

[8] Fay, R., Treloar, G. & Iver-Raniga, U. (2000). Life-Cycle Energy Analysis of buildings: A Case Study, *Building Research & Information*, *28*, 31-41. Retrieved from: https://doi.org/10.1080/096132100369073> (10.08.2018).

[9] Global Footprint Network today at an event at Oxford University, Retrieved from: https://www.footprintnetwork.org/2018/04/09/has_humanitys_ecological_footprint_reached_its_peak/ [accessed: 14. 3. 2018].

[10] Hammond, G., Jones, C. (2011). *Inventory of Carbon and Energy (ICE) version 2.0, Sustainable Energy Research Team (SERT),* Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK, Retrieved from: http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/ [accessed: 2. 12. 2015].

[11] Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L. & A. Acquaye, A. (2013). Operational vs. Embodied emissions in Buildings – A Review of Current Trends, *Energy and Buildings*, *66*, 232-245. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.026(10.08.2018).

[12] Jovanović Popović, M., Kosanović, S. (2009). Selection of building materials based upon ecological characteristics: priorities in function of environmental protection, *Spatium*, *20*. 7-23. doi: 10.18485.

[13] Karimpour, M., Belusko, M., Xing, K. & Bruno, F. (2014). Minimizing the life Cycle Energy of buildings: review and Analysis," *Buildings and Environment*, *73*, 106-114. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.019 (10.08.2018).

[14] Kim, T., Lee, S., Chae, C.U. Jang, H., Lee, K. (2017). Development of the CO_2 Emission Evaluation Tool for the Life Cycle Assessment of Concrete, *Sustainability, 9*, 2116. Retrieved from: https://doi.org/10.3390/su9112116.

[15] Kleijn, R. (2012). *Materials and energy: a story of linkages* (PhD thesis). Leiden University, Leiden, Retrieved from: https://www.universiteitleiden.nl/en/staffmembers/rene-kleijn/publications#tab-4.

[16] Cellura, M., Guarino, F., Longo, S. & Mistretta, M. (2014). Energy Life-Cycle Approach in Net Zero Energy Buildings Balance: Operation and Embodied Energy of an Italian Case Study, *Energy and Buildings*, *72*, 371-381. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.046 (10.08.2018).

[17] Mijatović, R. (2008). *Normativi i standardi rada u građevinarstvu*, *Knjiga 2-Visokogradnja*, 12. dopunjeno i izmenjeno izdanje, Građevinska knjiga, Stilos, Beograd, Srbija, ISBN: 978-86-395-0544-8.

[18] Pravilnik o energetskoj efikasnosti zgrada,"*Službeni glasnik RS*, No. 61/2011, Retrieved from: http://www.mgsi.gov.rs. [25. 10. 2016].

[19] Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada,"*Službeni glasnik RS*, No. 69/2012. Retrieved from: http://www.mgsi.gov.rs. [accessed: 25. 10. 2016].

[20] Slavković, K., Radivojević, A. (03. August 2014). Evaluation of energy embodied in the external wall of the single-family buildings in the process of energy optimization, *Energy Efficiency*.

[21] URSA construction physics 2, Retrieved from: https://www.ursa.rs/softver [accessed: 10. 3. 2018].

[22] Vourdoubas, J. (2017). Creation of Zero CO2 Emissions Residential Buildings due to Operating and Embodied Energy Use on the Island of Crete, Greece, *Open Journal of Energy Efficiency*. *06(04)* 14-24 Retrieved from: http://file.scirp.org/Html/1-2650150_80265.htm (10.08.2018).

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U BIM

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BIM

MILENA SENJAK[1], VLADIMIR MUČENSKI[2], GORAN ĆIROVIĆ[3], IGOR PEŠKO[4], DRAGANA BIBIĆ[5]

[1] Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo i geodeziju u Novom Sadu, senjakm@uns.ac.rs
[2] Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo i geodeziju u Novom Sadu, mucenskiv@uns.ac.rs
[3] Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo i geodeziju u Novom Sadu, goran.cirovic@uns.ac.rs
[4] Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo i geodeziju u Novom Sadu, igorbp@uns.ac.rs
[5] Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo i geodeziju u Novom Sadu, draganadjordjevic@uns.ac.rs

Rezime: *Cilj ovog rada jeste prikazati primenu veštačke inteligencije u oblasti građevinarstva i povezati je sa BIM-om (Building Information Modeling) kao i način na koji su je pojedini autori iskoristili u okviru BIM, koji danas igra veliku ulogu u oblasti inženjerstva. Prikazano je 13 radova u kom su u svih 13 različito primenjeni veštačka inteligencija i BIM u kombinaciji. Primenjene podoblasti veštačke inteligencije su: Veštačke neuronske mreže, Fuzzy logika, Metoda potpornih vektora kao i Mašinsko učenje. Svrha je da se prikažu problemi, metodologija rešavanja kao i rešenja problema koja su dobijena.*

Ključne reči: *BIM (Building Information Modeling), Veštačka inteligencija, Neuronske mreže, Potporni vektori, Mašinsko učenje, Fuzzy logika.*

Abstract: *The aim of this study is, to show the application of artificial intelligence in construction industry and connect with the BIM (Building Information Modeling), which today plays a major role in the field of engineering. In this paper we have presented 13 researches which applied different types of artificial intelligence in combination with BIM. Applied subfields of artificial intelligence are: Artificial neural networks, fuzzy logic, support vector machine and Machine Learning. The purpose is to show problems, methodologies of their solving and solutions to problems that were obtained.*

Keywords: *BIM (Building Information Modeling), artificial intelligence, neural networks, support vector machines, machine learning, Fuzzy logic.*

1. UVOD

Cilj ovog rada jeste prikazati primenu veštačke inteligencije u oblasti građevinarstva i povezati je sa BIM-om, kao i način na koji su je pojedini autori iskoristili u okviru BIM koji danas igra veliku ulogu u oblasti inženjerstva. Veštačka inteligencija je sposobna da reši širok spektar problema koji se javljaju u inženjerstvu. Kroz ovaj pregledni rad je prikazana moć primene veštačke inteligencije, i posvećuje se pažnja BIM-u. BIM modeli, u kojima su pohranjene sve informacije o konstrukciji, u najvećem broju slučajeva imaju ulogu baze podataka. Ona je od krucijalnog značaja za veštačku inteligenciju, koja funkcioniše tako što "uči iz iskustva", a iskustvo je upravo njena baza podataka. Digitalizacija sistema u građevinsarstvu je tu kako bi se smanjile greške koje se konstantno javljaju prilikom projektovanja, izvođenja pa i kasnije održavanja objekta tokom njegove eksploatacije. BIM (Building information modeling) jeste način razmišljanja, odnosno plan upravljanja informacijama u izgradnji, a kreće od samog projektovanja konstrukcije, a primenjuje se kroz softvere koji služe kao platforme.

Veštačka inteligencija je grana računarskih nauka koja se bavi proučavanjem i oblikovanjem računarskih sistema koji pokazuju neki oblik inteligencije. To su sistemi koji mogu učiti nove koncepte, sistemi koji mogu zaključivati i donositi zaključke o svetu koji ih okružuje, sistemi koji mogu razumeti prirodni jezik ili spoznati i tumačiti složene vizuelne scene, sistemi koji mogu obavljati i druge vrste veština koje zahtevaju čovekovu vrstu inteligencije (Patterson,1990).

U centru pažnje veštačke inteligencije je automatizovanje onih Ijudskih aktivnosti koje se vezuju za proces mišljenja, poput donošenja odluka, zaključivanja i svesnog delovanja. Cilj te discipline je kreiranje mašina koje su sposobne da vrše funkcije koje zahtevaju inteligenciju onda kada ih vrše ljudi. Jako bitna stvar koja se mora napomenuti jeste ta, da ukoliko želimo da napravimo neki algoritam zasnovan na

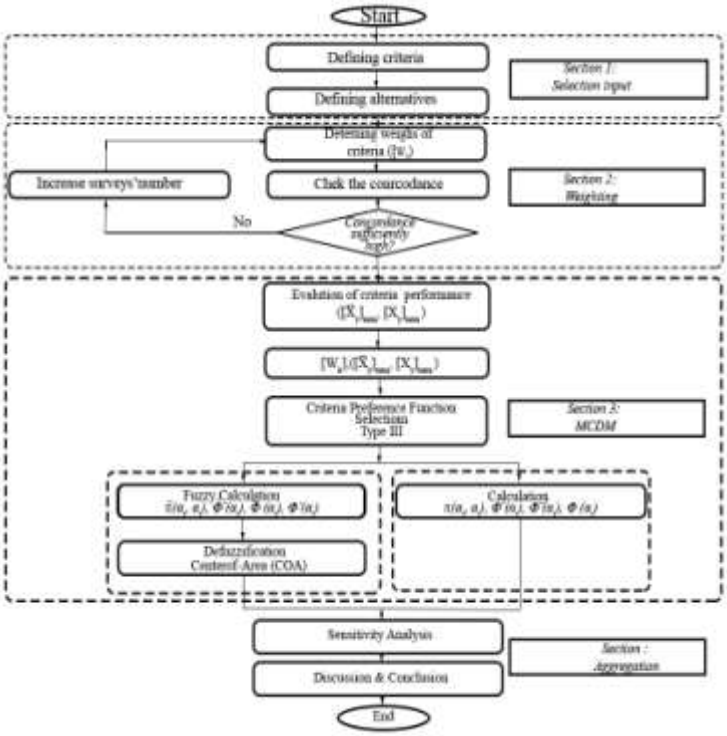
veštačkoj inteligenciji moramo imati bazu podataka na osnovu koje ćemo naš algoritam trenirati i verifikovati, odnosno potvrditi njegovu preciznost i zadovoljavajuću tačnost. Podoblasti veštačke inteligencije koji su pominjani u ovom radu su: neuronske mreže, potporni vektori, mašinsko učenje, fuzzy logika.

BIM je sveobuhvatni proces projektovanja koji počinje idejnim projektom objekta, a završava se izradom projektne dokumentacije za izgradnju objekta, upravljanjem izgradnjom objekta i održavanjem objekta u fazi eksploatacije. On može predstaviti kompletan životni vek objekta, od procesa gradnje do scenarija korišćenja, tj. održavanja objekta. BIM pruža jednostavno dobijanje svih potrebnih informacijama o količinama (na primer, prilikom izrade specifikacije i proračuna troškova). Informacioni model objekta objedinjuje geometriju, prostorne odnose, analizu osvetljenja, geografske parametre, količine i tehnički opis elemenata (na primer, detalje proizvođača pojedinih elemenata zgrade). Obim i određena polja rada mogu biti izdvojena iz projekta i posebno definisana. Sistemi, montaža ili delovi objekta mogu biti prikazani u odgovarajućoj razmeri u odnosu na ceo objekat ili grupu objekata.

BIM je jedan od izuma koji mnogo obećavaju a svoju primenu nalazi u arhitekturi, građevinarstvu i mnogim sferama inženjerstva. U arhitekturi BIM služi za potrebe izrade projekta i detaljnog 3D modela u virtuelnom okruženju. Nakon virtuelne izgradnje objekta omogućava brzu izradu projektne dokumentacije. Ukoliko se tokom izgradnje objekta ukaže potreba za izmenom projekta, sve izmene se vrši na jedinstvenom 3D modelu. Sve mere potrebne za izgradnju se skidaju direktno sa digitalnog modela, i time se sprečavaju greške izgradnje usled dvostruke dokumentacije.

2. PREGLED LITERATURE

Chen (2015) je u svom radu pod nazivom „BIM – integrisani fuzzy višekriterijumski model za odabir mera niske emisije ugljenika" koristio BIM i eQUEST (program za energetsko modeliranje) za razvijanje modela baziranog na Fuzzy PROMETHEE (metoda višekriterijumskog odlučivanja). On je u svom istraživanju usvojio upravljanje informacijama u izgradnji (BIM) kako bi se poboljšala kompatibilnost u građevinskoj industriji i omogućila besprekorna razmena podataka i deljenje na softverskom nivou među različitim aplikacijama u procesu nisko-ugljenične izgradnje (eng. Low Carbon Building - LCB).



Slika 1. Predložen višekriterijumski model (Chen, 2015)

Predloženi BIM - integrisani višekriterijumski model postiže besprekornu integraciju donošenja odluka i dizajna u ranoj fazi. Ovaj rad je razvio BIM-integrisani Fuzzi višekriterijumski model zasnovan na Fuzzi PROMETHEE, eQUEST i LIDX za izbor mera LCB. Identifikovano je pet kriterijuma za izbor devet LCB mera, na osnovu kombinacije atributa povezanih sa ekonomskim, tehničkim i ekološkim faktorima. BIM, eQUEST i LIDX su korišteni za simulaciju potrošnje energije i početnih troškova povezanih s merama LCB. Kroz analizu zasnovanu na razvijenom modelu, i PROMETHEE i Fuzzi PROMETHEE metode pružile su isti konačni rang LCB mjera za stambene zgrade u Hong Kongu.

Juszczyk (2017) je u svom radu primenio Neuronske mreže u analizi makro troškova zasnovanoj na BIM modelima. BIM modeli služe kao spremišta informacija o zgradama. Komponente nose geometrijske i ne-geometrijske informacije i pravila za stvaranje odnosa između ovih komponenti unutar modela zgrade.

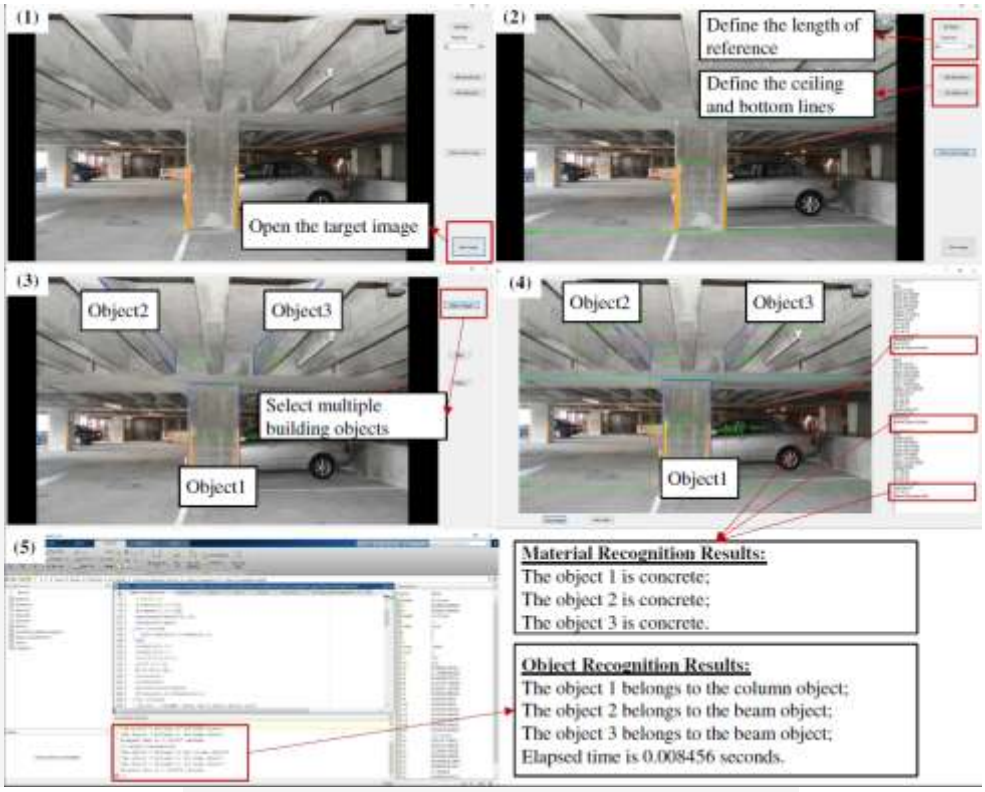
Pretpostavke za neuronske simulacije napravljene upotrebom softvera Statistica. Skupovi podataka za obuku su nasumično podeljeni u: podskup koji se koristi u učenju - L, testiranje podgrupe - T i validacija podskupa - V, u odnosu L / T / V = 0,6 / 0,2 / 0,2. U istraživanju su uzeti u obzir višeslojni perceptronski tip ANN-a. Tokom simulacija primenjene su različite mrežne arhitekture, različite funkcije aktiviranja i algoritmi obuke. U svetlu prikazane diskusije i rezultata inicijalnih istraživanja, ANN se može smatrati kao podsticajni alat veštačke inteligencije koji je primenljiv u analizama makro BIM troškova. Proširio je svoje istraživanje na još jedan rad kojim je dokazao da su neuronske mreže prilično tačne u proceni makro troškova.

Kolar (2018) je u ovom radu obratio paznju na zaštitu na gradilištu. Fokus je na detekciji ograda u realnom vremenu, jer su nezaštićene ivice one koje uzrokuju pad radnika sa visine. Koristi se transferno učenje, a arhitektura grupe vizuelne geometrije sa 16 slojeva (VGG-16) modela je usvojena da bi se konstruisale ekstrakcije osnovnih karakteristika za neuronske mreže. U implementaciji CNN -a, 4000 proširenih slika je korišćeno za obuku predloženog modela , dok je još 2000 slika prikupljenih od stvarnih gradilišta i 2000 slika iz Google-a korišćeno za validaciju predloženog modela. Predloženi model otkrivanja zaštitne ograde na CNN-u dobio je visoku tačnost od 96,5%.

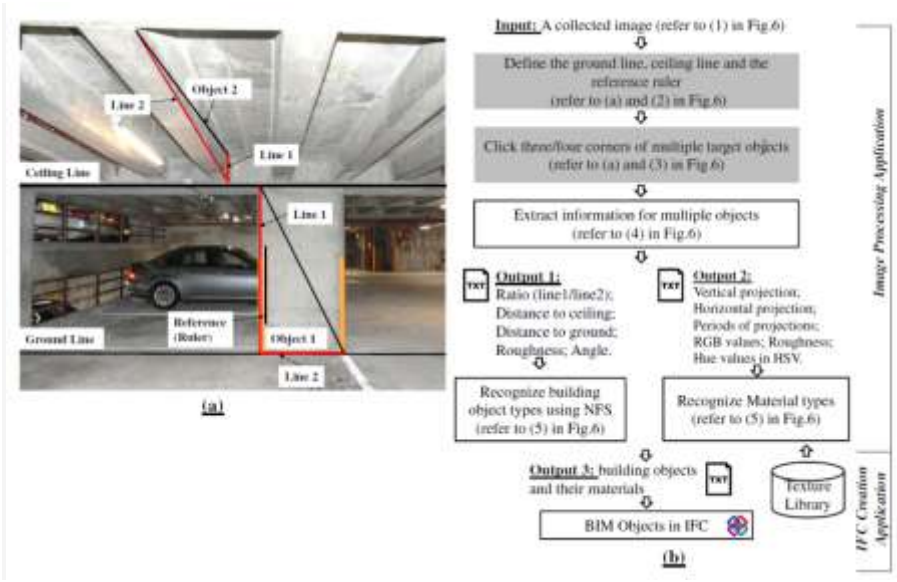
Lomio (2018) U svom istraživanju, neke modele mašinskog učenja, koristi za automatsko prepoznavanje tipa zgrade na osnovu BIM virtuelnog predstavljanja. Ovim metodama bilo je moguće razdvojiti BIM podatke u tri različite kategorije: stambena zgrada, industrijska zgrada i drugi. Korišćeni pristup se fokusira na četiri različita modela mašinskog učenja: prvi model se zasniva na metodi potpornih vektora (SVM) za klasifikaciju slika. Druga tri modela su zasnovana na dubokom učenju: prva dva koriste unapred obučenu Konvolutivne neuronske mreže (CNN), konkretnije MobileNet i Residual Network (ResNet). Ove mreže su prethodno obučene na ImageNet skupu podataka1, zbirci realnih slika klasifikovanih u nekoliko hiljada klasa. Pokazalo se da je za ovu vrstu klasifikacije zasnovanu na veštačkim slikama moguće dobiti dobre rezultate preciznosti koristeći neuronske mreže prethodno obučene na stvarnim slikama (MobilNet i ResNet) i neuronske mreže sa slučajno generisanom strukturom i nasumično inicijalizovanim težinama . Ovo će omogućiti da se ovi modeli klasifikuju za hiljade BIM struktura koje tek treba označiti.

Geyer (2018) kaže da primena Upravljanja informacijama u izgradnji (BIM) u ranim fazama projektovanja zahteva podršku različitih nivoa detalja (Level of details - LOD). Da bi se postigla efikasna rešenja u pogledu energetske efikasnosti, neophodno je razmotriti energetske performanse u ranim fazama projektovanja. Napisao je rad koji predstavlja pristup modeliranja na više nivoa u ranim fazama projektovanja zgrada koji integriše predviđanje energetskih performansi zasnovano na komponentnom mašinskom učenju (Machine learning - ML) koristeći veštačke neuronske mreže (Artificial neural networks - ANN). Predložena je struktura modela sa tri prilagodljiva nivoa detalja kako bi se podržao proces dizajna digitalnim modelom koji podržava fleksibilno skaliranje napred i nazad.

Quichen (2018) Razvijene su nove tehnologije za prikupljanje podataka i sistemi za prepoznavanje objekata kako bi se izgradili informacioni modeli (BIM) za upravljanje i održavanje postojećih zgrada. Novi poluautomatski sistem za upravljanje slikama razvijen je u skladu sa novim neurofuzzi okvirom za prepoznavanje elemenata unutar građevinskih objekata i zasnovan na procedurama klasifikacije materijala koje podržava biblioteka tekstura konstruisana da prepozna njihove površinske materijale. Prvo, prilikom unosa slike, neophodni podaci se mogu izvući iz ulazne slike preko primarne definicije za prepoznavanje objekta i materijala (slika 3 (a)). Podsistem za prepoznavanje građevinskih komponenti (tj. stubova, greda, prozora, vrata i zidova) automatski prepoznaje tipove ekstrahovanih objekata na osnovu razvijenog neuro-fuzzi okvira. U međuvremenu , podsistem za prepoznavanje površinskih materijala dalje prepoznaje materijale objekata prateći postupke klasifikacije slika koje podržava proširiva biblioteka tekstura. Konačno, podsistem za kreiranje IFC-a kreira BIM objekte u IFC-u za prepoznate građevinske objekte. Ukupan tok rada ovog sistema prikazan je na slici 3. (b), a svaki korak i rezultati prepoznavanja prikazani su na slici 2. Prosečna tačnost prepoznavanja predmeta dostigla je 97,5%, a preciznost prepoznavanja materijala je premašila 88%.



Slika 2.Proces prepoznavanja površinskih materijala



Slika 3.Tok rada sistema

Bassier (2017) Semantički bogati trodimenzionalni modeli kao što su Informacioni modeli zgrade (BIM) sve više se koriste u digitalnom nasleđu. Oni pružaju potrebne informacije različitim zainteresovanim stranama tokom različitih faza životnog ciklusa istorijskih zgrada koje su ključne u procesu očuvanja. Bassier je u svom istraživanju tražio da automatski prepozna elemente u postojećim zgradama kako bi stvorio kompaktne semantičke informacione modele. Njegov algoritam efikasno izvlači glavne strukturne komponente kao što su podovi , tavanice, krovovi, zidovi i grede uprkos prisustvu značajnih smetnji i prepreka. Tačnije, za klasifikaciju su predloženi algoritmi zasnovani na potpornim vektorima (SVM). Algoritam se procenjuje korišćenjem realnih podataka različitih postojećih zgrada. Laserskim skeniranjem se dolazi do geometrije objekta, grupisanjem oblaka snimljenih tačaka,i na taj način se pravi 3D BIM model. Korišćenjem potpornih vektorskih mašina, podovi, plafoni, krovovi, grede, zidovi su pouzdano obeleženi čak i u veoma zakrčenim i zatvorenim sredinama . Eksperimenti dokazuju da je klasifikacija veoma precizna za širok spektar zgrada, uključujući redovne kuće, dvorce, crkve, itd.

Bonsang (2019) Support Vector Machine - SVM (metoda potpornih vektora) je obučena da razlikuje elemente modela od skupa podataka od 4187 jedinstvenih elemenata prikupljenih iz šest arhitektonskih BIM modela, na osnovu njihovih geometrijskih i relacionih karakteristika. Prva faza obuhvata klasifikaciju elemenata: stub, greda, ploča, zid, pokrivač, vrata, prozori i ograde. U drugoj fazi je vršena obuka za klasifikaciju fabrički izrađenih elemenata stubova, vrata i prozora. Visoki rezultati u oceni tačnosti uočeni u prvoj fazi pokazali su obučenu sposobnost SVM-a u klasifikaciji BIM elemenata u njihove odgovarajuće IFC klase, dok su takođe pružili dokaze o ne-linearnoj SVM-ovoj superiornosti nad Naïve Bayes i modelima logističke regresije. Rezultati druge faze takođe su pokazali sposobnost SVM-a da pravilno odredi podtipove za izabrane individualne IFC klase.

Jesus (2018) je sprovela istraživanje o tome kako se prostorija u stanu može predvideti na osnovu njene geometrije i drugih BIM podataka. Različite vrste soba u BIM-u obično se obeležavaju isključivo ručno od strane stručnjaka za modeliranje . Upotreba algoritama mašinskog učenja za automatizaciju ove vrste zadataka može značajno smanjiti potrebno vreme i izdatke . Eksperiment je zasnovan na podacima o stambenim zgradama u BIM -u generisanim pomoću Au todesk Revit®-a. Izdvojeni podaci su korišćeni kao izvorni podaci u BigML -u, koje su prvo istražili pomoću dinamičkih scatterplots . Kasnije su kreirali nekoliko strukturiranih skupova podataka za obuku stabla odlučivanja, logističke regresije i dubinske mreže, od kojih su svi klasifikacijski algoritmi. BigML omogućava lako merenje performansi svakog modela . Tačnost modela u predviđanju namene prostorije bila je preko 90%.

Bloch (2018) BIM tehnologija je u mnogome unapredila saradnju među inženjerskim strukama, ali postoje problemi koji se javljaju prilikom korišćenja IFC (The Industry Foundation Classes) modela u različitim BIM platformama. Ideja je da se veštačka inteligencija-mašinsko učenje, iskoristi za prikupljanje podataka, pravljenje dovoljno velike baze kako bi obučili mašinu da sama izvodi zaključke na osnovu iskustva. Cilj je napraviti algoritam mašinskog učenja koji će klasifikovati objekte, a zatim prostorije u njemu. Koristeći pristup mašinskog učenja sa setom za obuku za validaciju, tačnost klasifikacije tipova soba u stambenim stanovima je 82%.

Konstantinidis (2018) je u svom radu primenio veštačku inteligenciju u projektovanju objekata otpornih na zemljotres. Primena veštačke inteligencije se svodi na sledeće korake: unos podataka problema, obrada podataka, rešavanje problema i prikaz rešenja problema. Autor je sa svojim timom razvio softver pod nazivom (HolisticBIM) HoloBIM ™. (HolisticBIM) HoloBIM nije samo dobro organizovana Baza podataka/Baza objekta , već pokušava da digitalno modelira "živu zgradu" koja zna kako da reaguje i odgovori na inženjerske zahteve i modifikacije na optimalan način.

Alshibani (2017) Ovaj rad uvodi novi konceptualni sistem za predviđanje troškova energije stambenih zgrada u Kraljevini Saudijskoj Arabiji (KSA). Za razvoj modela predviđanja troškova energije korišćen je komercijalni neuronski softver pod nazivom "Neural Designer" verzija 2.9.5. Ovaj softver nudi mnoge mogućnosti koje olakšavaju proces modeliranja i pruža matematički izraz razvijenog modela u programskom jeziku Pithon. Testirano je pet ANN modela kako bi se razvio najprecizniji Model.

3. DISKUSIJA

Svaka od metoda korištena je u skladu sa problemom koji je rešavan, pa je tako u tabeli 1. dat pregled problema i metoda kojim su rešavani. U literaturi se ukazuje na to da su prednosti ANN-a u poređenju sa drugim metodama u rešavanju takvih problema kao što je predviđanje troškova energije npr, što ima sposobnost da modelira kompleksne odnose između ulaza i izlaza, kao u slučaju predviđanja troškova energije. Stoga je ANN izabran zbog sposobnosti da se reši takav kompleksan problem. Metoda potpornih vektora je pogodna za klasifikacije, mašinsko učenje ima prednost prilikom sematički obogaćivanja postojećih IFC modela i pravljenja novih itd. Ono na šta nas dalje navodi ovaj rad jeste da primenimo neku od ovih metoda na probleme koji se javljaju u praksi, što će biti olakšano uz BIM modele, koji su dovoljno bogati izvori svih potrebnih informacija.

Tabela 1. Pregled autora sa problemima i načinom rešavanja

AUTOR	PROBLEM	ALAT ZA REŠAVANJE PROBLEMA
(Chen, 2015)	Mere smanjenja emisije ugljenika u izgradnji	Fuzzy logika
(2017, JUSZCZYK)	Analiza makro troškova	Veštačke neuronske mreže
(2017, Alshibani)	Predviđanje troškova energije	Veštačke neuronske mreže
(Kolar, 2018)	Detekcija ograda na gradilištu	Veštačke neuronske mreže
(2018, Lomio)	Prepoznavanje tipa zgrade	Veštačke neuronske mreže
(2018, Quichen)	Izrada BIM modela postojećih zgrada	Veštačke neuronske mreže i fuzzy logika
(2017, JUSZCZYK)	Analiza makro troškova	Veštačke neuronske mreže
(2018, Jesus)	Prepoznavanje i selekcija prostorija prostorija u stanu	Mašinsko učenje
(2018, Geyer)	Poboljšanje energetske efikasnosti	Veštačke neuronske mreže

Tabela 1. Pregled autora sa problemima i načinom rešavanja - nastavak

(2017, Bassier)	Prepoznavanje elemenata konstrukcije	Metoda potpornih vektora
(2019, Bonsang)	Klasifikacija elemenata u IFC klase	Metoda potpornih vektora
(Bloch, 2018)	Sematičko obogaćivanje elemenata za BIM modele	Mašinsko učenje
(2018, Konstantinidis)	Projektovanje objekata otpornih na zemljotres	Mašinsko učenje

4. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj pregledni rad je sumirano na koji su to način autori primenili veštačku inteligenciju kod problema kasifikacija prostorija/elemenata/tipova objekta, prepoznavanja elemenata, procene troškova, projektovanja konstrukcija itd. Dokazano je da ova alatka uspešno rešava navedene probleme i da algoritmi pružaju zadovoljavajuće tačnosti. Uloga BIM tehnologije se pokazala kao značajn izvor informacija, pomoću koje su pravljene baze podataka, koje su uslov za razvijanje algoritama veštačke inteligencije. Kombinovanjem ova dva alata moguće je za razne navedene probleme uštedeti vreme, novac i uopšte pronaći rešenje onda kada je to teško. Ponekad je samo subjektivan pogled inženjera, problem prilikom donošenja neke odluke, a tada mašina može biti od velike pomoći, jer je objektivna. Vreme utrošeno na ručne iteracije, kategorizacije ili klasifikacije se daleko smanjuje kada se prepusti utreniranim algoritmima. Sagledavajući ove radove daje se ideja za buduću primenu ovih alata u kombinaciji.

5. ZAHVALNOST

Istraživanje u ovom radu je deo tehnološkog projekta TR 36017 finansiranog od Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

[1] "Fazi sistemi kao podrška odlučivanja", *Fakultetet organizacionih nauka, Beograd* (2009) http://odlucivanje.fon.bg.ac.rs/wp-content/uploads/skripta-fuzzy.pdf, maj 2019

[2] Alshibania A., Alshamraniba O. S., "ANN/BIM-based model for predicting the energy cost of residential buildings in Saudi Arabia", *Journal of Taibah University for Science 11,* 1317–1329 str. (2017)

[3] Bassier M., "AUTOMATED CLASSIFICATION OF HERITAGE BUILDINGS FOR AS-BUILT BIM USING MACHINE LEARNING TECHNIQUES", *26th International CIPA Symposium (*2017)

[4] Bassier M., "Machine Learning for Scan-to-BIM", *Department of Civil Engineering, KU Leuven Belgium* (2017) https://www.linkedin.com/pulse/machine-learning-scan-to-bim-maarten-bassier, maj 2019

[5] Bloch T., Sacks R., "Comparing machine learning and rule-based inferencing for semantic enrichment of BIM models", *Automation in Construction 91,* 256-272 str. (2018)

[6] Chena L., Pana W., "A BIM-integrated Fuzzy Multi-criteria Decision Making Model for Selecting Low-carbon Building Measures", Procedia engineering 118, 606 – 613 str. (2015)

[7] Geyer P., Singh M. M. , Singaravel S. "Component-Based Machine Learning for Energy Performance Prediction by MultiLOD Models in the Early Phases of Building Design", *Advanced Computing Strategies for Engineering*, 516-534 str. (2018)

[8] Jesus M., "Building Information Modeling (BIM): Machine Learning for the Construction Industry", bigml (2018) https://blog.bigml.com/2018/08/07/building-information-modeling-bim-machine-learning-for-the-construction-industry/, maj 2019

[9] Juszczyk M., "Studies on the ANN implementation in the macro BIM cost analyzes", *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences,* 183-192 str. (2017)

[10] Kolar Z., Chen H., Luo X., "Transfer learning and deep convolutional neural networks for safety guardrail detection in 2D images", *Automation in Construction 89,* 58–70 str. (2018)

[11] Konstantinidis A. "BIM AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF EARTHQAKE RESISTANT BUILDINGS", *ResearchGate* (2018)

[12] Koo B., La S., Cho N., Yu Y."Using support vector machines to classify building elements for checking the semantic integrity of building information models" *Automation in Construction 98,* 183–194 str. (2019)

[13] Lomio F. , Farinha R., Laasonen M., Huttunen H., "Classification of Building Information Model (BIM) Structures with Deep Learning" *Computer Vision and Pattern Recognition* (2018)

[14] M. JUSZCZYK, "On the Neural Networks Applications in BIM-Based Macro Level Cost Analyzes in Construction Projects", *International Conference on Economics and Management Engineering,* 24-31 str. (2017)

[15] Mašinsko Učenje, http://ri4es.etf.rs/materijali/predavanja/IS_P11_MasinskoUcenje.pdf, maj 2019

[16] McArthura J.J., Shahbazib N., Fokb R., Raghubara C., Bortoluzzia B., An A. "Machine learning and BIM visualization for maintenance issue classification and enhanced data collection" *Advanced Engineering Informatics 38,* 101–112 str. (2018)

[17] Peško I., Doktorska disertacija "Model za procenu troškova i vremena izgradnje gradskih saobraćajnica", *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad* (2013)

[18] Qiuchen Lu, Lee S., Chen L., "Image-driven fuzzy-based system to construct as-is IFC BIM objects" *Automation in Construction 92,* 68–87 str. (2018)

OR APPLICATIONS IN MILITARY DEFENCE

PRIMENE OI U ODBRANI

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

KVALITATIVNO KOMPARATIVNA ANALIZA – MOGUĆA PRIMENA VIŠE VREDNOSNOG MODELA U STRATEŠKIM PROCENAMA

QUALITY COMPARATIVE ANALYSES – POSSIBLE APPLICATION OF MULTI VALUE MODEL IN STRATEGIC ASSESMENTS

MIROSLAV MITROVIĆ[1]

[1] Institut za strategijska istraživanja, Univerzitet odbrane, Beograd, mitrovicmm@gmail.com

Rezime: *Kvalitativno komparativna analiza je metoda koja nalazi primenu u studijama društvenih nauka, pretežno kod zapadnih autora. Radovi zasnovani na ovoj metodi doprinose objektivizaciji rezultata u velikom broju društvenih nauka i disciplina. U radu je prikazana mogućnost korišćenja metode više vrednosne kvalitativno komparativne analize (Multi-Value Quality Comparative Analyses - mvQCA) u objektivizaciji rezultata analiza društvenih fenomena i pojava. Pored predstavljanja primenjenih modela, izvršeno je modelovanje primene navedene metode u slučaju uporedne analize odbrambenih sposobnosti država. Rad doprinosi razumevanju mvQCA i potencijala njene upotrebe u okviru strateških analiza i procena.*

Ključne reči: *Kvalitativno komparativna analiza, više vrednosni model, odbrambena moć, strategijske analize, strategijske procene.*

Abstract: *Qualitative comparative analysis is a method used in social science studies, predominantly by Western authors. Papers based on this method contribute to the objectification of results in a numerous of social sciences and disciplines. The paper presents the possibility of using the Multi-Value Quality Comparative Analysis (mvQCA) method in objectifying the results of analyzes of social phenomena. In addition to the presentation models, which are applied, it is presented a modeling of mvQCA method, in case of the comparative analysis of the defense abilities of the state. The work contributes to the understanding mvQCA and its potential use in the context of the strategic analysis and assessment.*

Keywords: *Quality Comparative Analyses (QCA), Multi-Value Quality Comparative Analyses (mvQCA), defence power, strategic analyses, strategic assessments.*

1. UVOD

Metoda koja se koristi u kvalitativno komparativnim analizama (Qualitative comparative analysis - QCA) predstavlja istovremeni istraživački pristup i tehniku analizu baze podataka. Može se reći da je ona relativno nova, ali svakako predstavlja veoma aktuelan pristup kojim se u okviru društvenih nauka mogu kombinovati i unaprediti rezultati ranijih kvantitativnih i kvalitativnih analitičkih metoda. Metoda je predstavljena još 1984. godine (Ragin *et al*. 1984) ali je snažniju primenu doživela tek u prvoj dekadi 21. veka, kroz obrazložene teoretske rasprave i primere kojim se pojašnjava primena modela (Ragin 2009). Do sada je ova metoda našla široku primenu u mnogim granama društvenih nauka, kao što su sociologija, političke nauke i menadžment, kroz radove, uglavnom autora sa Zapada.

2. KVALITATIVNO KOMPARATIVNA METODA I VIŠE VREDNOSNA KVALITATIVNO KOMPARATIVNA ANALIZA

Cilj kvalitativno komparativne analize je da što sveobuhvatnije objasni sve posmatrane slučajeve sa stanovišta definišućih faktora, uz uvažavanje relacija njihove kompleksne uslovljenosti. Upravo u navedenom možemo prepoznati prednost QCA nad drugim metodama koje su dominantno zasnovane na varijablama koje se posmatraju u mrežnoj, ravnoj dimenziji poređenja velikog broja podataka.

U načelu, primena QCA se može naći u različitim društvenim naukama i disciplinama. U oblasti odbrane i bezbednosti mogu se naći radovi u kojima je QCA primenjena u okvirim analiza uslovljenosti uskraćenosti resursa i vođenja oružanih sukobima, (Bretthauer 2015), međuzavisnosti politike i dobiti od učešća države u multilateralnim intervencionističkim operacijama (Haesebrouck 2017) ili o logici angažovanja UN u operacijama nametanja mira (Binder 2015). U ambijentu u kome dominira postmodernistički pristup

oružanim konfliktima (Vračar 2017), ističe se značaj rezultata dobijenih primenom QCA na pitanje nekonvencionalnih, hibridnih formi ugrožavanja nacionalne bezbednosti (Mitrović 2018).

Sažeto, QCA teži da objasni korelaciju određenih fenomena koji se ostvaruju u oblasti analiza društvenih nauka kroz procese refleksije rezultata i posledica koje su njima uzrokovane u okviru hipotetički postavljenog kompleksa uzročno-posledičnog kontinuuma. Više vrednosna kvalitativno komparativna analiza (Multi-Value Quality Comparative Analyses - mvQCA) podrazumeva korišćenje varijabli koje su vrednosno gradirane, sa težištem na očuvanju vrednosti informacija u komparaciji velikog broja kontradiktornih vrednosti koje se razmatraju (Cronquist and Berg-Schlosser 2009). Više vrednosna kvalitativno komparativna analiza, omogućava istovremenu uporednu analizi više subjekta prema identičnim kriterijumima i na osnovu istih varijabli. Varijable se generišu iz relevantnih baza podataka koje se identifikuju sa objektom i odnose se na analizirani fenomen. U osnovi, mvQCA ima za cilj da sistemski upoređuje više različitih slučajeva sa jakim fokusom na njihove pojedinačne karakteristike (Ragin *et al*. 1984; Rihoux and Ragin 2009).

Pojednostavljeno, mvQCA se zasniva na uporednoj analizi složenog seta varijabli koje se odnose na posmatrane subjekte, a kreirane su na osnovu usvojenih teoretskih postulata. Njome postižemo objektivizaciju komparacije određenih aspekata, njihovo vrednosno pozicioniranje, međusobne relacije i rangiranje. U principu, više vrednosna kvalitativno komparativna analiza se može primeniti u objektivizaciji analize odnosa više subjekata prema istim kriterijumima.

3. MODELOVANJE VIŠEVREDNOSNE KVALITATIVNO KOMPARATIVNE METODE

Modelovanje seta mvQCA podrazumeva određene korake. Kao polazna osnova se pretpostavlja definisanje istraživačkog pitanja kojim se problematizuje određeni društveni fenomen. Navedeni problem se potom unosi u logiku mvQCA, koja pretpostavlja sledeće faze razrade:

- 1. Faza – Formulisanje teoretske baze za definisanje varijabli koje opisuju posmatrani fenomen.
- 2. Faza – Izbor relevantnih baza podataka koje se odnose na fenomen.
- 3. Faza - Kreiranje tabela i njihovo unošenje u aplikaciju.
- 4. Faza – Kreiranje kriterijuma unutar baze u okviru aplikacije u čijem okviru se sprovodi analiza.
- 5. Faza - Očitavanje i tumačenje rezultata.

3.1. Primer primene mvQCA na strateškoj proceni odbrambene moći države

U slučaju koji posmatramo, cilj je opšte rangiranja snage države u oblasti odbrane i bezbednosti. Radi kvalitetnijeg rezultata, kao dodatne kriterijume možemo odrediti, na primer, usmerenost na određeni region, zatim države sa približnim brojem stanovnika, geopolitičkim karakteristikama, zajedničkom korelacijom prema određenim bezbednosnim rizicima itd. Potrebno je isključiti kriterijumske varijable koje mogu dovesti do automatske dihotomije i isključivanja od dalje komparacije, kao što su na primer, pripadnost nekoj organizaciji ili savezu ili pitanjima međunarodnog položaja itd., posebno u slučaju kada takve razlike postoje.

Polazni problemski zadatak u navedenom slučaju je: uporediti odbrambenu moć pet država (država A,B,C,D i E) koje se nalaze u istom geopolitičkom prostoru.

1. Faza - U konkretnom slučaju polazimo od teorije moći države i indikatora kojim mogu da ukazuju na stepen njene snage. Uvažavajući da su aktuelni sukobi odraz primene postmodernističkog koncepta sukoba koji se kolokvijalno naziva hibridni rat, uzimaju se aspekti i ''tvrde'' i ''meke'' moći. Teoretska osnova se zasniva na analizama moći države sa stanovišta aktuelnih međunarodnih odnosa (Мишовић, Ковач 2006:30-53) i konteksta moći (Baldwin 1979). Na ovaj način definišemo potrebne pokazatelje, kao što su materijalni (oružane snage, populacija sa stanovišta starosne strukture, obrazovanja i sposobnosti, ekonomije, nauke i tehnologije i stepenom njihovog razvoja, geografskim položajem, prirodnim resursima, itd.) i nematerijalni (kvalitet spoljne politike, moralna snaga, i nacionalno jedinstvo stanovništva, politički talenat i karakteristike lidera države, itd.). Kao dodatne pokazatelje možemo uvažiti i mesto političkih subjekata u instituciji države, proizvoda i znanja koje imaju potencijal da se upotrebe kao oružje, sposobnosti kolektivne reakcije u formi delovanja oružanih snaga, njihova disciplinovanost i kvalitet, instrumenti civilnog upravljanja državom u miru i ratu i solidarnost stanovništva (Aron 2003). Nadalje, uticajem globalizacije, dominantna vizija moći u međunarodnim odnosima je zasnovana na indikatorima koji opisuju teritoriju i populaciju, ekonomiju i ekonomski sistem, nivo spoljne i unutrašnje integrisanosti države i njene političke moći (Гавранов, Стојковић 1972). Pored toga, savremeni sukobi imaju dominantne hibridne karakteristike koje ih svrstavaju u sukobe postmodernog koncepta, te se svakako moraju se uvažiti pokazatelji tzv. ''pametne'' i ''meke''moći (Nay 2011). Na ovaj način, dolazimo do dva seta činioca:

"Tvrdi" činioci moći: Politički činioci (organizaciona stabilnost države, vladavina prava i političke slobode, korupcija, suverenitet itd.); Ekonomski činioci (bruto nacionalni dohodak, strane direktne investicije, spoljni dug, javni dug, ekonomki rast, nezaposlenost, životni standard, itd.); Energetski činioci (stepen energetske zavisnosti, raspoloživi energetski resursi, tranzitni kapaciteti i potencijali, aktivne energetske rezerve); Demografski činioci (broj stanovnika, starosna i rodna struktura, prirodni priraštaj, migracije); Bezbednosni činioci (budžet, strateška dokumenta, upravljanje i kontrola, naoružanje).

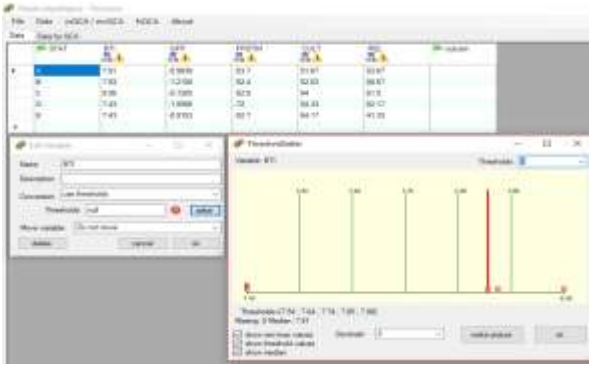
"Meki" činioci moći: Kulturni činioci; Obrazovni činioci; Istorijski činioci; Nauka i tehnološki razvoj; Unutrašnja integrisanost i kohezija (urbano/ruralno, odnos prema EU, NATO, RF, bogati/siromašni, religijski aspekti, itd.).

2. Faza - Na osnovu opisa varijabli, identifikujemo relevantne baze podataka. U slučaju primene više vrednosne QCA, neophodno je da svi objekti, (države), budu zastupljeni u bazama podataka, odnosno da svaka država bude kvantifikovana prema identičnim kriterijumima. U zavisnosti od problemskog pitanja, teorijskog okvira i sadržaja varijable moguće je naći posebne baze, pri čemu je poželjno proučiti metodologiju na osnovu koje su formirane. Izbor baza podataka koje opisuju zadate činioce je izvršen na osnovu setova varijabli određenih baza uz poštovanje uslova da su sve posmatrane države zastupljene u ponuđenim bazama, te da su svi pokazatelji u jednoj bazi obrađeni prema identičnoj metodologiji. Definisane su varijable: BTI, GFP, FRSTIN, CULT i REL.[1] Sadržaj varijabli je prikazan u tabeli 1.

Tabela 1: Prikaz varijable i opis sadržaja generičkih pokazatelja vrednosti.

Varijabla	Sadržaj, pokazatelj
BTI	državnost, politička uključenost, vladavina prava, stabilnost institucija, politička i socijalna integrisanost, socioekonomski razvoj, organizacija tržišta i konkurentnost, monetarni sistem, privatna svojina, ekonomske k-ke, održivost, nadzor i kontrola, resursi, međunarodna saradnja.
GFP	Ljudski resursi, vazduhoplovne snage, kopnene snage, pomorske snage, ekonomski aspekti odbrane, logistički resursi, prirodni resursi, geografski aspekti
FRSTIN	Bezbednosne službe, elite, grupe nezadovoljnika, ekonomija, ekonomska nejednakost, ekonomska emigracija, javna administracija, legitimitet vlasti, ljudska prava, demografija, izbeglice i interno raseljena čica, spoljna intervencija
CULT	Odnos prema autoritetu, individualizam, relacije, izbegavanje neizvesnosti, dugoročnost orijentacija, zadovoljstvo
REL	Religija i nacionalni identitet, odnos stanovništva prema religiji, pripadnost naciji, istorija i identitet, nacionalni identitet i pripadnost dominantnoj religiji, kohezija prema spoljnim kulturnim i vrednosnim uticajima, uticaj na koheziju zadovoljstva stanjem u državi

3. Faza – Koristimo aplikaciju koja je razvijena za potrebe QCA, Tosmana 1.54.[2] U okviru aplikacionog panela, potrebno je definisati odnose uslovljenosti, isključivosti a pri popuni tabele, potrebno je obratiti pažnju na kriterijum vrednosnih relacija i kriterijumskih pragova. U vezi sa određivanjem kriterijumskog odnosu vrednosti u okviru ne sistematizovanih baza (prioritet pokazatelja), koje se u konkretnom slučaju odnosi na varijablu REL, potrebno je izvršiti rangiranje prema prioritetu uticaja, što se može sprovesti primenom AHP metode, u konkretnom slučaju kroz program *Expert Choice 2000*, u okviru dodatnog istraživanja na reprezentativnom uzorku ispitanika.



[1] Prikaz izvora navedenih baza prema navedenim skraćenicama nalazi se u delu rada koji prikazuje korišćenu literaturu.
[2] Aplikacija TOSMANA 1.54 je dostupna na: http://www.tosmana.net.

Slika 1: Izgled aplikacionog obrasca Tosmana 1.54 po unošenju podataka i izgled kriterijumskih "prozora" za podešavanje vrednosnih pragova (primer za BTI varijablu).

4. Faza – vrši se unos podataka u aplikaciju i podešavanje vrednosnih kriterijumskih pragova. U konkretnom slučaju, primenjuje se podešavanje na pet vrednosnih pragova (*treshlods setings*) jer se upoređuju i rangiraju pet država. Pokretanjem aplikacije na komandu mvQCA, otvara se prozor kao na slici 2, u kojem se unose varijable i kriterijumi za upoređivanje.

Slika 2: Izgled panela za selekciju kategorija varijabli za upoređivanje i podešavanje kriterijumskih uslova.

Faza 5. - Pokretanjem aplikacije (dugme *"full analysis"*), dobijaju se izrazi koji oslikavaju korelacije i odnose subjekata prema zadatim kriterijumima odnosa varijabli koje opisuju navedeni problem. Rezultati se dobijaju u jednom od formata i predstavljaju izraz korelacije varijabli prema navedenim kriterijumima, prema kojima identifikujemo rang (vrednost) opisivanog slučaja (države).

BTI{4}*GFP{4}*FRSTIN{5}*CULT{0}*REL{3}+A (1)

BTI{4}*GFP{2}*FRSTIN{5}*CULT{0}*REL{4}+B (2)

BTI{5}*GFP{5}*FRSTIN{5}*CULT{1}*REL{5}+C (3)

BTI{0}*GFP{0}*FRSTIN{0}*CULT{1}*REL{5}+D (4)

BTI{0}*GFP{4}*FRSTIN{5}*CULT{5}*REL{0}+E (5)

Rangiranje država prema snazi na osnovu postavljenih kriterijuma u navedenom slučaju je sledeće: najslabija je država D, a najsnažnija država C.

Tabela 2: Rang država prema kriterijumima snage u oblasti odbrane.

STAT	BTI	GFP	FRSTIN	CULT	REL	RANG
D	0	0	0	1	5	5
E	0	4	5	5	0	4
B	4	2	5	0	4	3
A	4	4	5	0	3	2
C	5	5	5	1	5	1

Tumačenjem izraza od (1) do (5) vrši se analiza pokazatelja stanja moći države prema sadržajima varijabli BTI, GFP, FRSTIN,CULT i REL, odnosno konkretizacija odnosa snage prema svakom od generičkih faktora varijabli (prikazanih u tabeli 1). U navedenom slučaju, primarna (sažeta) analiza ukazuje da država D, prema opšte usvojenim kriterijumima moći, ima snažno izraženu koheziju i odnos prema nacionalnom identitetu, što predstavlja delimično izraženu meku moć, dok ostali pokazatelji ukazuju slabosti u svim elementima tvrde moći, ali i opštem odnosu strateške kulture prema odbrani i bezbednosti. Dalja analiza koja podrazumeva korišćenje faziranje dobijenih pokazatelja, dovodi do detaljnog prikaza kompleksnog stanja odbrambene moći države.

5. ZAKLJUČAK

Primena mvQCA na društvene nauke pa i u oblasti odbrane i bezbednosti omogućava pored uporedne objektivizacije rangiranja, ostvarivanje pojedinačnih analiza u vezi sa kritičnim vrednostima, koje iskazuju slabosti konkretne države. Analiza svake iskazane stavke, praktično ukazuje na kompletan set kritičnih oblasti i slabosti ili snažnih segmenata države i društva koji predstavljaju okvir snage države i njenu moć prema bezbednosnim izazovima, rizicima i pretnjama. Pristup omogućava objektivizaciju pokazatelja, odnosno rangiranje država prema identičnim kriterijuma, zasnovanih na generičkim varijablama, uz poštovanje neophodnih i potrebnih uslova: postojanje pokazatelja za sve države i postojanje indikatora koji iskazuju teorijom definisane okvire. Na ovaj način je moguće pružiti konkretan doprinos prilikom izrade predloga praktičnih politika, strateških, operativnih i drugih planskih dokumenata, kao i u izradi analiza i studija.

LITERATURA

[1] Aron, R. (2003). Peace and War. New Brunswick (USA) and London (UK): Transaction publisher.

[2] Baldwin, D. (1979). Power Analyses and World Politics: New Trends versus Old Tendencies. *World Politics* 31, No 2: 161-194.

[3] Binder, M., (2015). Paths to intervention: What explains the UN's selective response to humanitarian crises? Journal of Peace Research, 52 (6), 712–726.

[4] Bretthauer, J. M., (2015). Conditions for Peace and Conflict. Journal of Conflict Resolution, 59(4), 593–616.

[5] BTI - Bertelsmann Transformation Index. [online] Available from:http://www.bti-project.org

[6] Cronquist, L. & Berg-Schlosser, D., (2009). Multi-Values QCA (mvQCA). In B. Rihoux and C. Ragin, (eds.) Configurational Comparative Methods: Qualitative Comparative Analysis (QCA) and Related Techniques. Thousand Oaks:SAGE Publications, 69–85.

[7] CULT - Hofstede Insights. https://www.hofstede-insights.com

[8] FRSTIN - Fragile state index. https://fragilestatesindex.org

[9] GFP - Global Fire Power. https://www.globalfirepower.com

[10] Haesebrouck, T. (2017). NATO Burden Sharing in Libya. Journal of Conflict Resolution, 61 (10), 2235–2261.

[11] Mitrović, M. (2018). The Balkans and non-military security threats – Quality comparative analyses of resilience capabilities regarding hybrid threats. Security and Defence Quarterly 22(5), 20-45.

[12] Nay, J. (2011). The Future of Power. New York: Public Affairs.

[13] Ragin, C. (2009). Qualitative Comparative Analyses Using Fuzzy Sets (fsQCA). In B. Rihoux and C. Ragin, (eds.) Configurational Comparative Methods: Qualitative Comparative Analysis (QCA) and Related Techniques. SAGE Publications, pp. 87–121.

[14] Ragin, C., Mayer, S. & Drass.K. A, (1984). Assessing discrimination: A Boolean approach. American Sociological Review. [online] Available from: https://www.jstor.org/stable/2095572.

[15] REL - Pew Research (2017). Religious Belief and National Belonging in Central and Eastern Europe". Available from: https://www.pewresearch.org

[16] Rihoux, B. & Ragin, C., (2009). Configurational Comparative Methods: Qualitative Comparative Analysis (QCA) and Related Techniques. London: Sage.

[17] Vračar, M. (2017). Razmatranje adekvatnog teorijsko-epistemološkog pristupa u istraživanju fenomena hibridnog ratovanja. Vojno delo 7/2017, 292-307.

[18] Гавранов, В. и Стојковић, М. (1972). Теоријско схватање силе: сила у међународним односима. Београд: Савремена администрација.

[19] Мишовић, С. и Ковач, М. (2006). Системи одбране. Београд: Факултет цивилне одбране.

[14] Ragin, C., Mayer, S. & Drass.K. A, (1984). Assessing discrimination: A Boolean approach. American Sociological Review. [online] Available from: https://www.jstor.org/stable/2095572.

[15] REL - Pew Research (2017). Religious Belief and National Belonging in Central and Eastern Europe". Available from: https://www.pewresearch.org

[16] Rihoux, B. & Ragin, C., (2009). Configurational Comparative Methods: Qualitative Comparative Analysis (QCA) and Related Techniques. London: Sage.

[17] Vračar, M. (2017). Razmatranje adekvatnog teorijsko-epistemološkog pristupa u istraživanju fenomena hibridnog ratovanja. Vojno delo 7/2017, 292-307.

[18] Гавранов, В. и Стојковић, М. (1972). Теоријско схватање силе: сила у међународним односима. Београд: Савремена администрација.

[19] Мишовић, С. и Ковач, М. (2006). Системи одбране. Београд: Факултет цивилне одбране.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.
UNIVERZITET U BEOGRADU FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

SIMULATOR ROJENJA I SINHRONIZOVANOG RAKETNOG UDARA PROTIV AKTIVNE PRETNJE[1]

SIMULATOR OF SWARMING AND SYNCHRONIZED MISSILE IMPACT COUNTER AN ACTIVE THREAT

RADOMIR JANKOVIĆ[1], MOMČILO MILINOVIĆ[2]

[1] Računarski fakultet, Beograd, rjankovic@raf.rs
[2] Mašinski fakultet, Beograd, mmilinovic@ mas.bg.ac.rs

Rezime: *Predstavlja se realizovani simulator više samohodnih raketnih lansera koji u odbrani teritorije protiv aktivne pretnje primenjuju taktiku rojenja kombinovanu sa sinhronizovanim raktenim udarom. Dat je opis sistema, algoritam simulatora i analiza rezultata eksperimenata izvedenih na dva primera upotrebe.*
Ključne reči: *Simulacija, taktika rojenja, samohodni lanser, sinhronizovani raketni udar, aktivna pretnja.*

Abstract: *A realized discrete events simulator of several self-propelled missile launchers which apply swarming tactics combined with synchronized missile impact in defending territory against an active threat has been presented. The system description has been given, as well as the simulator algorithm and the results analysis of experiments executed in two examples of the simulator use.*
Keywords: *Simulation, swarming tactics, self-propelled launcher, synchronized missile impact, active threat.*

1. UVOD

Za vojske manjih zemalja, jedna od najboljih investicija mogla bi da bude adaptacija tehnički intenzivnih i skupih delova oružanih snaga, posebno oklopnih i mehanizovanih jedinica (OiMJ) i artiljerijsko-raketnih jedinica (ARJ), radi primene novih taktičkih postupaka koji bi vodili ka njihovom ukupnom boljem učinku u borbenim dejstvima. To je i motivacija istraživanja taktike rojenja (engl. *Swarming*, Arquilla1999, Edwards 2005) OiMJ i ARJ na Računarskom fakultetu Univerziteta Union u Beogradu i Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. U istraživanjima se koristi metoda simulacije diskretnih dogadjaja (Janković i dr., 2011). Do sada realizovani simulatori (Janković 2011, Janković 2012) odnosili su se na primenu rojenja kao ofanzivne odbrambene taktike OiMJ do nivoa oklopnog bataljona protiv pasivne ili aktivne pretnje.

U (Janković i Milinović 2018), u istraživanja se uvode ARJ - lanseri raketa koji protiv aktivne pretnje (AP) brane ćeliju teritorije (CT), primenjujući taktiku rojenja kombinovanu sa sinhronizovanim raketnim udarom.

Cilj ovog rada je da se predstavi realizovani simulator kroz opis simuliranog sistema, algoritam, osvrt na realizaciju programa i kratku analizu rezultata eksperimenata za 2 karakteristična primera njegove upotrebe.

2. SIMULATOR ROJENJA I SINHRONIZOVANOG RAKETNOG UDARA

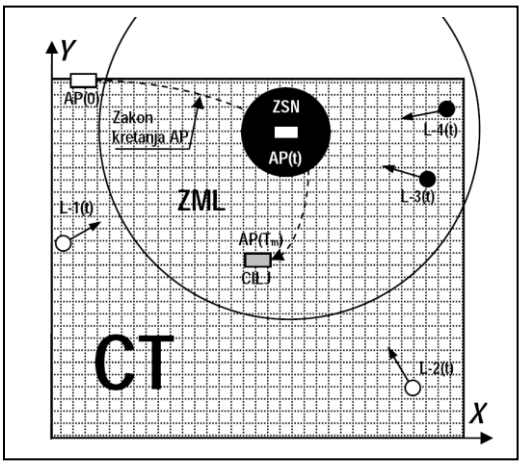
2.1. Simulirani sistem

Simulirani sistem (**Slika 1**) obuhvata: ćeliju teritorije (CT) koju lanseri brane od pretnje, grupu samohodnih lansera raketa zemlja-zemlja (L-*i*), komandno-informacioni sistem (KIS) i aktivnu pretnju (AP).

Ćelija teritorije (CT), na kojoj se odvijaju borbena dejstva predstavlja pravougaoni 2-dimenzionalni prostor (x,y), okarakterisan maksimalnim vrednostima pravouglih koordinata i težištem čije dostizanje predstavlja planirani cilj aktivne pretnje (CILJ).

Samohodni lanseri L-*i* na počtku simulacije imaju slučajan raspored na celoj površini CT. Oni treba da spreče AP da stigne do CILJA, što postižu višestrukim pogadjanjem AP raketama koje lansiraju ka AP, prema informacijama o njenom trenutnom položaju koje im dostavlja KIS. Lanseri primenjuju ofanzivnu odbrambenu taktiku u dve faze: **rojenje**, u kojoj se lanseri usmeravaju ka AP, da bi ušli u zonu mogućeg lansiranja (ZML, krug oko AP poluprečnika jednakog dometu rakete R_{ml}), tako da rakete stignu do AP pre nego što ona stigne do svog CILJA i **sinhronizovani raketni udar**, gde se rakete, sa svih lansera sa kojih je to moguće, lansiraju u redosledu tako da u istom trenutku stignu na ivicu njihove zone samonavodjenja (ZSN) na AP. Lanser ne može da lansira raketu iz pokreta, nego staje i priprema se za lansiranje u vremenu t_{prl}. Rakete mogu da se lansiraju sa istog lansera u nizu, u razmaku vremena t_{ul}.

[1] Ovaj rad je realizovan u okviru projekta III47029 Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije



Slika 1: Simulirani sistem

Komandno-informacioni sistem (KIS) izveštava lansere o trenutnom položaju AP, u intervalima △t:

$$\Delta t = \frac{P_{KIS}}{V_{AP\max}} \tag{1}$$

gde je P_{KIS} [m] preciznost KIS (zadato pomeranje AP u odnosu na prethodnu poziciju koje se toleriše kao da kretanja AP nije ni bilo), a V_{APmax} [m/s] maksimalna brzina kretanja AP.

Aktivna pretnja (AP) na poćetku simulacije ima slučajni položaj, na bilo kojoj od stranica CT, a zatim se svojom najvećom brzinom i prema zadatom zakonu kretanja, usmerava ka svom CILJU u težištu CT. AP se brani od samohodnih lansera, tako što pokušava da uništi one lansirane rakete koje se u zoni njihovog samonavodjenja (ZSN) naĆu u dometu njenih sopstvenih oruĆa za protivraketnu odbranu (PRO). Jedno orudje za PRO može da se bavi sa 1 raketom istovremeno. Imajući u vidu dimenzije ZSN i brzine kretanja raketa u režimu samonavodjenja, od presudnog je značaja da raketni udar protiv AP bude **sinhronizovan i** rakete lansiraju po vremenski uskladjenom redosledu, tako da se sve one istovremeno pojave u ZSN. Time se izbegava mogućnost da AP uništava nadolazeće rakete jednu po jednu.

2.2 Algoritam simulatora

Algoritam simulatora prikazan je na **Slici 2**. U glavnoj petlji programa, za svaki lanser se odredjuje:

- Da li je moguće lansiranje, tako da raketa stigne do AP pre nego što AP stigne do CILJA;
- Za svaku od takvih raketa brojaĉ mogućih pogodaka (BMP) se povećava za 1.

Ako je trenutni sadržaj BMP veći ili jednak od zadatog kriterijuma BMP_k, donosi se odluka o pripremi svih takvih lansera i raketa za dejstvo protiv AP. Za svaki lanser (i) i svaku raketu koju može da lansira (j), odredjuje se vreme pristizanja rakete na ivicu ZSN, $T_{pZSN}(i,j)$, kao i vreme pristizanja na ivicu ZSN sledeće rakete u nizu koju može da lansira isti lanser, $T_{pZSN}(i,(j+1))$:

$$T_{pZSN}(i,j) = t + t_{\text{prl}} + \frac{D_{iAP} - R_{sn}}{V_{Mmax}} \tag{2}$$

$$T_{pZSN}(i,(j+1)) = t + t_{\text{prl}} + \frac{D_{iAP} - R_{sn}}{V_{Mmax}} + t_{\text{ul}} \tag{3}$$

gde su: t posmatrani trenutak simuliranog vremena, t_{prl} vreme pripreme za lansiranje, t_{ul} vreme izmedju 2 uzastopna lansiranja sa istog lansera, D_{iAP} rastojanje i-tog lansera od AP, R_{sn} rastojanje od AP kad poĉinje samonavodjenje i V_{Mmax} maksimalna brzina rakete.

Sva ta vremena pristizanja raketa na ivicu ZSN sortiraju se po opadajućem redosledu, što kao rezultat daje opadajući niz od BMP takvih vremena:

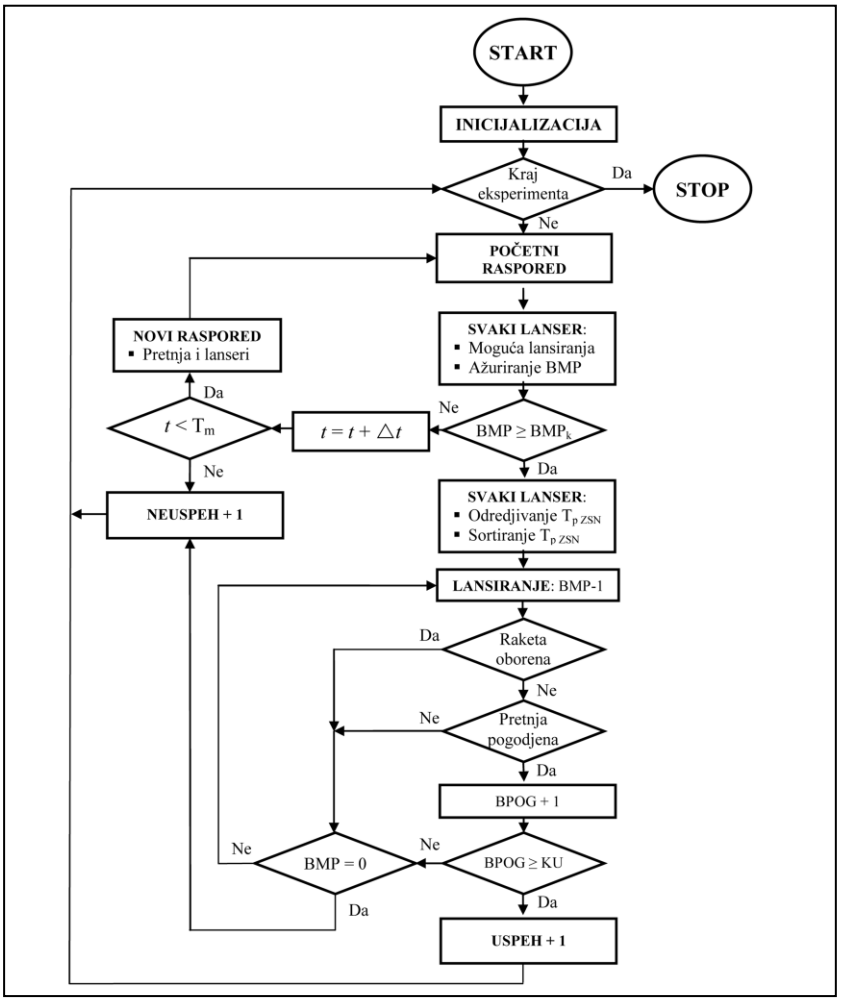
$$T_{pZSN}(1) \geq T_{pZSN}(2) \geq \cdots \geq T_{pZSN}(\text{BMP}) \tag{4}$$

gde je BMP sadržaj brojaĉa mogućih pogodaka u trenutku donošenja odluke o lansiranju.

Uz svako od vremena pristizanja rakete u ZSN iz niza (4), ĉuvaju se i podaci o rednom broju lansera (i) i rednom broju rakete tog lansera (j).

Za **sinhronizovani raketni udar**, trenutak lansiranja prve rakete u nizu je $T_l(1) = t$, a za svaku narednu:

$$T_l(k) = t + T_{pZSN}(1) - T_{pZSN}(k) \tag{5}$$



Slika 2: Algoritam

KIS dostavlja lanserima podatke o redosledu lansiranja. Rakete lansirane u takvom vremenskom poretku pristižu na ivicu ZSN u približno istom trenutku, jer se prvo lansira ona raketa kojoj za to treba najviše vremena, a zatim redom sve ostale.

Za svaku lansiranu raketu, odredjuje se da li je oborena od strane sredstava za protivraketnu odbranu AP. Ako jeste, (verovatnoća p_{hpro}), brojaĉ mogućih pogodaka se smanjuje za 1 (BMP-1), a zatim se ispituje da li je nova vrednost BMP = 0. Ako jeste, taj simulacioni prolaz se završava neuspehom, a brojaĉ neuspešnih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1).

Ako raketa nije oborena (verovatnoća 1- p_{hpro}), ispituje se da li je raketa pogodila AP (verovatnoća p_{hsn}). Ako jeste, brojaĉ postignutih pogodaka se uvećava za 1 (BPOG+1), a zatim se ispituje da li je brojaĉ pogodaka BPOG ≥ KU (kriterijum uništenja AP). Ako jeste, taj simulacioni prolaz se završava uspehom, a brojaĉ uspešnih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (USPEH + 1).

Ako raketa nije pogodila AP, ispituje se da li je BMP = 0. Ako jeste, taj simulacioni prolaz se završava neuspehom, a brojaĉ neuspešnih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1).

Bilo da se simulacioni prolaz završio uspehom ili neuspehom, vrši se reinicijalizacija simulacionog prolaza koja obuhvata novi poĉetni položaj AP, novi poĉetni raspored svih lansera, vraćanje brojaĉa mogućih pogodaka (BMP) i postignutih pogodaka (BPOG) na 0, kao i vraćanje borbenih kompleta lansera (BKL) na njihovu maksimalnu vrednost. Zatim se ispituje da li je nastupio kraj eksperimenta. Ako nije, simulacija se nastavlja novim simulacionim prolazom.

Ako BMP nije veći ili jednak BMP_k, časovnik simuliranog vremena se povećava za 1 osnovni interval komandno-informacionog sistema △t, a zatim se ispituje da li je trenutna vrednost simuliranog vremena još uvek manja od vremena u kome AP stiže do svog CILJA ($t < T_m$).

Ako jeste, AP i svi lanseri zauzimaju novi raspored, u skladu sa trenutnom vrednošću simuliranog vremena: AP na osnovu svog zakona kretanja ili zadate maršrute, a lanseri se svojom najvećom brzinom usmeravaju prema poslednjem poznatom položaju AP koju im je javio KIS u prethodnom intervalu △t.

Ako je dostignuta vrednost simuliranog vremena veća ili jednaka vremenu pristizanja AP na CILJ (Tm), taj simulacioni prolaz se završava neuspehom i reinicijalizacijom, brojaĉ neuspešnih prolaza u eksperimentu se povećava za 1 (NEUSPEH+1), a simulacija se nastavlja narednim prolazom.

Primarna mera performanse u simulaciji je verovatnoća uspešne odbrane ćelije teritorije:

$$p_{\text{USPEH}} = \frac{\text{USPEH}}{\text{USPEH} + \text{NEUSPEH}} \quad (6)$$

gde su USPEH i NEUSPEH sadržaji brojaĉa simulacionih prolaza koji su se završili uspehom ili neuspehom, respektivno.

2.3 Osvrt na realizaciju i performansu simulatora

Simulator je implementiran pomoću jezika GPSS World (Minuteman Software, ref. 7) koji je odabran zbog pogodnosti za simulaciju sistema sa diskretnim dogadjajima i jednostavne dostupnosti alata na Internetu.

Program je realizovan pomoću 100 GPSS-blokova, tako da je mogla da se koristi verzija jezika za besplatno preuzimanje, namenjena visokoškolskim ustanovama.

Simulacioni eksperiment koji se sastoji od 10000 prolaza izvršava se za 21 minut i 49 sekundi na personalnom raĉunaru sa procesorom Intel Core I5.

3. ANALIZA REZULTATA EKSPERIMENATA

Karakteristike opisanih delova sistema u primerima koji se razmatraju u ovom radu, date su u **Tabeli 1,** a rezultati eksperimenata u **Tabeli 2** i na **Slikama 3** i **4**. .

Tabela 1: Karakteristike delova simuliranog sistema

Oznaka	Opis	Primer 1	Primer2
a [m]	Širina ćelije teritorije	100000	100000
b [m]	Dubina ćelije teritorije	100000	100000
P_{KIS} [m]	Preciznost KIS	100	100
NL	Broj samohodnih lansera	1-4	2-16
Poĉetni raspored samohodnih lansera po ćeliji teritorije		Slučajan	
V_{Lmax} [m/s]	Maksimalna brzina kretanja lansera	16,7	16,7
V_{Mmax} [m/s]	Maksimalna brzina leta lansirane rakete	180	180
BKL	Borbeni komplet projektila po lanseru	6	6
R_{ml} [m]	Domet rakete, poluprečnik ZML oko AP	25000	25000
R_{sn} [m]	Poluprečnik ZSN oko AP	3000	3000
t_{prl} [s]	Vreme pripreme za lansiranje	600	600
t_{ul} [s]	Vreme izmedju 2 uzastopna lansiranja sa istog lansera	5	5
p_{hsn} [%]	Verovatnoća pogadjanja AP iz ZSN	78	78
Poĉetni položaj aktivne pretnje na ivici ćelije teritorije		Slučajan	
Položaj cilja aktivne pretnje u ćeliji teritorije		U težištu ćelije teritorije	
Zakon kretanja aktivne pretnje do njenog cilja		Pravolinijsko, jednako	
V_{APmax}[m/s]	Maksimalna brzina kretanja AP	22	22
PRO	Broj orudja aktivne pretnje za protivraketnu odbranu	0/2	0/1/2/3/4/8
p_{pro} [%]	Verovatnoća uništenja rakete orudjem AP za PRO	80	80
KU	Kriterijum uništenja aktivne pretnje: potreban broj pogodaka	2	8

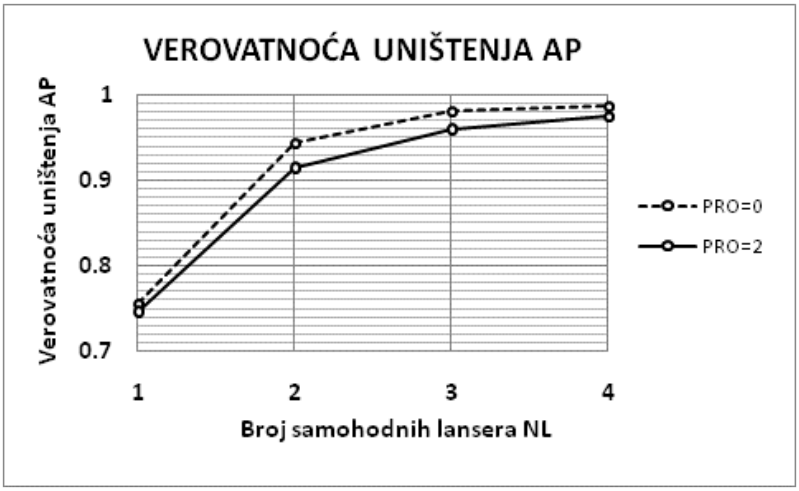
Primer 1: Manja pretnja

Aktivnu pretnju predstavljaju 2 naoružane mobilne platforme (NMP) sa ljudstvom i opremom koje imaju misiju da napadnu cilj u težištu ćelije teritorije, dimenzija 100 km x 100 km.

U eksperimentima su razmatrani slučajevi kada NMP nemaju orudja za protivraketnu odbranu od projektila lansiranih sa samohodnih lansera (PRO = 0) i kada svaka ima po jedno takvo orudje (PRO = 2).

Branilac raspolaže sa 1 do 4 samohodna lansera, svaki sa borbenim kompletom BKL= 6 raketa. Kriterijum uspešne odbrane od AP predstavlja uništenje obe platforme (KU=2), sa verovatnoćom od 90%.

U **Tabeli 1** i na **Slici 3** vidi se da 1 samohodni lanser ne može uspešno da odbrani cilj aktivne pretnje, jer su tada verovatnoće uništenja obe platforme AP 74,5% i 75,6%, respektivno za platforme AP opremljene orudjima za protivraketnu odbranu i bez njih.



Slika 3: Verovatnoća uništenja manje pretnje

U svim ostalim slučajevima, za 2, 3 i 4 lansera, branilac ima verovatnoće uništenja aktivne pretnje veće od 0,9. Može se zaključiti da je braniocu dovoljno da raspolaže sa 2 samohodna lansera raketa, bez obzira da li platforme aktivne pretnje imaju ili nemaju orudja za protivraketnu odbranu.

Tabela 2: Rezultati eksperimenata: verovatnoće uništenja aktivne pretnje

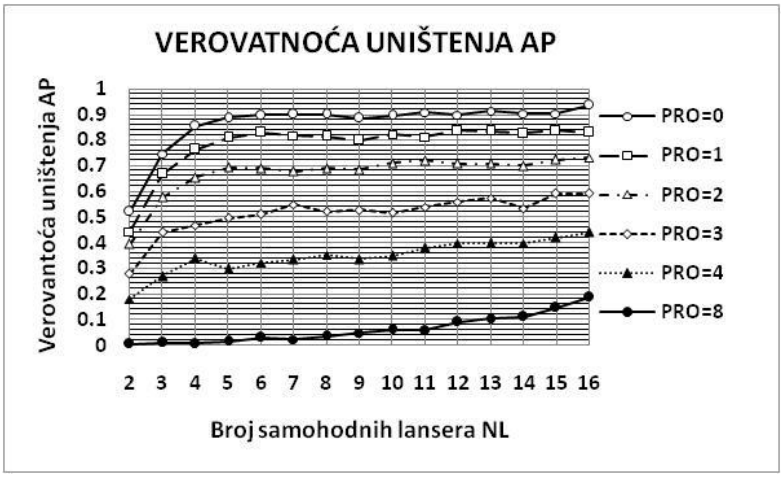
Broj lansera	Primer 1		Primer 2					
	PRO = 0	PRO = 2	PRO = 0	PRO = 1	PRO = 2	PRO = 3	PRO = 4	PRO = 8
1	0.756	0.745	-	-	-	-	-	-
2	0.944	0.914	0.521	0.444	0.395	0.278	0.180	0.006
3	0.981	0.959	0.746	0.669	0.576	0.44	0.270	0.011
4	0.988	0.976	0.854	0.763	0.654	0.468	0.339	0.007
5	-	-	0.887	0.81	0.693	0.495	0.300	0.016
6	-	-	0.897	0.83	0.69	0.511	0.322	0.031
7	-	-	0.901	0.817	0.679	0.550	0.335	0.024
8	-	-	0.901	0.815	0.690	0.520	0.353	0.035
9	-	-	0.884	0.798	0.685	0.528	0.336	0.049
10	-	-	0.896	0.822	0.710	0.516	0.349	0.061
11	-	-	0.909	0.813	0.720	0.540	0.380	0.058
12	-	-	0.899	0.836	0.709	0.559	0.397	0.092
13	-	-	0.914	0.834	0.709	0.575	0.401	0.103
14	-	-	0.904	0.826	0.700	0.535	0.398	0.113
15	-	-	0.903	0.836	0.724	0.593	0.420	0.147
16	-	-	0.937	0.829	0.731	0.592	0.441	0.187

Primer 2: Veća pretnja

Aktivnu pretnju predstavlja 8 naoružanih mobilnih platformi (NMP) sa ljudstvom i opremom koje imaju misiju da napadnu cilj u težištu ćelije teritorije, dimenzija 100 km x 100 km. U eksperimentima su razmatrani slučajevi kada platforme nemaju orudja za protivraketnu odbranu od projektila lansiranih sa samohodnih lansera i kada 1, 2, 3, 4 ili svih 8 imaju po jedno takvo orudje (PRO ∈ {0,1,2,3,4,8})

Branilac raspolaže sa 2 do 16 samohodnih lansera, svaki sa borbenim kompletom BKL = 6 raketa. Kriterijum uspešne odbrane od AP predstavlja uništenje svih 8 platformi (KU = 8), sa verovatnoćom od 90%.

U **Tabeli 1** i na **Slici 4** se vidi da se, u slučaju PRO = 0, tražena verovatnoća uspešne odbrane od 90% može postići sa 7 i više samohodnih lansera, dok uvodjenje protivraketnog naoružanja kod 1, 2, 3, 4 ili svih platformi aktivne pretnje smanjuje tu verovatnoću, tako da ona ne dostiže traženu vrednost od 90% ni u jednom od razmatranih slučajeva. Takodje se može zaključiti da posmatrane krive zavisnosti verovatnoće uništenja aktivne pretnje od broja lansera u odbrani, ulaze u zasićenje već za 4 do 5 lansera, tako da nije racionalno dalje povećavati njihov broj, jer se ne mogu očekivati značajna povećanja efikasnosti odbrane.



Slika 4: Verovatnoća uništenja veće pretnje

Ako se rezultati simulacije posmatraju sa aspekta aktivne pretnje i kao kriterijum uspešnosti njene misije definiše verovatnoća njenog uništenja manja od 10%, to se postiže ako se svaka od njenih NMP opremi sa po 1 orudjem za protivraketnu odbranu (PRO = 8), u svim slučajevima sem kada je broj lansera branioca 13 ili veći, što u praktičnim primenama neće biti slučaj, iz prethodno navedenog razloga.

Može se zaključiti da bi odbrana pomoću 8 lansera bila uspešna u slučaju aktivne pretnje bez orudja za protivraketnu odbranu (PRO = 0), delimično uspešna u slučaju AP sa 1 do 4 orudja za protivraketnu odbranu (PRO ∈ {1,2,3,4) i neuspešna u slučaju AP sa 8 orudja za protivraketnu odbranu (PRO = 8).

4. ZAKLJUČAK

Predstavljen je realizovani simulator rojenja i sinhronizovanog raketnog udara grupe samohodnih lansera koji brane ćeliju teritorije i značajan cilj u njenom težištu od aktivne pretnje.

Simulator je implementiran pomoću jezika za simulaciju sistema sa diskretnim dogadjajima GPSS World.

U radu su razmatrana dva karakteristična primera: manje i veće aktivne pretnje cilju u težištu branjene ćelije teritorije. Primeri predstavljaju „najgori slučaj“ za obe strane u sukobu: aktivna pretnja se pojavljuje sa neočekivanog mesta i uz slučajni raspored lansera branioca, a komandno-informacioni sistem ažurno izveštava o položaju svih komponenata sistema u svakom osnovnom vremenskom intervalu $\triangle t$.

Rezultati simulacije ukazuju da je primena simulatora je moguća za procenu uspešnosti ofanzivnih odbrambenih taktičkih postupaka u odbrani delova teritorije i značajnih objekata od različitih AP, kako većih snaga, tako i manjih diverzantsko-terorističkih sastava, što može doći do izražaja u različitim scenarijima hibridnog ratovanja.

LITERATURA

[1] Arquilla, J., Ronfeldt, D. (1999). Swarming and the Future of Conflict. Rand Corporation.

[2] Edwards, S.J.A. (2005). Swarming and the Future of Warfare. Rand Corporation.

[3] Janković, R., Milinović, M. (2018). An Approach to Simulation of the Swarming and Synchronized Missile Attack Against an Active Threat, Proceedings of the 8th International Conference on Defensive Technologies (OTEH 2018), Belgrade, Serbia, 101-105.

[4] Janković, R., Milinović, M., Jeremić, O., Nikolić, N. (2011). On Application of Discrete Event Simulation in Armoured and Mechanized Units Research, Proceedings of the 1st International Symposium & 10th Balcan Conference on Operational Research, Thessaloniki, Greece, Vol.2, 28-35.

[5] Janković, R. (2011) Computer Simulation of an Armoured Battalion Swarming. Defence Science Journal, 61, 1, 36–43.

[6] Janković, R. (2012). Data Structures and Control Mechanisms for Multi-target Swarming Simulators. Electronic Letters, 48, 16, 997-998.

[7] Minuteman Software, GPSS World. http://www.minutemansoftware.com/simulation.htm

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

SIMULACIONO MODELOVANJE ZA VOJNU LOGISTIKU – KREIRANJE ALGORITAMSKOG KONCEPTA ZA SKLADIŠNE OPERACIJE

MILITARY LOGISTICS SIMULATION MODELING LEARNING - ALGORITHMIC CONCEPT CREATION FOR MILITARY WAREHOUSES OPERATIONS

NEBOJŠA NIKOLIĆ[1], VLADIMIR MILOVANOVIĆ[2], ALEKSANDAR ZAHARIJEV[3]

[1] Strategic Research Institute, University of Defence, nebojsa.nikolic11@mod.gov.rs
[2] Military Academy, University of Defence, vaci84milovanovic@gmail.com
[3] 1st Logistics Centre, Central Logistic Base, Belgrade, zaharijev@gmail.com

---

Rezime: *Simulaciono modelovanje ima elemente i aspekte naučnosti i veštine. Naučnost se ogleda u obuhvatu i primeni tematike iz oblasti teorije verovatnoće, teorije redova čekanja, Monte Karlo simulacije, računarskog programiranja itd. Standardni obrazovni pristupi za navedene discipline su dobro poznati. Međutim, aspekt simulacionog modelovanja kao veštine je specifičan i izazovniji, što podrazumeva sledeće: prvi problem je razvoj veštine za kreitranje konceptualnog modela posmatranog realnog fenomena; drugi izazov je sposobnost translacije kreiranog konceptualnog modela u struktuiranu formu algoritamskog prikaza pogodnog za dalje genereisanje računarske implementacije simulacionog modela. Sledeći korak jeste generisanje programskog koda simualcionog modela i njegova implementacija na računar. Ovi aspekti „veština" su specifični i zahtevaju kombinovanu primenu znanja iz različitih oblasti pri čemu je poznavanje realnog sistema čiji se model razvija, ključno. U radu se promoviše mogućnost za efikasnije savladavanje potrebnih znanja i veština za simulaciono modelovanje kroz izbor takvih simulanda koji su dobro poznati studentima.*

Ključne reči: *Vojne primene, Simualcija, Logistika, Skladišta, Obrazovanje.*

Abstract: *Simulation modelling is often seen as a science and art in the same time. "Science aspect" compromise learning a set of topics which usually include basics of probability theory, queueing theory, Monte Carlo simulation, programming language, input modelling, output modelling and analysis. Standard educational approaches fit well in learning of mentioned subjects and topics. "Art aspect" of simulation modelling, however, is more specific and more challenging. It assumes several crucial issues. Firstly, it is about learning how to create conceptual model as a starting point for simulation model development. Second issue is about "translation" of the conceptual model towards programmable algorithm, that is, development a concrete, consistent and standardized graphical presentation of the simulation model as a main base for computer program coding. Final step is a program code implementation on the computer and its verification. All three steps are specific and require combined use of different knowledge and information including practical experience from real world systems and processes. The paper advocates that all three issues could be learned better if it is performed through practical work on concrete problems from real world.*

Keywords: *Military, Simulation, Logistics, Warehouse, Education.*

1. INTRODUCTION

In this paper we demonstrate a gradual learning approach for education in the field of simulation modelling for the military logistics. The learning approach consists of more phases and contents: fundamentals of simulation modelling with introduction in a concrete programming language for simulation; basics of the military warehousing with some concrete examples; model analysis and guided algorithm development for an already established conceptual model from the field of military logistics; and individual work of students on development of conceptual model for the practical logistical problem which for they are familiar with.

We stand for that the first two phases and contents (which present two separate fields of knowledge: simulation modelling with computer programming; and, military logistics) are well known and documented in appropriate literature, so it will not be discussed here. On the other hand, the last two are more important

challenges in this context: they point-out one of the crucial problems in the simulation model: how to create conceptual model of the real process of interest, and how to transform that model into the computer program which is able to simulate the real process or system? That is, how to teach students to understand and to perform those challenging issues.

Simulation models are developed through a set of activities arranged around several phases and know as the simulation study (Law and Kelton, 1982). Those phases are as follows: problem formulation and planning; conceptual model building; gathering data; implementation of the model at the computer; verification of the model; validation of the model; and conducting simulation experiments and analysis of outputs. This paper is focused on the second phase: conceptual model creation, but in such a way that it will enable easier computer implementation.

Table 1 presents an adapted application of the general approach (Law and Kelton, 1982) in conducting simulation study for military applications in order to better envelop specifics and characteristics in the field (Nikolic, 2017).

Tabela 1: Matrics of needed types of knowledge expertises for simulation modeling in the military

SCIENCE / ART DICHOTOMY AND SYNERGIZAM OF THE SIMUALTION MODELING								
		Mathematical Probability and statistics	Queue -ing theory	Inventor y theory	...other scientific discipli-nes	Computer program-ing		Knowledge expertize of the simuland
	„Science"/„Art" domains (S, or/and A)	***S***	**S**	**S**	**S**	**S**	**A**	**A**
1	Observation of the simuland – a real process, system or situation under study	**X**						**X**
2	Descriptive model of the simuland		x	x	x			**X**
3	Graphical presentation of descriptive model		x	x	x	x		**X**
4	Algorithmification of the graphical model	x	x	x	x	**X**		x
5	Computer program coding					**X**		
6	Validation & Verification of the computer model	**X**	**X**	**X**	**X**	**X**		**X**
7	Simulation experimentation by computer model	**X**				**X**		X
8	Analyses of the output simulation results	**X**	x	x	x	**X**		x
9	Recomendations for the simuland adaptations, improvements, changes, ...	x				**X**		**X**
10	Documentation of conducted simulation study					**X**		**X**
LEGEND: **X-strong presence;** X-moderate presence; x- supporting role								

Importance of the conceptual model creation is recognized in contemporary literature (Robinson, 2017) and some aspects are discussed here. Simulation modelling is often seen as a science and art. "Science aspect" compromise learning a set of topics which usually include basics of probability theory, queueing theory, Monte Carlo simulation, programming language, input modelling, output modelling and analysis. Standard educational approaches fit well in learning of mentioned subjects and topics. "Art aspect" of simulation modelling, however, is more specific and challenging, particularly for simulands from specific branches as it is the military (examples like in Shim and Atkinson, 2018), while it is connected mainly to the conceptual model development and its transition towards programmable algorithm.

Next chapter presents conceptual model for a concrete problem from the field of military logistics and its translation into the algorithm by use of standard symbols of the chosen programming language. The last section presents results of individual student's work, that is, a conceptual model of a new problem from

military logistics with which students were familiar thanks to their previous military experience from real military logistic work.

2. FROM CONCEPTUAL MODEL TOWARDS ALGORITHM

In search for answers for declared problem the main idea is as follows. Initial preconditions are teaching lessons related to the basics of the simulation modelling, mathematical probability and statistics, computer programming (in a specific simulation language), and introducing students with some specific field of knowledge which is relevant for chosen real problems, processes or systems (here, it is military logistics, and more concrete: military warehousing processes).

The next issue is a "guided tour" through the process analysis, creation of conceptual model and algorithm development for an already established conceptual model from the field of military logistics. For this purpose, we used an already developed model for simulation of emergency relocation and dispersion of fuel warehouse, Figure 1.

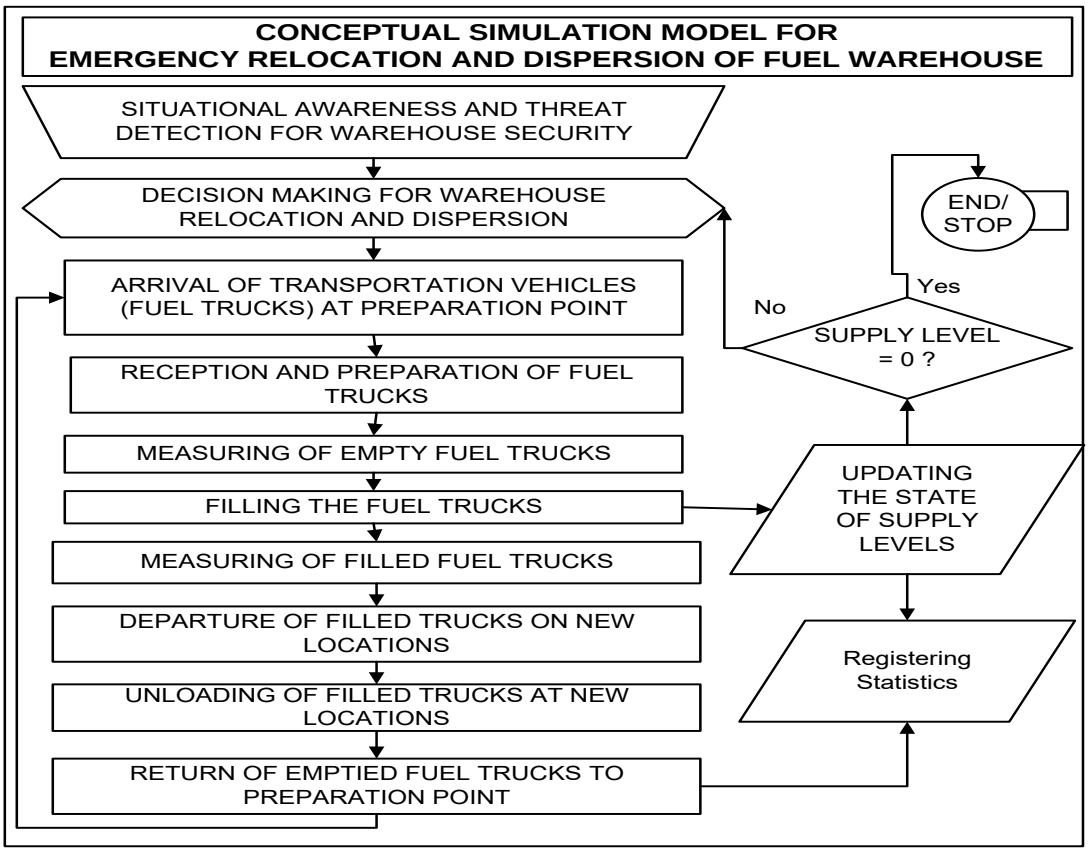


Figure 1. Conceptual model for a dispersion process of a fuel warehouse.

After familiarization with the conceptual model of a given logistics problem, and by use of knowledge of concrete simulation language (here, it is GPSS simulation language), students are guided through the "translation and transformation" process of the graphical presentation of the conceptual model towards the algorithm of the future simulation model.

The algorithm, Figure 2, is graphical presentation of the model by use of standard graphical symbols of the chosen computer programming language (GPSS symbols set, here). Due to the limited space here, Figure 2 presents only one module block from the conceptual model: exactly, it is a block titled as "Arrival of transportation vehicles (fuel trucks) at preparation point" at the Figure 1 (conceptual model), which correspond to the algorithm module presented in the Figure 2 and titled "Arrivals of transportation vehicles".

We found that creation of consistent conceptual model, from brief description towards detailed and graphical presentation, could lead towards consistent algorithm of the simulation model, which is the final step before implementation of the model into the computer code. Also, we notice that student's understanding of the particular commands of the programming language is much better and easier when it is used in a context of concrete conceptual model and its "translation" towards algorithm, which is the second main educational finding here ("learning simulation by doing simulation").

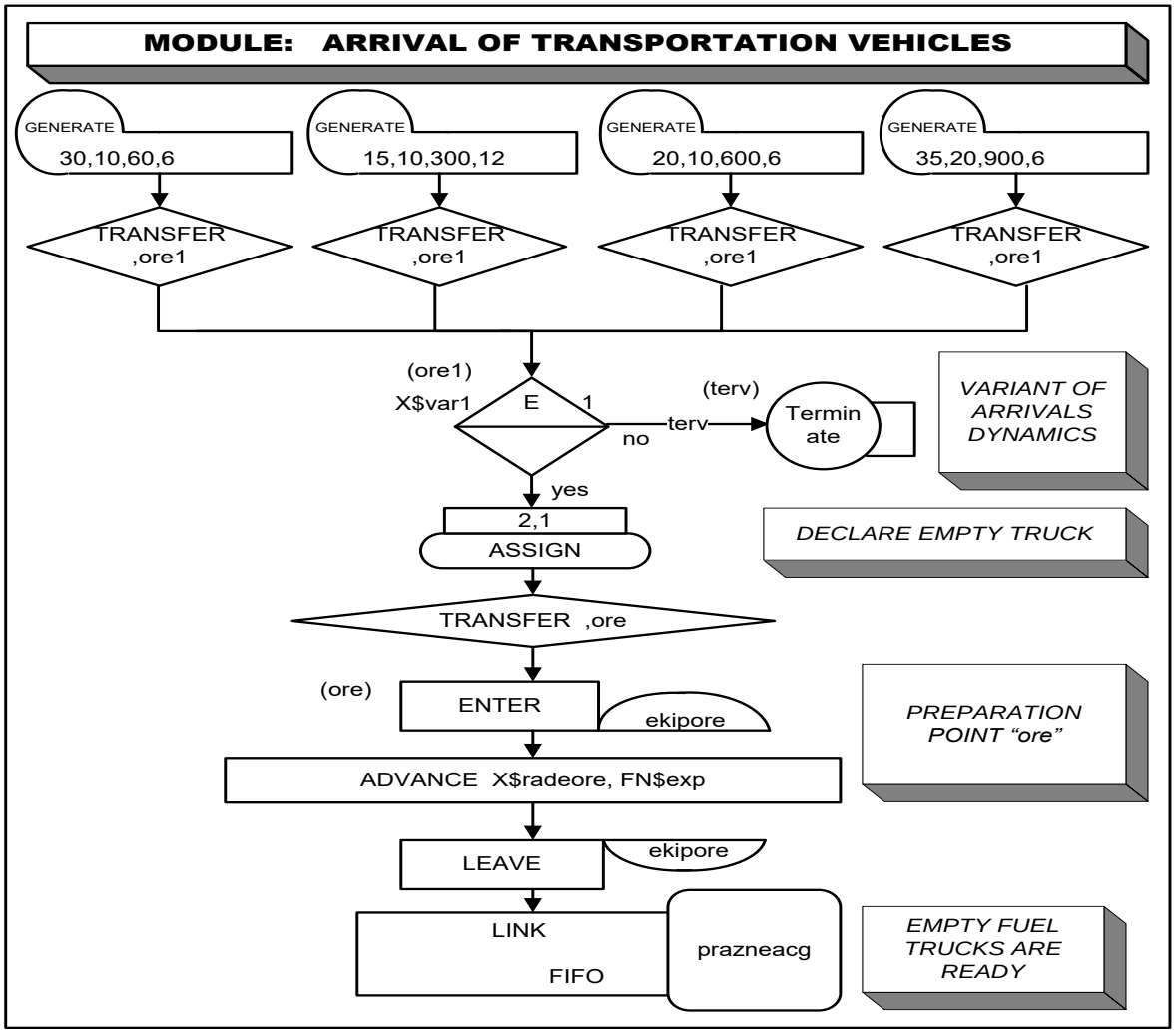


Figure 2. Algorithm module for arrivals of transportation vehicles, (Nikolić, 2017).

After discussions and explanations through that "guided tour" for a solved example, the final issue is stimulating individual student's work on development of conceptual model for the practical logistical problem which for they are familiar with. The student's proposal was to create a simulation model of the reception process for the items bought at the market and received by the central military warehouse (Figure 3). Namely, in the practice of the real warehouse operations it is noticed that some problems appear with periodical bottlenecks at some points as a consequence. The whole process includes many phases and actors, as well as some level of randomness in performing various activities during the reception process. In such constellation of the real situation, simulation modelling was a logical choice of methodology "to evaluate a warehouse's performance" (Verriet *et al.* 2013).

3. CONCLUSION

The paper advocates for promotion of the importance of the conceptual model building in the field of simulation modeling for military logistics. We demonstrate an learning approach which emphasizes attention on a conceptual model building and its translation towards algorithmic presentation of simulation model. These issues have stronger aspect of the art then the scientific side of the simulation modeling, and that is a real challenge in teaching simulation. Further work will be oriented towards algorithm development for the second example presented here, that is, for the reception process in military warehouses. Also, future research could be directed towards other –nonlogistical problems in the military field, as well as towards application of other simulation languages.

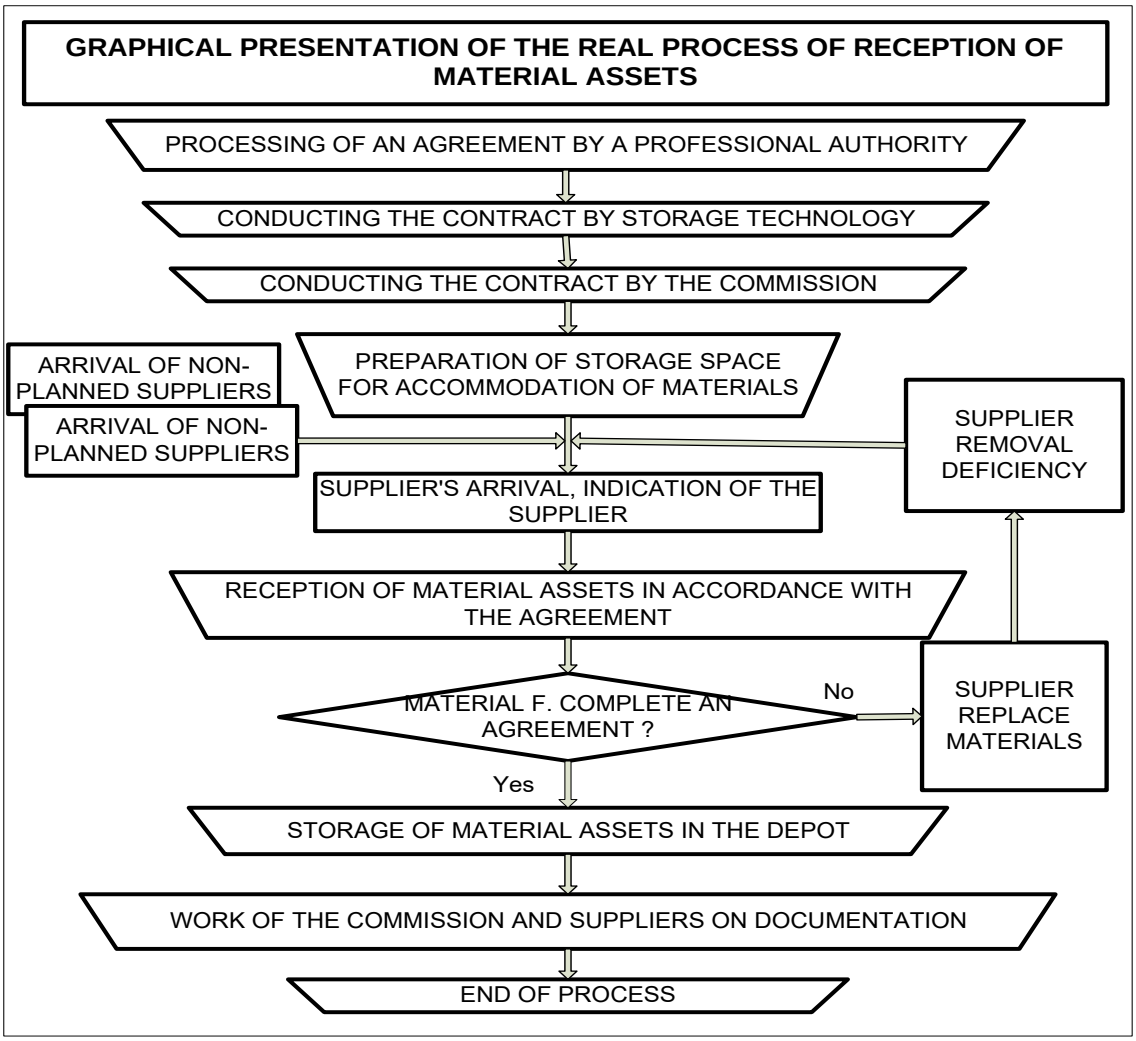


Figure 3. Conceptual model for a process of receiving goods in warehouse (Milovanović, Nikolić, 2018).

Acknowledgement

The work is partially supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia under Interdisciplinary Project No.III-47029, named: "Cost Effective Selection of New Technologies and Concepts of Defence Through Social Reforms and Strategic Orientations of Serbia in 21st Century".

REFERENCES

[1] Law A., Kelton D. (1982). Simulation modeling and analysis. McGraw Hill, New York.
[2] Milovanović, V., Nikolić, N. (2018). Modeling the Reception Process of Material Assets From the Market in Special Purpose Warehouse. Proceedings International Conference DQM, Prijevor, Serbia.
[3] Nikolić, N. (2017). Razvoj koncepta simulacionog modela raseljavanja skladišta opasnih materija. Zbornik radova 4.naučno-stručnog skupa POLITEHNIKA, VSSS Beogradska politehnika, Beograd, 8.decembar 2017, 508-513.
[4] Robinson, S. (2017). A Tutorial on Simulation Conceptual Modeling. Proceedings of the 2017 Winter Simualtion Conference, Las Vegas, USA, December 3-6 2017, 565-579.
[5] Shim, Y., Atkinson, M. (2018). Analysis of artilery shoot-and-scoot tactics. Naval Research Logistics, 65, 242-274.
[6] Verriet, J., Hamberg, R., Caarls, J., van Wijngaarden, B. (2013). Warehouse Simulation Through Model Configuration. Proceedings 27th European Conference on Modeling and Simulation, 27-29 May 2013, 629-636.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

DEFENCE HUMAN RESOURCE SELECTION BY MAIRCA METHOD

ИЗБОР ЉУДСКИХ РЕСУРСА У СИСТЕМУ ОДБРАНЕ ПРИМЕНОМ MAIRCA МЕТОДЕ

MILAN KANKARAŠ[1], SRĐAN DIMIĆ[2], IVAN PETROVIĆ[3]

[1] Ministry of Defence, Belgrade, kankaras.milan@outlook.com
[2] Ministry of Defence, Belgrade, srdjan.dimic@mod.gov.rs
[3] University of Defence, Belgrade, ivanpetrovic1977@ogmail.com

Abstract: *The purpose of human resource management is achieving organizational success by people. To achieve the aim, it is necessary to hire staff with certain knowledge, abilities, and skills. That is one of the most important activities of human resource management – human resources selection. Through the human resources selection process, organizations strive to increase the level of objectivity and to choose the best candidate or candidates. In that manner, organizations secure a precondition of competitive advantage. The choice between several candidates is the problem of multi-criteria decision-making. There are numerous methods, and one of them is Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis (MAIRCA). The method enables to determine a gap between ideal and observed candidates characteristic and to choose the best candidate in concrete circumstances. This approach to the selection of candidates is equally applicable in defence as well as in other organizations.*

Keywords: *Human resource, Selection, MAIRCA, Method.*

Резиме: *Основна сврха управљања људским ресурсима јесте достизање организационе успешности помоћу људи, односно запослених. Ради остваривање те сврхе потребно је обезбедити запослене који поседују одређена знања, способности и вештине. То је и једна од најзначајнијих активности у области управљања људским ресурсима – селекција људских ресурса. Кроз процес селекције људских ресурса организације покушавају да повећају ниво објективности и изаберу најбоље кандидате. На тај начин организације стварају услове за достизање конкурентске предности. Избор између више кандидата представља проблем вишекритеријумског одлучивања. Постоје више метода за избор кандидата, а једна од њих јесте вишеатрибутна компаративна анализа идеалног и стварног (MAIRCA). Та метода омогућава одређивање одступања стварних карактеристика кандидата од идеалних и избор најбољег кандидата у конкретним условима. Овакав приступ селекцији људских ресурса применљив је не само у систему одбране, већ и у другим организацијама.*

Кључне речи: *Људски ресурси, селекција, MAIRCA, метода.*

1. INTRODUCTION

Besides the problem of achieving set goals, contemporary organizations face the issue of hiring employees with adequate knowledge, abilities, and skills necessary to achieve organizational goals. One of the basic processes that ensure to employ the best candidate is human resources selection. One of the human resources selection characteristics is a certain level of subjectivity.

Concerning that, the responsible management strives to reduce the subjectivity as much as possible. The reduction of subjectivity level is possible by applying predefined criteria and methods and techniques. There are fundamental criteria and additional. The number of fundamental criteria depends on job descriptions and additional hinges on management's decision. Bearing in mind that fundamental criteria are mandatory, their weight is equal. However, additional criteria are different and candidate choice hinges on the fulfillment level of the criteria.

Bearing in mind that several candidates can meet all criteria, decision-makers should rank candidates and choose the best candidate or candidates. There are various methods to rank candidates as ELECTRE, PROMETHEE, MENOR, VIKOR, AHP, and others. One of the simple methods is MAIRCA, which enables candidates ranking by their characteristic deviation from the ideal characteristic. The goal of this paper is to check the method applicability in the case of soldier selection.

Except for the introduction and conclusion, the paper includes three chapters. Characteristics of the human resources selection process are described in the first part of the paper. Besides the selection process description, MAIRCA method is explained in the second chapter. Finally, the method is applied in the case of soldier selection and its applicability is checked.

2. CHARACTERISTICS OF HUMAN RESOURCES SELECTION PROCESS

There are numerous definitions of human resource selection. Some of them are not complete (including only a choice for hiring). One of the comprehensive definition is "human resource selection is the process of choosing from a group of applicants the individual best suited for a particular position and the organization" (Gusdorf, 2008; Kankaraš, Petrović, & Mačak, The choice of additional criteria for selection of defence human resources, 2018).

Maximizing the candidates' performances and their impact on the organization and minimizing mistakes in deciding on candidate selection are basic goals of human resource selection process. To achieve the goals, it is necessary to align the selection process with other activities in the field of human resources management (planning, recruitment, and development of human resources), as well as job vacancies and candidates' knowledge, abilities and skills. In that sense, decision-makers (hereinafter: employers) check the compliance of candidates references with job requirements. An applicant who largely meets the requirements of the vacant post will be selected.

The comparison of references and requirements is based on some criteria, and the primary source of them is job description (professional knowledge, experience, and specific skills). However, besides those, fundamental criteria, the process of defence human resources selection need additional criteria. They are not directly related to the specific job position but are necessary and/or desirable for the successful performance of work tasks. Generally, these criteria are not part of the job description and they are subsequently determined in the processes of recruitment and selection of human resources. Bearing in mind that additional criteria enable better differentiation of candidates, the reduction of candidates' number that meets all requirements and more accurate ranking of the candidates in the selection process, their usage increase the objectivity of the selection (Kankaraš, Petrović, & Mačak, The choice of additional criteria for selection of defence human resources, 2018).

Fundamental criteria are mandatory, i.e. each candidate has to meet the requirements completely. By way of contrast, additional criteria are desirable, and candidates should meet demands as much as possible. Whereas fundamental criteria are obligatory they are the same, respectively, their significance is equal. Conversely, there are differences between additional criteria, and their impact on candidates ranking is various. In that sense, the top-rated candidate is that one who fully meets fundamental criteria and mostly fulfills additional criteria.

In accordance with the above, the main characteristics of human resource selection process are following:

- there are several criteria for deciding;
- there are several possible solutions;
- that is the process of choosing the best solution.

Bearing in mind the listed characteristics, human resource selection process is classical represent of the multi-criteria problem (Nikolić & Borović, 1996; Borović & Milićević, 2001). To choose the best candidate, employers can apply various scientific methods. However, some of them are based on the attitude of selection process participants (human resource experts, employers, etc.). One method that secures a high level of objectivity is MAIRCA method.

3. MAIRCA METHOD

Multi-Attributive Ideal-Real Comparative Analysis is method based on the comparison of theoretical and empirical solution (*S*) ratings by each criterion (*C*). The method determines a gap between ideal and observed ratings and, at the end of the process, ranks solutions by gap values (solution with the lowest gap value is the best ranked). There are six steps to carry out the MAIRCA method (Pamucar, Pejcic Tarle, & Parezanovic, 2018; Tešić & Božanić, 2018).

The first step includes formulation of the initial decision-making matrix – *X* (Pamucar, Pejcic Tarle, & Parezanovic, 2018; Tešić & Božanić, 2018). That matrix determines the solutions values by criteria (equation 1).

$$X = \begin{matrix} \\ S_1 \\ \vdots \\ S_m \end{matrix} \begin{matrix} C_1 & \cdots & C_n \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Solutions values can be quantitative and qualitative. In order to use descriptive (qualitative) values in the process, it is necessary transform these values by appropriate method (Nikolić & Borović, 1996). The next step is preferences definition for the choice of solutions (P). In human resources selection process there are no the preferences of candidates, i.e. employers should be neutral. Thus, the preference of each candidate is the same, and depending on a number of candidates (equation 2).

$$P_{S_i} = \frac{1}{m};\ \sum_{i=1}^{m} P_{S_i} = 1, i = 1,2,\dots,m \quad (2)$$

As shown, the solution preference is a ratio of one and total number of solutions – m. The third step includes the calculation of the theoretical (ideal) ratings matrix (T_p) as a product of solution preference and criterion weights (w_i). Theoretical rating matrix is calculated by equation 3 (Pamucar, Pejcic Tarle, & Parezanovic, 2018).

$$T_p = \begin{matrix} \\ P_{S_1} \\ \vdots \\ P_{S_m} \end{matrix} \begin{matrix} w_1 & \cdots & w_n \end{matrix} \begin{bmatrix} t_{p_{11}} & \cdots & t_{p_{1n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{p_{m1}} & \cdots & t_{p_{mn}} \end{bmatrix} = \begin{matrix} \\ P_{S_1} \\ \vdots \\ P_{S_m} \end{matrix} \begin{matrix} w_1 & \cdots & w_n \end{matrix} \begin{bmatrix} P_{S_1} * w_1 & \cdots & P_{S_1} * w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{S_m} * w_1 & \cdots & P_{S_m} * w_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

Criteria weights can be determined completely subjectivity, as decision-maker's preferences. However, that subjectivity can be decreased by scientific method. There are a numerous methods, but their application to determine weights is not a subject of this paper.

The fourth step enables the calculation of real ratings matrix (T_r). The elements of real ratings matrix (t_r) represent a product of the theoretical ratings matrix elements (T_p) and the initial decision-making matrix elements (X) using the following formulas (Pamucar, Pejcic Tarle, & Parezanovic, 2018):

- higher is better (benefit type criteria):

$$t_{r_{ij}} = t_{p_{ij}} * \left(\frac{x_{ij} - x_j^-}{x_j^+ - x_j^-} \right) \quad (4)$$

- lower is better (cost type criteria):

$$t_{r_{ij}} = t_{p_{ij}} * \left(\frac{x_{ij} - x_j^+}{x_j^- - x_j^+} \right) \quad (5)$$

Where:

- x_j^+ – the maximum value of observed criterion by solutions;
- x_j^- – the minimum value of observed criterion by solutions.

The real ratings matrix (T_r) being formed based on criteria type and its calculated elements (equation 6).

$$T_r = \begin{matrix} \\ S_1 \\ \vdots \\ S_m \end{matrix} \begin{matrix} C_1 & \cdots & C_n \end{matrix} \begin{bmatrix} t_{r_{11}} & \cdots & t_{r_{1n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{r_{m1}} & \cdots & t_{r_{mn}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

The next, fifth step, include formatting a total gap matrix (G). The matrix elements (g_{ij}) are obtained as a difference between the theoretical and real rating matrix elements (Pamucar, Pejcic Tarle, & Parezanovic, 2018). That difference represents the gap between ideal (theoretical) values and observed (real) ratings (equation 7).

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & \cdots & g_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{m1} & \cdots & g_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{p_{11}} - t_{r_{11}} & \cdots & t_{p_{1n}} - t_{r_{1n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{p_{m1}} - t_{r_{m1}} & \cdots & t_{p_{mn}} - t_{r_{mn}} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Based on the gap value, the best option is the smallest gap, i.e. g_{ij} is zero or gravitates towards zero. The higher gap represents worse solution (farther than ideal value). In accordance with that, the final step is solutions rating based on the declination of real solutions value from the ideal. The final values (Q_i) are obtained by summing gaps by solutions – equation 8 (Pamucar, Pejcic Tarle, & Parezanovic, 2018).

$$Q_i = \sum_{i=1}^{m} g_{ij} \quad 8$$

In that manner, the solutions can be ranked by their characteristics and objectivity is increased. Further, the described method is applied to solve a practical problem, soldier selection.

4. SOLDIER SELECTION

This paper discusses the problem of ranking five candidates for the service as a professional soldier (S_i). Due to the limited scope, only four criteria are considered in the paper (C_i):

- C_1 – the score of education;
- C_2 – the score of physical ability,
- C_3 – the coefficient of intelligence;
- C_4 – the number of work experience.

In accordance with the characteristics of candidates, the initial decision-making matrix is formed by equation 1 (Table 1).

Table 1: The initial decision-making matrix

Candidate	C_1	C_2	C_3	C_4
S_1	4.34	65.00	115.00	2.00
S_2	3.85	80.00	125.00	3.00
S_3	3.24	70.00	110.00	1.00
S_4	2.00	75.00	114.00	4.00
S_5	4.50	90.00	110.00	3.00

Bearing in mind that there are no preferences of candidates, and using equation 2 the preference of each candidate is 0.2. To calculate the theoretical rating matrix, criterion weights is defined as follows: C_1 – 0.116, C_2 – 0.345, C_3 – 0.385 and C_4 – 0.153. Based on criteria weights, the preference for the choice and using equation 3 the theoretical rating matrix is formed (table 2).

Table 2: The theoretical rating matrix

Candidate	C_1	C_2	C_3	C_4
S_1	0,023	0,069	0,077	0,031
S_2	0,023	0,069	0,077	0,031
S_3	0,023	0,069	0,077	0,031
S_4	0,023	0,069	0,077	0,031
S_5	0,023	0,069	0,077	0,031

Taking into account that the type of each criterion is benefit, equation 4 is applied to calculate the elements of the real rating matrix (table 3).

Table 3: The real rating matrix

Candidate	C_1	C_2	C_3	C_4
S_1	0,022	0,000	0,026	0,010
S_2	0,017	0,041	0,077	0,020
S_3	0,012	0,014	0,000	0,000
S_4	0,000	0,028	0,021	0,031
S_5	0,023	0,069	0,000	0,020

At last, in accordance with above and using equations 7 and 8, the total gap matrix is formed, the final values of each candidate, as well as candidates' rank (table 4).

Table 4: The total gap matrix, the final values and candidates rank

Candidate	C_1	C_2	C_3	C_4	Q_i	Rank
S_1	0,001	0,069	0,051	0,020	**0,142**	**4**
S_2	0,006	0,028	0,000	0,010	**0,044**	**1**
S_3	0,012	0,055	0,077	0,031	**0,175**	**5**
S_4	0,023	0,041	0,056	0,000	**0,121**	**3**
S_5	0,000	0,000	0,077	0,010	**0,087**	**2**

As shown in table 4, the smallest gap between ideal and observed ratings is 0,044, i.e. the characteristics of the second candidate (S_2) are most in line with job requirements. Thus, the second candidate is the best choice for the organization in concrete circumstances. The final values can also be displayed graphically (Figure 1).

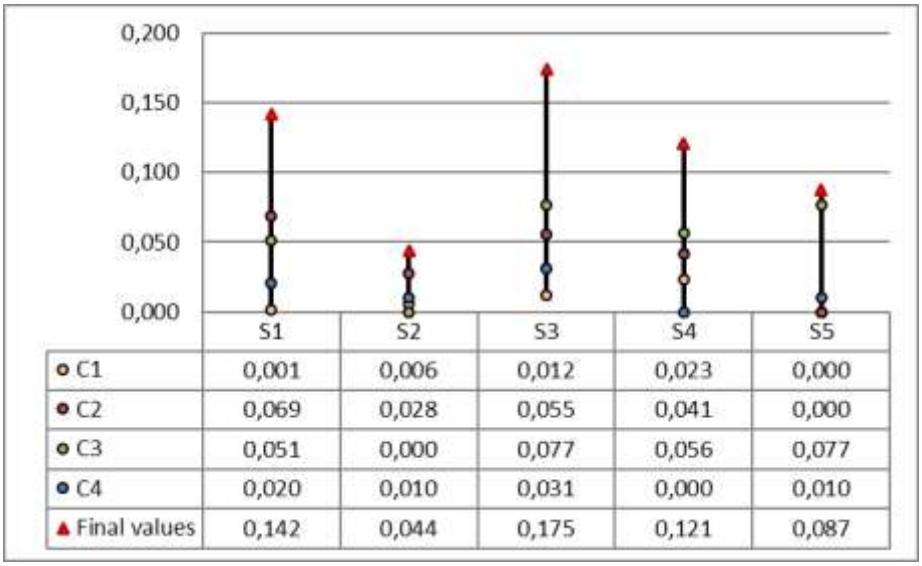


Figure 1: Graphic presentation of the final values

Graphic approach enables to display the gap between ideal and real ratings of each candidate by criteria, the final value, as well as quick and easy spotting candidates' rank. Zero level represents the ideal rating, and real rating is displayed as a dotted arrowhead.

5. CONCLUSION

In the approach to the research problem, the specifics of military organization were taken into account, especially in the field of human resources management. The main objective of the paper was to demonstrate the possibility of applying the MAIRCA method in the process of selecting human resources, pointing to the importance of the selection of human resources in modern organizations. By examining the possibility of applying the MAIRCA method in the process of selecting human resources, the practical applicability of this method has been established. On the concrete case of admission of a professional soldier, the method of application of the proposed methods is presented. Based on research results, except the applicability of MAIRCA method, it can be concluded following:

- the reduction of subjectivity;
- spotting the discrepancy of real candidates characteristics from the ideal characteristics;

Based on the obtained results, it is clearly noticed the possibility of using this method. Beside of that, it is obviously, that the complexity of choosing human resources also implies the complexity of using methods based on experts' expertise. The right choice of human resources also includes the selection of adequate experts, as well as the calculation of their proposals with adequate techniques and methods. Therefore, the MAIRCA method is one of methods whose validation can always be verified by other methods of multi criteria decision making. Furthermore, it is very important, besides, of "ordinary" (natural) numbers in the process of experiment, to apply methods on other types of numbers (fuzzy, fuzzy interval valued (fuzzy), neuro-fuzzy, rough with or without fuzzy or other types of numbers). In addition, Intuitionistic fuzzy sets (rough, interval valued, etc.) are very presented in this kind data processing. The combination of these types of numbers and different methods significantly increases objectivity in the selection and validation of the obtained results, which can have a decisive influence in the selection of adequate human resources.

Besides advantages of the method, it is necessary to notice a possibility of error due to the low-level process automation. In order to reduce the error possibility, it should consider a creation of appropriate software. The importance of the paper is reflected in the practical application of the MAIRCA method in organizations, as well as its simplicity of use.

LITERATURE

[1] Borović, S., & Milićević, M. (2001). *Zbirka zadataka iz odabranih oblasti operacionih istraživanja.* Beograd: VIZ.

[2] Gusdorf, L. M. (2008). *Recruitment and Selection: Hiring the Right Person.* Alexandria, USA: Society for Human Resource Management.

[3] Kankaraš, M., Petrović, I., & Mačak, Z. (2018). The choice of additional criteria for selection of defence human resources. *XLV Symposium on Operational Research* (str. 342-347). Zlatibor: Faculty of economics in Belgrade.

[4] Kankaraš, M., Radović, B., & Petrović, I. (2017, December 11). Assessment of the Belt and Road Inititative's Bilateralism. *Working paper 2017/03.* Budapest: China-CEE Institute.

[5] Milićević, M., & Župac, G. (2012). Objektivni pristup određivanju težina kriterijuma. *Vojnotehnički glasnik LX*, 39-56.

[6] Nikolić, I., & Borović, S. (1996). *Višekriterijumska optimizacija: metode, primena u logistici, softver.* Beograd: Centar vojnih škola Vojske Jugoslavije.

[7] Pamucar, D. S., Pejcic Tarle, S., & Parezanovic, T. (2018). New hybrid multi-criteria decision-making DEMATEL-MAIRCA model: sustainable selection of a location for the development of multimodal logistic centre. *Economic Research, 31*(1), 1641-1665.

[8] Petrovic, D., Cvetkovic, I., Kankaras, M., & Kapor, N. (2017). Objective Technology Selection Model: The Example of complex combat systems. *International Journal of Scientific & Engineer, 8*(3), 105-113.

[9] Tešić, D., & Božanić, D. (2018). Primena metode MAIRCA pri izboru mesta za prelazak tenkova pod vodom. *Tehnika-Menadzment*, 860-867.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

УНАПРЕЂЕЊЕ ПОСТОЈЕЋЕГ НАЧИНА УТВРЂИВАЊА СТЕПЕНА РЕАЛИЗАЦИЈЕ КРАТКОРОЧНИХ ЦИЉЕВА У СИСТЕМУ ОДБРАНЕ

IMPROVING THE CURRENT APPROACH TO ASSESS ACHIEVEMENT OF DEFENCE OBJECTIVES

СРЂАН ДИМИЋ[1], МИЛАН КАНАКАРАШ[2], РАДИША САКОВИЋ[3]

[1]Управа за стратегијско планирање, Министарство одбране, Београд, srdjan.dimic@mod.gov.rs
[2]Управа за стратегијско планирање, Министарство одбране, Београд, milan.kankaras@mod.gov.rs
[3]Управа за стратегијско планирање, Министарство одбране, Београд, radisa.sakovic@mod.gov.rs

Резиме: *Организације све чешће своју пословну активност обављају у сложеним условима окружења, при чему, циљеви постају примарна планска одлука, према којима се врши усмеравање и координисање активности организације. Посебан изазов који се поставља пред менаџмент организације, након одређивања циљева у процесу планирања, јесте праћење и процена степена реализације циљева. На основу утврђеног степена реализације циљева могуће је, по потреби, предузимати одговарајуће корективне мере како би се унапредила њихова реализација и остварили бољи резултати функционисања организације. У раду је приказана могућност унапређења постојећег начина утврђивања степена реализације краткорочних циљева система одбране и њиховог приказа у одговарајућим извештајима.*

Кључне речи: *циљеви, степен реализације, процена.*

Abstract: *Organizations more often realize business activities in complex environmental conditions. The objectives become the primary planning decision and, in accordance with them, activities are determined and realized. Objectives monitoring and assessment is a special task in the planning process. Based on the achieved level of objectives, if it is necessary, management takes appropriate actions to increase achieved level and accomplish organizational success. The paper presents the possibility of improving the current approach to assess achievement of defence objectives and their presentation in the certain reports.*

Keywords: *objectives, achievement, assessment.*

1. УВОД

Сложени услови у којима функционишу организације захтевају њихову усмереност ка визији и мисији, које се достижу реализацијом циљева организације. У том смислу, менаџери коригују активности организације и усмеравају је ка остварењу постављених циљева (Машић и др., 2010).

Посебан изазов који се поставља пред менаџмент организације јесте праћење и процена степена реализације циљева. Да би организације остварile висок степен реализације циљева, неопходно је да их стално прате, објективно процењују степен њихове реализације и да по потреби предузимају корективне мере. Процена степена реализације циљева је сложен процес који, између осталог, у великој мери зависи од броја и структуре циљева, јер се са повећањем броја циљева усложњава структура циљева организације, па се намеће потреба примене различитих метода и техника у процени степена њихове реализације.

У систему одбране Републике Србије посебна пажња посвећује се планирању рада и развоја. У складу са тим, у фази планирања формулишу се циљеви, који у односу на временски период на који се планирање односи, могу бити дугорочни, средњорочни и краткорочни. Како би се обезбедило адекватно управљање системом одбране, неопходно је између осталог стално пратити и реализацију утврђених циљева.

У раду је приказана могућност унапређења постојећег начина утврђивања степена реализације краткорочних циљева система одбране са циљем лакшег уочавања проблема у њиховој реализацији и предузимања потребних корективних мера. Исти приступ може се применити и на остале врсте циљева (средњорочни, дугорочни) који се утврђују и прате у систему одбране, као и у било којој организацији.

2. КРАТКОРОЧНИ ЦИЉЕВИ У МИНИСТАРСТВУ ОДБРАНЕ И ВОЈСЦИ СРБИЈЕ

Циљеви директно и индиректно утичу на све аспекте пословања организације, тако да се рационалност појединих пословних одлука може оцењивати само са становишта њиховог доприноса циљевима организације. Рационално дефинисани циљеви, да би постали водич за менаџерске и активности других чланова организације, морају имати следеће карактеристике (Стојковић, 2011):

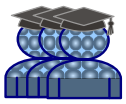
- *прецизност*;
- *мерљивост*;
- *значајност*;
- *флексибилност*;
- *изазовност*;
- *остварљивост*;
- *временска ограниченост*.

Полазни документ краткорочног планирања којим се усмерава рад система одбране и који је основа за израду годишњих планова рада и других докумената краткорочног планирања у систему одбране је Министарско упутство. Овим документом, између осталог, формулишу се и краткорочни циљеви, за конкретну годину, који су у вези са циљевима утврђеним документима средњорочног планирања. На тај начин остварује се повезаност средњорочних и краткорочних циљева система одбране.

2.1. Утврђивање краткорочних циљева система одбране

Краткорочни циљеви у систему одбране утврђују се ради достизања жељеног стања, односно резултата који се желе остварити у конкретној години, у складу са документима планирања одбране. При томе, за сваки циљ одређују се кључни индикатори, њихове циљне вредности, као и исходи на основу којих се током године вреднује достизање утврђених циљева и предузимају одговарајуће корективне мере. Значај утврђивања циљева система одбране огледа се у томе што они стварају услове за ефикасно управљање, стабилно функционисање и предвидив развој у посматраном периоду (Канкараш и др., 2013). Од посебног значаја за успех у остваривању циљева јесте и то да циљне вредности буду реално одређене и у складу са расположивим ресурсима.

Начин приказа једног краткорочног циља система одбране у Министарском упутству дат је на слици 1.



КЦ-хх	Циљ хх				
ИНДИКАТОРИ	ЦИЉНА ВРЕДНОСТ	РАСПОН ВРЕДНОСТИ			
		Задовољава	Мањи недостаци	Већи недостаци	Критично
Индикатор 1	8,00	≥7,50	7,20-7,49	7,00-7,19	<7,00
Индикатор 2	25	≥20	17-19	11-16	<11
Индикатор 3	50	≥40	35-39	20-34	<20
Индикатор 4	10	8	7	6	4

ИСХОДИ

- Исход 1
- Исход 2
- Исход 3

Слика 1: Пример приказа краткорочног циља

Због поверљивости података назив циља, индикатори, циљне вредности и распон вредности за утврђивање статуса индикатора, као и исходи дати су хипотетички.

2.2. Утврђивање степена реализације краткорочних циљева у систему одбране

Прописима којима је регулисано планирање развоја у систему одбране утврђена је обавеза организационих делова да прате, анализирају и извештавају о извршењу планова из свог делокруга. Организациони делови израђују и организационој јединици надлежној за стратегијско планирање достављају шестомесечне и годишње извештаје о реализацији Министарског упутства. У тим извештајима, између осталог, даје се и приказ реализације утврђених краткорочних циљева система одбране.

Достигнути степен реализације краткорочних циљева одређује се на основу достигнутих вредности индикатора који су утврђени за конкретан циљ. За утврђивање статуса реализације циља примењује се четворостепена скала по којој сваки циљ може бити у једном од стања: задовољава, мањи недостаци, већи недостаци и критично. За свако од стања утврђен је интервал у коме се може наћи достигнута вредност циља:

- задовољава: од 3,25 до 4,00;
- мањи недостаци: од 2,50 до 3,24;
- већи недостаци : од 1,75 до 2,49;
- критично: од 0 до 1,74.

При томе, сваком од наведених статуса додељује се одговарајући фактор значајности (*F*). За статус задовољава фактор значајности износи 4, за мање недостатке 3, за веће недостатке 2 и за статус критично износи 1.

Ради приказа поступка утврђивања степена реализације краткорочног циља на слици 2, претпостављене се достигнуте вредности индикатора.

Ознака циља	Циљ	Показатељи успешности реализације	Јединица мере	Пондер	Циљна вредност индикатора	Достигнута вредност индикатора	Распон вредности за одређивање статуса индикатора у _____ години				Степен реализације		Статус циља
							Задовољава	Мањи недостаци	Већи недостаци	Критично	Индикатора	Циља	
							4	3	2	1			
КЦ-хх	Циљ 1	Индикатор 1	Оцена	0,45	8	**7,95**	1	0	0	0	**1,80**	**3,30**	задовољава
		Индикатор 2	Број	0,25	25	**18**	0	1	0	0	**0,75**		
		Индикатор 3	Број	0,15	50	**38**	0	1	0	0	**0,45**		
		Индикатор 4	Број	0,15	10	**6**	0	0	1	0	**0,30**		

Слика 2: Пример утврђивања степена реализације краткорочног циља

Примера ради за индикатор 2, циљна вредност била је 25, а у тренутку израде извештаја достигнута је вредност 18. Сагледавајући распон вредности за утврђивање статуса индикатора уочава се да је достигнута вредност у статусу мањи недостаци и у то поље уписује се вредност 1, у осталим пољима вредност је 0. Степен реализације индикатора утврђује се као производ фактора значајности статуса у коме се налази достигнута вредност индикатора (у овом случају то је вредност 3 – мањи недостаци) и пондера самог индикатора (вредност 0,30). Степен реализације индикатора износи (1):

$$SI_i = F \cdot w_i = 3 \cdot 0{,}3 = 0{,}9 \quad (1)$$

где је:

SI – степен реализације индикатора,
F – фактор значајности достигнутог статуса,
w – пондер (релативна тежина) индикатора.

На исти начин утврђује се степен реализације сваког индикатора у оквиру циља. Сумирањем вредности степена реализације индикатора долази се до степена реализације циља (2).

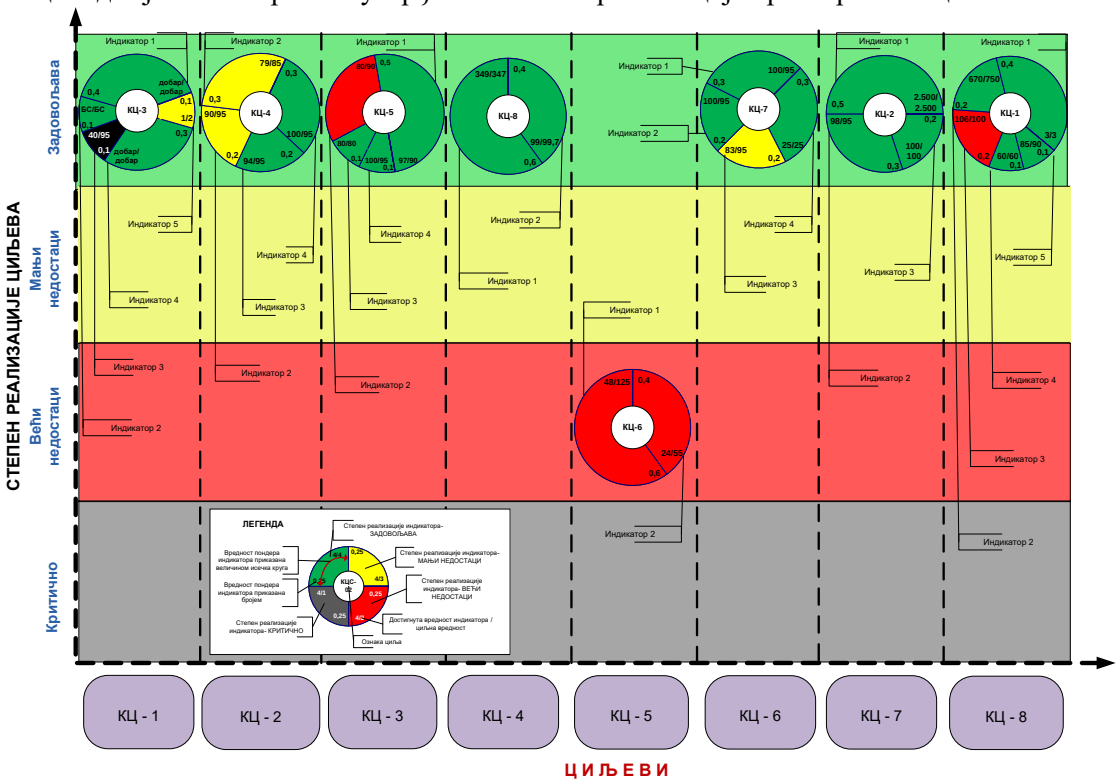
$$SC = \sum_{i=1}^{n} SI_i = 2{,}0 + 0{,}9 + 0{,}6 = 3{,}5 \quad (2)$$

где је:

SC – степен реализације циља,
SI – степен реализације индикатора,
n – број индикатора у оквиру циља.

На основу степена реализације циља и утврђених интервала сваког од могућих статуса реализације циља, утврђује се да је статус циља *задовољава*. На описани начин утврђује се степен реализације свих краткорочних циљева који су утврђени у процесу планирања и исказани у документу краткорочног планирања.

На слици 3 дат је начин приказа утврђеног степена реализације краткорочних циљева.



Слика 3: Пример утврђеног степена реализације краткорочних циљева

Због поверљивости података који се односе на циљеве система одбране пример је дат хипотетички.

3. ПРЕДЛОГ УНАПРЕЂЕЊА НАЧИНА УТВРЂИВАЊА СТЕПЕНА РЕАЛИЗАЦИЈЕ КРАТКОРОЧНИХ ЦИЉЕВА У СИСТЕМУ ОДБРАНЕ

Применом приказаног начина утврђивања степена реализације краткорочних циљева у систему одбране сваки од циљева може се наћи у једном од статуса (задовољава, мањи недостаци, већи недостаци или критично). Овако искључив начин приказа утврђеног степена реализације краткорочног циља руководиоцима не пружа реалне информације о статусу циља.

Анализирајући степене реализације циљева примећено је да је степен реализације циљева ретко када у потпуности у једном од утврђених статуса, односно да се често степен реализације налази између два статуса. У том случају поставља се питање у који статус приказати коначну реализацију циља. Примера ради, краткорочни циљ број 2 на слици 3 има половину индикатора у статусу задовољава, а другу половину у статусу мањи недостаци. При томе и степен реализације индикатора који су у статусу задовољава, односно мањи недостаци је идентичан. За очекивати је да је у овом случају степен реализације циља на граници између задовољавајућег стања и мањих недостатака. Међутим због става да степен реализације циља мора бити у једном од статуса, неопходно је заузети став да је степен реализације циља у статусу задовољава или мањи недостаци. Овакав начин закључивања руководиоцима не омогућава да реално сагледају степен реализације циљева. Због обимности извештаја, руководиоцима се не достављају пратеће табеле у којима се врши прорачун степена реализације индикатора и циљева, тако да они имају увид само у графички приказ утврђеног степена реализације циљева.

Да би се избегла оваква ситуација предлог је да се на основу достигнуте вредности сваког индикатора и унапред утврђених распона вредности за сваки од статуса индикатора, применом израза (3) одреди достигнута вредност циља и да та вредност представља центар кружнице којом се приказује статус циља на графику.

$$SI = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{D-R_g}{C-R_g}\cdot 0{,}75 + G\right)\cdot w_i \quad (3)$$

где је:

SI – степен реализације индикатора,
D – достигнута вредност индикатора,
C – циљна вредност индикатора,
R_g *– доња граница распона вредности за одговарајући статус,*
G – доња граница одговарајућег статуса,
w – пондер (релативна тежина) индикатора.

Сумирањем вредности степена реализације индикатора долази се до степена реализације циља (4).

$$SC = \sum_{i=1}^{n} SI_i \quad (4)$$

где је:

SC – степен реализације циља,
SI – степен реализације индикатора,
n – број индикатора у оквиру циља.

Примера ради, за раније анализирани индикатор 2 степен реализације индикатора био би:

$$SI = \left(\frac{18-17}{19-17}\cdot 0{,}75 + 2{,}5\right)\cdot 0{,}3 = 2{,}88 \quad (5)$$

Степен реализације циља био би:

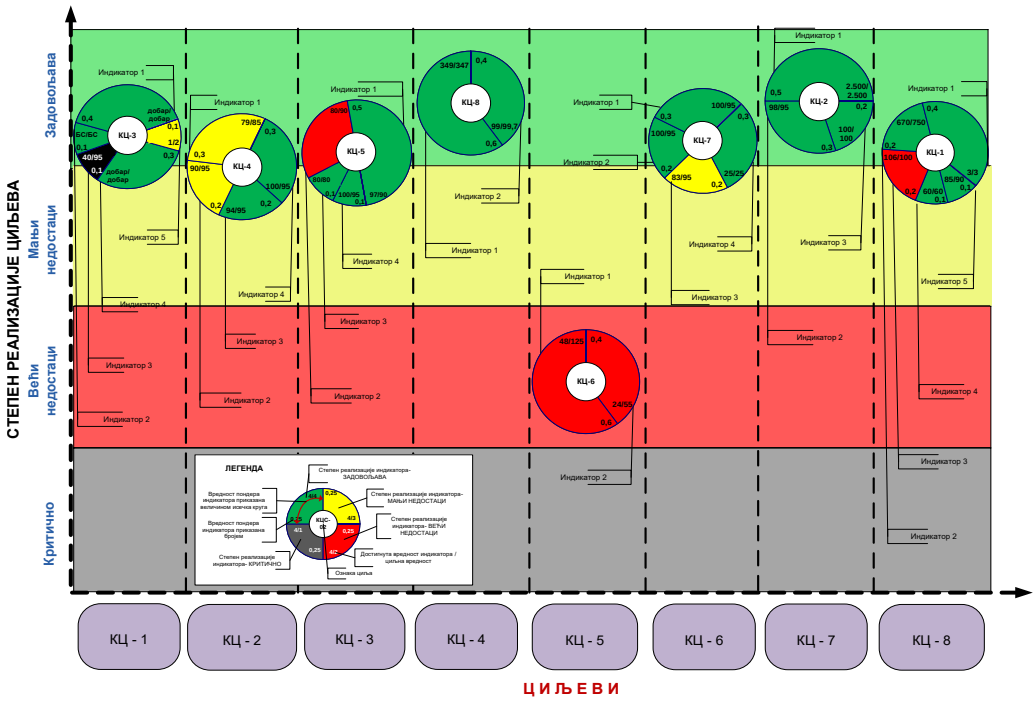
$$SC = 1{,}96 + 0{,}86 + 0{,}61 = 3{,}44 \quad (6)$$

Ознака циља	Циљ	Показатељи успешности реализације	Јединица мере	Пондер	Циљна вредност индикатора	Достигнута вредност индикатора	Распон вредности за одређивање статуса индикатора у _____ години				Степен реализације		Статус циља
							Задовољава	Мањи недостаци	Већи недостаци	Критично	Индикатора	Циља	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
КЦ-хх	Циљ 1	Индикатор 1	Оцена	0,45	8	**7,95**	3,93	0,00	0,00	0,00	1,77	3,17	мањи недостаци
		Индикатор 2	Број	0,25	25	**17**	0,00	2,50	0,00	0,00	0,63		
		Индикатор 3	Број	0,15	50	**36**	0,00	2,69	0,00	0,00	0,40		
		Индикатор 4	Број	0,15	10	**6**	0,00	0,00	2,50	0,00	0,38		

Слика 4: Пример унапређеног начина утврђивања степена реализације краткорочног циља

На овај начин добија се слика тачне позиције достигнутог степена реализације краткорочног циља, тако да надлежни руководилац може јасно да види на које циљеве треба усмерити корективне мере како би се реализација поправила.

Примера ради, циљеви КЦ-2 и КЦ-8, чија је реализација по постојећем начину приказа (слика 3) била у статусу задовољава, не приказује стварно стање достигнутог степена реализације циљева. Са друге стране, приказ степена реализације циљева по предложеном моделу, омогућава руководиоцима да уоче да су КЦ-2 и КЦ-8 на граници да пређу у статус мањи недостаци и да се не могу третирати као КЦ-4 или КЦ-7 који су у потпуности у статусу задовољава. Пример унапређеног начина приказа утврђеног степена реализације краткорочних циљева система одбране дат је на слици 5.



Слика 5: Пример унапређеног начина приказа утврђеног степена реализације краткорочних циљева система одбране

На основу оваквог приказа руководиоци могу корективним мерама циљано деловати на конкретне индикаторе који су у лошијем статусу реализације од планираног како би се реализација читавог циља поправила и довела у жељено стање.

4. ЗАКЉУЧАК

Да би се обезбедило адекватно управљање системом одбране неопходно је кроз процес планирања стално преиспитивати постављене циљеве. За то је неопходно пратити њихову реализацију и по потреби предузимати корективне мере како би се реализација довела на жељени ниво, а тиме обезбедило и адекватно управљање.

У раду је приказан могући начин унапређења постојећег начина утврђивања степена реализације циљева и њиховог приказа у одговарајућим извештајима који се достављају руководиоцима. За разлику од постојећег начина, руководиоци добијају јаснију слику стварног степена реализације постављених циљева и имају могућност да циљано делују корективним мерама на унапређење реализације циљева који су у нижем степену реализације од планираног. Приказани начин утврђивања степена реализације циљева могуће је применити и на друге организације.

Прорачуном степена реализације циљева утврђује се њихова позиција на графичком приказу који је прегледнији и прихватљивији за руководиоце на највишим нивоима у односу на различите табеларне приказе.

Сагледавањем резултата утврђеног степена реализације краткорочних циљева могуће је препознати области у којима постоје одређени проблеми и којима би требало посветити више пажње како би и реализација циљева била на вишем нивоу. У том смислу може послужити и предложени начин приказа степена реализације краткорочних циљева. Руководилац тачно види код којих индикатора постоје проблеми у реализацији и на које треба усмерити корективне мере како би реализација циља била побољшана.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Машић Б. и др. (2010). Менаџмент: принципи, концепти и процеси, IV допуњено издање, Универзитет Сингидунум, Београд.

[2] Стојковић, Д. (2011). Стратешко планирање у државној управи Републике Србије, Генерални секретаријат Владе, Београд.

[3] Канкараш, М, Димић, С, Цветковић С, Процена степена реализације циљева организације, XL Симпозијум операционих истраживања SYM-OP-IS, Златибор, 8-12. септембар 2013. године, стр. 620-625.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ПРИМЕНА FUZZY ЛОГИКЕ ЗА ПРОЦЕНУ НАЧИНА УКЉУЧИВАЊА ЗАИНТЕРЕСОВАНИХ СТРАНА У ПРОЦЕС ПЛАНИРАЊА РАЗВОЈА СИСТЕМА ОДБРАНЕ

APPLICATION OF FUZZY LOGIC FOR ASSESSMENT OF THE WAYS OF INVOLVING STAKEHOLDERS IN THE DEFENSE DEVELOPMENT PLANNING PROCESS

ВЛАДА МИТИЋ[1], МИТАР КОВАЧ[2], ДЕЈАН НИКОЛИЋ[3]

[1] Министарство одбране Републике Србије, Beograd, vlada.mitic@mod.gov.rs
[2] Факултет за пројектни и иновациони менаџмент, Универзитет „Educons", Beograd, mitar.kovac21@gmail.com
[3] Гарда, Генералштаб Војске Србије, Beograd, ana65@ptt.rs

Резиме: *Систем одбране карактерише велики број субјеката, а самим тим и велики број заинтересованих страна које утичу на његов развој. Узимајући у обзир потребу за рационализацијом процеса дугорочног планирања развоја није могуће све заинтересоване стране укључити непосредно у састав радних група за израду докумената планирања развоја. С тим у вези, у овом раду су приказани могући начини укључивања заинтересованих страна у процес планирања развоја, као и предлог модела за објективну процену обима укључивања појединих заинтересованих страна. Резултати истраживања могу представљати основу за организовање субјеката планирања развоја приликом спровођења процеса планирања развоја система одбране, као и за комуникацију са кључним заинтересованим странама.*

Кључне речи: *Планирање развоја, систем одбране, заинтересоване стране, fuzzy логика.*

Abstract: *The defense system is characterized by a large number of entities, and therefore a large number of stakeholders that influence its development. Taking into account the need to rationalize the process of long-term development planning, it is not possible to include all stakeholders directly in the working groups for drafting documents of development planning. In this regard, this paper presents possible ways of involving stakeholders in the process of development planning, as well as a proposal for a model for an objective assessment of the scope of involvement of individual stakeholders. The results of the research can be the basis for the organization of development planning subjects in the implementation of the defense planning process, as well as for communication with key stakeholders.*

Keywords: *Development planning, defense system, stakeholders, fuzzy logic.*

1. УВОД

У току спровођења процеса дугорочног планирања развоја система одбране, али и током израде других докумената планирања одбране, сталан проблем представља које субјекте укључити у процес израде документа и на који начин. Узимајући у обзир обухват система одбране, велики број је субјеката који могу потенцијално бити укључени у израду документа, а још већи је број заинтересованих страна за развоја система одбране. У пракси се не спроводи анализа заинтересованих страна и не постоји модел који ће на основу анализе заинтересованих страна омогућити да се из широког скупа заинтересованих страна утврде оне које су значајне за укључивање у процес планирања развоја.

Практична примена модела планирања развоја система одбране предвиђа једино укључивање субјеката у привремене саставе- групе, а које су због великог броја субјеката често предимензионисане, а тиме и неефикасне у раду. Овакав приступ у организовању субјеката планирања развоја, као и покушаји смањења обима привремених састава, често су доводили до искључивања из формалног процеса планирања развоја компетентних лица и лица у чијој је надлежности планирање развоја због приоритетизације потребних информација за реализацију процеса и обезбеђења легитимитета документа у односу на компетенције укључених лица.

Узимајући у обзир недостатке приликом досадашњег спровођења процеса планирања развоја система одбране, претпоставка је да се укључивање субјеката у процес планирања развоја може

унапредити помоћу различитих начина укључивања заинтересованих страна и објективношћу утврђивања обима укључености заинтересованих страна у процес планирања развоја. У овом раду, на основу анализе литературе (Bryson, 2004; Bryson & Alston, 2011) предложени су могући начини укључивања заинтересованих страна у процес планирања развоја, а затим су обими укључености процењени применом групног одлучивања и fuzzy логике.

2. ЗАИНТЕРЕСОВАНЕ СТРАНЕ СИСТЕМА ОДБРАНЕ

Литература која се бави проблемима планирања развоја система одбране заснованог на способностима наглашава да се анализа заинтересованих страна мора спровести на почетку процеса, а ради успешне имплементације будућег плана развоја (The Technical Cooperation Program (TTCP), 2004). У контексту планирања развоја заснованог на способностима, заинтересоване стране су појединци и/или групе које: имају интерес за остваривање пројеката развоја; поседују утицај и доносе одлуке и поседују организациони ауторитет за алокацију ресурса своје организације којима могу подржати пројекте развоја (Australian Government Department of Defence, 2014). Кључно је идентификовати информације, ресурсе и ауторитете заинтересованих страна неопходне за имплементацију плана развоја (The Technical Cooperation Program (TTCP), 2004)

Када је у питању процес планирања развоја, неке од кључних заинтересованих страна су политички и високи војни доносиоци одлука, планери, делови који се непосредно баве развојем способности кроз имплементацију плана развоја, обавештајно-безбедносни систем, влада и органи државне управе и други, зависно од процене њиховог утицаја на развој система одбране (Australian Government Department of Defence, 2014; The Technical Cooperation Program (TTCP), 2004).

Идентификовање заинтересованих страна се може вршити применом методе Брејнсторминг (Bryson & Alston, 2011). Применом наведене методе доприноси се сагледавању проблема идентификовања заинтересованих страна из различитих перспектива. Осим Брејнсторминга, за идентификовање већ познатих заинтересованих страна може се употребити анализа садржаја одредби докумената. С тим у вези, за потребе идентификовања заинтересованих страна за овај рад, извршена је анализа садржаја Стратегије одбране Републике Србије (Министарство одбране Републике Србије, 2009) и Упутство о обавештавању јавности о активностима Министарства одбране и Војске Србије (Управа за односе са јавношћу, 2015), а резултати анализе су приказани у табели (табела 1.)

3. НАЧИНИ УКЉУЧИВАЊА ЗАИНТЕРЕСОВАНИХ СТРАНА У ПЛАНИРАЊЕ РАЗВОЈА СИСТЕМА ОДБРАНЕ

Планирање развоја се може одредити као специфична врста планирања која је усмерена ка развоју било које организације (Reidar, 2004, стр. 15), односно ка промени организације и достизању одређеног жељеног стања. Планирање развоја се не бави детаљима организације, већ се односи на знатно шире гледиште, односно на стратегијско планирање (Reidar, 2004, стр. 8). Када је у питању систем одбране, планирање развоја система одбране може се дефинисати као процес одређивања циљева развоја система одбране и начина за њихово остварење, а кроз планове и програме развоја (Ковач & Стојковић, 2009). Процесом планирања развоја се предвиђа могуће будуће окружење, а потом израђује план развоја система одбране ради прилагођавања одрамбене организације том окружењу, узимајући у обзир и евентуална ограничења. За разлику од других организација, систем одбране представља укупну организованост, опремљеност и оспособљеност државе, њених грађана, војске и других субјеката друштва за одбрану (Лукић, 1994), односно систем одбране у интеракцији са другим државним системима треба да обезбеди заштиту националних интереса и вредности, а у складу са дефинисаним мисијама и задацима (Ковач & Стојковић, 2009). Може се приметити да систем одбране, поред Министарства одбране и Војске Србије обухвата знатно већи број субјеката, тако да на потенцијалну употребу и развој система одбране утиче велики број заинтересованих страна.

Заинтересоване стране неће бити на исти начин и у истом обиму укључене у процес планирања развоја. Начин укључивања заинтересованих страна у процес планирања развоја система одбране зависиће од идентификованих потреба, утицаја, мотива и циљева заинтересованих страна, као и процењеног нивоа моћи и интереса заинтересованих страна за развој система одбране. С тим у вези, од нарочитог је значаја спровођење анализе заинтересованих страна за утврђивање начина њиховог укључивања у процес планирања развоја. Приликом процене начина и обима укључивања заинтересованих страна у процес планирања развоја система одбране од нарочитог су значаја информације у вези са: међусобним утицајем појединих заинтересованих страна; местом и улогом

појединих заинтересованих страна који су утврђени стратегијама, концептима и нормативно-правим актима; специфичностима спровођења фаза процеса планирања развоја, као и процењеним потребних информација за спровођење процеса планирања развоја.

У литератури (Bryson, 2004; Bryson & Alston, 2011) се наводе следећи могући начини укључивања заинтересованих страна у процес планирања: информисати, консултовати, непосредан рад, сарађивати и доносиоци одлука.

Информисати је начин укључивања који се односи на заинтересоване стране којима је потребно пружити информације о току и продуктима процеса планирања развоја, а у циљу деловања на перцепцију у вези са појединим питањима планирања развоја и задовољења њихових потреба (одржавање задовољства) од стране система одбране. Информације које ове заинтересоване стране могу да пруже нису кључне за развој система одбране, или је до тих информација могуће доћи путем других субјеката планирања развоја, али је важно да се те заинтересоване стране информишу о процесу планирања развоја.

Консултовати представља начин укључивања који се односи на заинтересоване стране које је потребно информисати о процесу планирања развоја, а у циљу добијања повратних информација које могу утицати на реализацију процеса планирања развоја. Од нарочитог су значаја потребе које процес планирања развоја система одбране има од ових заинтересованих страна, односно информација које ове заинтересоване стране могу да дају планерима развоја. Наведене информације се најчешће односе на захтеве за способностима других субјеката система одбране, експертске процене за потребе реализације појединих фаза и корака процеса планирања развоја и слично.

Непосредан рад је начин укључивања заинтересованих страна непосредно у реализацију појединих фаза и корака процеса планирања развоја, а најчешће у оквиру радних група. У питању су заинтересоване стране које могу пружити кључне информације и компетенције за потребе развоја система одбране и посредно деловати на друге заинтересоване стране у смислу дистрибуције информација, као и заинтересоване стране чије су надлежности у директној вези са планирањем развоја и спровођењем планова развоја на стратегијском нивоу. Наведене заинтересоване стране је потребно континуирано информисати о целокупном процесу планирања развоја, као и о начину на који се њихове информације уважавају и имплементирају у процес планирања развоја.

Сарађивати представља начин укључивања у коме се заинтересоване стране у потпуности укључују у процес планирања развоја и имају улогу партнера носиоцу процеса планирања развоја, те са њим у реализацији и управљању процесом заједнички наступају. Код ових заинтересованих страна је потребно створити осећај да су и они носиоци процеса планирања развоја, те и да сам документ планирања развоја доживљавају као свој.

Доносиоци одлука представља начин укључивања заинтересованих страна које имају највећу моћ утицаја на процес планирања развоја, а које се налазе у управним структурама Војске Србије, Министарства одбране и целокупне државе. Овим заинтересованим странама је потребно достављати континуиране информације о процесу планирања развоја, а нарочито информације које су од значаја за доношење одлука у вези са развојем система одбране. Ове заинтересоване стране доносе одлуке које утичу на процес планирања развоја, па је потребно уважити све њихове смернице, као и мотиве и циљеве приликом предлагања опција развоја система одбране.

За сваку заинтересовану страну, или групу заинтересованих страна, методама групног одлучивања, могуће је одредити обим или интензитет укључености по сваком начину укључивања. Обим укључености одређене заинтересоване стране или групе заинтересованих страна, у сваком од начина укључивања, може се проценити петостепеном ординарном скалом, што омогућава примену статистичких метода и fuzzy логике за одређивање средње вредности мишљења експерата.

4. ПРИМЕНА FUZZY ЛОГИКЕ ЗА ПРОЦЕНУ СРЕДЊЕ ВРЕДНОСТИ МИШЉЕЊА ГРУПЕ ЕКСПЕРАТА

Приликом примене метода групног одлучивања, а како би се повећала објективност, може се употребити fuzzy логика. Метода fuzzy логика се користи како би се омекшале границе између различитих нивоа скале процене по којој експерти процењују одређену појаву, те утврђивања средње вредности процене групе експерата (Opricović, 2007). Према препорукама у (Ghazinoory, Memariani, & Esmail, 2007) из практичних разлога користе се троугласти fuzzy бројеви облика (једначина 1):

$$x = x^l, x^m, x^u \tag{1}$$

где је:

x^l - доња или песимистичка вредност,

x^m - средња или највероватнија вредност и

x^u - горња или оптимистичка вредност утицаја фактора.

С тим у вези, са експертима је обављен усмерени интервју. Критеријум за избор експерата је био тај да су учествовали у процесу дугорочног планирања развоја система одбране на стратегијском нивоу, те је селектовано девет експерата. Експерти су извршили процену обима потребне укључености одређене заинтересоване стране по сваком од начина укључивања у процес планирања развоја система одбране, а у складу са лингвистичким дескрипторима, по следећој скали:

Врло мали – VL (0; 1; 3);

Мали – L (1; 3; 5);

Средњи – M (3; 5; 7);

Велики – H (5; 7; 9);

Врло велики – VH (7; 9; 10).

На основу извршених процена експерата прорачунато је средње мишљење групе експерата. Средње мишљење групе експерата x_i, за сваки критеријум, добија се на основу појединачних мишљења као средња вредност добијеног сета fuzzy бројева, односно мишљења, а према једначини (2):

$$x_{iz} = (x_{iz}^l, x_{iz}^m, x_{iz}^u), = (\frac{1}{a}\ \sum_{k=1}^{a} x_{iz}^{kl}, \frac{1}{a}\ \sum_{k=1}^{a} x_{iz}^{km}, \frac{1}{a}\ \sum_{k=1}^{a} x_{iz}^{ku}) \quad (2)$$

где је:

$i=1,...,n$ (редни број начина укључивања);

$z=1,...,s$ (редни број заинтересоване стране или групе заинтересованих страна);

$k=1,...,a$ (редни број експерта).

Квантитативна вредност средње процене групе за сваку заинтересовану страну и за сваки начин укључивања утврђена је дефазификацијом средњег одговора групе експерата применом *градираног метода интеграције средине fuzzy бројева* (Shan Huo Chen, 2006) према једначини (3):

$$x_{iz\ def} = \frac{x_{iz}^l + 4 \cdot x_{iz}^m + x_{iz}^u}{6} \quad (3)$$

Дефазификоване вредности средњег одговора групе експерата представљају основу за процену релативног обима потребног укључивања сваке заинтересоване стране у процес планирања развоја система одбране, узимајући у обзир различите начине на које могу бити укључене.

5. ПРОЦЕНА ОБИМА УКЉУЧЕНОСТИ ЗАИНТЕРЕСОВАНИХ СТРАНА У ПРОЦЕС ПЛАНИРАЊА РАЗВОЈА СИСТЕМА ОДБРАНЕ

На основу спроведеног поступка примене fuzzy логике, за сваку од претходно утврђених заинтересованих страна, утврђена је квантификована вредност средње процене групе (једначина 3). Квантификоване вредности средње процене групе представљају квантификацију процењеног обима укључености сваке заинтересоване стране у сваком од могућих начина укључивања (табела 1).

Tabela 1: Процењен обим укључивања заинтересованих страна у процес планирања развоја система одбране

Заинтересована страна	Информи-сати	Консулто-вати	Непосредан рад	Сарађивати	Доносиоци одлука
Политички доносиоци одлука у држави	6,97	4,20	1,53	1,17	8,10
Политички доносиоци одлука у МО	8,47	7,37	3,03	1,53	8,10
Парламентарне политичке партије	5,40	1,90	1,53	1,17	5,80
Политичке партије ван парламента	3,83	1,53	1,53	1,17	1,17
Војни доносиоци одлука	8,10	8,10	3,43	1,53	7,70
Интерна јавност	5,80	5,03	1,53	1,53	1,17
Управе у МО носиоци чиниоца развоја способности	8,47	8,47	8,10	1,53	1,53
Управа ГШ ВС надлежна за планирање развоја	8,10	4,20	7,33	8,47	5,00
Остале управе МО и ГШ	7,70	7,70	7,37	1,17	1,53

Заинтересована страна	Информи-сати	Консулто-вати	Непосредан рад	Сарађивати	Доносиоци одлука
Јединице оперативног нивоа	5,80	6,90	5,80	1,17	2,27
Јединице тактичког нивоа	3,83	3,83	2,27	1,17	1,17
Грађани	6,17	1,53	1,17	1,17	1,17
Експерти у области безбедности и одбране	6,17	6,97	2,30	1,17	1,17
Министарства и државни органи надлежни за послове безбедности	8,47	8,10	7,70	1,17	1,90
Друга министарства и органи државне управе	6,97	6,60	5,43	1,17	1,53
Локалне самоуправе	4,20	3,83	1,17	1,17	1,53
Верске заједнице	2,63	1,53	1,53	1,17	1,17
Правна лица одбрамбене индустрије	8,10	6,60	5,80	1,17	1,17
Велики технички системи од значаја за одбрану	6,60	6,60	3,83	1,17	1,17
Друга правна лица од значаја за одбрану	4,60	4,20	2,27	1,17	1,17
Медији	7,70	2,27	1,17	1,17	1,17

На основу резултата истраживања може се приметити да је највећи број заинтересованих страна потребно *информисати* о процесу планирања развоја. Заинтересоване стране за које је процењен потребан мањи обим информисања могуће је изоставити из овог начина укључивања, или је на њих могуће деловати посредством други заинтересованих страна. Од нарочитог је значаја начин укључивања *консултовати*, јер омогућава смањивање обима радних група на изради документа, уз остваривање сличних ефеката. С тим у вези, у непосредном раду на изради документа могуће је укључити само кључне заинтересоване стране у Министарству одбране и Војсци Србије, као и кључна министарства и државне органе, док је остале потребно консултовати у вези са појединим проблемима планирања развоја, узимајући у обзир преовлађујући начин укључивања између *непосредног рада* и *консултовања*. Као посебан начин укључивања препознат је *сарадник*, а процењено је да би то требало да буде организациона јединица Генералштаба Војске Србије надлежна за планирање развоја. Када су у питању *доносиоци одлука*, експерти су проценили да је у највећем обиму потребно укључити политичке доносиоце одлука на свим нивоима, као и војне руководиоце, а затим, са ограниченим делокругом на мање проблеме планирања развоја, и поједине организационе целине унутар Министарства одбране и Војске Србије у складу са њиховим надлежностима.

6. ЗАКЉУЧАК

У овом раду предложен је модел замисли који има за циљ да раши проблем процене обима укључивања појединих заинтересованих страна у складу са различитим начиним укључивања у процес планирања развоја система одбране. Како би се повећала објективност процене обима укључивања, примењене су методе групног одлучивања, уз примену fuzzy логике за обраду прикупљених података. Информације добијене на основу модела не представљају крајње решење за решавање проблема организације субјеката планирања развоја, већ су корисне улазне информације при разматрању будуће организације и састава радних група.

Једна од предности предложеног модела јесте и то што, изузев непосредног рада у радним групама, предвиђа укључивање заинтересованих страна на друге начине у процес планирања развоја као и информисање појединих заинтересованих страна. Уважавањем могућности укључивања заинтересованих страна на друге начине могу се постићи ефекти у рационализацији процеса дугорочног планирања развоја смањењем броја чланова радних група уз повећање радног учинка, као и утицај на перцепцију свих заинтересованих страна о значају система одбране и проблемима са којима се планирање развоја суочава.

Даље истраживање је потребно усмерити ка објективном идентификовању заинтересованих страна за процес планирања развоја система одбране, те експерименталном спровођењу предложеног модела замисли.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Australian Government Department of Defence. (2014). Defence Capability Development Handbook 2014. Canberra: Defence Publishing Service.

[2] Bryson, J. M. (2004). Strategic planning for public and nonprofit organization. San Francisco: Jossey-Bass.

[3] Bryson, J. M., & Alston, F. K. (2011). Creating your strategic plan- a workbook for public and nonprofit organizations (3nd Edition ed.). San Francisco: Jossey-Bass.

[4] Ghazinoory, S., Memariani, A., & Esmail, Z. (2007). Fuzzy SWOT analysis. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 18(1), pp. 99-108.

[5] Opricović, S. (2007). A FUZZY compromise solution for multicriteria problems. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 15(3), 363-380.

[6] Reidar, D. (2004). Development planning- concepts and tools fro planners, managers and facilitators. London: Zed books.

[7] Shan Huo Chen, S. T. (2006). Some Properties of Graded Mean Integration. Tamsui Oxford Journal of Mathematical Sciences, 22(2), pp. 185-208.

[8] The Technical Cooperation Program (TTCP). (2004). Guide to Capability Based Planning. MORS workshop.

[9] Ковач, М., & Стојковић, Д. (2009). Стратегијско планирање одбране. Београд: Војноиздавачки завод.

[10] Лукић, П. (1994). Правне основе система одбране Савезне Републике Југославије. Београд: Драганић.

[11] Министарство одбране Републике Србије. (2009). Стратегија одбране Републике Србије. Београд: Медија центар "Одбрана".

[12] Управа за односе са јавношћу. (2015). Упутство о обавештавању јавности о активностима Министарства одбране и Војске Србије. Београд: Војна штампарија.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

ODREĐIVANJE BORBENIH MOGUĆNOSTI I EFIKASNOSTI ARTILJERIJSKIH JEDINICA PROTIVVAZDUHOPLOVNE ODBRANE U SUKOBU SA NISKOLETEĆIM CILJEVIMA

DETERMINATION OF COMBAT CAPABILITIES AND EFFICIENCY OF THE ANTI-AIRCRAFT ARTILLERY UNITS IN CONFLICT WITH LOW-FLYING TARGETS

DALIBOR PETROVIĆ[1], VLADA MITIĆ[2], NENAD KAPOR[3]

[1] Uprava za strategijsko planiranje, Ministarstvo odbrane, Beograd, dalibor.petrovic@mod.gov.rs
[2] Uprava za strategijsko planiranje, Ministarstvo odbrane, Beograd, vlada.mitic@mod.gov.rs
[3] Megatrend univerzitet, Fakultet za civilno vazduhoplovstvo, Beograd, nenad.kapor@gmail.com

Rezime: *Imajući u vidu savremenu fizionomiju oružanih sukoba, u kojoj dominira udar sa distance upotrebom krstarećih raketa kao i raznih bespilotnih letelica, u radu se razmatraju borbene mogućnosti artiljerijskih jedinica protiv vazduhoplovne odbrane (PVO) u odbrani teritorije. Istraživanje prikazano u ovom radu bavi se matematičkim modelima borbe, krstarećih raketa i borbenog sistema artiljerijskih jedinica PVO. Upotreba krstarećih raketa je sa distance televizijski vođenjem, korišćenjem taktike istovremenog približavanja cilju. Model borbe sproveden je za slučaj jedinične platforme artiljerijskih jedinica PVO (protiv avionski top (PA top)) za dejstvo na grupu ciljeva na malom dometu. Ograničenje u modelu je veličina borbenog kompleta PA topa i vreme trajanja sukoba koje je definisano kao maksimalno vreme za koje je potrebno da krstareća raketa stigne do PA topa. Za određivanje efikasnosti vatrene moći artiljerijskeih jedinice PVO prilagođen je model autonomne/direktne vatre.*

Ključne reči: *autonomna/direktna vatra, artiljerijska jedinica PVO, krstareća raketa, borbeni sistem.*

Abstract: *Bearing in mind the modern physiognomy of armed conflicts, which is dominated by the impact from the distance and the use of cruise missiles and various unmanned aircraft, the paper deals with the combat capabilities of anti-aircraft artillery units against conducting the task of territory defense. The research presented in this paper deals with mathematical models of combat, in which cruise missiles and the artillery anti-aircraft system is opposed. The use of cruise missiles is by remote-controlled television, using the tactics of simultaneously approaching the target. The combat model was implemented in the case of a one anti-aircraft artillery platform in action against group targets at a small range. The limitation in the model is the size of the artillery platform combat kit and the duration of the conflict defined as the maximum time for which a cruise missile is required to reach the artillery platform. An autonomous / direct fire model was adapted to determine the efficiency of the firepower of artillery unit.*

Keywords: *autonomous / direct fire, anti-aircraft artillery unit, cruise missile, combat system.*

1. UVOD

Sagledavanje borbenih mogućnosti jedinica a naročito borbenih mogućnosti artiljerijskih jedinica PVO predstavlja veoma kompleksan problem čije rešavanje treba vezati za borbenu situaciju u kojoj bi se analizirana jedinica nalazila. Ako pogledamo unazad poslednja ratna dešavanja (napad na Saveznu Republiku Jugoslaviju, Siriju itd) izvođena su iznenada i sa distance, korišćenjem velikog broja krstarećih raketa. Karakteristika ovih raketa je da lete nisko prateći konfiguraciju terena, a kad se nađu u prostoru cilja povećavaju svoju visinu za napad. Takođe, pored krstarećih raketa buduća borbena dejstva podrazumevaće upotrebu velikog broja dronova. U konceptu savremene odbrane vazdušnog prostora osnovu protivazduhoplovne odbrane čine PVO sistemi srednjeg i velikog dometa, to jest zaštita teritorije je usmerena na napad iz vazduha sa velikih visina, zanemarivajući činjenicu da će fizionomija budućih borbenih dejstava biti na masovnijoj upotrebi niskoletećih krstarećih raketa i dronova. S tim u vezi nameće se pitanje koje snage treba upotrebljavati u ovakvim dejstvima i koliko bi bila efikasna PVO artiljerija u dejstvima na ovakve grupe ciljeva?

Iako današnji artiljerijski PVO sistemi predstavljaju hibride, koji su pored topova naoružani i raketama malog i srednjeg dometa, osnovna ideja i cilj rada je da se provere i testiraju karakteristike same artiljerije bez upotrebe raketa u sukobu protiv nisko letećih ciljeva.

2. SCENARIO

Situacija na bojištu podrazumeva da se artiljerijski sistem PVO (PA top) nalazi u zoni očekivanja grupe krstarećih raketa. Krstareće rakete prolaskom kroz klisuru nailazi na PA top. Imajući u vidu da su rakete televizijski navođene, kad uoče PA top vrši istovremeno dejstvo na njega. Pretpostavka je da zbog konfiguracije terena, PA top, neće moći svojim radarom da otkrije krstareće rakete na daljini većoj od 3000m. Cilj ovakve pretpostavke je da se sagledaju borbene mogućnosti sredstva koje može dejstvovati samostalno u sastavu PVO, na osnovu njegove sposobnosti da ima potpunu informaciju o osmatranju vazdušnog prostora u reonu dejstva, to jest da ne zavisi od sistema PVO. Ovakva sposobnost mu omogućava manje potrebno vreme za dejstvo na neprijatelja imajući u vidu da mu ne treba veza sa sistemom osmatranja i javljanja, to jest sama platforma osmatra i prikuplja informacije o cilju potrebne za njeno efikasno dejstvo po istom.

Borbeno vreme jednog napada se razmatra kao konačno vreme koje je potrebno da krstareće rakete pređu put od trenutka otkrivanja do trenutka udara u PA top. Sukob se razmatra kao jedan nalet grupe više krstarećih raketa u zoni očekivanja PA topa. PA top uzvraća preciznom vatrom korišćenjem manevra vatrom (to jest prenošenjem vatre sa jedne krstareće rakete na drugu) (Milinović *et al*. 2014). U sukobu krstareće rakete koje prežive napad PA topa, pogađaju metu (PA top). Ovo odgovara modelu pripremljene direktne vatre na PA top, gde je PA top pogođen sa svim raketama preživelim u napadu. Borbena jedinica (PA top) troši sve ili deo raspoloživih granata na uništenje krstarećih raketa u jednom naletu. Bitka je okončana kad su preživele rakete iz naleta uništile artiljerijsku jedinicu PVO (PA top). U ovakvom scenariju zasnovanom na performansama oružja plavog i crvenog, determinističke jednačine boja moraju se modifikovati i razmatrati kroz borbenu situaciju, brzinu i preciznost vatre.

3. MATEMATIČKI MODEL I USVOJENE HIPOTEZE

Pretpostavke modela je da platforma artiljerijske jedinice PVO (PA top) ima sopstveni osmatrački i nišanski radar i da dejstvuje samostalno u reonu očekivanja.

Platforma artiljerijske jedinice PVO naoružan je sa dva dvocevna topa kalibra 30mm koji dejstvuju istovremeno na izabrani cilj. S tim u vezi, ovakvu platformu tretiraćemo kao jediničnu borbenu platformu sa više oruđa jednorodnog tipa sa ukupnom integrisanom vatrenom moći a na osnovu koje se vrši procena njene borbene moći (Milinović *et al*. 2013). Ograničenja koja prate gađanje artiljerijske jedinice PVO vezana su za tehničke karakteristike topova to jest zone dejstva PA topa po daljini i po visini.

Platforma artiljerijske jedinice PVO (PA top) ima ograničen broj granata sa kojima raspolaže u skladu sa deklarisanim kapacitetom. U jednom naletu krstarećih raketa, platforma artiljerijske jedinice PVO na svaku krstareću raketu ispali rafal sa istim, normiranim brojem granata. Normirani broj granata u rafalu je definisan vremenom trajanja rafala. Usvaja se da je to vreme uvek veće ili jednako graničnom vremenu za koje je verovatnoće uništenja cilja 0,9.

Borbenu efikasnost artiljerijskih jedinica PVO modelirana je determinističkim jednačinama (Petrović *et al*. 2013), autonomne vatre na više ciljeva (krstarećih raketa) koje vrše direktnu vatru na artiljerijsku jedinicu PVO.

Determinističke jednačine (Przemieniecky 2000), koje opisuju model boja su:

$$\frac{dm_B}{dt} = -a_{\mathrm{R}} m_R \tag{1}$$

$$\frac{dm_R}{dt} = -b_{\mathrm{B}} m_R \tag{2}$$

Druga jednačina, predstavlja degradaciju raketa koju PA top gađa u jednom normiranom rafalu i posle direktne integracije može se napisati u sledećem obliku:

$$m_R(t) = M_R \mathrm{e}^{-b_{\mathrm{B}} t_g} \tag{3}$$

Ukupan broj raketa u simulaciji posle svakog rafala predstavljen je sledećom jednačinom:

$$m_{R(i)} = m_{R(i-1)} - M_R e^{-b_B t_g} \qquad \text{i=1,2,3,.....} \tag{4}$$

Kao početne vrednosti simulacije biće usvojeno da je:

- $m_{R(0)}$ - broj raketa na početku boja,
- m_B - broj PA topova koji gađa grupu ciljeva,
- $M_R = 1$ - broj raketa koje PA top gađa u jednom rafalu,
- $m_{R(i)}$ - broj raketa nakon i-tog rafala,
- t_g - vreme trajanja jednog rafala PA topa,
- λ - brzina vatre PA topa [1/s],
- p - verovatnoća pogađanja jednim granatom PA topa,
- $b_B = \lambda p$ - koeficijent atricije (brzina verovatne vatre) PA topa,
- a_R - koeficijent atricije (brzina verovatne vatre) rakete,

Po navedenoj hipotezi m_B je broj PA topova koji gađa grupu ciljeva (krstarećih raketa), $m_B = 1$ (jedan PA top gađa krstareće rakete u zoni očekivanja, autonomnom vatrom). Uništenje krstarećih raketa u ovom modelu, posmatra se kao dejstvo PA topa bez uvida u rezultate dejstva i sa uvidom u rezultate dejstva. To jest, prvi slučaj je kad PA top vrši dejstvo po grupi raketa na način da isplali normirani rafal i odmah vrši prenošenje vatre na drugi cilj (drugu krstareću raketu) bez prethodnog uvida u rezultat dejstva to jest da li će prva raketa biti uništena. Drugi način je da PA top vrši dejstvo na raketu normiranim rafalom i čeka da vidi rezultat dejstva (vreme čekanja je vreme potrebno da granata pređe put od PA topa do rakete) a nakon toga vrši manevar vatrom (to jest vrši prebacivanje vatre) na drugu krstareću raketu. Manevar vatrom (Priručnik 1980) PA topa koji vrši autonomnu vatru karakteriše se vremanom gađanja (vreme trajanja jednog rafala) t_g i vremenom prenosa vatre t_{pv}. Imajuci u vidu da je analizirani sistem automatizovan i da na sebi ima osmatrački i nišanski radar ukupno vreme prenosa vate uključuje pomeranje topa po pravcu i mesnom uglu kao i vreme hvatanja ocene, uvođenje elemenata o cilju i početak vatre.

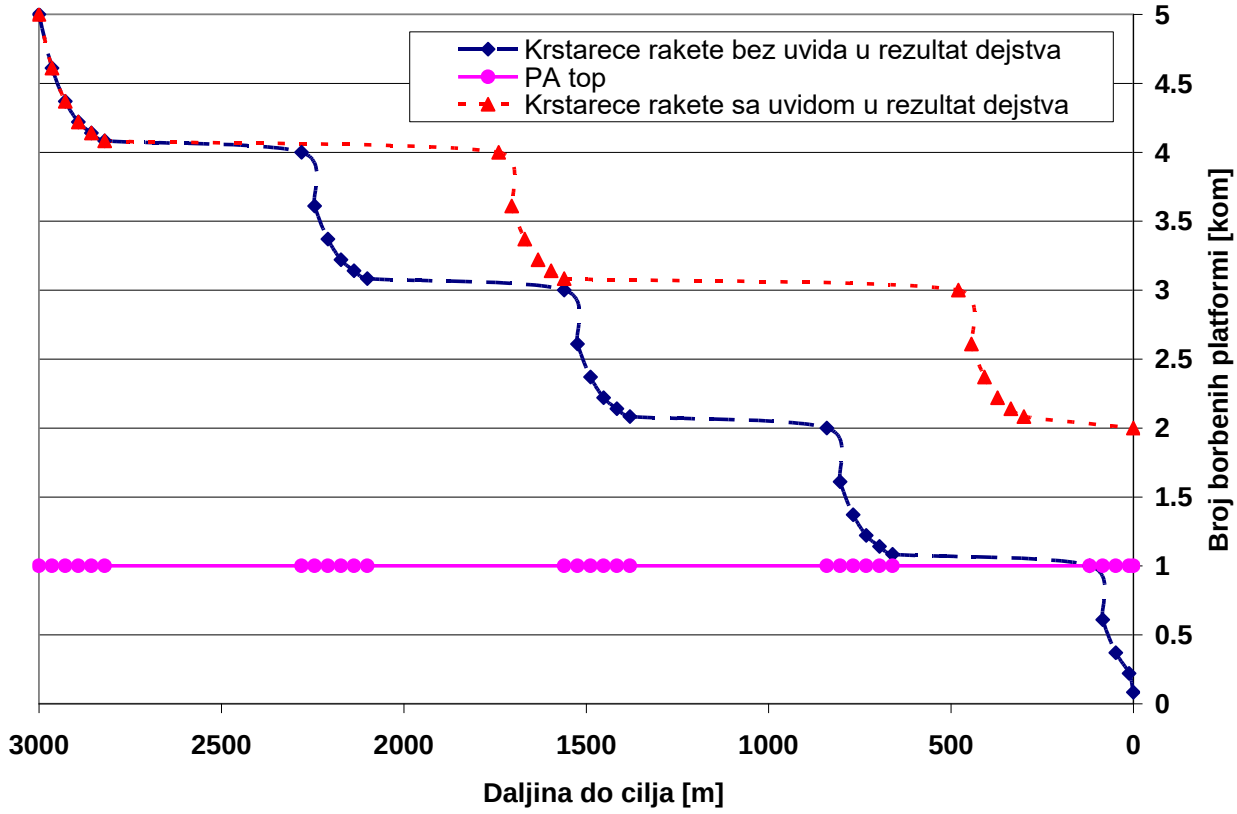
4. REZULTAT SIMULACIJE

Dijagram efikasnosti dejstva PA topa na krstareće rakete dat je na slici 1. Na osnovu postavljenog modela, kao i jednačina i izraza u glavi 3, simulacija je izvedena pod sledećim uslovima:

1. Dejstvo PA topa vršeno je gustinom vatre od 5000 metaka/minuti sa verovatnoćom pogađanja jednim projektilom 0,03, brzina granate je 960 m/s.
2. Vreme dejstva PA topa na krstareće rakete bilo je konstantno i iznosilo je $t_g = 1s$, što za analizirani sistem kome je brzina vatre 5000 granate/minuti predstavlja 83 granate/s.
3. Daljina dejstva PA topa, to jest daljina uočenja cilja je 3000 m.
4. Krstareće rakete lete brzinom od 180 m/s, pod hipotezom da jedna raketa onesposobljava PA top.
5. Vreme manevra vatrom je računato sa vremenom leta granate na krajnjem dometu $t_l = 3{,}13s$ i vreme prenosa vatre $t_{pv} = 3s$

Na osnovu postavljenog modela jednačine 4 i njenog rešenja za uzastopnu rafalnu vatru, na više ciljeva, kao i na osnovu navedenih početnih uslova, izvedena je simulacija softverom Mathcad. Dijagram prikazan na slici 1 pokazuje značajno smanjenje krstarećih raketa u situaciji kada PA top dejstvuje na ciljeve pod dejstvom normiranog rafala sa manevra prenošenja vatre, bez uvida u rezultat dejstva. Ovakvo dejstvo ima smisla uz normirani rafal čija je verovatnoća pogađanja 0,9. S tim u vezi u radu je izabran normirani rafal od 1s za koji je verovatnoća pogađanja krstareće rakete 0,92. Ovakvim dejstvom na ciljeve PA top bi mogao da preživi udar od pet raketa s tim da bi poslednja verovatnoća uništenja krstareće rakete pala na 0,82 imajući u vidu rastojanje na koje je ova raketa prišla PA topu kao i vreme preostalo za dejstvo na nju. U simulaciji kada PA top ima uvid u rezultat dejstva na cilj, koji se ostvaruje u vremenu koje je potrebno za let granate do krstareće rakete, i ako se pretpostavi da je cilj uništen u svakom rafalu, PA top ne bi preživeo napad od četiri i više raketa. Na dijagramu prikazanom na slici 1 vidimo da na kraju bitke, kada pet krstarećih raketa napada

PA top, dve rakete preživljavaju sukob od kojih je jedna dovoljna da uništi PA top. S tim u vezi možemo zaključiti da PA top u situaciji kada ima informacije o uništenju cilja neće preživeti napad od minimum četiri krstareće rakete.



Slika 1: Dijagram uništenja cilja pri uzastopnim rafalima PA topa sa i bez uvida u rezultat dejstva na cilj

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U radu je pokazana mogućnost primene Lanchester-ovih jednačina boja jedne naoružane platforme protiv više tačkastih ciljeva. Prikazane su vatrene mogućnosti PA topa u rafalnom dejstvu na krstareće rakete sa normiranim brojem granata. Takođe, analiziran je uticaj uvida u rezultat dejstva na cilj kao verovatnoća preživljavanja PA topa u napadu sa više krstarećih raketa. Vatrena moć PA topa proverena je na relativnoj efikasnosti uništenja tačkastog cilja sa normiranim brojem granata prema dva slučaja i to kad PA top ima uvid u rezultat dejstva na cilj i kad nema. Simulacija je izvedena upotrebom Lanchester-ovih jednačine boja za model sa jednim učesnikom u sukobu čija se efikasnost iskazuje autonomnom normiranom vatrom na tačkaste ciljeve koji koji uzvraćaju direktnom vatrom.

LITERATURA

[1] J.S. Przemieniecky. (2000)Mathematical methods in defense analyses, Third edition, AIAA, Education Series, Redston, Virginia, USA

[2] Priručnik RV i PVO 1980, Bograd SSNO.

[3] Milinović, M., Kovač, M., Petrović, D. & Jeremić, O. (2013). Capabilities Modeling of Nlos-Missiles in Modular Unit of Coast Guard Batle Team, (BALCOR 2013), Beograd, Zlatibor.

[4] Petrović, D., Milinović, M., Kovač, M. & Jeremić, O. (2013). Determinističko modeliranje kvaliteta vatrene moći vazduhoplova naoružanog vbr lanserima nevođenih raketa. Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2013), Zlatibor.

[5] Milinovic, M., Petrovic, D., Jeremic, O., Kovac, M., Discrete Deterministic Modeling Of Autonomous Missiles Salvos, Defence Science Journal. 64(5) (2014) 471-476.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PRIMENA GREJNDŽEROVOG TESTA UZROČNOSTI U ISTRAŽIVANJIMA ODBRANE – IZABRANI PRIMERI*

EMPLOYING GRANGER CAUSALITY TEST IN DEFENCE STUDIES - SELECTED EXAMPLES

DEJAN STOJKOVIĆ[1], MIROSLAV GLIŠIĆ[2]

[1] Ministarstvo odbrane Republike Srbije; Univerzitet odbrane u Beogradu, Beograd, dej.stojkovic@gmail.com
[2] Ministarstvo odbrane Republike Srbije; miroslav.glisic@gmail.com

Rezime: *U radu su prikazani rezultati istraživanja različitih mogućnosti za primenu Grejndžerovog testa uzročnosti u istraživanjima odbrane. Autori su naveli karakteristične primere primene Grejndžerovog testa u istraživanjima od značaja za planiranje odbrane i istraživanjima ekonomskih aspekata odbrane. Istraživanje je pokazalo da se Grejndžerov test uzročnosti može uspešno koristiti za istraživanje različitih pojava od značaja za planiranje odbrane, kao i za istraživanje ekonomskih aspekata odbrane.*

Ključne reči: *Grejndžerov test uzročnosti, planiranje odbrane, ekonomija odbrane.*

Abstract:*This paper presents results of the research of possibilities for employing Granger causality test in defence researches. The authors specified distinctive examples of usage of Granger causality test in researches which are relevant for defence planning and defence economics. The research pointed out that Granger causality test can be successfully applied for researching of various phenomena that are significant for defence planning as well as for researching of economic aspects of defence.*

Keywords: *Granger causality test, defence planning, defence economics.*

1. UVOD

Ljudi se sve vreme bave uzrocima kako bi objasnili šta im se dogodilo, odnosno kako bi predvideli šta će se dogoditi i uticati na buduće događaje. Skoro svakodnevno se pitamo šta je uzrok nečega ili šta će biti posledica nečega. Odgovori su obično složeni, ali znanje o uzročnosti može biti od velike pomoći prilikom objašnjavanja prošlih fenomena i predviđanja budućih.

Filozofi i naučnici vekovima diskutuju o tome šta je uzročnost, ali još uvek nisu došli do jedinstvene i univerzalno prihvaćene definicije tog pojma. Poslovni rečnik (BusinessDictionary, 2019) uzročnost definiše kao *veza između dva događaja ili stanja tako da je jedan proizvodi ili dovodi do drugog; gde je jedan uzrok, a drugi njegov efekat*.

Pojam ukazuje na odnos između uzroka i njegovog efekta. Uopšteno govoreći, postoje dva osnovna aspekta kauzalnog odnosa. Jedan je simetrični oblik odnosa između uzroka i posledice, a drugi je asimetrični odnos u kojem uzroci stvaraju efekte, ali ne i obrnuto (Bradi, 2011).

Vojni mislioci se vekovima bave problemom uzročnosti, posebno kada je reč o proučavanju uzroka sukoba. Na to pitanje postoje brojni i različiti odgovori, ali su istraživanja uzroka sukoba pokrenula mnoge druge studije uzroka i posledica u domenu odbrane. Razumevanje uzročnih veza je važno u svim aspektima odbrane, ali je posebno bitno na strateškom nivou odlučivanja gde je potrebno razumeti neizvesnost i nepredvidivost na međunarodnom polju (Stigler, 2015).

Ekonomisti su dali značajan doprinos afirmaciji koncepta uzročnosti. Razvili su brojne tehnike za analizu uzročnih veza između vremenskih serija, a neke od najpopularnijih metoda zasnivaju se na konceptu Grejndžerove uzročnosti (Granger causality), koja je zasnovana na kriterijumu inkrementalne prognostičke vrednosti. Kaže se da promenljiva X u Grejndžerovom smislu uzrokuje promenljivu Y, ako se Y može bolje predvideti na osnovu prošlih vrednosti X i Y nego na osnovu prošlih vrednosti samo Y (Freeman, 1983, 328).

* Stavovi izneseni u ovom radu jesu stavovi autora i ne predstavljaju nužno i stavove institucija Republike Srbije.

U oblasti odbrane, Grejndžerov test uzročnosti korišćen je radi utvrđivanja uzročnosti između različitih promenljivih. Većina njih se odnosi na ekonomske aspekte odbrane, ali postoje pokušaji da se ta tehnika koristi i kako bi se utvrdila uzročnost u drugim oblastima odbrane.

2. PRIMENA GREJNDŽEROVOG TESTA UZROČNOSTI U PLANIRANJU ODBRANE

Pored primene Grejndžerovog testa uzročnosti u istraživanju ekonomskih aspekata odbrane taj test se koristi i za istraživanje određenih pojava od značaja za planiranje odbrane. Na primer, test je korišćen za istraživanje veza i odnosa između troškova odbrane i određenih političkih, ekonomskih, socijalnih, bezbednosnih i drugih varijabli.

Osnovne determinante izdataka za odbranu istraživane su primenom regresione analize. Regresiona analiza je pokazala da su izdaci za odbranu Republike Srbije primarno određeni ekonomskom snagom države, nivoom nacionalne bezbednosti, kao i vojnim izdacima susednih zemalja i NATO u Evropi (Stojković, 2018). Stojković i Glišić (2018) su primenom Grejndžerovog testa uzročnosti istraživali veze i odnose između izdataka za odbranu Republike Srbije i varijabli koje su date u Tabeli 1.

Tabela 1: Moguće nezavisne varijable modela izdataka za odbranu Republike Srbije

BDPps	Bruto domaći proizvod po stanovniku u analiziranom periodu (2007–2016) korišćen je radi prikaza ekonomskih potencijala Republike Srbije. Test korelacije ja pokazao negativnu, ali statistički značajnu korelaciju sa izdacima za odbranu Republike Srbije (-0,890 na 0,01 nivou značajnosti, dvosmerni test).
Inf	Inflacija je korišćena kao pokazatelj ekonomske stabilnosti Republike Srbije koji bitno utiče na budžet odbrane. Ta varijabla ima pozitivnu korelaciju za izdacima za odbranu Republike Srbije (0,686 na 0,05 nivou značajnosti, dvosmerni test).
JD	Javni dug kao procenat BDP korišćen je kao pokazatelj sposobnosti Vlade da ispunjava svoje buduće obaveze. Ta varijabla ima visoku negativnu korelaciju sa izdacima za odbranu Republike Srbije (-0,960 na 0,01 nivou značajnosti, dvosmerni test).
PS	Politička struktura Vlade je binarna varijabla koja ima vrednost 1 kada je na vlasti Srpska napredna stranka i vrednost 0 kada ta parija nije deo izvršne vlasti.
NB	Nacionalna bezbednost kao varijabla iskazana je preko indikatora Politička stabilnost i odsustvo nasilja/terorizma (engl. Political Stability and Absence of Violence/Terrorism). Vrednosti su preuzete iz baze Svetske banke Indikatori globalne vladavine (engl. Worldwide Governance Indicators). Test korelacije pokazao je visoku negativnu statistički značajnu korelaciju (-0,942 na 0,01 nivou značajnosti, dvosmerni test).
U_1	Ukupni vojni izdaci susednih država u prethodnoj godini povezani su sa izdacima za odbranu Republike Srbije. Test je pokazao pozitivnu korelaciju (0,807 na 0.01 nivou značajnosti, dvosmerni test).
U_2	Ukupni vojni izdaci država NATO u Evropi u prethodnoj godini takođe utiču na izdatke za odbranu Republike Srbije. Test korelacije je pokazao pozitivnu korelaciju (0,615 na 0.1 nivou značajnosti, dvosmerni test).

Rezultati Grejndžerovog testa prikazani su u Tabeli 2. Rezultati su pokazali da BDP po stanovniku (BDPps), javni dug (JD) i nacionalna bezbednost (NB) uzrokuju troškove odbrane Republike Srbije (SRB_MilExp) na nivou značajnosti od 1%. Ukupni vojni troškovi susednih zemalja u Grejndžerovom smislu uzrokuje troškove odbrane Republike Srbije na nivou značajnosti od 5%.

Tabela 2: Rezultati Grejndžerovog testa

	(Y): SRB_MilExp				
	Lag=1			Lag=2	
	F	p		F	p
BDPps	23,329	0,001899 ***		1,0094	0,4417
Inf	4,5996	0,06916*		1,1481	0,4036
JD	21,138	0,002491 ***		3,3497	0,1398
PS	1,8085	0,2206		4,4729	0,09547*
NB	21,797	0,002291 ***		2,9127	0,1657
U1	7,3346	0,03028 **		0,161	0,8565
U2	0,1361	0,7231		0,1389	0,8744
*** 0,01 nivo značajnosti ** 0,05 nivo značajnosti * 0,1 nivo značajnosti					

Grejndžerov test uzročnosti pokazao je da su izdaci za odbranu Republike Srbije određeni ekonomskom snagom države, stanjem nacionalne bezbednosti, kao i izdacima za odbranu susednih država.

Kovačević i Smiljanić (2017) su primenom Grajndžerovog testa analizirali potencijalnu uzročnost između izdataka za odbranu i BDP Republike Hrvatske, kao i između izdataka za odbranu i brojnog stanja Oružanih snaga Republike Hrvatske. Autori su koristili podatke za period od 1995. do 2014. godine čiji su izvori Svetska banka i Stokholmski međunarodni institut za istraživanje mira (Stockholm International Peace Research Institute, SIPRI).

Rezultati testiranja odnosa bruto domaćeg proizvoda (GDP) i izdataka za odbranu (DEFEXP) dati su u Tabeli 3. Autori su zaključili da u slučaju Republike Hrvatske u kratkoročnom i dugoročnom periodu ne postoji jednosmerna ili dvosmerna uzročnost u Grejndžerovom smislu između izdataka za odbranu i bruto domaćeg proizvoda.

Tabela 3: Rezultati testiranja Grejndžerove uzročnosti (GDP-DEFEXP)

	Zavisna varijabla	χ^2	df	Verovatnoća
VAR(1)	GDP	0,858654	1	0,3541
	DEFEXP	1,298593	1	0,2545

U Tabeli 4 prikazani su rezultati Grejndžerovog testiranja uzročnosti između brojnog stanja oružanih snaga (AFP) i izdataka za odbranu (DEFEXP). Rezultati su pokazali da je u posmatranom periodu postojala uzročnost između navedenih varijabli, ali da se uzročnost vidi nakon trogodišnjeg perioda.

Tabela 4: Rezultati testiranja Grejndžerove uzročnosti (GDP-DEFEXP)

	Zavisna varijabla	χ^2	df	Verovatnoća
VAR(1)	AFP	5,322195	3	0,0000
	DEFEXP	1,441970	3	0,6957

Specifičan primer primene Grejndžerovog testa uzročnosti, koji može biti od značaja za planiranje odbrane, jeste i njegova upotreba za istraživanje odnosa određenih ekonomskih varijabli i terorizma. Rasheed i Tahir (2012) istraživali su vezu stranih direktnih investicija (Foreign direct investment, FDI) i terorizma u Pakistanu. Autori su zaključili da strane direktne investicije u Grejndžerovom smislu uzrokuju terorizam, ali i da terorizam u Grejndžerovom smislu uzrokuje strane direktne investicije.

Navedeni primeri su pokazali da se Grejndžerov test uzročnosti može koristiti za istraživanje različitih pojava od značaja za planiranje odbrane. Rezultati istraživanja doprinose razumevanju pređašnjih pojava, ali mogu da posluže i za predviđanje budućih događanja.

3. PRIMENA GREJNDŽEROVOG TESTA UZROČNOSTI U ISTRAŽIVANJU EKONOMSKIH ASPEKATA ODBRANE

Veći broj autora je primenom Grejndžerovog testa uzročnosti istraživao vezu između troškova odbrane i ekonomskog rasta. Empirijska istraživanja pokazuju da su smer i znak uzročnosti između izdataka za odbranu i privrednog razvoja mešoviti. Iako se uzročnost od izdataka za odbranu do ekonomskog rasta pokazuje u brojnim studijama, znak je dvosmislen. U nekim slučajevima, rezultati ukazuju na to da izdaci za odbranu stimulišu privredni rast, ali to nije uvek slučaj (Su, Xu, Chang, Lobont, & Liu, 2018).

Tako su Pol Dan (Paul Dunne), Eftihia Nikolaidu (Eftychia Nikolaidou) i Dimitrios Vougas (Dimitrios Vougas) istraživali uzročnost između troškova odbrane i ekonomskog rasta u Grčkoj i Turskoj u periodu od 1960. do 1996. godine, a imajući u vidu velika izdvajanja za odbranu u tim zemljama. Autori su došli do zaključka da, uopšteno govoreći, ne postoje dokazi da ekonomski rast ni u jednoj zemlji nije uzrokovan promenom visine izdvajanja za odbranu (Dunne, Nikolaidou and Vougas, 2001).

Kolias (Kollias), Manolas (Manolas) i Paleologu (Paleologou) (2004) su istraživali odnos između vojnih izdataka i ekonomskog rasta među članicama EU15 koristeći ko-integraciju i testove uzročnosti za period od 1961. do 2000. godine. Autori navode da prikazani rezultati ne otkrivaju ujednačenost među 15 zemalja EU, kao i da prividna prevalencija smera uzročnosti od rasta do vojnih izdataka te nepostojanje obrnutog kauzalnog odnosa može biti pokazatelj da države odluke o odbrambenoj potrošnji donose na osnovu stanja njihove privrede.

Međunarodna grupa autora (Zhong, Chang, Goswami, Gupta and Lou, 2016) je istraživala veze između vojnih izdataka i ekonomskog rasta u zemljama BRICS (Brazil, Rusija, Indija, Kina i Južnoafrička Republika) i Sjedinjenim Američkim Državama (SAD) za period od 1988. do 2012. godine. Rezultati Grejndžerovih testova uzročnosti pokazali su da vojni troškovi utiču na ekonomski rast u Sjedinjenim Državama, ekonomski rast utiče na vojne troškove u Brazilu i Indiji, da postoji povratna veza između vojnih troškova i ekonomskog rasta u Rusiji, kao i da ne postoji uzročna veza između vojnih troškova i ekonomskog rasta u Kini i Južnoafričkoj Republici. Autori navode da rezultati istraživanja mogu dati važne političke implikacije za zemlje BRICS-a, kao i za Sjedinjene Države.

Grupa kineskih autora je uz pomoć Grejndžerovog testa uzročnosti istraživala uzročno-posledičnu vezu između izdataka za odbranu i ekonomskog rasta u Kini. Autori su došli do zaključka da u slučaju Kine ekonomski rast uglavnom dovodi do povećanja izdataka za odbranu. Nasuprot tome, povećanje izdataka za odbranu ne proizvodi ekonomski rast (Su *et al*. 2018).

Pored istraživanja veza između izdataka za odbranu i ekonomskog rasta država, više autora je istraživalo i veze i odnose između izdataka za odbranu i nezaposlenosti. U literaturi se govori o nekoliko glavnih načina na koje vojni izdaci mogu uticati na zapošljavanje. Jedan način je taj da povećanje vojnih izdataka utiče na poboljšanje produktivnosti, npr kroz transfer tehnologije iz vojnog sektora u privatni sektor, poboljšanje sigurnosti građana i imovine od stranih vojnih prijetnji, izgradnje vojne infrastrukture koja koristi civilima i sl. Kako se produktivnost rada poboljšava, povećava se i potražnja za radnom snagom. Sa druge strane, povećana vojna potrošnja može dovesti do povećanja poreza, što može dovesti do smanjenja zapošljavanja ukoliko se to povećanje odnosi na zaposlene. Negativan efekat na zaposlenost može da ostvari i smanjenje izdataka za odbranu i smanjenje vojnog sektora, kada zaposleni iz vojnog sektora prelaze u privatni sektor. Pored navedenog, i nivo nezaposlenosti može da utiče na vojne izdatke, na primer kada se nezaposlenost pokušava ublažiti zapošljavanjem u vojnom sektoru što povećava izdatke za odbranu.

U vezi sa prethodnim, empirijska istraživanja koja su se odnosila na povezanost vojnih izdataka i nezaposlenosti ukazala su na različite rezultate. Rezultati istraživanja nekih autora ukazali su da postoji pozitivan odnos između vojne potrošnje i nezaposlenosti, dok su drugi autori zaključivali da ne postoji uzročnost u Grejndžerovom smislu između izdataka za odbranu i nezaposlenosti. Autori Tang, Lai i Lin (2009) su primenom Grejndžerovog testa istraživali odnos vojnih izdataka i nezaposlenosti u 46 zemalja. Rezultati su pokazali da postoji malo dokaza o tome da su vojni izdaci uzrokovani nivoom nezaposlenosti. Sa druge strane, vojni izdaci iskazani u ukupnim iznosima ne utiču na nezaposlenost, ali ukoliko se iskazuju u učešću u bruto domaćem proizvodu (BDP) oni će verovatno u Grejndžerovom smislu uzrokovati nezaposlenost.

4. ZAKLJUČAK

Iako su se prvobitne primene odnosile na ekonomske nauke, Grejndžerov test uzročnosti se uspešno primenjuje i u mnogim drugim oblastima. Poslednjih godina test se učestalo koristi i za istraživanje različitih pojava u oblasti odbrane.

Grejndžerov test uzročnosti može se uspešno primenjivati u oblasti planiranja odbrane. Istraživanja primenom tog testa uglavnom se koriste radi prepoznavanja veza i odnosa između različitih političkih, ekonomskih, socijalnih, bezbednosnih i drugih varijabli. Takođe, test se koristi i za utvrđivanje veza i odnosa određenih karakteristika oružanih snaga odnosno sistema odbrane i varijabli političkog, ekonomskog, socijalnog, bezbednosnog i drugog karaktera. Sprovode se i istraživanja u vezi sa uzrocima određenih bezbednosnih pretnji, npr. terorizma.

U domenu odbrane Grejndžerov test uzročnosti se često koristi i radi istraživanja ekonomskih aspekata te državne funkcije. Veliki broj istraživanja je sproveden radi utvrđivanja uzročnosti, u Grejndžerovom smislu, između izdataka za odbranu i određenih ekonomskih indikatora države. Rezultati testiranja su različiti i ne mogu se izvući generalni zaključci.

Uspešnost primene Grejndžerovog testa uzročnosti uslovljena je specifičnim znanjima i veštinama. Odgovarajuća primena može u značajnoj meri da doprinese razumevanju prošlih pojava u domenu odbrane, ali i da pomogne u predviđanju budućih događaja.

LITERATURA

[1] Brady, H. E. (2011). Causation and Explanation in Social Science. Oxford Handbooks Online. doi:10.1093/oxfordhb/9780199604456.013.

[2] Dunne, P., Nikolaidou, E., & Vougas, D. (2001). Defence spending and economic growth: A causal analysis for Greece and Turkey. Defence and Peace Economics, 12(1), 5–26. doi:10.1080/10430710108404974.

[3] Freeman, J. (1983). Granger Causality and the Times Series Analysis of Political Relationships. American Journal of Political Science, 27 (2), 327-358.

[4] Kollias, C., Manolas, G., & Paleologou, S.-M. (2004). Defence expenditure and economic growth in the European Union: A causality analysis, Journal of Policy Modeling, Elsevier, 26(5), 553-569.

[5] Kovačević, T., Smiljanić, D. (2017). Causality Analysis Between GDP, Defence Expenditure and the Number of Armed Forces Personnel: The Case of Croatia. Ekonomski pregled, 68 (4), 413-431.

[6] Rasheed, H., & Tahir, M. (2012). FDI and Terrorism: Co-integration & Granger Causality. International Affairs and Global Strategy, 4, 1–5.

[7] Stigler, A. (2015). Assessing Causality in a Complex Security Environment. Joint Force Quarterly 76, 35-39.

[8] Stojković, D., & Glišić, M. (2018). Serbia's Military Neutrality: Is It Economically Beneficial? Defence and Peace Economics. doi:10.1080/10242694.2018.1547952.

[9] Stojković, D., (2018, September). Osnovne determinante izdataka za odbranu Republike Srbije. In Kočović, J. XLV Simpozijum o operacionim istraživanjima - SYM-OP-IS 2018, Zbornik radova, Zlatibor. 331-335. https://symopis2018.ekof.bg.ac.rs/razno/Zbornik_radova_SYM-OP-IS_2018.pdf.

[10] Su, C., Xu, Y., Chang, H. L., Lobont, O.-R., & Liu, Z. (2018). Dynamic Causalities between Defense Expenditure and Economic Growth in China: Evidence from Rolling Granger Causality Test, Defence and Peace Economics. doi: 10.1080/10242694.2018.1505583.

[11] Tang, J., Lai, C., & Lin, E. S. (2009). Military Expenditure and Unemployment Rates: Granger Causality Tests Using Global Panel Data. Defence and Peace Economics, 20(4), 253–267. doi:10.1080/10242690903105257.

[12] Zhong, M., Chang, T., Goswami, S., Gupta, R., & Lou, T.-W. (2016). The nexus between military expenditures and economic growth in the BRICS and the US: an empirical note. Defence and Peace Economics, 28(5), 609–620. doi:10.1080/10242694.2016.1144897.

TRAFFIC, TRANSPORTATION AND COMMUNICATION

SAOBRAĆAJ, TRANSPORT I KOMUNIKACIJE

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

INTELIGENTNA PREZASIĆENA RASKRSNICA U REALNOM VREMENU - ANALITIČKI I SIMULACIONI PRISTUP

INTELLIGENT OVERSATURATED INTERSECTION IN REAL TIME - ANALYTICAL AND SIMULATION APPROACH

ALEKSANDAR JOVANOVIĆ[1], KATARINA KUKIĆ[2],

[1] Fakultet inženjerskih nauka, Univerzitet u Kragujevcu, a.jovanovic@ kg.ac.rs
[2] Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, k.mijailovic@sf.bg.ac.rs

---

Rezime: *Zagušenja u saobraćaju su sastavni deo života za milione ljudi u gradovima širom sveta. Ona imaju negativne posledice koje se ispoljavaju kroz vremenske i ekonomske gubitke, uz nepovoljan uticaj na ekologiju. U ovom radu razmatran je problem upravljanja izolovanom raskrsnicom u realnom vremenu. Matematički model, zasnovan na fazi logici, ima za cilj da minimizira vremenske gubitke koji nastaju usled postojanja semafora i uslova prezasićenosti. Posebna pažnja posvećena je udaljenosti između detektora i zaustavne linije, kao značajnog parametra pri implementaciji predloženog modela. Pristup fazi logikom za rešavanje predmetnog problema poređen je sa rezultatima dobijenim pomoću „fixed time" optimizacije. Razvijen je poseban analitički model za proračun vremenskih gubitaka vozila, zasnovan na poznatom „Akcelik" modelu. Vrednosti vremenskih gubitaka dobijenih na analitički način poređeni su sa onima koji su generisani iz mikrosimulacionog modela „VISSIM". Model je testiran na primeru „T" raskrsnice gde pokazuje opravdanost svoje primene.*

Ključne reči: *Prezasićena raskrsnica, upravljanje u realnom vremenu, vremenski gubici vozila, fazi logika, simulacija.*

Abstract: *Traffic congestion is a part of everyday life for millions of people in cities around the world. They have negative consequences such as time and economic losses, with deleterious effects on ecology. In this paper, the problem of controlling an isolated signalized intersection in real time is considered. The mathematical model based on the fuzzy logic aims to minimize the control delays caused by oversaturated conditions. Particular attention is focused on the distance between the detector and the stop line, as a significant parameter in the implementation of the proposed model. The fuzzy logic approach is compared with the results obtained by "fixed time" optimization. A special analytical model for calculating delay has been developed, based on the well-known "Akcelik" model. The delays obtained in an analytical manner are compared with those generated from the microsimulation traffic tool "VISSIM". The model was tested on the "T" intersection, with promising results for eventual application.*

Keywords: *Oversaturated intersection, real-time control, control delays, fuzzy logic, simulation.*

1. UVOD

Raskrsnica je mesto gde se ukrštaju saobraćajni tokovi različitih usmerenja, koja su u međusobnom konfliktu. Iznalaženje povoljnih načina upravljanja ovim konfliktima je zadatak koji se postavlja pred saobraćajne inženjere. Postoje razne strategije kako se dolazi do rešenja ovog problema, među kojima su tradicionalni pristupi (Webster 1958) zasnovani na upravljanju u fiksnom vremenu rada i pristupi zasnovani na upravljanju u realnom vremenu (Gartner 1983). Upravljanje u fiksnom vremenu podrazumeva da su saobraćajni zahtevi unapred poznati na osnovu istorijskih merenja u periodima stacionarnosti (jutarnji vršni čas, i sl.), dok su za upravljanje u realnom vremenu potrebnu podaci sa detektora postavljenih na prilazima raskrsnice.

Primarni kriterijumi pomoću kojih se vrednuju efekti postignutih rešenja zasnivaju se na izgubljenom vremenu koje su korisnici imali usled nemogućnosti da svi budu istovremeno opsluženi. Ukoliko je raskrsnicom upravljano pomoću svetlosne signalizacije model za proračun vremenskih gubitaka u fiksnom vremenu može se naći, između ostalih, u HCM (2010), a ukoliko je reč o upravljanju u realnom vremenu modeli se u većini slučajeva zasnivaju na onom koji je predložio Akcelik (1980).

U ovom radu razmatran je problem upravljanja saobraćajnim signalima na prezasićenoj izolovanoj raskrsnici u realnom vremenu. U literaturi je poznat stav da kada su na snazi prezasićeni tokovi preporučeno je upravljati raskrsnicom u fiksnom vremenu (Roess *et al.* 2011). Ipak, i u ovom slučaju moguće je pronaći izvesna poboljšanja kroz upravljanje redovima vozila na prilazima raskrsnici.

Kada iskusan policajac kontroliše tokove na raskrsnici on ne vrši komplikovane proračune, već intuitivno donosi odluku o produžetku trenutne faze. On procenjuje koliko je vozila propustio (mnogo ili malo), koliko vozila čeka u redu, pa na osnovu toga zaustavlja jedan red a drugom daje prvenstvo prolaza. Fazi logika, pomoću koje se može upravljati na sličan način, je iskorišćena u ovom radu kao osnova za razvoj matematičkog modela. Prvi model koji je ukazao na mogućnost primene fazi logike na probleme upravljanja nezasićenom raskrsnicom je delo autora Pappis and Mamdani (1977). Oni su pokazali prednosti primene fazi logike za upravljanje u realnom vremenu, na primeru raskrsnice koju čine dve jednosmerne ulice. Od tada, mnogi autori su koristili fazi logiku za rešavanje problema upravljanja saobraćajnim tokovima na raskrsnicama (Li and Prevedouros 2004, Murat and Gedizlioglu 2005, Murat 2006, Yang *et al.* 2006, Nair and Cai 2007, Soh *et al.* 2010, Diaz-Cabrera *et al.* 2015, Goyal *et al.* 2018).

Zhang *et al.* (2008) su razmatrali raskrsnicu koja je prezasićena samo u dve saobraćajne trake, dok u ostalim trakama nema prezasićenosti. Definicija prezasićene raskrsnice se može izvesti na taj način. Za razliku od navedenog rada, u ovom radu se razmatra potpuno prezasićena raskrsnica, što bi značilo da je raskrsnica prezasićena u svim trakama. Drugim rečima, svi saobraćajni zahtevi na raskrsnici prelaze kapacitet saobraćajnih traka, a ne samo u pojedinim.

Problem upravljanja izolovanom raskrsnicom u slučaju prezasićenih tokova razmatrali su, između ostalih, Han 1996, Park *et al.* 1999, Chang and Lin 2000, Dion *et al.* 2004, Zhao *et al.* 2011, Jovanović and Teodorović 2017.

Ovaj rad je organizovan u pet celina. Posle uvodnih razmatranja u prvom poglavlju, drugo poglavlje je posvećeno algoritmu za rešavanje problema upravljanja prezasićenom raskrsnicom pomoću fazi logike. Treće poglavlje se bavi modelima za proračun vremenskih gubitaka vozila u fiksnom i realnom vremenu, a kada raskrsnica radi pod prezasićenim tokovima. U četvrtom poglavlju su predloženi algoritam i modeli testirani na primeru „T“ raskrsnice, za različite položaje detektora. Poslednje, peto poglavlje, je posvećeno zaključnim razmatranjima i pravcima budućih istraživanja.

2. ALGORITAM ZA UPRAVLJANJE PREZASIĆENOM RASKRSNICOM

Algoritam za upravljanje prezasićenim tokovima zasniva se na fazi logici. Autori su sličan algoritam već primenili u slučaju upravljanja prezasićenom „T“ raskrsnicom (Jovanović and Kukić 2017), kao i za upravljanje prezasićenim tokovima na relativno novom konceptu raskrsnice sa alternativnom geometrijskom strukturom pod nazivom „*Diverging Diamond Interchange" – DDI* (Kukić and Jovanović 2018).

Prilikom primene upravljanja prezasićenom „T“ raskrsnicom primećeno je da se rezultati razlikuju u zavisnosti od položaja detektora. U ovom radu ispitaće se zavisnost položaja detektora na prilazima raskrsnici u zavisnosti od efikasnosti predloženog algoritma. Parametar efikasnosti će biti, kao što je već pomenuto, vremenski gubici vozila.

Analitički model za proračun vremenskih gubitaka na raskrsnici u slučaju upravljanja u realnom vremenu pod prezasićenim tokovima već je primenjen u pomenutim radovima. U ovom radu autori imaju jedan drugačiji pristup. Rešenja generisana na analitički način biće proverena pomoću mikrosimulacionog alata „VISSIM“. U ovom simulacionom alatu vremenski gubici se ne računaju analitički, već softver ima mogućnost da vrednosti vremenskih gubitaka generiše kao da u sebi ima „idealnu“ štopericu koja ih meri.

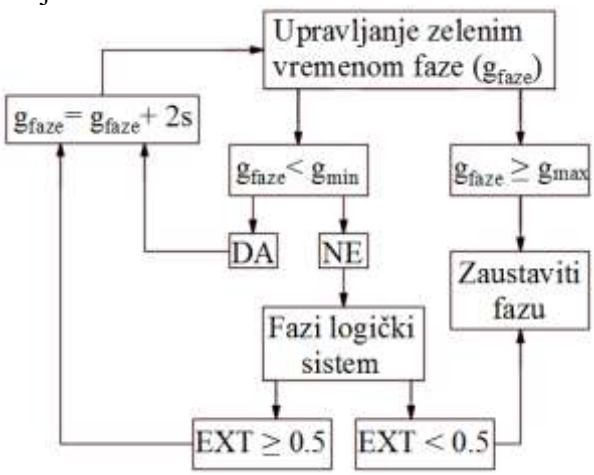
Fazi logički sistem za upravljanje izolovanom prezasićenom raskrsnicom u realnom vremenu (preuzet iz rada Jovanović and Kukić 2017), upravlja redovima vozila na osnovu dva ulazna fazi skupa i jedne izlazne veličine. Prvi fazi skup predstavlja broj vozila u redu koji se opslužuje tokom trajanja zelenog vremena faze (V_{ap}). Drugi ulazni fazi logički skup predstavlja broj vozila u redu koji čeka zeleno vreme sledeće faze (V_q). Ulazne fazi skupove čine po 3 funkcije pripadnosti predstavljene Gausovim krivama: mali, srednji i veliki red vozila.

Razvijeni fazi logički sistem je “Sugeno” tipa i određuje na svake 2 s da li se produžava postojeća faza, ili se prekida. Izlaznu veličinu (*EXT*) čini jedan od dva broja: 1 ukoliko se faza produžava za još 2 s, i 0 ukoliko se faza prekida.

Svaka faza ima svoje minimalno zeleno vreme (g_{min}) i maksimalno zeleno vreme (g_{max}). Minimalno zeleno vreme se usvaja na početku algoritma (najčešće od 8 s do 12 s). Maksimalno zeleno vreme je određeno optimizacijom u slučaju upravljanja u fiksnom režimu rada.

Vrednost *EXT* uzima opseg od 0 do 1. Ukoliko je *EXT* vrednost veća ili jednaka 0.5 faza se produžava, ukoliko je manja od 0.5 postojeća faza se prekida. Dakle, svaka faza može biti prekinuta ili odlukom fazi

logičkog sistema ili ako je dostigla svoje maksimalno zeleno vreme. Algoritam na osnovu kog se odlučuje o produžetku ili prekidanju faze dat je na slici 1.



Napomena: Na početku algoritma $g_{faze} = 0$ s

Slika 1: Algoritam za upravljanje zelenim vremenom faze (Jovanović and Kukić 2017)

Razvijeni model ne predviđa preskakanje faza, kao ni izbor između više faza kojima će biti dodeljeno zeleno vreme. Sa obzirom na predmet izučavanja ovog rada (prezasićena raskrsnica u svim fazama), ovakve promene u algoritmu ne bi donele do značajnih poboljšanja vrednosti ukupnih vremenskih gubitaka. Fazi logički sistem se formira na bazi "If-Then" fazi pravila. U ovom slučaju "Then" deo pravila je binarna odluka o tome da li produžiti fazu za još dve sekunde ili je prekinuti.

EXT se dobija defazifikacijom, koja predstavlja poslednji korak predložene metodologije. Defazifikacija, kao i fazi logički sistem, je izveden u programskom paketu "MATLAB", odnosno u njegovom "Toolbox" u pod nazivom "FIS Editor".

3. PRORAČUN VREMENSKIH GUBITAKA

Maksimalna zelena vremena se, kao što je već napomenuto, dobijaju optimizacijom u fiksnom vremenu rada. Više detalja oko optimizacije pri fiksnom režimu upravljanja moguće je naći u radu Jovanović and Teodorović (2017). Na ovom mestu će biti prikazan model za proračun vremenskih gubitaka, u slučaju upravljanja prezasićenom raskrsnicom pomoću svetlosnih signala.

Kada se raskrsnicom upravlja u realnom vremenu, na svakih nekoliko sekundi treba donositi odluke o tome da li produžiti ili prekinuti aktuelnu fazu. Ovakav način upravljanja ima za posledicu da unapred nisu poznate vrednosti ciklusa i raspodele zelenih vremena po fazama i nije moguće računati gubitke na isti način kao u slučaju upravljanja u fiksnom vremenu. U ovom poglavlju biće pokazan model za proračun vremenskih gubitaka i u ovom slučaju koji se bazira na poznatom modelu iz rada Akcelik (1980).

3.1. Vremenski gubici u slučaju upravljanja u fiksnom vremenu

Neka su poznati sledeći elementi signalnog plana: ciklus (C) i stvarna zelena vremena i-te saobraćajne trake ili i-te grupe traka (g_i). Vremenski gubici vozila i-te saobraćajne trake ili i-te grupe traka na signalisanoj raskrsnici (d_i) se računaju kao (HCM 2010):

$$d_i = \frac{0.5 \cdot C \cdot \left(1 - \frac{g_i}{C}\right)^2}{1 - \left[\min\left(1, X_i\right) \cdot \frac{g_i}{C}\right]} + 900T\left[\left(X_i - 1\right) + \sqrt{\left(X_i - 1\right)^2 + \frac{4 \cdot X_i}{c_i T}}\right] + d_{3i} \quad (1)$$

gde su: X_i - stepen zasićenja i-te saobraćajne trake ili i-te grupe traka; c_i - kapacitet i-te saobraćajne trake (voz/h); T - period analize (h); d_{3i} - dodatni gubici, po vozilu, i-te trake ili i-te grupe traka (s/veh).

Odnos saobraćajnog toka (q_i) i kapaciteta, u i-toj traci ili i-toj grupi traka, predstavlja stepen zasićenja (X_i), koji se računa na sledeći način (HCM 2010):

$$X_i = \frac{q_i}{c_i} = \frac{q_i}{s_i \frac{g_i}{C}} = \frac{q_i / s_i}{g_i / C} \tag{2}$$

gde s_i predstavlja zasićeni tok *i*-te trake ili *i*-te grupe traka.

U okviru ovog modela razmatraće se stanje prezasićenih saobraćajnih tokova, zbog čega je potrebno izračunati i komponentu d_{3i} iz formule (1). Faktor *PF* je jednak jedinici, sa obzirom da se razmatra izolovana signalisana raskrsnica. Vreme analize *T* se uobičajeno uzima kao konstantno (*T*=15 min, *T*=30 min, *T*=1 h, itd.).

Dodatni vremenski gubici usled postojanja inicijalnog reda u *i*-toj saobraćajnoj traci ili *i*-toj grupi traka d_{3i} računaju se kao (HCM 2010):

$$d_{3i} = \frac{1800 \cdot Q_{bi} \cdot (1 + u_i) \cdot t_i}{c_i \cdot T} \tag{3}$$

gde su: Q_{bi} - inicijalni red vozila (veh) u *i*-toj traci; c_i - kapacitet *i*-te trake (veh/h); *T* - period analize (h); t_i - vreme tokom kojeg postoje neopslužena vozila *i*-te trake; u_i - parametar vremenskih gubitaka u *i*-toj traci.

Trajanje neopsluženih zahteva t_i i parametar u_i se računaju na sledeći način:

$$t_i = \min\left\{T, \frac{Q_{bi}}{c_i \cdot [1 - \min(1, X_i)]}\right\} \tag{4}$$

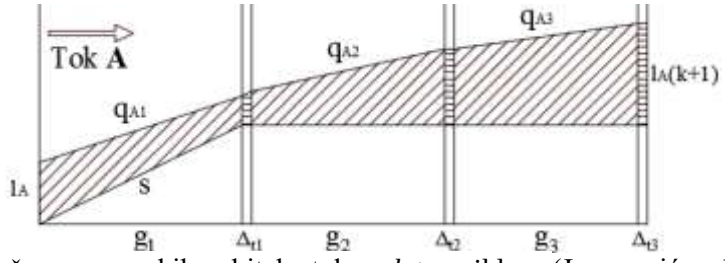
$$\text{if } t_i < T \text{ then } u_i = 0; \text{ else } u_i = 1 - \frac{c_i \cdot T \cdot [1 - \min(1, X_i)]}{Q_{bi}} \tag{5}$$

3.2. Vremenski gubici u slučaju upravljanja u realnom vremenu

Ukupni vremenski gubici tokom *k*-tog ciklusa, koji se sastoji iz tri faze, dobijaju se proračunom površine šrafiranih delova na slici 2, gde je prikazan samo jedan tok vozila sa oznakom A.

Sa *q* je označen broj vozila koja nailaze u određenim fazama. Sa *l* je označen broj vozila na početku i na kraju određenih faza, kao i pre početka *k*-tog ciklusa i na njegovom kraju. Brojevima 1, 2 i 3 su označene faze, dok je sa *g* označeno zeleno vreme tih faza. U predloženom modelu razmatran je slučaj kada je *s* konstantno i kada svaka traka može da propusti 1 vozilo na 2 sekunde kada faza u kojoj se ta traka opslužuje ima zeleno svetlo. Kalibracija modela je moguća i za različite vrednosti *s*-a.

Nakon završetka jedne faze ne prelazi se istovremeno na sledeću, već postoji i zaštitno vreme *Δt*. U okviru ovog vremena detektor može da registruje nova vozila.

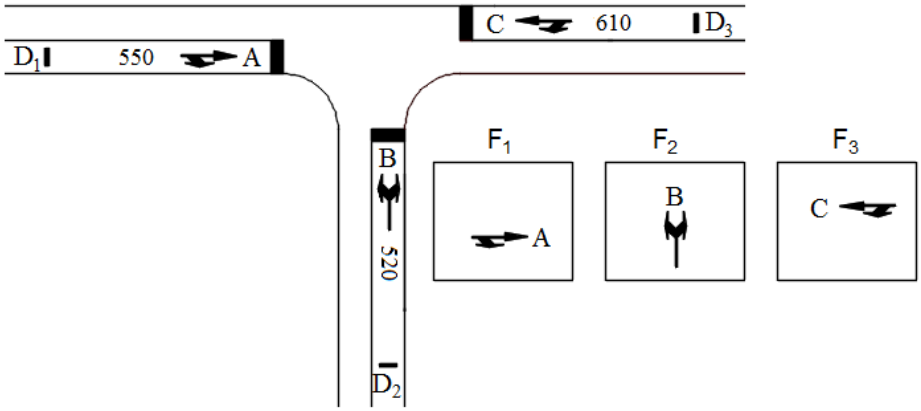


Slika 2: Proračun vremenskih gubitaka tokom *k*-tog ciklusa (Jovanović and Kukić 2017)

4. TEST PRIMER

Na slici 3. prikazana je test raskrsnica sa rasporedom tokova po fazama (Jovanović and Kukić 2017) sa saobraćajnim zahtevima po trakama (veh/h). Zaštitno vreme između svih faza *Δt* = 4 s, u okviru kojih detektor šalje podatak o tome da li su se redu priključila nova vozila ili nisu.

Na osnovu optimizacije dobijeno je rešenje koje zadovoljava minimalnu vrednost vremenskih gubitaka. Zelena vremena faza dobijena na ovaj način predstavljaju maksimalna zelena vremena za upravljanje u realnom vremenu. Rešenje daje vrednost ciklusa od 120 s i vrednost zelenog vremena od 36 s, 34 s i 38 s, respektivno po fazama. Minimalno zeleno vreme za sve faze je usvojeno na 10 s. Ukupno izgubljeno vreme tokom ciklusa iznosi 12 s.



Slika 3: Test raskrsnica

Simulacija u programskom paketu „VISSIM“ obuhvata sledeće parametre: Vreme trajanja simulacije - 1500 s; broj „seed“_ova - 22; „Worm up time“ – 60 s; Homogen tok putničkih automobila sa brzinom između 45 i 55 km/h.

Analiza je urađena za različite vrednost udaljenosti detektora od zaustavne linije, i to 40 m, 60 m i 80 m. Dobijeni rezultati putem analitičkih proračuna i simulacije dati su u tabeli 1. Sa FTC su označeni rezultati dobijeni u fiksnom vremenu.

Tabela 1: Rezultati

d (s/veh)	Udaljenost detektora od zaustavne linije (m)			FTC
	40	60	80	
Analitika	95.14	86.87	84.82	92.41
Simulacija	48.46	47.98	46.68	51.84

Analitika i simulacija su pokazale da je upravljanje u realnom vremenu, zasnovano na fazi logici, dalo bolje rezultate vremenskih gubitaka od upravljanja u fiksnom vremenu. Činjenica da analitički dobijamo veće vrednosti za gubitke zasnovana je na tome što u analitičkom proračunu računamo i gubitke vozila koja se nalaze iza detektora dok u „VISSIM-u“ to nije slučaj. Ono što je važno za ovo ispitivanje jeste da i analitički proračun, kao i „VISSIM“ ukazuju na istu najbolju strategiju upravljanja. Može se izvesti zaključak da je, za primeru ove test raskrsnice, najbolje postaviti detektore na udaljenosti od 80 m od zaustavne linije.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu razmatran je problem upravljanja izolovanom semaforisanom raskrsnicom u realnom vremenu, pod prezasićenim saobraćajnim zahtevima. Kao osnova je uzet algoritam zasnovan na fazi logičkom modelu Sugeno tipa. Raskrsnica je prezasićena, uz postojanje neopsluženih vozila na kraju ciklusa u svim trakama (potpuno prezasićena raskrsnica). Razmatran je i uticaj položaja detektora u odnosu na zaustavnu liniju.

Koristeći neravnomernosti u nailasku vozila fazi logički kontrolor uspeva da generiše različite vrednosti ciklusa i zelenih vremena po fazama od onih koje su dobijene optimizacijom u fiksnom vremenu rada. Analitičke vrednosti vremenskih gubitaka, testirani na primeru „T“ raskrsnice, su manji za 7.59 s/veh kod upravljanja fazi logikom u odnosu na upravljanje u fiksnom vremenu, za položaj detektora na udaljenosti od 80 m od zaustavne linije. Simulacija urađena u programskom paketu „VISSIM“ potvrđuje rezultate dobijene analitičkim putem, sa tim da je ušteda u vremenskim gubicima 5.15 s/veh tj. 9.9% po simulaciji urađenoj u „VISSIMU“ u odnosu na optimizaciju u fiksnom vremenu rada, odnosno poboljšanje za 8.2% kad je analitički proračun u pitanju.

U okviru budućih istraživanja predloženi model bi se mogao dograditi tako da upravlja radom dve ili više raskrsnice u nekom od sistema koordinacije. Takođe, izazov bi bio razviti neuronsku mrežu kao podršku fazi logičkom sistemu, koja bi mogla da uči iz saobraćajnih zahteva i na osnovu toga fino podešava bazu fazi pravila ili funkcije pripadnosti fazi logičkog sistema.

LITERATURA

[1] Akçelik, R. (1980). Time-dependent expressions for delay, stop rate and queue length at traffic signals.

[2] Chang, T. H. and Lin, J. T. (2000). Optimal signal timing for an oversaturated intersection. Transportation Research Part B, 34(6), 471-491.

[3] Diaz-Cabrera, M., Cerri, P. and Medici, P. (2015). Robust real-time traffic light detection and distance estimation using a single camera. Expert Systems with Applications, 42(8), 3911-3923.

[4] Dion, F., Rakha, H. and Kang, Y.S. (2004). Comparison of delay estimates at under-saturated and over-saturated pre-timed signalized intersections. Transportation Research Part B, 38(2), 99-122.

[5] Gartner, N.H. (1983). OPAC: a demand-responsive strategy for traffic signal control. Transportation Research Record 906, 75–81.

[6] Goyal, M., Priya, A., Kumar, C., Verma, V., & Hota, M. K. (2018, July). An Ingenious Traffic Control System Using Fuzzy Logic Control With Emergency Override Feature. In 2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCA) (pp. 1-6). IEEE.

[7] Han, B. (1996). A new comprehensive sheared delay formula for traffic signal optimization. Transportation Research Part A, 30(2), 155-171.

[8] Highway Capacity Manual - HCM. (2010). Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.

[9] Jovanović, A. and Teodorović, D. (2017). Pre-timed control for an under-saturated and over-saturated isolated intersection: a bee colony optimization approach. Transportation Planning and Technology, 40(5), 556-576.

[10] Jovanović, A. and Kukić, K. (2017). Controling the isolated oversaturated intersection in a real time: fuzzy logic approach. Military Technical Courier, 65(4), 866-881.

[11] Kukić, K. and Jovanović, A. (2018). Fuzzy logic approach on traffic control of an diverging diamond interchange in real time. 1ST International conference on computational methods and applications in engineering, 23 – 26 May 2018, Timisoara, Romania.

[12] Li, H. and Prevedouros, P.D. (2004). Traffic adaptive control for oversaturated isolated intersections: model development and simulation testing. Journal of Transportation Engineering, 130(5), 594-601.

[13] Murat, S. and Gedizlioglu, E. (2005). A fuzzy logic multi-phased signal control model for isolated junctions. Transportation Research Part C, 13(1), 19-36.

[14] Murat, S. (2006). Comparison of fuzzy logic and artificial neural networks approaches in vehicle delay modeling. Transportation Research Part C, 14(5), 316-334.

[15] Nair, B.M. and Cai, J. (2007). A fuzzy logic controller for isolated signalized intersection with traffic abnormality considered. In 2007 IEEE intelligent vehicles symposium (pp. 1229-1233). IEEE.

[16] Pappis, C.P. and Mamdani, E.H. (1977). A fuzzy logic controller for a trafc junction. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 7(10), 707-717.

[17] Park, B., Messer, C. and Urbanik, T. (1999). Traffic signal optimization program for oversaturated conditions: genetic algorithm approach. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1683), 133-142.

[18] Roess, R.P., Prassas, E. and McShane, W.R. (2011). Traffic engineering. (4th ed.). Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.

[19] Soh, A.C., Rhung, L.G. and Sarkan, H.M. (2010). MATLAB simulation of fuzzy traffic controller for multilane isolated intersection. International Journal on Computer Science and Engineering, 2(4), 924-933.

[20] Webster, F.V. (1958). Traffic signal settings. Road Research Technical Paper, No. 39, Road Research Laboratory, Her Majesty Stationary Office, London, UK.

[21] Yang, Z., et al. (2006). Multi-phase traffic signal control for isolated intersections based on genetic fuzzy logic. In 2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation (Vol. 1, pp. 3391-3395).

[22] Zhang, L., Li, H. and Prevedouros, P.D. (2008). Signal control for oversaturated intersections using fuzzy logic. In Transportation and Development Innovative Best Practices 2008 (pp. 179-184).

[23] Zhao, L., et al. (2011). A fast signal timing algorithm for individual oversaturated intersections. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 12(1), 280-283.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

LOKACIJA MANEVARSKIH LOKOMOTIVA PRIMENOM LOKACIJSKOG PROBLEMA POKRIVANJA SKUPA

SHUNTING LOCOMOTIVES ALLOCATION USING SET COVERING PROBLEM

JOVANA ĆALIĆ[1], MILOŠ NIKOLIĆ[2], MILICA ŠELMIĆ[2]

[1] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, calicjovana94@gmail.com
[2] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd

Rezime: *U radu je razmatran problem određivanja optimalnog broja i lokacija manevarskih lokomotiva. Iz odabranih lokacija lokomotive bi najbrže mogle da odgovore zahtevima za manevarskim radom u susednim i bližim stanicama. Ovaj problem je rešavan kao lokacijski problem pokrivanja skupa. Kao test primer korišćen je deo mreže Železnice Srbije koji obuhvata prugu Beograd - Subotica i prugu Beograd - Šid. Unapred je definisano maksimalno rastojanje u okviru koga je moguće izvršiti manevarski rad jednom lokomotivom u toku dana. Tako je, za svaku lokomotivu koja se nalazi u određenoj stanici, utvrđena opslužna relacija, kao i stanice koje se na toj relaciji mogu opslužiti. Stanice udaljene više od propisanog maksimalnog rastojanja se ne mogu opslužiti posmatranom lokomotivom. Za rešavanje problema korišćen je softver LPSolve IDE.*

Ključne reči:. *železnički prevoznik, manevarski rad, problem pokrivanja skupa.*

Abstract: *In this paper we consider a problem to determine optimal number and locations of the shunting locomotives. From the selected locations the locomotives would be able to respond quickly on requests in the nearby stations. This problem is solved as set covering location problem. For the test example we used a part of the railway network of Serbia, which includes the Belgrade-Subotica and Belgrade-Sid railway lines. we defined in advance the maximum distance within which it is possible to perform shunting with one locomotive during the day. Thus, for each locomotive located at a particular station, a service relation is determined, as well as stations that can be served on that relation. The stations farther than the prescribed maximum distance cannot be serviced by the observed locomotive. The problem has been solved by LPSolve IDE software.*

Keywords: *railway operator, shunting operation, set covering problem.*

1. UVOD

Nabavka i održavanje manevarskih lokomotiva zahteva značajna finansijska sredstva. Zbog toga je veoma važno da se raspoložive manevarske lokomotive koriste efikasno. Dosadašnja praksa izvršenja manevarskog rada zasnovana je na fiksnoj alokaciji manevarskih lokomotiva u veće stanice na mreži. Manevarski rad postavljanja i izvlačenja kola na utovarno-istovarne koloseke manjih stanica obavlja se voznim lokomotivama sabirnih vozova. Posledica toga je povećana potrošnja pogonske energije kao i povećano habanje i amortizacija voznih lokomotiva čije tehničke karakteristike nisu prilagođene zahtevima manevarskog rada.

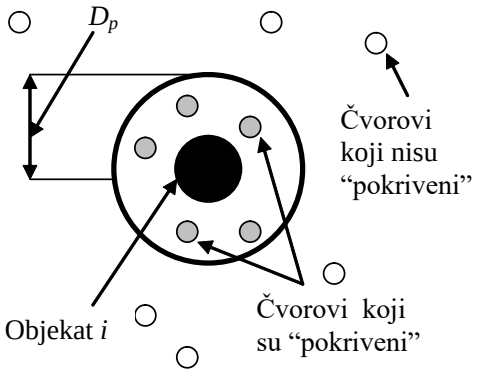
U ovom radu dat je predlog modela kojim bi se delimično prevazišli navedeni problemi. Model se zasniva na lokacijskom problemu pokrivanja skupa. Veće stanice predstavljaju stanice - kandidate u kojima su locirane manevarske lokomotive. Manevarske lokomotive locirane u većim stanicama obavljaju manevarski rad u svim stanicama koje se nalaze na dozvoljenoj udaljenosti. Maksimalna udaljenost, koja je usvojena za potrebe rada, mora biti manja ili jednaka 50 kilometara. U praksi bi trebalo da maksimalna udaljenost bude utvrđena na osnovu zbirnog vremena trajanja odlaska i povratka manevarske lokomotive, odnosno samog trajanja manevarskog rada u pojedinim stanicama. Ovako definisan model omogućava da manevarskim lokomotivama sa aspekta lokacijskog problema pokrivanja skupa bude pokriven ceo deo posmatrane mreže, što i jeste cilj problema.

Ostatak rada je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnih razmatranja, u drugom poglavlju je prikazan opšti model pokrivanja skupa. Treće poglavlje sadrži model za optimalno lociranje manevarskih

lokomotiva na delu mreže. U četvrtom poglavlju su prikazani rezultati test primera. Konačno, peto poglavlje se odnosi na zaključna razmatranja.

2. LOKACIJSKI PROBLEM POKRIVANJA SKUPA

U pojedinim lokacijskim problemima je definisano maksimalno rastojanje u okviru kog se vrši opsluživanje klijenata. Za ove klijente kažemo da su „pokriveni“ razmatranim objektom. Klijenti na udaljenju većem od unapred propisanog maksimalnog rastojanja se ne opslužuju iz posmatranog objekta. Ovaj problem je moguće formulisati na sledeći način: Locirati najmanji mogući broj objekata tako da se „pokriju“ svi čvorovi na mreži (Toregas i ostali (1971), Current i ostali (2002), Teodorović (2016)).



Slika 1. Pokrivanje čvorova koji se nalaze na rastojanju manjem od D_p *(Teodorović (2016))*

Za formulisanje ovog problema uvode se sledeće promenljive:

$$x_j = \begin{cases} 1, ukoliko\ je\ čvor\ koji\ zahteva\ opslugu\ ''pokriven'' \\ 0, u\ suprotnom \end{cases}$$

I- skup čvorova koji zahtevaju opslugu,*i*- indeks čvorova koji zahtevaju opslugu,
J- skup čvorova- kandidata za lociranje objekata ,
j- indeks čvorova- kandidata za lociranje objekata,
d_{ij}- rastojanje između čvorova- kandidata *j* i čvora koji zahteva opslugu *i,*
D_p- rastojanje „pokrivanja“,
$N_i = \{j | d_{ij} \leq D_p\}$ - skup čvorova-kandidata iz kojih čvor *i* može da bude opslužen.

Problem pokrivanja skupa se matematički formuliše na sledeći način (Toregas i ostali (1971), ReVelle i ostali (1976), Current i ostali (2002):
Minimizirati:

$$\sum_{j \in J} x_j \tag{1}$$

Pri ograničenjima:

$$\sum_{j \in J} x_j \geq 1 \qquad \forall i \in I \tag{2}$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J \tag{3}$$

Kriterijumska funkcija čija se vrednost minimizira predstavlja ukupan broj objekata lociranih na mreži. Skup ograničenja (2) zahteva da svaki čvor koji treba da bude opslužen, mora da se nalazi na rastojanju manjem od D_p, tj. da bude "pokriven" od najmanje jednog objekta. Poslednje ograničenje (3) se odnosi na binarnu prirodu promenljive x_j .

Ovako matematički formulisan problem pokrivanja skupa u nastavku rada biće primenjen na problemu lociranja manevarskih lokomotiva na delu mreže železnice Srbije.

3. MODEL ZA OPTIMALNO LOCIRANJE MANEVARSKIH LOKOMOTIVA NA DELU MREŽE

Optimalno lociranje manevarskih lokomotiva na delu mreže doprinosi smanjenju potrebnog broja lokomotiva na tom delu mreže i povećava njihovu produktivnost. Zbog toga, manevarske lokomotive neophodne su jedino u većim ranžirnim i rasporednim stanicama, dok se manje stanice opslužuju lokomotivama koje se nalaze u većim stanicama, na usvojenom dozvoljenom rastojanju. U radu će biti usvojena maksimalna udaljenost jednaka ili manja od 50 kilometara (D_p = 50). Posmatrani deo mreže obuhvata prugu Beograd- Šid i prugu Beograd-Subotica.

Stanice koje su potencijalni kandidati za lociranje manevarskih lokomotiva su prikazane u tabeli 1.

Tabela 1. Stanice - kandidati za lociranje manevarskih lokomotiva

Oznaka	Stanica
1	Beograd
2	Ruma
3	Šid
4	Novi Sad
5	Subotica
6	Batajnica

U tabeli 2 predstavljene su stanice na navedenim prugama u kojima se javlja potreba za opslugom manevarskom lokomotivom.

Tabela 2. Stanice koje zahtevaju opsluživanje manevarskom lokomotivom

Oznaka	Stanica
A	Stara Pazova
B	Nova Pazova
C	Voganj
D	Martinci
E	Sremska Mitrovica
F	Inđija
G	Beška
H	Čortanovci
I	Sremski Karlovci
J	Petrovaradin
K	Kisač
L	Zmajevo
M	Vrbas
N	Lovćenac
O	Bačka Topola
P	Žednik
Q	Naumovićevo

Matrica najkraćih rastojanja između stanica-kandidata za lociranje manevarskih lokomotiva i stanica koje zahtevaju opslugu se može prikazati na sledeći način (ŽTP Beograd,1998):

$$[d(i,j)]=\begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccccccccccccccccc} A & B & C & D & E & F & G & H & I & J & K & L & M & N & O & P & Q \end{array} \\ \begin{bmatrix} 35 & 27{,}3 & 73{,}4 & 94{,}1 & 81{,}7 & 42{,}9 & 52{,}9 & 56{,}6 & 66{,}6 & 71{,}9 & 91{,}4 & 103{,}5 & 116{,}7 & 128{,}1 & 144{,}4 & 157{,}8 & 167{,}2 \\ 29{,}9 & 37{,}6 & 8{,}5 & 29{,}2 & 16{,}8 & 37{,}8 & 47{,}8 & 51{,}5 & 61{,}5 & 66{,}8 & 86{,}3 & 98{,}4 & 111{,}6 & 136{,}2 & 152{,}3 & 165{,}9 & 175{,}3 \\ 81{,}4 & 89{,}1 & 43 & 22{,}3 & 34{,}7 & 89{,}3 & 99{,}3 & 103 & 113 & 118{,}3 & 137{,}8 & 149{,}9 & 163{,}1 & 187{,}7 & 203{,}8 & 217{,}4 & 226{,}8 \\ 43 & 50{,}7 & 81{,}4 & 102{,}1 & 89{,}7 & 35{,}1 & 25{,}1 & 21{,}4 & 11{,}4 & 6{,}1 & 13{,}4 & 25{,}5 & 38{,}7 & 50{,}1 & 66{,}2 & 79{,}8 & 89{,}2 \\ 141{,}5 & 148{,}3 & 179{,}9 & 200{,}6 & 188{,}2 & 133{,}6 & 123{,}6 & 119{,}9 & 109{,}9 & 104{,}6 & 85{,}1 & 73 & 59{,}8 & 48{,}4 & 32{,}3 & 18{,}7 & 9{,}3 \\ 14{,}6 & 6{,}9 & 53 & 73{,}7 & 61{,}3 & 22{,}5 & 32{,}5 & 36{,}2 & 46{,}2 & 51{,}5 & 71 & 83{,}1 & 96{,}3 & 107{,}7 & 123{,}8 & 137{,}4 & 146{,}8 \end{bmatrix} \end{array}$$

Na osnovu rastojanja *d(i,j)* i definisanog maksimalnog rastojanja D_p dobijaju se članovi skupova N_i, koji su dati u tabeli 3.

Tabela 3. Lokacije iz kojih se može opslužiti stanica *i*

N_i	$\{j \mid d(i,j) \leq 50\}$
N_A	{1, 2, 4, 6}
N_B	{1, 2, 6}
N_C	{2, 3}
N_D	{2, 3}
N_E	{2, 3}
N_F	{1, 2, 4, 6}
N_G	{2, 4, 6}
N_H	{4, 6}
N_I	{4, 6}
N_J	{4}
N_K	{4}
N_L	{4}
N_M	{4}
N_N	{5}
N_O	{5}
N_P	{5}
N_Q	{5}

Na osnovu prethodne matrice i matematičke formulacije lokacijskog problema pokrivanja skupa, formiraju se sledeća ograničenja po svakoj od stanica u kojoj se javlja zahtev za opslugom, tako da ograničenja koja se ponavljaju, odnosno koja su već zapisana, ne pišu se ponovo. Na primer, ograničenja za stanice *C* i *D* su identična, te se u matematičkoj formulaciji usvaja samo jedno, odnosno ograničenje za stanicu *C*.

Kriterijumska funkcija:

Minimizirati

$$F = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6$$

Pri ograničenjima:

za čvor *A* (isto je i za *F*): $x_1 + x_2 + x_4 + x_6 \geq 1$

za čvor *B*: $x_1 + x_2 + x_6 \geq 1$

za čvor *C* (isto je i za *D* i *E*): $x_2 + x_3 \geq 1$

za čvor *G*: $x_2 + x_4 + x_6 \geq 1$

za čvor *H* (isto je i za *I*): $x_4 + x_6 \geq 1$

za čvor *J* (isto je i za *K*, *L* i *M*): $x_4 \geq 1$

za čvor *N* (isto je i za *O*, *P* i *Q*): $x_5 \geq 1$

$$x_j = \{0,1\} \quad \forall j \in J$$

4. REŠENJE DEFINISANOG PROBLEMA I ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Rešavanje definisanog problema realizovano je pomoću programa LPSolve IDE. Dobijeni su sledeći rezultati koji su prikazani u tabeli 4.

Tabela 4. Rešenje postavljenog problema

Promenljiva	Vrednost
x_1	0
x_2	1
x_3	0
x_4	1
x_5	1
x_6	0

Na osnovu rešenja definisanog problema možemo zaključiti da je pri opsluživanju stanica manevarskom lokomotivom, manevarske lokomotive potrebno locirati na tri lokacije. To su stanice 2, 4 i 5, odnosno Ruma, Novi Sad i Subotica.

Sve stanice koje zahtevaju opslugu manevarskom lokomotivom, biće moguće opslužiti sa aspekta lokacijskog problema pokrivanja skupa ukoliko lokomotive budu locirane u stanicama Ruma, Novi Sad i Subotica. Na ovaj način se omogućava da se pretpostavljeni obim rada obavi sa manjim brojem manevarskih lokomotiva i samim tim ostvare značajne uštede.

4. ZAKLJUČAK

Utvrđenom dosadašnjom alokacijom manevarskih lokomotiva u većim stanicama, kao i obavljanjem manevarskog rada voznim lokomotivama u manjim stanicama, manevarske lokomotive bivale su manje produktivne, a vozne lokomotive sve više pohabane, obavljajući rad za koji nisu tehnički namenjene. Zbog toga je neophodno obratiti više pažnje na ovaj dugogodišnji problem i posledice koje iz njega proizilaze. U radu je predložen model koji je moguće koristiti za optimalno određivanje lokacije manevarskih lokomotiva, primenom lokacijskog problema pokrivanja skupa. Ovaj model je moguće koristiti na delu mreže ili na celokupnoj mreži pruga. U ovom radu model je primenjen na prugama Beograd-Subotica i Beograd-Šid. Sve manje stanice koje imaju potrebu za manevarskim radom mogu se opsluživati manevarskim lokomotivama koje su locirane u Rumi, Novom Sadu ili Subotici. Na ovaj način, u svim manjim stanicama, biće omogućen manevarski rad manevarskim lokomotivama.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije kroz projekte TR 36002.

LITERATURA

[1] Current, J., Daskin, M., & Schilling, D. (2002). Facility Location: Applications and Theory, Springer-Verlag, Berlin, 81-118.

[2] ReVelle, C., Toregas, C. & Falkson, L. (1976). Applications of the location set covering problem, Geographical Analysis, 8, 67-76.

[3] Teodorović, D. (2016). Transportne mreže, Univerzitet u Beogradu-Saobraćajni fakultet, Beograd.

[4] Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C. & Bergman, L. (1971). The Location of emergency service facilities, Operations Research, 16, 955-1373.

[5] ŽTP Beograd,1998. Stalne odredbe knjižica reda vožnje

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PODEŠAVANJE FAZI SISTEMA ZA PROCENU POTROŠNJE ENERGIJE TERETNIH VOZOVA PRIMENOM METAHEURISTIKE OPTIMIZACIJA KOLONIJOM PČELA

TUNING FUZZY SYSTEM FOR ESTIMATION OF FREIGHT TRAIN ENERGY CONSUMPTION BY THE BEE COLONY OPTIMIZATION METAHEURISTIC

MILOŠ NIKOLIĆ[1], JOVANA ĆALIĆ[2], MILICA ŠELMIĆ[2], DRAGANA MACURA[2]

[1] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, m.nikolic@sf.bg.ac.rs
[2] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd

Rezime: *U radu je razmatran problem procene godišnje potrošnje električne energije teretnih vozova. Tokom prethodnih istraživanja autora ovog rada za razmatrani problem predložen je fazi logički sistem. Predloženi fazi sistem ima tri ulazne promenljive i jednu izlaznu. Deo fazi pravila dobijen je na osnovu podataka primenom Wang-Mendel-ovog metoda. Preostala pravila dobijena su na osnovu mišljenja eksperata. U ovom radu izvršeno je podešavanje funkcija pripadnosti fazi skupova ulaznih i izlazne promenljive. Za podešavanje je korišćena metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela. Optimizacija kolonijom pčela pripada grupi metaheuristika inspirisanih prirodom. Na osnovu rezultata testiranja fazi sistema može se zaključiti da je preciznost značajno poboljšana podešavanjem funkcija pripadnosti.*

Ključne reči: *Fazi logički sistem, Optimizacija kolonijom pčela, potrošnja energije teretnih vozova.*

Abstract: *In this paper we consider a problem of estimation of freight train energy consumption. The authors of this paper in their previous research proposed a fuzzy logic system for the considered problem. The proposed fuzzy system has three inputs and one output variables. Some fuzzy rules were generated from the data using the Wang-Mendel method. The rest of fuzzy rules was obtained according to experts' opinion. In this paper we make tuning of membership functions of fuzzy sets for input and output variables. For this purpose we have used the Bee Colony Optimization (BCO) metaheuristic. The BCO belongs to the group of naturally inspired metaheuristics. According to obtained results it can be concluded that precision of the fuzzy system is significantly increased after tuning of membership functions.*

Keywords: *Fuzzy logic system, Bee Colony Optimization, freight train energy consumption.*

1. UVOD

Železnički saobraćaj predstavlja jedan od ekološki najpogodnijih vidova saobraćaja. Upravo zbog toga očekuje se povećanje njegovog udela u raspodeli sa drumskim saobraćajem. Kao jedan od najznačajnijih troškova u realizaciji teretnog železničkog transporta može se izdvojiti potrošnja električne energije potrebne za vuču vozova. S obzirom na to da na potrošnju električne energije utiče dosta faktora, procenu njene potrošnje je često dosta teško uraditi.

U radu Ćalić i ostali (2019) predložen je fazi logički sistem za procenu godišnje potrošnje električne energije za vuču teretnih vozova. Predloženi fazi logički sistem ima tri ulazne promenljive:

1. Vozni kilometri [km] – godišnji broj kilometara koje su sve elektro lokomotive prešle vršeći teretni saobraćaj,
2. Prosečna masa voza [tona] – odnosno, prosečna masa tereta koja se prevozi u jednoj kompoziciji voza,
3. Neproduktivni kilometri [km] – godišnji broj kilometara koje elektro lokomotive pređu kada su van vuče.

Predloženi fazi logički sistem ima jednu izlaznu promenljivu, a to je potrošnja električne energije [kWh] i izražena je na godišnjem nivou. Baza fazi pravila formirana je na osnovu podataka i na osnovu ekspertskog mišljenja. Za defazifikaciju korišćen je metod centar gravitacije.

U cilju poboljšanja rezultata predloženog fazi logičkog sistema u ovom radu izvršeno je podešavanje funkcija pripadnosti ulaznih i izlazne promenljive. Problem podešavanja funkcija pripadnosti je razmatran kao problem kombinatorne optimizacije i za njegovo rešavanje je korišćena metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela (BCO - Bee Colony Optimization).

Preostali deo rada sastoji se iz sledećih delova. U drugom poglavlju dato je više informacija o predloženom fazi logičkom sistemu. Opis metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela je prikazan u trećem poglavlju. Četvrto poglavlje opisuje način podešavanja funkcija pripadnosti primenom BCO metaheuristike. U petom poglavlju su prikazani rezultati test primera i u šestom poglavlju su data zaključna razmatranja sa pravcima daljih istraživanja.

2. OPIS FAZI LOGIČKOG SISTEMA

Fazi logički sistem za procenu potrošnje električne energije teretnih vozova je razvijen na primeru podataka sakupljenih na prugama Železnice Srbije. U tabeli 1 prikazani su podaci sakupljeni u periodu od 2007. do 2014. godine. Na osnovu podataka u tabeli 2, a u skladu sa primenom Wang-Mendelove metode, dati su opsezi promenljivih.

Tabela 1: Vrednosti ulaznih i izlazne promenljive na godišnjem nivou (*Ćalić i ostali, 2019*)

Godina	Vozni km	Prosečna masa voza	Neproduktivni km	Potrošnja el.energije
2007	4 909 390	943	957 821	132 722 827
2008	6 890 035	1018	973 953	172 117 737
2009	6 547 541	1150	1 044 119	153 103 010
2010	5 091 884	998	841 230	114 569 156
2011	5 152 954	1100	690 245	118 585 848
2012	4 057 087	971	761 418	92 500 913
2013	4 628 479	912	693 911	110 200 700
2014	5 851 905	840	995 357	112 093 124

Tabela 2: Domeni promenljivih (*Ćalić i ostali, 2019*)

Promenljiva	Domen
Vozni kilometri	[3,5; 7][1]
Prosečna masa voza	[700; 1300][2]
Neproduktivni kilometri	[500; 1200][3]
Potrošnja električne energije	[80; 180][4]

Za ulazne i izlaznu promenljivu autori su definisali fazi skupove tako da domeni promenljivih budu potpuno pokriveni.

Za ulaznu promenljivu Vozni kilometri (VK) definisana su tri fazi skupa sa sledećim funkcijama pripadnosti:

- **Mali** [3.5 3.5 4 5] - predstavlja mali broj realizovanih voznih kilometara,
- **Srednji** [4 5 6] - predstavlja srednji broj realizovanih voznih kilometara,
- **Veliki** [5 6 7 7] - predstavlja veliki broj realizovanih voznih kilometara.

Za ulaznu promenljivu Prosečna masa voza (PMV) definisana su sledeća tri fazi skupa:

- **Mala** [700 700 800 900] – predstavlja vozove sa malom težinom tereta,
- **Srednja** [800 100 1200] – predstavlja vozove sa srednjom težinom tereta,
- **Velika** [1100 1200 1300 1300] – predstavlja vozove sa velikom težinom tereta.

Za ulaznu promenljivu Neproduktivni kilometri (NPK) definisana su tri fazi skupa:

- **Mali** [500 500 600 800] – predstavlja mali broj neproduktivnih kilometara,
- **Srednji** [600 800 1000]- predstavlja srednji broj neproduktivnih kilometara,
- **Veliki** [800 1000 1200 1200]- predstavlja veliki broj neproduktivnih kilometara.

[1] Jedinica u kojoj je domen izražen je [milion km]
[2] Jedinica u kojoj je domen izražen je [t]
[3] Jedinica u kojoj je domen izražen je [hiljadu km]
[4] Jedinica u kojoj je domen izražen je [milion kWh]

Za izlaznu promenljivu Potrošnja električne energije definisano je 5 fazi skupova:

- **Vrlo mala** [80 80 100] – predstavlja vrlo malu potrošnju električne energije,
- **Mala** [90 100 120] – predstavlja malu potrošnju električne energije,
- **Srednja** [100 120 140] – predstavlja srednju potrošnju električne energije,
- **Velika** [120 140 160] – predstavlja veliku potrošnju električne energije,
- **Vrlo velika** [140 160 180 180] – predstavlja veoma veliku potrošnju električne energije.

Generisana baza fazi pravila data je u tabeli 3. Od 27 pravila 8 je generisano iz numeričkih podataka prikazanih u tabeli 1, a preostalih 19 na osnovu ekspertskog mišljenja.

Tabela 3: Baza fazi pravila (*Ćalić i ostali, 2019*)

	VK-Mali			**VK-Srednji**			**VK-Veliki**		
	PMV Mala	**PMV Srednja**	**PMV Velika**	**PMV Mala**	**PMV Srednja**	**PMV Velika**	**PMV Mala**	**PMV Srednja**	**PMV Velika**
NPK Mali	Vrlo mala	Vrlo mala	Mala	Mala	Srednja	Srednja	Srednja	Velika	Vrlo velika
NPK Srednji	Vrlo mala	Mala	Mala	Mala	Srednja	Velika	Srednja	Velika	Vrlo velika
NPK Veliki	Vrlo mala	Mala	Mala	Srednja	Velika	Vrlo velika	Srednja	Vrlo velika	Vrlo velika

3. OPTIMIZACIJA KOLONIJOM PČELA

Metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela pripada grupi metaheuristika inspirisanih prirodom. Ovu metaheuristiku predložili su Lučić i Teodorović (2001), a nakon toga je korišćena pri rešavanju različitih problema kombinatorne optimizacije. Do sada postoje dve verzije ove metaheuristike: konstruktivna verzija i verzija zasnovana na poboljšanju početnog rešenja. Verzija BCO algoritma zasnovanog na konceptu poboljšanja rešenja predložena je u radu Davidović i ostali (2011). Kod ove verzije BCO algoritma na početku svake iteracije pčelama se dodeljuju kompletna rešenja koja kroz iteracije pokušavaju da poboljšaju.

BCO algoritam zasnovan na konceptu poboljšanja kompletnih rešenja može se predstaviti sledećim pseudo kodom (*Nikolić i Teodorović, 2015*):

BCO algoritam

1. Odrediti početno rešenje
2. **do**
3. Dodeliti rešenje svakoj pčeli
4. **for** i = 1 **to** broj letova
5. *Let unapred*
6. *Let unazad*
7. **next**
8. **until** (kriterijum zaustavljanja nije zadovoljen)

Pseudo kod leta unapred može da se predstavi na sledeći način (*Nikolić i Teodorović, 2015*):

Let unapred

1. **for** i = 1 **to** broj promena
2. Dozvoliti svakoj pčeli da napravi jednu modifikaciju svog rešenja

3. Proveriti da li je pronađeno novo rešenje najbolje poznato rešenje

4. next

Pseudo kod leta unazad može se predstaviti na sledeći način (*Nikolić i Teodorović, 2015*):

Let unazad

1. Normalizovati kriterijumske funkcije rešenja svih pčela
2. Odrediti lojalnost pčela svojim rešenjima
3. Odrediti lojalne pčele koje će nelojalne pčele da prate

U zavisnosti da li se teži maksimizaciji ili minimizaciji kriterijumske funkcije, normalizaciju je moguće izvršiti na dva načina. U slučaju kada je kriterijumsku funkciju potrebno maksimizirati, normalizovana vrednost kriterijumske funkcije, O_i, za pčelu *i* se određuje kao:

$$O_i = \frac{T_i - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \tag{1}$$

Odnosno u slučaju minimizacije:

$$O_i = \frac{T_{\max} - T_i}{T_{\max} - T_{\min}} \tag{2}$$

gde su:
T_i – vrednost kriterijumske funkcije *i*-te pčele,
T_{min} – minimalna vrednost kriterijumske funkcije uzimajući u obzir sve pčele,
T_{max} – maksimalna vrednost kriterijumske funkcije uzimajući u obzir sve pčele.

Nakon normalizacije vrednosti kriterijumskih funkcija, pčele donose odluke da li ostaju lojalne svojim rešenjima ili ne. Verovatnoća p_i da će pčela *i* da ostane lojalna svom rešenju se određuje na sledeći način:

$$p_i = e^{-(O_{\max} - O_i)} \tag{3}$$

Pčela donosi odluku da li ostaje lojalna svom prethodnom rešenju ili ne uzimanjem slučajnog broja γ iz intervala od 0 do 1. Pčela će ostati lojalna svom rešenju ukoliko je $\gamma \leq p_i$, a u suprotnom će biti nelojalna, odnosno, odbaciće svoje rešenje.

Sve pčele koje nisu lojalne svom rešenju odlučuju koju od lojalnih pčela će da prate u narednom letu unapred. Verovatnoća da će nelojalna pčela pratiti lojalnu pčelu *i* određuje se na sledeći način:

$$q_i = \frac{O_i}{\sum_{l \in L} O_l} \tag{4}$$

gde je *L* skup lojalnih pčela.

4. PRIMENA BCO METAHEURISTIKE ZA PODEŠAVANJE FUNKCIJA PRIPADNOSTI

Za podešavanje funkcija pripadnosti korišćena je verzija BCO algoritma zasnovana na poboljšanju kompletnog rešenja. Na početku algoritma potrebno je imati početno rešenje koje će pčela tokom iteracija poboljšavati. Za početno rešenje uzete su vrednosti funkcija pripadnosti date u radu Ćalić i ostali (2019), odnosno funkcije pripadnosti koje su prikazane u drugom poglavlju ovog rada.

Najvažniji deo BCO algoritma, a koji je potrebno prilagoditi konkretnom problemu koji se rešava je modifikovanje rešenja pri letu pčela unapred. Pored toga potrebno je definisati način prikazivanja i način vrednovanja rešenja.

U problemu podešavanja funkcija pripadnosti fazi sistema, razmatranog u radu, potrebno je da svakoj pčeli bude dodeljeno jedno kompletno rešenje, tj. fazi logički sistem.

S obzirom na to da je za početno rešenje uzeto rešenje koje je bilo relativno dobro (*Ćalić i ostali, 2019*), u okviru modifikovanja rešenja definisano je da se rade male promene. U okviru jedne promene vrši se izbor jedne od tačaka funkcija pripadnosti postojećeg rešenja. Na slučajan način vrši se pomeranje odabrane tačke na veću ili manju vrednost, pri čemu ne sme da bude narušen izgled odabranog fazi broja. Na primer, ako je odabran fazi skup koji je u obliku trouglastog fazi broja sa vrednostima: (a_1, a_2, a_3) i pretpostavimo da je odabrano da vrednost a_2 treba da bude promenjena. Nova vrednost za a_2 može da se kreće u intervalu između a_1 i a_3, odnosno možemo da kažemo da se sa verovatnoćom 0,5 bira da nova vrednost bude $a_2 = a_2 - rand(0,1)\cdot(a_2 - a_1)$, odnosno u suprotnom će biti $a_2 = a_2 + rand(0,1)\cdot(a_3 - a_2)$.

Vrednovanje rešenja vrši se na osnovu srednje apsolutne razlike i penala koji se dodaju zbog nelogičnosti koje mogu da nastanu pri modifikacijama. Izraz za vrednovanje kvaliteta rešenja (vrednost kriterijumske funkcije *i*-te pčele)može da se prikaže na sledeći način: $T_i = \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} \left| E_{FS,j} - E_{s,j} \right| \right) + p$, gde su n – broj test primera, $E_{FS,j}$ – procenjena vrednost potrošnje energije, $E_{s,j}$ – stvarna vrednost potrošnje energije, p – penali. Penale je potrebno dodati zato što je moguće da prilikom modifikacija dođe to toga da deo domena promenljive postane nepokriven fazi skupovima ili da za određene vrednosti lingvističkih promenljivih smisao bude narušen.

5. REZULTATI TEST PRIMERA

BCO algoritam je implementiran u programskom jeziku Java, u NetBeans razvojnom okruženju. Za razvoj fazi logičkog sistema korišćen je jFuzzyLogic API za programiranje u Javi. Za testiranje su korišćeni sledeći parametri BCO algoritma: 10 pčela, 1000 iteracija, 5 letova po iteraciji, 1 promena rešenja po letu. Testiranje je izvršeno na laptopu Lenovo koji ima sledeće karakteristike: Intel(R) Core (TM) i7-4700MQ CPU 2,4 GHz, 8 GB RAM memorije. Vreme jednog izvršavanja programa je između 7 i 8 minuta. Na osnovu 5 dobijenih rešenja odabrano je ono sa najboljim rezultatom. Funkcije pripadnosti kod ovog rešenja imaju vrednosti date u nastavku.

Funkcije pripadnosti ulazne promenljive Vozni kilometri (VK):

- **Mali** [3,5 3,5 3,5184 5,532],
- **Srednji** [4,134 5,785 6,676],
- **Veliki** [6,492 6,861 7 7].

Funkcije pripadnosti ulazne promenljive Prosečna masa voza (PMV):

- **Mala** [700 700 884,302 921,582],
- **Srednja** [886,378 940,249 1183,016],
- **Velika** [996,979 1298,227 1300 1300].

Funkcije pripadnosti ulazne promenljive Neproduktivni kilometri (NPK):

- **Mali** [500 500 707,196 860,977],
- **Srednji** [860,737 861,030 1192,782],
- **Veliki** [863,801 1192,964 1200 1200].

Za izlaznu promenljivu Potrošnja električne energije definisano je 5 fazi skupova:

- **Vrlo mala** [80 80 114,370],
- **Mala** [84,664 84,681 124,723],
- **Srednja** [123,379 147,151 148,899],
- **Velika** [148,897 149,339 173,888],
- **Vrlo velika** [150,739 176,550 180 180].

U tabeli 4 date su vrednosti potrošnje električne energije (PEE), kao i vrednosti dobijene fazi logičkim sistemom pre podešavanja funkcija pripadnosti (FS 1) i vrednosti dobijene fazi logičkim sistemom nakon

podešavanja funkcija pripadnosti (FS 2). U kolonama 4 i 6 prikazane su vrednosti apsolutnog odstupanja od stvarne vrednosti potrošnje električne energije. Može se uočiti da je nakon podešavanja funkcija u 5 od 8 slučajeva odstupanje dobijene vrednosti bilo manje od milion kWh. Takođe, poređenjem fazi sistema pre i posle podešavanja možemo da primetimo da je fazi sistem nakon podešavanja značajno precizniji i da je prosečno apsolutno odstupanje smanjeno sa 9 na 2 miliona kWh.

Tabela 4: Rezultati testiranja

Godina	PEE [10^6 kWh]	FS 1 [10^6 kWh]	| PEE – FS 1 |	FS 2 [10^6 kWh]	| PEE – FS 2 |
2007	132,723	133,213	0,490	128,599	4,124
2008	172,118	161,068	11,050	161,960	10,157
2009	153,103	162,356	9,253	153,072	0,031
2010	114,569	128,346	13,777	113,450	1,119
2011	118,586	124,824	6,238	118,595	0,009
2012	92,501	102,955	10,454	92,483	0,018
2013	110,201	109,857	0,344	109,803	0,398
2014	112,093	132,521	20,428	112,201	0,108
		Prosečno:	9,004		1,996

6. ZAKLJUČAK

U radu je razmatran problem procene potrošnje električne energije teretnih vozova. Izvršeno je poboljšanje fazi logičkog sistema koji je bio ranije predložen za ovaj problem. U tu svrhu korišćena je metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela. Testiranje fazi sistema pre i posle poboljšanja vršeno je na podacima prikupljenim na železničkoj mreži Republike Srbije. Na osnovu dobijenih rezultata pokazalo se da je podešavanjem funkcija pripadnosti prosečno apsolutno odstupanje smanjeno 4,5 puta. U okviru budućih istraživanja može se izvršiti provera predloženog fazi logičkog sistema na novijim podacima. Takođe, moguće je izvršiti i dodatna podešavanja uzimajući u obzir nove podatke.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije kroz projekte TR 36002 i TR36022.

LITERATURA

[1] Ćalić, J., Šelmić, M., Macura, D. & Nikolić, M. (2019). Fuzzy logic application in green transport prediction of freight train energy consumption, Proceedings of the 4th Logistics International Conference, Belgrade, Republic of Serbia, 35-44.

[2] Davidović,T., D. Ramljak, D., Šelmić, M., & Teodorović, D. (2011). Bee colony optimization for the p-center problem. *Computers & Operations Research*, 2011, 38, pp. 1367- 1376.

[3] Lučić, P., & Teodorović, D. (2001). Bee system: Modeling combinatorial optimization transportation engineering problems by swarm intelligence. In Preprints of the TRISTAN IV triennial symposium on transportation analysis, Sao Miguel, Azores Islands, Portugal, 441–445.

[4] Nikolić, M. & Teodorović, D. (2015). Rešavanje problema trgovačkog putnika metaheuristikom Optimizacija kolonijom pčela, Zbornik radova SYMOPIS 2015, Srebrno jezero, Republika Srbija, 520-523.

SIMULATION AND STOCHASTIC MODELS

SIMULACIJA I STOHASTIČKI MODELI

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

SEM ANALIZA NAPLATE ZAGUŠENJA U GRADOVIMA

SEM ANALYSIS OF CONGESTION PRICING IN CITIES

MARINA MILENKOVIĆ[1] DRAŽENKO GLAVIĆ[1], MILICA MARIČIĆ[2], KATARINA TADIĆ[1]

[1] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs
[2] Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, milica.maricic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Mnogi gradovi, a posebno njihove uže centralne gradske zone, suočeni su sa problemom zagušenja u saobraćaju. Uvođenje naplate zagušenja može biti jedno od rešenja ovog problema. Iskustva gradova, u kojima je sprovedena naplata zagušenja, ukazuju na to da je podrška javnosti od ključne važnosti za uspešnu implementaciju ove mere. Imajući to u vidu, cilj rada je da se utvrde faktori koji utiču na spremnost korisnika da prihvate uvođenje naplate zagušenja u centralnoj zoni Beograda. Za potrebe prikupljanja podataka korišćen je metod ankete. Kako bi se utvrdio odnos između faktora koji utiču na Maksimalno prihvatljivu cenu (MAP) i Spremnost korisnika da prihvate uvođenje naplate zagušenja, u radu je korišćeno modeliranje strukturnih jednačina (SEM). Dobijeni rezultati pokazuju da spremnost korisnika da prihvate uvođenje naplate zagušenja zavisi pre svega od ekonomskih karakteristike korisnika, informisanost korisnika, kao i definisane politike naplate zagušenja. Rezultati rada predstavljaju korisnu osnovu za donošenje odluka pri kreiranju transportnih politika i mera vezanih za naplatu zagušenja. Takođe, uz izvesna prilagođavanja lokalnim uslovima predložena metodologija se može koristiti u budućim istraživanjima.*

Ključne reči: *Modeliranje strukturnih jednačina (SEM), Prihvatanje od strane javnosti, Maksimalna prihvatljiva cena (MAP), Naplata zagušenja, Centralna zona.*

Abstract: *Problem of traffic congestion affects many cities, especially their central zones. Introduction of congestion pricing could be one of the solutions to this problem. The experience of cities with implemented congestion pricing policy suggests that public support is crucial for the successful implementation of this measure. Bearing that in mind, the aim of the paper is to determine the factors that affect users'willingness to accept the introduction of congestion pricing in the Belgrade central zone. The users' attitudes were collected using a questionnaire. The structural equation modelling (SEM) has been conducted in order to explore which factors had an impact on Maximum acceptable price (MAP) and Introduction of CP, and what were their interrelations. The obtained results show that users' willingness to accept the introduction of congestion pricing depends primarily on the economic characteristics of the user, their familiarity with congestion pricing concept, as well as the defined congestion pricing policy. These results represent a beneficial basis for making decisions when creating transport policies and measures of congestion pricing. Also, with certain adjustments to local conditions, the proposed methodology can be used in future research.*

Keywords: *Structural equation modelling (SEM), Public acceptability, Maximum acceptable price (MAP), Congestion pricing, Central zone.*

1. UVOD

Zbog porasta broja vozila u poslednjih nekoliko decenija, mnogi gradovi se suočavaju sa problemima zagušenja. Zagušenje izaziva brojne negativne posledice kao što su: zagađenje vazduha, buka, zauzimanje prostora, vremenski gubici, potrošnja goriva, saobraćajne nezgode kao i izazivanje stresa kod svih korisnika. Kada se negativne posledice pretvore u novčane jedinice, dolazi se do nalaza da gradovi sa problemom zagušenja imaju povećane troškove transporta, očuvanja životne sredine i zdravstvene zaštite.

Prethodne studije pokazale su da je proširenje kapaciteta u već izgrađenim urbanim područjima često neefikasno, a ponekad ima i suprotan efekat, s obzirom da izgradnja novih puteva povećava potražnju. Jedino dugoročno rešenje u centralnoj zoni grada (CZ) ogleda se u upravljanju potražnjom primenom

različitih politika i mera. Jedna od tih politika je naplata zagušenja (NZ). NZ predstavlja efikasan alat za upravljanje zasićenim saobraćajnim tokovima. Koncept NZ podrazumeva naplatu korišćenja CZ, posebno tokom vršnih sati, kako bi se smanjivanjem broja automobila u zoni smanjilo zagušenje. Na ovaj način, korisnici su motivisani da promene vid prevoza ili vreme obavljanja putovanje, kao i da koriste rute koje ne prolaze kroz CZ.

Treba naglasiti da sistem NZ koristi tehnologije koje podrazumevaju tzv. „slobodan protok" tj. tehnologije koje ne zahtevaju promenu brzine niti promenu saobraćajne trake kao što su: sistem baziran na namenskoj komunikaciji kratkog dometa višetračnog slobodnog protoka (DSCR MLFF), sistem baziran na identifikaciji putem radio frekvencije bez barijera (RFID ORT), globalni satelitski navigacioni sistem/mobilna mreža ili sistem za pozicioniranje vozila (GNSS/CN ili VPS), ili sistem baziran na automatskom prepoznavanju registarskih oznaka (ANPR) (Persad et al., 2007; Mladenović et al., 2015; Glavić et al., 2017; Janković et al., 2018; Milenković et al., 2018). Dakle u sistemu NZ registracija i plaćanje naknade vrše se elektronski, bez uticaja na protok saobraćaja.

Međunarodna iskustva ukazuju na to da je NZ uspešno implementirana u brojnim zemljama u kojima postoje alternativni pravci i u kojima je razvijen javni prevoz, kao što su London, Stokholm, Singapur, Milano itd. Takođe, istraživanja pokazuju da NZ donosi brojne koristi i pozitivne efekte za društvo u celini, posebno u gradovima koji imaju probleme sa zagušenjem, kao što su povećanje učešća javnog prevoza u modalnoj raspodeli, poboljšanje transportnih usluga, smanjenje vremenskih gubitaka, smanjenje potrošnje goriva, smanjenje zagađenja vazduha, poboljšanje javnog zdravlja i ostvarivanje prihoda. Međutim, veoma je važno naglasiti da uspešna implementacija sistema NZ zavisi od prihvatljivosti od strane javnosti tj. spremnost korisnika da prihvate NZ smatra se najvažnijom preprekom u uspostavljanju šeme NZ. Implementacija sistema NZ, bez jake političke podrške i prihvatanja od strane javnosti, nije imala uspeha u gradovima poput Hong Konga, Njujorka, Edinburga i Mančestera (Zheng et al., 2014).

Imajući u vidu nizak nivo usluge u CZ Beograda, potrebno je razmotriti NZ kao jednu od mera za rešavanje tekućih pitanja upravljanja potražnjom. Mladenovic i dr. (2016) prethodno su analizirali pitanje NZ u CZ Beograda iz perspektive politike teorije transfera. Politika teorije transfera proizilazi iz oblasti političke nauke i javne politike. Imajući u vidu značaj javnog prihvatanja za uspešnu implementaciju NZ, autori ovog rada su sproveli analizu stavova korisnika po pitanju uvođenja NZ. Glavni ciljevi rada ogledaju se u analizi stavova korisnika, određivanju promenljivih koje imaju značajan uticaj na stavove korisnika, definisanju preferencija korisnika prema različitim sistemima NZ, kao i u mogućnostima korišćenja dobijenih rezultata u budućim studijama koje će se baviti stavovima korisnika.

Glavni doprinos rada ogleda se u sveobuhvatnoj analizi faktora koji utiču na prihvatljivost NZ, kao što su demografske i socio-ekonomske karakteristike ispitanika, obrasci kretanja ispitanika u odnosu na CZ, percepcija ispitanika o saobraćajnim problemima u CZ, njihova informisanost o NZ, i preferencije prema različitim politikama NZ, kao i njihove preferencije prema raspodeli prihoda. Autori su takođe primenili statističku tehniku koja je do sada retko korišćena u analizi problema koji se odnose na NZ. Konačno, rezultati ovog rada predstavljaju korisnu osnovu za donošenje odluka pri kreiranju transportnih politika i mera vezanih za NZ.

2. METODOLOGIJA

Stavovi korisnika po pitanju uvođenja NZ dobijeni su korišćenjem odgovarajućeg prethodno definisanog upitnika. Istraživanje je sprovedeno elektronskim putem tokom tri meseca – od oktobra do decembra 2017. godine. Ciljnu grupu su činili stanovnici Beograda, odnosno stanovnici CZ Beograda i oni koji to nisu. Upitnik je prosleđen pojedinim kompanijama, fakultetima, kao i studentskim, penzionerskim i organizacijama nezaposlenih u Beogradu.

Upitnik je podeljen na šest delova. Prvi deo je sadržao pitanja o socio-demografskim i ekonomskim karakteristikama ispitanika. Drugi deo se odnosio na obrasce kretanja korisnika u odnosu na CZ. U trećem delu upitnika autori su želeli da zabeleže percepciju korisnika o saobraćajnim problemima u CZ. Četvrti deo omogućio je autorima da saznaju koliko su ispitanici upoznati sa NZ i kakve su njihove preferencije prema uvođenju NZ i različitim politikama NZ. Peti deo ukazuje na preferencije korisnika prema važnosti pozitivnih efekata NZ, tj. ukazuje na stepen značaja pozitivnih efekata uvođenja NZ za korisnike. U poslednjem delu, prikupljeni su stavovi korisnika o načinima ulaganja prihoda ostvarenih NZ. Pitanja su bila zatvorenog, poluotvorenog i otvorenog tipa. Za pojedina pitanja korišćena je petostepena skala.

Kako bi se istražio odnos između faktora koji utiču na NZ, u ovom radu je korišćeno modeliranje strukturnih jednačina (SEM). Dva modela su razvijena, jedan kojim su utvrđeni prediktori koji utiču na maksimalnu prihvatljivu cenu (MAP) za korišćenje CZ i drugi kojim su definisani prediktori koji utiču na spremnost korisnika da prihvati uvođenje NZ. SEM analiza je sprovedena pomoću IBM SPSS AMOS 22.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Kako bi se utvrdili faktori koji utiču na MAP i uvođenje NZ, sprovedena je SEM analiza. Prvi latentni prediktor su *Socijalne karakteristike* koji se sastoji od *Pola, Starosti i Obrazovanja*. Sledeći prediktor su *Ekonomske karakteristike* koje modelujemo koristeći *Zaposlenje, Prihod, Posedovanje automobila, Udaljenost od CZ, Stanovanje u CZ i Pređenu kilometražu*. Pretpostavka je da će *Socijalne karakteristike* imati pozitivan uticaj na *Ekonomske karakteristike*. Latentni prediktor *Učestalost* odnosi se na učestalost ulazaka u CZ u različite svrhe, kao što su svrha odlaska na posao, svrha rekreacije i svrha kupovine. Pretpostavka je da i *Socijalne* i *Ekonomske karakteristike* imaju značajan uticaj na *Učestalost*. Sledeći latentni prediktor je *Informisanost korisnika* o NZ. Indikatori koji ga čine su: *Da li ste informisani o NZ* i *Da li ste informisani o pozitivnim efektima NZ*. Pretpostavka je da i *Socijalne* i *Ekonomske karakteristike* i *Učestalost* utiču na *Informisanost*. Još jedna pretpostavka je da ista ova tri latentna prediktora utiču na stavove korisnika koji se tiču značaja efekata NZ (*Efekti NZ*) koji se sastoje od: *Kraćeg vremena putovanja, Nižih troškova, Smanjenja zagađenja* i *Više parking mesta*. Poslednji latentni prediktor je stav korisnika prema različitim politikama NZ (*Politika NZ*): *Dan, Period dana, Politika 2+* i *Broj ulazaka u CZ*. Naša pretpostavka je da *Socijalne karakteristike, Ekonomske karakteristike, Frekvencija, Efekti NZ i Politika NZ* imaju uticaj na predikciju *MAP/Uvođenja NZ*.

3.1. SEM model za MAP

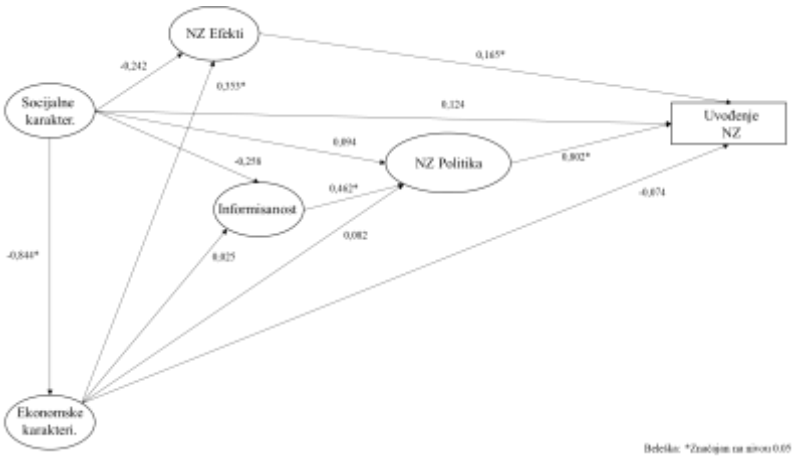
Početni MAP model imao je relativno lošu uklopljenost (Hi-kvadrat=1732,802, df=215, p<0,000, RMSEA=0,107, CFI=0,591, TLI=0,519, NFI=0,563). Shodno tome, model je redefinisan: isključene su promenljive koje nisu statistički značajne, koeficijenti koji nisu statistički značajni i dodate su veze predložene modifikacionim indeksima. Dobijeni model imao je bolju uklopljenost (Hi-kvadrat=555,547, df=111, p<0,000, RMSEA=0,08080, CFI=0,838, TLI=0,777, NFI=0,8).

Rezultati pokazuju da *Socijalne karakteristike* imaju statistički značajan uticaj na *Ekonomske karakteristike* (R^2=0,945). Kada se radi o *Informisanosti o NZ*, rezultati su neočekivani. Naime, ni *Socijalne* ni *Ekonomske* karakteristike, niti *Frekvencija* nemaju statistički značajan uticaj na *Informisanost* ispitanika o NZ i objašnjavaju samo 7,2% varijabilnosti informisanosti. Ovaj rezultat vodi do zaključka da bi interesovanje ispitanika za NZ i njihovo poznavanje NZ trebalo detaljnije istražiti, jer ne zavisi od uobičajenih faktora. Faktor *Politika NZ* sastoji se od dve promenljive: *koji dan* i *koji period u toku dana bi se NZ sprovodila*. Sva tri pretpostavljena faktora imala su statistički značajan uticaj na predviđanje vrednosti i objašnjavaju gotovo 50% varijabilnosti (49,5%). Stoga možemo reći da *Socijalne karakteristike*, *Ekonomske karakteristike* i *Informisanost o NZ* utiču na preferencije ispitanika u pogledu politike koju bi oni želeli. Drugi rezultat koji nije uobičajen jeste da *Socijalne* i *Ekonomske* karakteristike nemaju statistički značajan uticaj na *Frekvenciju*, ali daju model visokog kvaliteta (objašnjeno je 76,1% varijabilnosti). Mišljenje ispitanika o efektima NZ može se modelirati koristeći *Socijalne* i *Ekonomske* karakteristike i *Frekvenciju* (objašnjeno je 88,1% varijabilnosti) ali nijedna od ovih promenljivih nije pojedinačno značajna u predviđanju. Konačno, od pet pretpostavljenih faktora, samo jedan ima statistički značajan uticaj na MAP-*Politika NZ*. Pet faktora objašnjava 51,6% varijabilnosti i čine model solidnog kvaliteta. Rezultati su prikazani na Slici 1.

Slika 1: Model za MAP vrednosti

3.2. SEM model za uvođenje NZ

Kod modela za *Uvođenje NZ* utvrđeno je da *Socijalne karakteristike* modeluju *Ekonomske karakteristike* veoma uspešno (R^2=0.713), dok *Informisanost* ne može jednostavno da se modeluje pomoću *Socijalnih* i *Ekonomskih karakteristika* (R^2=0.078). *Informisanost* ima statistički značajan uticaj na *Politiku NZ* (R^2=0.210), dok ne postoji uticaj *Socijalnih* i *Ekonomskih karakteristika*. *Efekti NZ* su solidno objašnjeni; samo 32.8% njihove varijanse objašnjeno je uz pomoć *Socijalnih* i *Ekonomskih karakteristika*, dok je uticaj *Ekonomskih* karakteristika statistički značajan. Predloženi model objašnjava 65.4% varijanse *Uvođenja NZ*, dok *Politika NZ* i *Efekti NZ* imaju statistički značajan uticaj na donošenje odluka u vezi sa uvođenjem NZ (Slika 2).



Slika 2: Model za uvođenje NZ

3.3. Diskusija

U oba razvijena modela, *Socijalne karakteristike* su imale negativan statistički značajan uticaj na *Ekonomske karakteristike*. Ovaj rezultat može da ukaže da socijalne karakteristike (*Pol, Starost, Obrazovanje*) imaju negativan uticaj na ekonomske karakteristike (*Zaposlenje, Prihod, Posedovanje automobila i Pređena kilometraža*). Dobijeni rezultati pokazuju da sa porastom starosti ispitanika raste vrednost promenljive *Socijalne karakteristike*, dok se time smanjuje vrednost promenljive *Ekonomske karakteristike*. Na neki način ovo je očekivan rezultat, pošto su stariji ispitanici obično penzioneri, imaju niže prihode i ne prelaze veće razdaljine automobilom.

Zanimljivo je da *Informisanost* nije mogla biti uspešno objašnjena *Socijalnim* i *Ekonomskim* karakteristikama. Naime, R^2 je u oba modela varirao od 0,072 do 0,078. *Ekonomske karakteristike* su imale pozitivan ali ne i značaj uticaj, što znači da ako ispitanik poseduje automobil i ima viši prihod, on/ona će biti informisaniji o politikama NZ. Učestalost korišćenja CZ, korišćena u jednom od modela, imala je pozitivan ali ne i značajan uticaj na *Informisanost*; odnosno, što češće ispitanik koristi CZ, to će on/ona biti informisaniji o politikama NZ. *Socijalne karakteristike* su imale pozitivan ali ne i značajan uticaj u jednom modelu, a negativan i neznačajan uticaj u drugom modelu. Stoga, uticaj *Socijalnih karakteristika* na *Informisanost* je na neki način neubedljiv.

Što se tiče *Politike NZ*, kvalitet modela je varirao, ali je *Informisanos*t bila statistički značajna u oba modela. Koeficijent regresije je bio pozitivan, odnosno sa porastom *Informisanosti*, povećava se pozitivan stav o *Politici NZ*. Modelovanje *Politike NZ* bi se detaljnije moglo istražiti u MAP modelu. Naime, u tom modelu, *Ekonomske i Socijalne karakteristike*, uz *Informisanost*, imale su statistički značajan uticaj. Ipak, oba koeficijenta su bila negativna, što znači da su stariji ispitanici i oni sa nižim prihodom manje informisani o *Politici NZ*.

Modelovanje *Efekata NZ* dalo je neubedljive rezultate. U modelu *Uvođenje NZ*, R^2 je bio nizak (0,328%) i *Ekonomske karakteristike* su imale pozitivan statistički značajan uticaj. Ovo ukazuje da ispitanici sa višim prihodom i oni koji su stalno zaposleni uviđaju koristi od uvođenja NZ. Ipak, u modelu u kom su *Efekti NZ* modelovani koristeći *Socijalne* i *Ekonomske karakteristike* i *Učestalost* (MAP model), nijedan faktor nije bio statistički značajan, ali su činili model veoma visokog kvaliteta s obzirom da je R^2 bio 0,881. Takođe, u ovom modelu sva tri faktora su imala negativne koeficijente regresije.

Što se tiče MAP, dokazano je da samo *Politika NZ* ima statistički značajan uticaj, što znači da bi ispitanici bili spremni da plate višu cenu za NZ zavisno od politike. U slučaju *Uvođenja NZ*, faktori *Politika NZ* i *Efekti NZ* su imali pozitivan statistički značajan uticaj. Ovo ukazuje da što je ispitanik više informisan o *Politici NZ* i što bolje sagledava koristi od NZ, on/ona je skloniji/a da prihvati uvođenje NZ.

Generalno, faktori koji utiču na spremnost korisnika da prihvate NZ do sada nisu dovoljno analizirani. Prethodno, Glavić i dr. (2017) sproveli su sveobuhvatnu analizu MAP vrednosti za naplatu putarine, uzimajući u obzir dan u nedelji, izvor vozila, svrhu putovanja, učestalost korišćenja puta i prihod. Glavić i dr. (2017) pokazali su da postoji statistički značajna razlika u MAP vrednostima za različite svrhe putovanja, učestalost putovanja i mesečne prihode. Razmatrajući vrednost koju su oni koji često putuju spremni da plate da bi uštedeli vreme putovanja, Calfee and Winston (1998) su pokazali da je ona niska i iznenađujuće neosetljiva na uslove putovanja i način na koji se koristi prihod od naplate putarine. Takođe su zaključili da čak i putnici sa visokim prihodima jednostavno nisu ocenili uštedu vremena putovanja dovoljno visoko niti smatrali da bi imali značajne koristi od naplate putarine. Mackie et al. (2003) su pokazali da je prihod jedan od najčešćih faktora koji utiču na varijaciju vrednosti uštede vremena putovanja. Drugi faktori koji utiču na vrednost uštede vremena putovanja su vid prevoza kojim se putuje, uslovi putovanja u relevantnom vidu i svrha putovanja. Wardman (2001) je zaključio da bi u uslovima sa velikim zagušenjem vozači dva puta bolje vrednovali svoje vreme, nego u uslovima slobodnog protoka.

4 ZAKLJUČAK

Poznavanje stavova korisnika po pitanju uvođenja NZ i razumevanje faktora koji utiču na prihvaćenost od strane javnosti, kao i na njihovu spremnost da plate korišćenje CZ su od ključne važnošti za uspešnu implementaciju sistema NZ. Na ovaj način, upravljači dobijaju važan input koji bi trebalo uzeti u obzir prilikom definisanja politike NZ.

Rezultati ovog rada mogu biti od koristi za buduća istraživanja. Naime, ovo istraživanje predstavlja metodološki okvir za određivanje spremnosti korisnika da prihvate uvođenje NZ, tj. prenošenje rezultata iz ovog istraživanja na druge slučajeve je izvodljivo uz izvesna prilagođavanja lokalnim uslovima. U budućim istraživanjima treba razmatrati dodatne faktore koji bi uticali na prihvatljivost, pošto je značajan procenat varijanse promenljivih koje se odnose na *Uvođenje NZ* i *MAP* ostao neobjašnjen. Takođe, imajući u vidu prisutnost kategorijskih varijabli, u budućem radu bi bilo dobro razmotriti primenu DWLS (Distributed Weighted Least-Squares) algoritma, čime bi se dodatno uticalo na kvalitet dobijenih modela.

Dalje, zbog mogućih dvosmislenosti do koji dolazi prilikom popunjavanja anketa elektronskim putem i neiskrenih odgovora ispitanika, pouzdaniji rezultati bi se dobili sprovođenjem ankete na terenu i uz prisustvo ispitivača. Konačno, rezultati ovog istraživanja su pokazali da ispitanici smatraju da su problemi koji postoje u CZ, a koji su nastali kao posledica zagušenja u saobraćaju, prisutni u velikoj meri. Međutim, nisu samo prisutni problemi koji se odnose na zagušenje u saobraćaju u CZ. Ovo istraživanje je pokazalo da postoje određeni problemi kako u razvijenosti i funkcionisanju sistema javnog gradskog prevoza putnika tako i u nepostojanju odgovarajućih alternativnih ruta. Da bi se u budućnosti razmišljalo o uvođenju NZ, neophodno je korisnicima obezbediti osnovne uslove u vidu razvijenosti alternativnih vidova prevoza i postojanja alternativnih putanja.

Definisanje politike NZ koja će obezbediti veću podršku javnosti predstavlja jedan od glavnih izazova stručnjaka iz ove oblasti. Neki ohrabrujuće visoki nivoi prihvaćenosti bi se mogli postići odgovarajućom politikom NZ. Uzimajući u obzir sve ove rezultate, moguće je odrediti kombinaciju politika koju bi većina stanovnika prihvatila.

LITERATURA

[1] Calfee, J., and Winston, C. (1998). The value of automobile travel time: implications for congestion policy. Journal of public economics, 69(1), 83-102.

[2] Glavić, D., Milenković, M., Trpković, A., Vidas, M., and Mladenović, M. N. (2017). Assessing sustainability of road tolling technologies. In Proceedings of the nternational Congress on Transport Infrastructure AND Systems–TIS Roma, 803-810.

[3] Glavic, D., Mladenovic, M., Luttinen, T., Cicevic, S., and Trifunovic, A. (2017). Road to price: User perspectives on road pricing in transition country. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 105, 79-94.

[4] Janković, S., Mladenović, S., Mladenović, D., Vesković, S., and Glavić, D. (2018). Schema on read modeling approach as a basis of big data analytics integration in EIS. Enterprise Information Systems, 12(8-9), 1180-1201.
[5] M. Mladenović, D. Jolović, and D. Glavić, (2016). Policy implications for congestion pricing in the city of Belgrade'. Paper presented at the Second Serbian Road Congress, Belgrade, june 2016.
[6] Mackie, P.J., Wardman, M., Fowkes, A.S., Whelan, G., Nellthorp, J. and Bates, J. (2003). Values of Travel Time Savings UK, Institute of Transport Studies, University of Leeds. http://eprints.whiterose.ac.uk/2079/2/Value_of_travel_time_savings_in_the_UK_protected.pdf (accessed 10.14.18).
[7] Milenković, M., Glavić, D., and Mladenović, M. N. (2018). Decision-support framework for selecting the optimal road toll collection system. Journal of Advanced transportation, 2018.
[8] Mladenović, M. N., Stevanović, A., Kosonen, I., and Glavić, D. (2015). Adaptive Traffic Control Systems: Guidelines for Development of Functional Requirements. Paper presented at the International Scientific Conference on Mobility and Transport (mobil. TUM).
[9] Persad, K., Walton, C.M. and Hussain, S. (2007). Toll collection technology and best practices (No. Product 0-5217-P1).
[10] Wardman, M. (2001). A review of British evidence on time and service quality valuations. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 37(2-3), 107-128.
[11] Zheng, Z., Liu, Z., Liu, C., and Shiwakoti, N. (2014). Understanding public response to a congestion charge: A random-effects ordered logit approach. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 70, 117-134.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

SIMULATION OF AIRSIDE OPERATIONS AT NIS AIRPORT

GORAN PAVLOVIĆ[1], BOJANA MIRKOVIĆ[1]

[1] University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering
g.pavlovic@sf.bg.ac.rs, b.mirkovic@sf.bg.ac.rs

Abstract: *This paper presents a simulation model built for the purpose of an analysis of the current utilization of Nis Airport airside capacity, as well as for the estimation of additional capacity obtained after possible upgrade of taxiway system with parallel taxiway and additional aircraft stands at the apron. Results indicate that the current taxiway to runway 29 becomes the first bottleneck of the system with the increase of demand. This can be mitigated in the first place by constructing a new parallel and connecting taxiway to runway 11, with a further need of building additional aircraft stands to cope with more challenging traffic demand.*

Keywords: *simulation modelling, airport, apron, taxiway, runway.*

1. INTRODUCTION

Nis Constantine the Great Airport (IATA: INI, ICAO: LYNI) is the second largest airport in Serbia, after Belgrade Nikola Tesla Airport, and is located in Southern Serbia, 4 km northwest of Nis downtown. It is used both for civil and military operations and has one asphalt runway (2500 x 45m) and one smaller grass runway (1700 x 50m), both of which have the 11/29 orientation. One taxiway (TWY D) and one apron with four aircraft stands are available for commercial operations (see Figure 1).

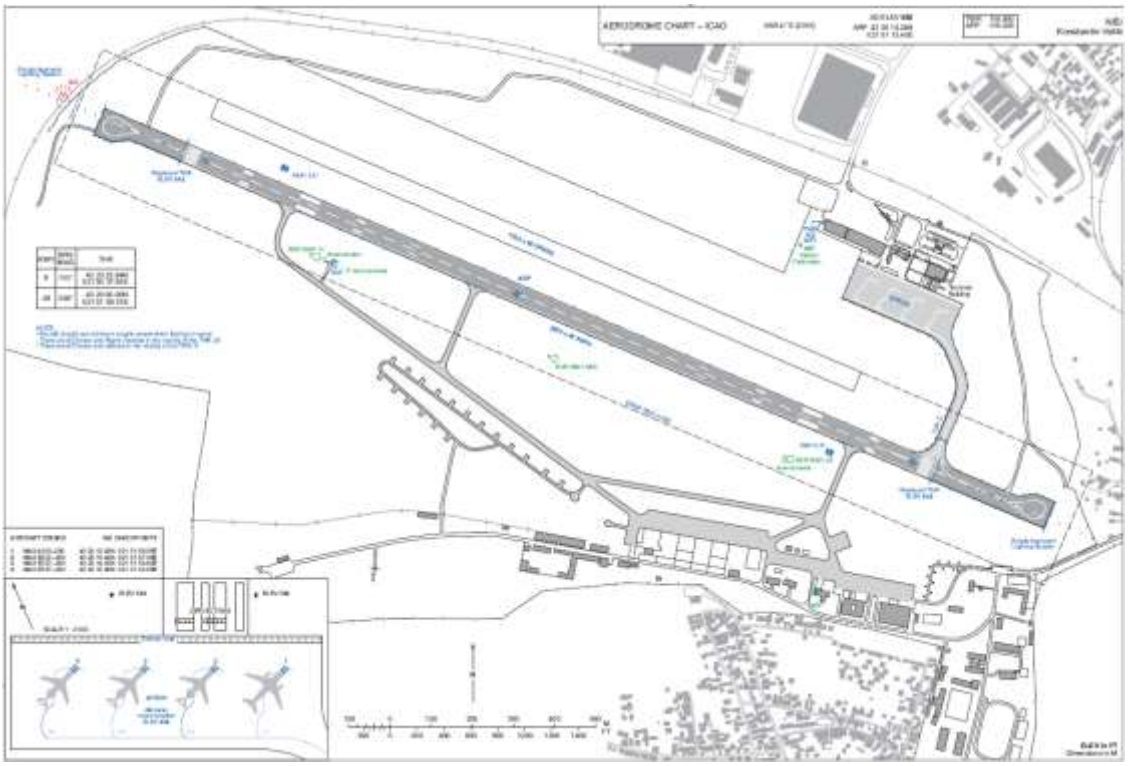


Figure 1: ICAO aerodrome chart of Nis Airport (SMATSA, 2019)

After many years of fairly modest traffic figures, two relevant studies were conducted (IFTTE, 2010; and IFTTE, 2013) to explore possibilities of boosting traffic growth at Nis Airport. A substantial increase in traffic began in 2015 when low-cost carriers Wizz Air and Ryanair opened several routes, with further extension in 2016 when Turkish Cargo and Swiss Air announced their flights. In 2018 the airport recorded

351,582 passengers and 1,417 aircraft movements (Figure 2, retrieved from: https://nis-airport.com/statistika/).

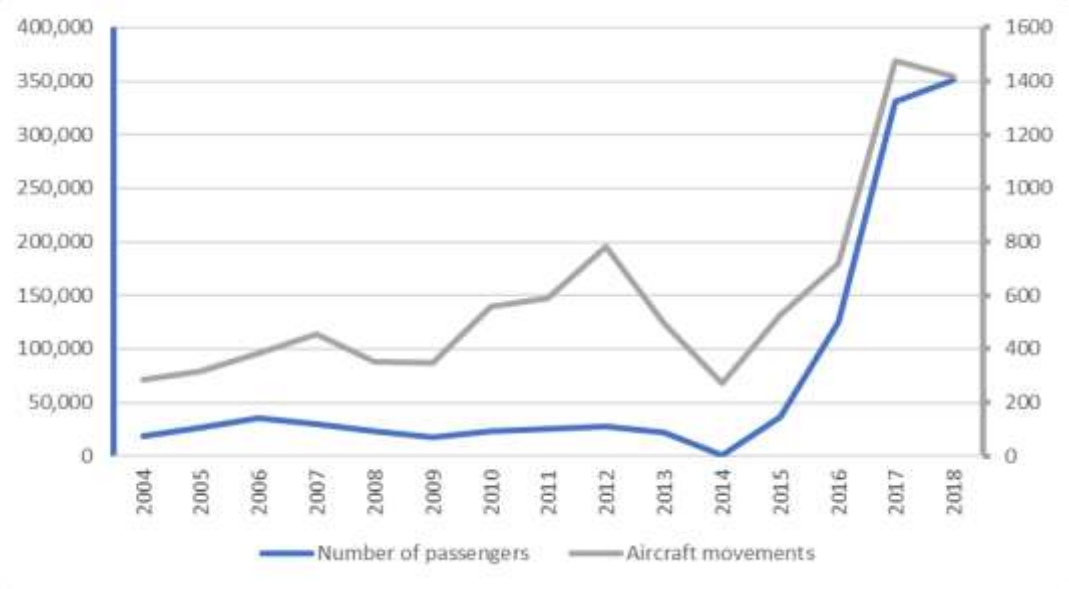


Figure 2: Traffic evolution at Nis Airport from 2011 to 2018

In January 2018 the Government of Serbia revealed that a 25-year concession to run Serbia's busiest airport (Belgrade's Nikola Tesla) is granted to the French operator Vinci Airports, followed by the official transfer of operations in December 2018. Due to that, the focus in the following years will be switched to the expansion of the Nis Airport. In May 2019 flag carrier Air Serbia won a tender to operate 12 new routes of national interest from Nis Airport, bringing additional 25 weekly flights to the airport as from July 2019.

Given the forthcoming traffic surge and taking into account its current limited capacity, Nis Airport requires substantial investments both in its airside and landside components. This paper focuses on airport airside and aims at assessing its current utilization and capacity bottlenecks, as well as future capacity potentials arising from the new taxiway and/or apron expansion.

Simulation model of airport operations is presented in Section 2. Different scenarios, reflecting supply and demand side changes, are simulated and results are discussed in Section 3, followed by conclusions in Section 4.

2. AIRPORT OPERATIONS SIMULATION MODEL

Nis Airport airside operations were simulated using a model built in Arena - a discrete event simulation and automation software. A block diagram of the model with its modules is shown in Figure 3.

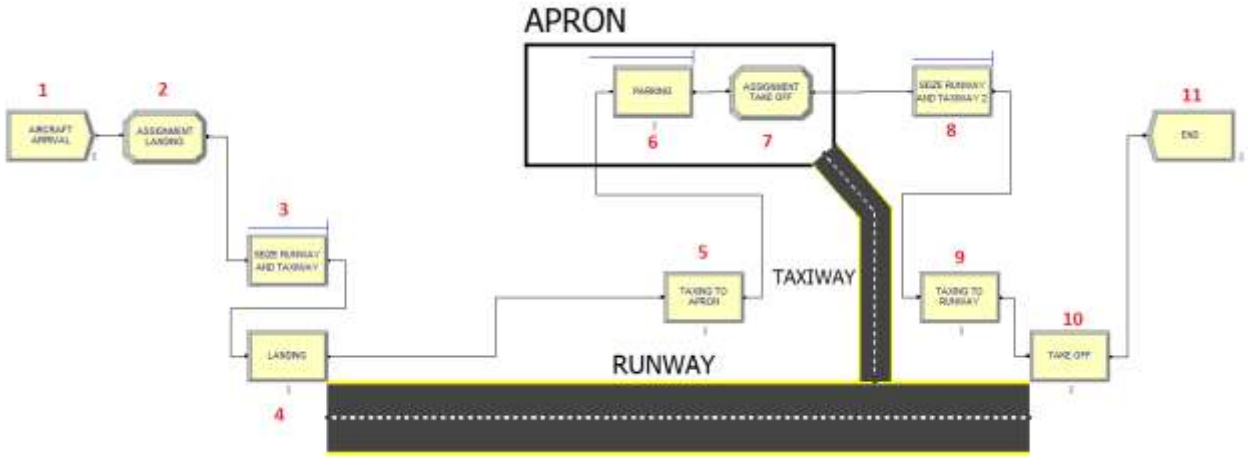


Figure 3: Simulation model and its modules

The steps of the simulated process are the following: aircraft arrivals are simulated with the CREATE module (1) and landing/airline type attributes are assigned in ASSIGNMENT module (2); arriving aircraft seizes runway and taxiway with SEIZE module (3) and performs landing operation in DELAY RELEASE module (4); after landing, runway is released, aircraft is then taxing towards the apron in DELAY RELEASE module (5); after taxing, taxiway is released and aircraft is parked at random aircraft stand in SEIZE DELAY RELEASE module (6); after the turnaround process on the apron, aircraft is assigned take-off attribute in ASSIGNMENT module (7) and it again seizes the taxiway and runway with SEIZE module (8); aircraft is taxing towards the runway in DELAY RELEASE module (9), after which taxiway is released; aircraft then performs take-off operation in DELAY RELEASE module (10), after which runway is released; the process ends in DISPOSE module (11).

Estimated durations of the landing, taxing and take-off operations for different runway orientations were obtained in a short survey conducted with an anonymous air traffic controller working at Nis Airport ATC Tower. They were modeled with UNIFORM probability distribution with minimum and maximum values given in Table 1.

Table 1: Durations of different airside operations

Operation	Runway in use	Duration (min-max)	Unit
Landing (FAF to TD[1])	11	4.5 - 5	min
Landing (FAF to TD)	29	4.5 - 5	
Taxing to apron	11	2 - 3	
Taxing to apron	29	6 - 7	
Taxing to runway	11	5 - 6	
Taxing to runway	29	2 - 3	
Take-off	11	3 - 4	
Take-off	29	3 - 4	

Turnaround times were estimated separately for traditional and low-cost carriers based on a dataset[2] consisting of 182 random flights performed in March and April 2019. Probability distributions were obtained using the Arena Input Analyzer and their parameters are given in Table 2.

Table 2: Turnaround process probability distributions

Airline type	Distribution	Expression	Unit
Traditional	UNIFORM	UNIF (41, 88)	min
Low-cost	ERLANG	16 + ERLA (5.98, 4)	

It should be noted that higher turnaround times for traditional carriers were obtained mainly from Swiss airline's flights, which are often affected by Air Traffic Flow Management (ATFM) regulations in Swiss airspace, implying ground delay at the apron.

3. SCENARIOS

Current operations at Nis Airport were simulated in Scenario C. The simplest possible taxiway "system", consisting of only one connecting taxiway, imposes serious constraint to runway throughput, as it requires substantial usage of the runway for taxiing purposes. In order to keep additional runway occupancy as low as possible, current concept of operations assumes using opposite directions for landing and take-off. Aircraft use runway 11 for landing and 29 for take-off, which reflects today's prevailing situation in low wind and low traffic conditions. With the increase in traffic the same runway direction should be in use for landing and take-off for safety reasons.

As for the airline mix, approx. 90% of flights are performed by low-cost carriers. The same mix was also used in other scenarios for the sake of comparability. Priority was given to departing aircraft in order to free up scarce capacity on ground as soon as possible.

Until full runway system capacity is reached, the main concern at small-to-medium airports is to expand/modify apron area and taxiway system to meet demand requirements (Mirkovic and Tosic, 2014). Three hypothetical future scenarios, implying upgraded taxiway system (C+TWY) and 1 or 2 additional

[1] From final approach fix (FAF) to touchdown (TD);
[2] Data was obtained from EUROCONTROL's Demand Data Repository (DDR2) service.

aircraft stands (C+TWY+1/2AS), were simulated for different traffic demand levels, reflected through varying aircraft arrival rates in CREATE module (Figure 3). The order of scenarios, i.e. infrastructure expansion, was decided after initial trial simulations whose results suggested that taxiway system is the first to become a bottleneck with the traffic growth. Table 3 gives a summary of the scenarios and their corresponding assumptions.

Table 3: Scenarios and assumptions

Scenario	Number of connecting + parallel taxiways	Number of aircraft stands	Airline mix % (low-cost/traditional)	Runway in use (landing/take-off)
C	1+0	4	90/10	11/29
C+TWY	2+1	4		11/11
C+TWY+1AS		5		11/11
C+TWY+2AS		6		11/11

Parallel taxiway with a connection to threshold 11 enables full circular flow on the primary runway in use that is runway 11. Benefits of the parallel taxiway are not only in capacity gain, but also on a safety side when the traffic density is increasing, as they allow vacating the runway as soon as possible. It is worthwhile mentioning that, with existing connecting taxiway and apron taxiway, circular flow is also enabled for opposite runway direction is in use, but the analysis of operations on runway 29 are not in the focus of this research. The model for scenarios with additional taxiway is similar to the initial one. It just involves one additional resource for taxiing operation, which itself lasts a bit longer (5-6 min compared to 2-3 min in Scenario C, as shown in Table 1), since runway 11 is used both for take-off and landing.

Different traffic demand levels are simulated. Corresponding aircraft interarrival time distributions are given in Table 4.

Table 4: Traffic demand levels

Designator	Distribution	Expression	Unit
*	TRIANGULAR	TRIA (5, 25.5, 251)	min
60		TRIA (50, 60, 80)	
50		TRIA (40, 50, 70)	
40		TRIA (30, 40, 60)	
30		TRIA (20, 30, 50)	
20		TRIA (10, 20, 40)	
10		TRIA (0, 10, 30)	

Current traffic demand (denoted *) is approximated based on the actual aircraft interarrival times observed during 11 days in March and April 2019 with over 5 arrivals per day. As already mentioned, the airport currently accommodates only a few flights per day (maximum 7 daily arrivals in the abovementioned period), which explains the heavily right-skewed Triangular distribution obtained.

Future traffic demand levels were modeled in the form of triangularly distributed aircraft interarrival times with decreasing peak values, corresponding to increasing traffic demand levels. Lower and upper values were set at -10 and +20 minutes around peak value respectively.

For each scenario and traffic demand level, 100 replications with 10 hours of duration and 3 hours of warm-up period were simulated. Figure 4 shows delay generated at different locations of the airside system (maneuvering area and apron) for four (current + three future) scenarios and seven traffic demand levels. Values are calculated as average across all replications.

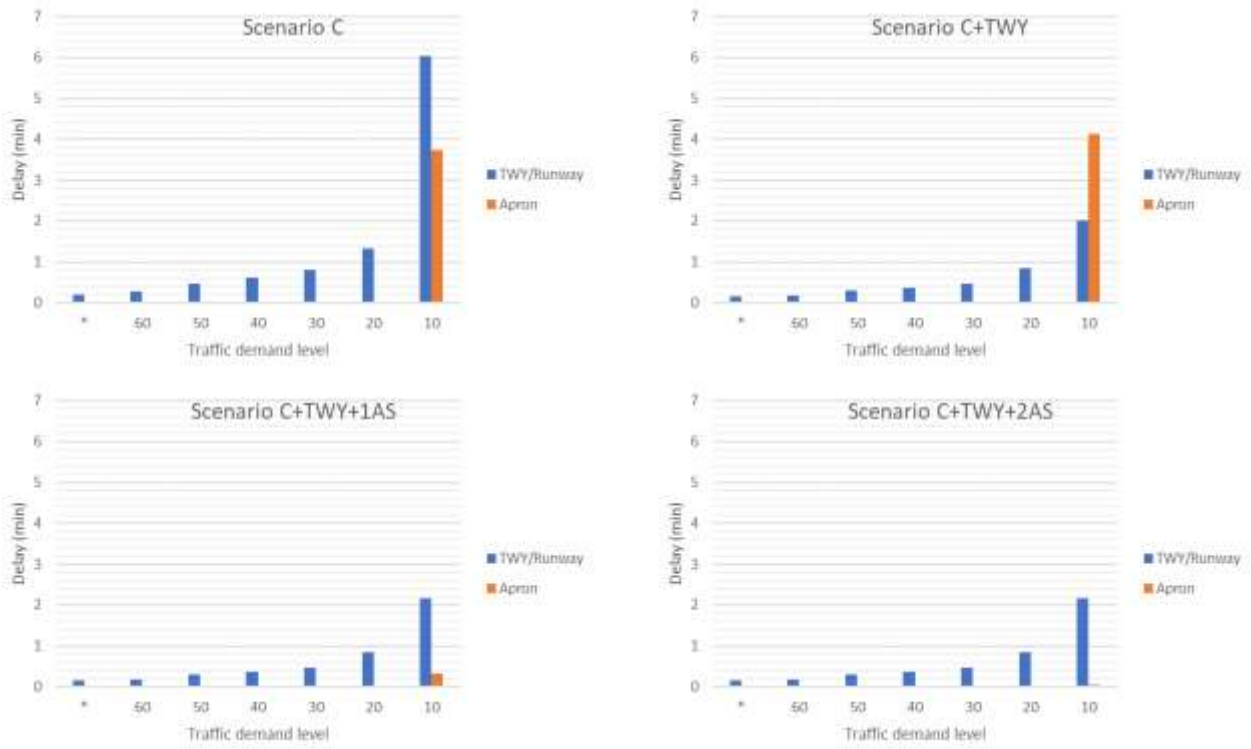
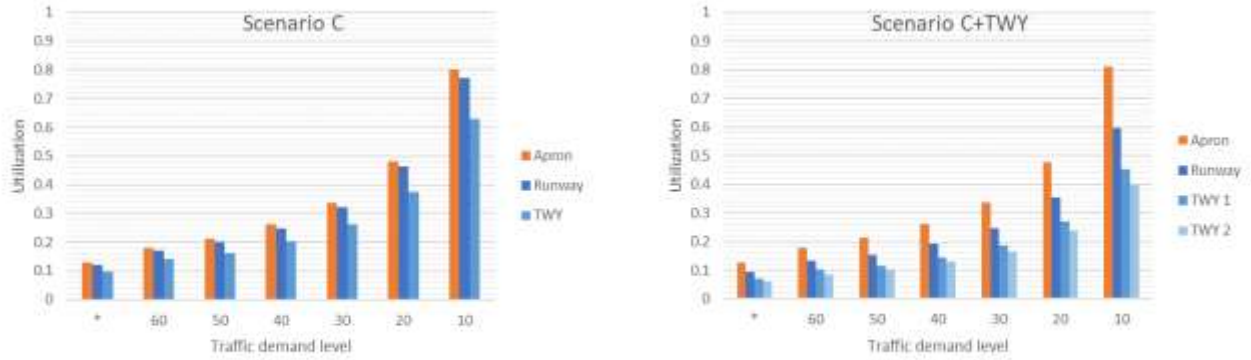


Figure 4: Delay (min) for different scenarios, demand levels and airside resources

As seen in Figure 4, delays with current traffic demand (*) are negligible in all scenarios and occur only at maneuvering area (runway/taxiways). This is explained by rather long periods between subsequent aircraft arrivals, leading to very rare occasions when maneuvering areas need to be used by more than one aircraft at the same time.

Delay at maneuvering areas increases steadily with the increase in traffic demand, but stays below 1 minute on average in most of the cases. As expected, substantial increase in delays is observed in Scenario C for the most demanding traffic level, with taxiway being the main bottleneck of the system. After adding additional taxiway to runway 11 in Scenario C+TWY, delays drop below 2 minutes again for the most challenging traffic level. However, delays at apron remain significant and even increase slightly above 4 minutes. This is mitigated by adding new aircraft stand in remaining two scenarios, with delays at apron almost reaching 0 in the last scenario with 2 additional aircraft stands.

Figure 5 shows the scheduled utilization of the airside resources.



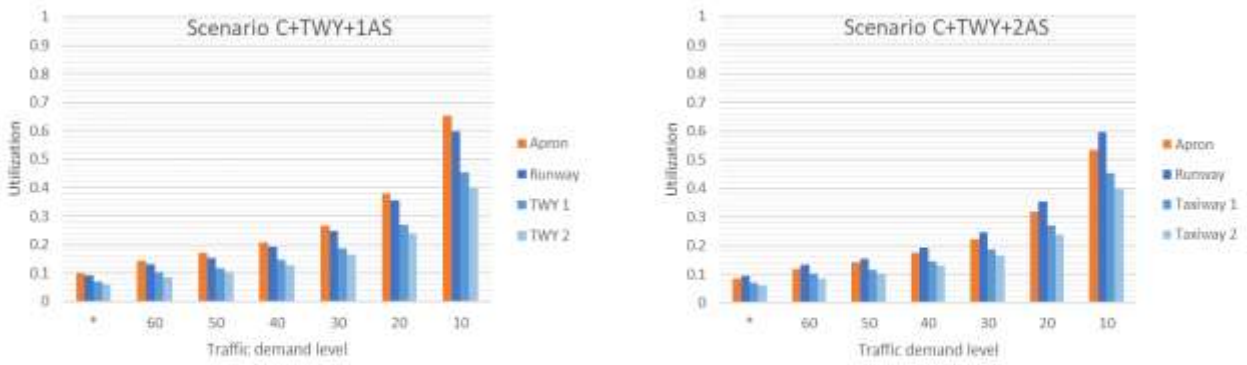


Figure 5: Scheduled utilization of airside resources

Although delays in Figure 4 may not seem that high, it should be noted that further increase in aircraft arrival rate above the last presented in Table 4 causes the runway to become the main system bottleneck (as may be anticipated from Figure 5), generating enormous delays. This actually means that further development of supporting taxiway system is needed to achieve lower runway occupancy times. Full potential of the runway capacity can be achieved only if the taxiway system is developed accordingly (partially parallel taxiway, full parallel taxiway, additional runway exits, etc.). For the sake of readability, this case is not presented in Figures 4 and 5.

4. CONCLUSIONS AND FURTHER WORK

Simple yet powerful simulation model presented in this paper allows assessing capacity challenges versus increasing traffic demand at Nis Airport. It was shown that taxiway system is the first element of the airside system to become a capacity bottleneck as demand increases, which can be mitigated by constructing a parallel taxiway to runway 11. Further upgrade of the taxiway system may involve additional runway exit. However, the maximum capacity of such a new system can only be exploited by adding additional aircraft stands at the apron to adequately respond to demand increase.

It is foreseen to further validate the model in a more sophisticated and specialized airport simulation software - SimmodPlus, which allows for much more detailed description of the airside processes and traffic characteristics.

REFERENCES

[1] Institute of Faculty of Transport and Traffic Engineering – IFTTE (2010). Evaluation of potential demand in air traffic at the airport "Konstantin Veliki" in Niš. Client: Airport "Konstantin Veliki", Niš; Ordered by: LEDIB, Niš.

[2] Institute of Faculty of Transport and Traffic Engineering – IFTTE (2013). Air transport sustainability study for the airport “Konstantin Veliki” in Niš. Client: Airport “Konstantin Veliki”, Niš; Financed by: City of Niš.

[3] Mirkovic, B. and Tosic, V. (2014). Runway-apron functional relationship. Proceedings of 41st Symposium of Operations Research, SYM-OP-IS 2014, Divcibare, Serbia, September 16-19, 2014, pp. 598-603

[4] SMATSA, (2019). Aeronautical Information Publication (AIP) Serbia/Montenegro

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MONTE CARLO SIMULATION OF RUNWAY EXCURSION BAYESIAN BELIEF NETWORK MODEL

DOROTEJA TIMOTIĆ[1], FEDJA NETJASOV[2], MARKO ĐOGATOVIĆ[3]

[1] University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, d.timotic@sf.bg.ac.rs
[2] University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, f.netjasov@sf.bg.ac.rs
[3] University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, m.djogatovic@sf.bg.ac.rs

Abstract: *Monte Carlo simulation of an accident risk model of a complex safety critical operation provides valuable feedback to the decision makers that are responsible for the safety of such operation. Due to frequent accidents in the runway surroundings, Runway Excursion (RE) has become a significant area of interest. RE event is defined as an event in which an aircraft veers-off or overrun the runway surface during either takeoff or landing. Bayesian Belief Networks (BBN) which belongs to quantitative class of causal methods based on probability theory, are used to improve understanding of the impacts of different causes on the RE. In this paper we presented application of Monte Carlo (MC) simulation of BBN model. In order to illustrate this, a simulation model for the evaluation of BBN is developed. The model is combination of numerous causal factors which occurrence is represented as random variables transformed into probabilities of occurrence of each given factor. The results are used to describe the likelihood, or probability of realisation of each factor of the model as well as uncertainty of their realisation in given conditions. Descriptive statistics is used to show similarities between probabilities of RE event compared between MC and BBN model.*

Keywords: *Airport Safety, Runway Excursion, Monte Carlo Simulation, Bayesian Belief Networks, Uncertainty.*

1. INTRODUCTION

The air transport system is a complex system with the main components - airlines, airports and air traffic control services - interacting with each other on different hierarchical levels, constituting a very complicated, highly distributed network of human operators, procedures and technical/technological systems (Netjasov, 2010). Aviation safety and accident risk depend on interaction between various system components and elements. These factors have impact on ensuring a satisfactory level of safety that can be very difficult according to the connections between them. Due to such inherent complexity and severe consequences of accidents, aviation safety have always been considered as issues of the greatest importance for the air transport system (Netjasov and Janic, 2008)

Based on available statistics runway excursion (RE) events are seen as one of the main airport safety issues in today's air transport. According to European Aviation Safety Agency (EASA 2017) in period between 2007 and 2016 among fatal accidents RE accidents had share of 13% and among non-fatal 30%. Related to fatal accidents, RE resulted in 503 direct fatalities between 2007 and 2016 and 35 fatalities on the ground – third party fatalities (Boeing, 2017). According to Airbus (Airbus, 2017) RE accidents were ranked as third among fatal accidents and first among hull loss accidents (Timotic and Netjasov, 2018).

Timotic and Netjasov (2018) have investigated causes of RE events and their influence on RE occurrence. (That was done using Bayesian Belief Network (BBN) modelling formalism). In this paper, the application of Monte Carlo (MC) simulation of BBN model is presented. MC simulation was used to show how uncertain realisation of RE event is, i.e. to present a stochastic nature of RE events. It is crucial to show how the performance, reliability and sensitivity of a model are affected by random variations or lack of knowledge. The results obtained from MC simulation are compared with results given by BBN and the statistical analysis is presented in order to show the behaviour of the simulated system compared with the output from BBN.

2. BAYESIAN BELIEF NETWORKS

Bayesian Belief Network method, as one of the causal methods, based on probabilistic theory, found application in air traffic in the field of understanding the impact of various causes on the risk of accidents in air traffic. The method originated in the mid-1980s, while air traffic applications began in the early 2000s. It provides an overview of all possible causes of accidents through the diagram structure as a qualitative model, or as a quantitative model by assessing the likelihood of occurrence of each possible cause and assessing the risk of an accident. The key feature of BBNs is that they enable modelling and reasoning about uncertainty.

BBN is a directed, acyclic graph, were ***nodes*** represent the random variables, each with an associated conditional probability table (CPT) and ***arcs*** represent the dependencies between variables (Wong, 2005; Engel *et al.* 2008; Russell and Norvig, 2010; Barber, 2012). If there is an arc from node *A* to *B*, *A* is called the parent (root node) of *B* (an arrow means that *A* has a direct influence on *B*). If a node has no parents, the probability distribution is unconditional and its CPT represents basic knowledge or beliefs, otherwise it is conditional (Timotic and Netjasov, 2018). Simple example has been shown in Figure 1. Node A affects the value of node B, so the distribution of the probability of node B is the conditional probability of node A, that is provided only if variable A is realized. The probability of variable B is given in the probability table associated with node B. Furthermore, variable B affects the probability of variables C and D, so their probability is dependent on the probability of a variable B. The probability table associated with nodes B, C and D shows the knowledge or belief of certain output values. For example, the certificate refers to an event or experience, and it is P (D | B) = 0.98 in case B is "false" and D "true" (Wong, 2005).

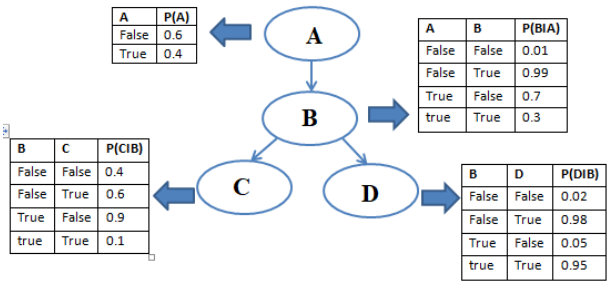


Figure 1. BBN (with four nodes: A, B, C, D) with conditional probability tables attached (Wong, 2005)

BBN provides an inference based on the given probability. If x_i is one of the values of the random variable X_i and the pa_i set of the values of the "parent" variable *Xi*, then P ($xi|pa_i$) is a conditional distribution of the probability of the mentioned variables. The BBN method is based on a joint distribution of variables across a given product (Russell and Norvig, 2010; Barber, 2012):

$$P(x_1,...,x_n) = \prod_{i=1}^{n} P(x_i / pa_i) \tag{1}$$

2.1 BBN Model of Runway Excursion Model

Runway Excursions (RE) are one of the main safety issues in current air transport system. RE is recognized as an Airport Safety Issues and is defined as an event in which an aircraft veers-off or overruns the runway surface during either takeoff or landing (Timotic and Netjasov, 2018).

Timotic and Netjasov (2018) have developed two qualitative BBN models: for aircraft landing and take-offs (Figure 2). Based on available literature, statistics and safety reports (Airbus, 2017; Boeing, 2017; EASA, 2017) for both models a numerous causal factors were identified as well as their mutual dependencies. Causal factors are grouped into five groups: Airports issues, Aircraft issues, Weather issues, Air Traffic Controller (ATCO) issues and Pilot errors. Those groups are made of root nodes and their causal relationships.

Quantification of BBN is done by combining available statistics with personal beliefs (educated guesses). Calculation of probabilities is done by NETICA 6.04 software (http://www.norsys.com/). Example of fully quantified BBN for case of RE in landing and take-offs is given in Figure 3.

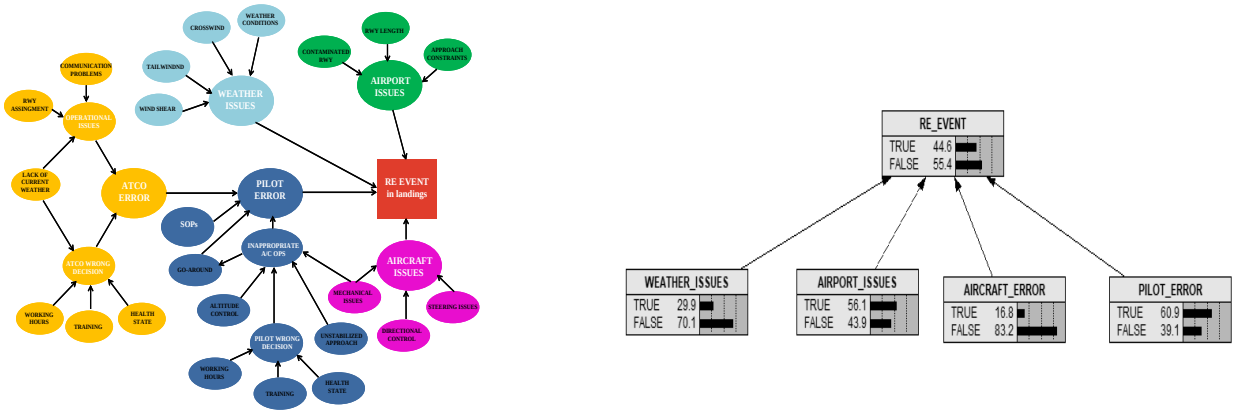


Figure 2. RE in landings (left) and quantified BBN for RE in landings (right) (Timotic and Netjasov, 2018)

3. MONTE CARLO SIMULATION METHOD

Monte Carlo simulation is a powerful statistical analysis tool and widely used in both, non-engineering and engineering domains, MC simulation has been applied to diverse problems ranging from the simulation of complex physical phenomena as well as complex engineering problems because it can deal with a large number of random variables, various distribution types, and highly nonlinear engineering models. MC methods are mainly used in three problem classes: optimization, numerical integration, and generating draws from a probability distribution (Kroese at all, 2014).

MC simulation is a type of simulation that relies on repeated random sampling and statistical analysis to compute the results. This method of simulation is very closely related to random experiments for wich the specific result is not known in advance. In this context, MC simulation can be considered as methodical way of doing so-called „what-if" analysis (Raychaudhur, 2008). In MC simulation, first step is identification of a statistical distribution (often called distribution fitting) which can be used as the source for each of the input parameters. Then, the random samples can be drawn from each distribution, which then represent the values of the input variables. For each set of input parameters there is a set of output parameters. The value of each output parameter is one particular outcome scenario in the simulation run (Raychaudhur, 2008). Finally, the last step considers statistical analysis on the values of the output parameters in order to make some decision or to obtain some answers about given problem.

The MC is the one of the most useful approaches to scientific computing due to its simplicity and general applicability. In the following chapters, the application of MC simulation of RE BBN model is presented.

3.1 Application of MC simulaton on RE BBN model

The outline of MC simulation of RE BBN model is depicted in Figure 4. Four steps are required in the simulation process: **Step** 1 - sampling of random input variables, **Step 2** – generation of probabilities of specific occurrences, **Step** 3 - calculation of dependent variables *Y* and *Z*, and **Step 4** - statistical analysis of model. MC simulation in this case was performed using object-oriented, high-level programming language, *Python 3.7.3.* (https://www.python.org/). The description of the above steps is given below.

Step 1 - Sampling on Input Random Variables. Sampling presents a generation of random numbers that are uniformly distributed between 0 and 1. In our case, a sampling of random numbers was necessary for every causal factor in the BBN network. According to that, the uncertainty in the realization of each of the factors is shown. The simple equation that shows the mentioned is:

$$x_i = \gamma \tag{2}$$

where x_i is causal factor from the network, γ is randomly generated uniform number in the semi-opened range [0.0,1.0). A pseudo-random algorithm used in generating random numbers is Mersenne Twister algorithm. The seed values used for random number generators are chosen using time dependent uniform distribution. In order to obtain objectivity of calculation, the seed value is different for each of the factors.

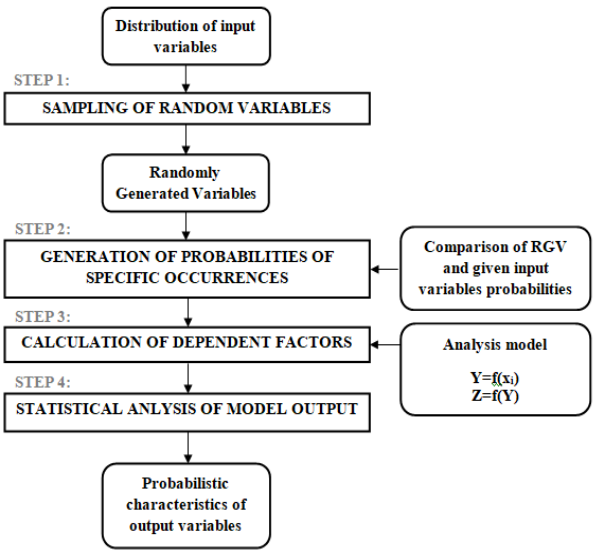


Figure 4. Monte Carlo Simulation of BBN Model Process

Step 2 - Generation of Probabilities of Specific Occurrences. Generation of probabilities of specific occurrences follows probability distribution $F(x_i)$ given as input data. That probability distribution of root nodes given in BBN is obtained by experts' judgment or according to available statistic data. Realization of each factor in the BBN is calculated for every value of randomly generated number that is under the factor conditional probability p_i:

$$\gamma_i \leq p_{i,} i = (1,2 \ldots . n) \rightarrow x_i = TRUE \tag{3}$$

$$\gamma_i > p_{i,} i = (1,2 \ldots . n) \rightarrow x_i = FALSE \tag{4}$$

where n is number of samples. From the previous it can be seen that the realization of the causal factor x_i will be TRUE only if randomly generated number γ is beyond the given conditional probability. A similar explanation can be seen from the following Figure 5. The realization of any causal factor will be FALSE if the randomly generated number is under p_i, and TRUE for any value between p_i and *1*. According to previous calculated realizations of specific occurrences, now, it is possible to calculate their probabilities for every simulation iterations (landings in this example).

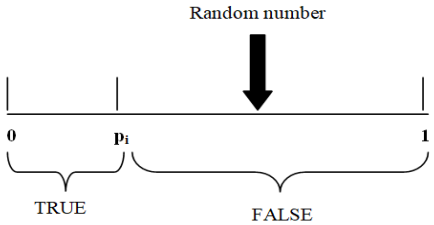


Figure 5. Generating a random number and determining the realization of specific occurrences

Step 3 - Calculation of Dependent Variables. When the probabilities of causal factor occurrence were obtained, the next step is to calculate probabilities of dependent variables according their relationship given into qualitative BBN model. The method used in this case is based on Bayes Theorem and associated Conditional Probability Tables given as input data (Timotic and Netjasov, 2018). In (Timotic and Netjasov, 2018), those probabilities were calculated analytically. Here, those values were simulated in order to show stochasticity of causality process. Probability of realization for each factor is function of previously calculated probability of causal factors. First, the probability of primary factors occurrence were calculated according to causal relationship between them and root nodes, as well as their mutual conditional probability, $\mathbf{Y=f(x_i)}$. Then, the probability of RE occurrence can be calculated knowing the causal relationship and mutual conditional probabilities between final node (RE) and nodes which represent primary factors in the network, $\mathbf{Z=f(Y)}$. Unlike the BBN method that provides an analytical and deterministic solution, Monte

Carlo simulation has shown that the results, or the probability of the realization of each factor, are stochastic and independent of each other.

Step 4 – Statistical Analysis of Model. The application of the MC simulation of RE BBN model was demonstrated through simulation experiment of 10.000 landings. Number of performed simulation experiments is 20. Statistical analysis was done in two ways: a) mean and standard deviation (SD) were calculated for every landing (simulation iteration) in each of experiments, and b) the analysis was done for every experiment and compared with the output obtained from BBN. The same analysis can be done for take-offs, too. First analysis is shown in Figure 6. It can be seen that in first 40 landings (simulation iterations), the system has some fluctuation, then it settles until the last iteration is done. In general, SD is small and scattered around the mean.

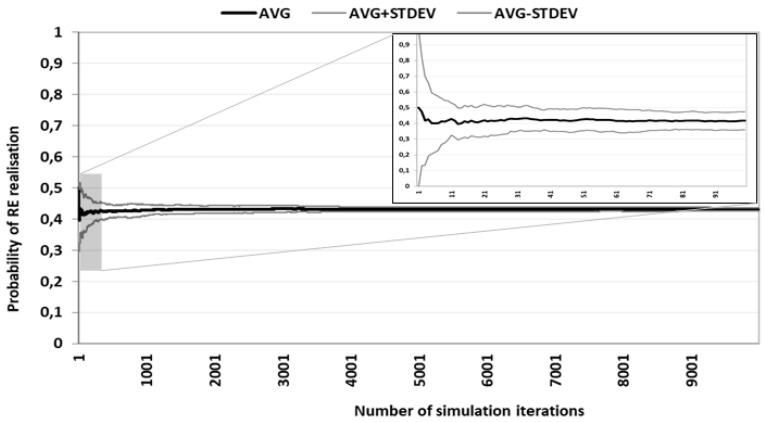


Figure 6. Comparison of mean, mean+SD and mean-SD in case of 10.000 landings (simulation iterations)

On the other hand, if we compare the mean value and the SD with the mean of the realization of the RE event from BBN, in case of 20 experiments containing 10.000 landings each, it can be noticed that the value obtained by BBN mostly is out of range obtained through the simulation. That can be seen in Figure 7. However, if we add min and max values obtained from simulation, the situation is changed (Figure 8). Now, the range is wider and the 95% of values are in narrow range, but the deterministic BBN value now drops into the obtained range. That means, the MS simulation can serve as validation method of BBN model.

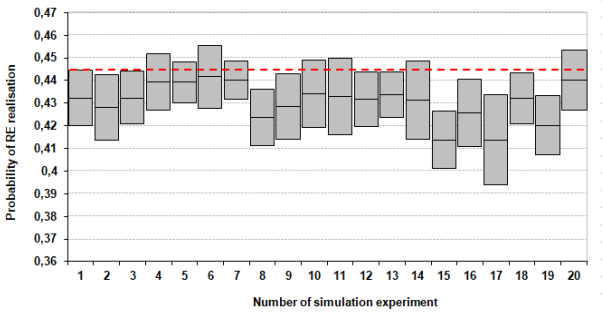


Figure 7 Boxplot of mean, mean+SD, mean-SD in comparison with value from BBN

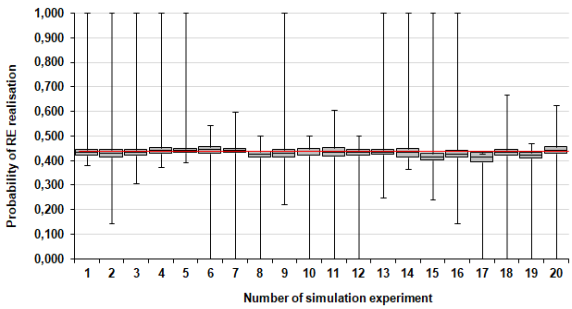


Figure 8 Boxplot of mean, mean+SD, mean-SD, min and max in comparison with value from BBN

In order to check once again the values obtained through these two models, Figure 9 shows the mean, mean+SD and mean-SD for different number of simulation iterations (landings in our example). The comparison is performed for 100, 1.000, 5.000 and 10.000 simulation Iterations. All simulated outputs are compared with the deterministic value from BBN model. The BBN value is again between given range. It can be seen that the mean value is similar in case of 100, 5.000 and 10.000 simulation and it is very close to the BBN value. On the other hand, mean value obtained in 1.000 simulations is lower than others and BBN value is now very close to the mean+SD value. The possible reason for this result can be uncertainty in randomly generated number as well as the number of simulation iteration. From the previous analysis, it was shown that the variation of value will be smaller if the higher number of iteration is performed (based on the Central Limit Theorem).

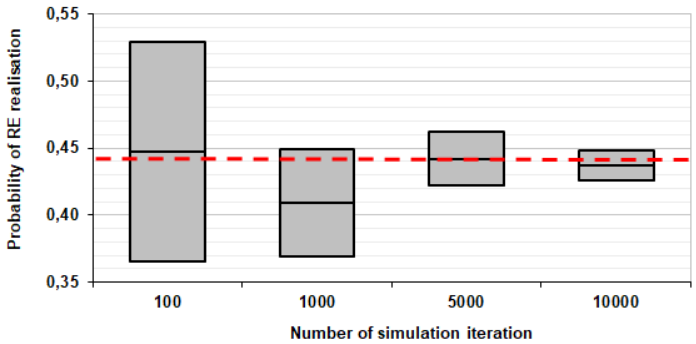


Figure 9. Boxplot of mean, mean+SD, mean-SD in comparison with value from BBN for different number of simulations

4. CONCLUSION

This paper has demonstrated the application of the Monte Carlo method to the BBN model of Runway Excursion event. Understanding of the causes of Runway Excursion events as well as mechanisms of their development is of crucial importance for development of risk reduction and mitigation measures. That is why, in this paper, by simulating a different number of landings it has been shown that each RE event can be seen as independent one. It is shown that the MC simulation can yield additional useful information on the probability of occurrence of each factor causing RE event in order to obtain the statistical analysis and compare it with values obtained from BBN model. According to comparison of the results of these two models, the key conclusion is that the BBN model is producing valid values of occurrence probabilities of rare events such as RE.

Further step is to use comparison between MC and BBN model to show contribution of each causal factor to final RE event probability in order to identify most critical factors. Descriptive analysis can be done for each of given causal factors in the network in order to compare those mean values with the one given from BBN and to see how the uncertainty of randomly generated number affects the realization of any factor. Such results could help decision makers to create appropriate RE risk reduction and mitigation measures.

ACKNOWLEDGEMENT

This research has been supported by the Ministry of Education and Science, Republic of Serbia, through Project TR36033.

REFERENCES

[1] Airbus (2017). A Statistical Analysis of Commercial Aviation Accidents 1958-2016. AIRBUS S.A.S., France.

[2] Barber, D. (2012). Bayesian Reasoning and Machine Learning. Cambridge University Press.

[3] Boeing (2017). Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents: Worldwide Operations 1959 – 2016, Boeing Commercial Airplanes, USA.

[4] EASA (2017). Annual Safety Review 2017. European Aviation Safety Agency

[5] Kroese, D. P., Brereton, T., Taimre, T., & Botev, Z. I. (2014). Why the Monte Carlo method is so important today. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 6(6), 386-392.

[6] Netjasov, F., & Janic, M. (2008). A review of research on risk and safety modelling in civil aviation. Journal of Air Transport Management, 14(4), 213-220.

[7] Raychaudhuri, S. (2008). Introduction to monte carlo simulation. In 2008 Winter simulation conference (pp. 91-100). IEEE.

[8] Russell, S., Norvig, P. (2010). Artificial Intelligence: A Modern Approach, (3rd ed.). Prentice Hall.

[9] Timotić, D. D., & Netjasov, F. N. (2019). Modelling of runway excursions using Bayesian belief networks. Tehnika, 74(1), 105-112.

[10] Wong, W. K. (2005). Bayesian Networks: A Tutorial, Oregon State University, USA.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

SIMULACIONA ANALIZA UTOVARNIH OPERACIJA TRANSPORTA OPASNIH MATERIJA NA RAZLIČITIM MESTIMA UTOVARA

SIMULATION ANALYSIS OF LOADING OPERATIONS IN TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS ON VARIOUS LOADING BASE

MAJA PEJICA[1] , MARKO ĐOGATOVIĆ[2], MILORAD STEFANOVIĆ[3], MILORAD STANOJEVIĆ[4]

NIS a.d., [1]maja.pejica@nis.eu, [3]milorad.stefanovic@nis.eu
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, [2]m.djogatovic@sf.bg.ac.rs, [4]milorad@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Transport opasnih materija ograničen je brojnim regulativama, specifičnostima utovarno/istovarnih procesa kao i ograničenim i nezamenljivim tehničkim kapacitetima samog procesa (utovar-transport-istovar). Jedan od najznačajnijih potprocesa je pravovremena i optimalna organizacija resursa, obezbeđivanje odgovarajućih vozila i raspoloživih vozača kao i planiranje pristizanja na utovar, rasporeda i redosleda utovaranja kako bi se smanjilo neproduktivno vreme i čekanje. U radu je sprovedeno istraživanje koje će oponašati pristizanje vozila na različita mesta utovara, utovar različite vrste robe i transport opasnih materija do krajnjeg kupca. Realni podaci iz sistema prikupljeni u toku dvanaestomesečnog perioda se koriste kao ulazni podaci simulacionog modela čime su uzeti u obzir različiti uticaji na frekvenciju dolaska na utovar kao i vrstu robe koja se prevozi (vremenski uslovi, sezonalitet u potražnji različite robe, vršna opterećenja, itd.). Cilj ovog rada je da pokaže specifičnosti procesa u transportu opasnih materija u zavisnosti od mesta utovara kao i vrste robe.*

Ključne reči: *utovarno-istovarne operacije, lanci snabdevanja, simulaciono modeliranje.*

Abstract: *Transport of dangerous goods is limited by numerous regulations, specifics of loading / unloading processes as well as limited and irreplaceable technical capacities of the process itself (loading-transport-unloading). One of the most significant sub-processes is the timely and optimal organization of resources, the provision of suitable vehicles and available drivers, as well as the planning of arriving at loading, loading schedules and loading order to reduceunproductive times and idling. A simulation study is conducted that would mimic the arrival of vehicles at different loading points, loading different types of goods and transporting dangerous goods to the final customer. Real data from the system collected over a 12-month period used as input to the simulation model, which takes into account different influences on the frequency of arrival at loading as well as the type of goods being transported (weather conditions, seasonality in demand of different goods, peak loads, etc.). The aim of this paper is to show the specifics of the process in the transport of dangerous goods, depending on the place of loading and the type of goods.*

Keywords: *loading-unloading operations, supply chains, simulation modeling.*

1. UVOD

Materije i predmeti, čiji je transport zabranjen ili dozvoljen ako se obavlja pod uslovima određenim u ADR (Evropski sporazum o međunarodnom drumskom prevozu opasne robe) smatraju se opasnom robom. Složenost obezbeđivanja transporta opasnih materija proizilazi iz ograničenog broja vozila, tehničkih i tehnoloških ograničenja, sezonskih varijacija i strogih zakonskih i bezbednosnih ograničenja. U opasnu robu spadaju i nafta i derivati nafte za koje je neophodno obezbediti kontinuitet u snabdevanju tržišta bez obzira na navedena ograničenja. Iz tog razloga se nameće potreba za razvijanjem modela upravljanja koji će obezbediti neprekidnost, održivost i kretanje transportnih kapaciteta u skladu sa trendovima potrošnje goriva (van Dam *et al*. 2008).

Simulacija je skup tehnika, metoda i alata za razvoj simulacionog modela realnog sistema i korišćenje tog modela u cilju opisivanja ponašanja sistema. Svrha simulacije je da razvije simulacioni model i sprovede eksperimente nad simulacionim modelom u cilju boljeg razumevanja realnog sistema (Radenković *et al*. 1999).

U radu je analiziran rad jednog dela preduzeća za proizvodnju, preradu i distribuciju nafte i naftnih derivata za period od dvanaest meseci. Period od dvanaest meseci je relevantan uzorak, jer se tu mogu uočiti

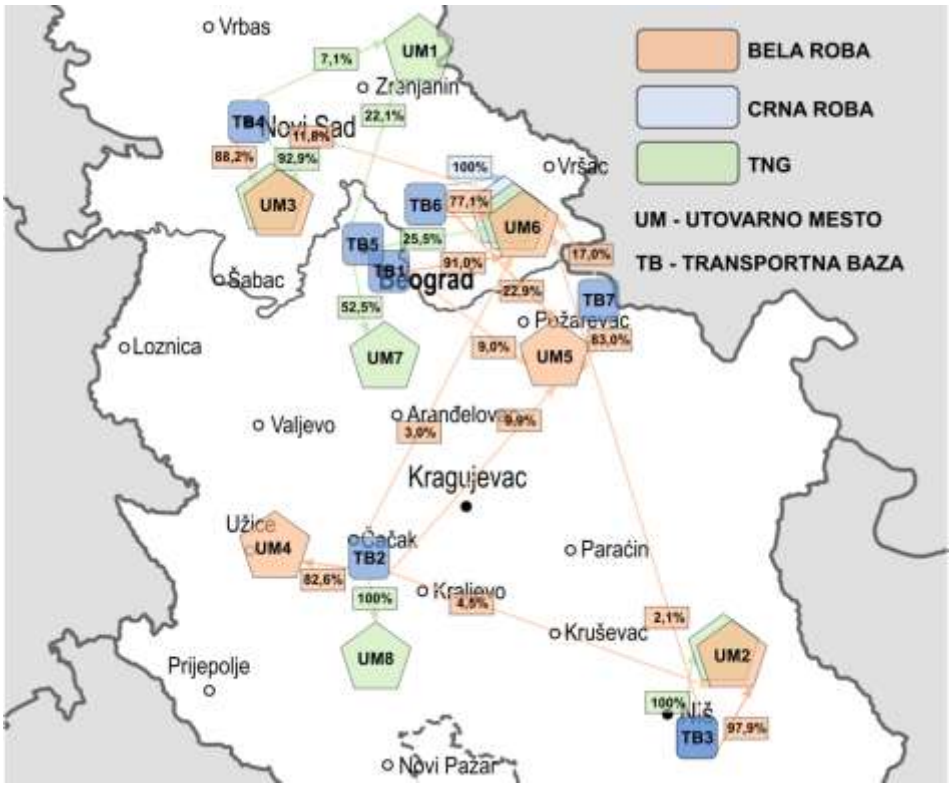
sve karakteristike i izazovi u snabdevanju (vrlo izražene dnevne neravnomernosti i razlike kao i sezonalne neravnomernosti i razlike u zahtevima za prevozom i manipulacijom; po broju opsluga, derivatima, ukupnoj količini i potrebnom nivou proizvodnje). Razmatrano preduzeće poseduje heterogeni vozni park namenjen za prevoz opasnih materija različitih vrsta, kapaciteta i starosne strukture (koeficijenta tehničke ispravnosti). U cilju analize postojećih performansi rada preduzeća i određivanja predloga za eventualno poboljšanje rada razvijen je simulacioni model jednog segmenta operativnog rada preduzeća.

2. LANAC SNABDEVANJA OPASNIH MATERIJA

Upravljanje voznim parkom za prevoz opasnih materija podrazumeva aktivnosti vezane za eksploataciju i održavanje sopstvenih vozila, kao i upravljanje vozačima, zaposlenima u podršci i administraciji i dr. Rukovodioci transporta, dispečera i otpreme su odgovorni za postizanje zadatih ciljeva. S obzirom na prirast i dnevne kao i sezonalne promene tražnje , potrebno je brzo reagovati na sve promene u tražnji , odnosno blagovremeno identifikovati problem, pokrenuti nove cikluse planiranja i pronaći najbolje moguće rešenje za novonastalu situaciju . Iz ovih i sličnih razloga nije moguć e napraviti preciznije dugoročno planiranje transporta i otpreme, već je u proces upravljanja neophodno uvrstiti i planiranje vremenskih intervala/termina za utovaranje .

U posmatranoj organizaciji, narudžbine za utovar određenih količina (i istovar na različitim lokacijama - kupci) izdaju se najranije 24 časa pre izvršenja, a raspored naloga u odnosu na vozila istovremeno zahteva i pravljenje rute za svako vozilo i posadu za tekući dan u odnosu na poznate i očekivane okolnosti za period izvršenja planiranih procesa.

Na osnovu dnevnog plana prevoza, koji su pripremile odgovorne osobe za organizaciju sekundarnog transporta, rukovodilac transporta voznog parka izdaje putni nalog i raspored prioriteta istovara. U skladu sa nalogom za utovar i izdatim putnim nalogom za teretno vozilo, vozač vozila započinje vožnju, izvršava: odlazak do mesta utovara, utovar, prevoz, istovar naftnih derivata i povratak na narednu definisanu lokaciju. Potpisivanjem i potvrđivanjem naloga za isporuku primalac odobrava realizaciju isporuke. Neposredno pre i u toku procesa utovara i istovara postoji veliki broj obaveznih propratnih operacija (posebni zakoni, propisi i standardi koji regulišu oblasti transporta i prevoza opasnih tereta), tako da vreme i trajanje punjenja i istovara variraju zavisno od subjektivnijih i objektivnih faktora. Na slici 1 je prikazan grafički prikaz lokacija, skladišta, transportnih baza i udela gravitiranja vozila ka utovarnim mestima u zavisnosti od vrste robe.



Slika 1: Grafički prikaz Lokacija, Skladišta, Transportnih baza i udela gravitiranja vozila ka utovarnim mestima

Vozila, u zavisnosti od predviđenog vremena istovara, stižu na unapred zadati pogon utovara u kome se nalazi određeni broj utovarnih ostrva-kanala opsluge. Utovarni pogon služi za utovar sopstvenog voznog parka, kao i za utovar vozila trećih lica, koja se tu sreću i zajedno čine ulaz u model.

Posmatrana kompanija za prevoz opasnih materija poseduje flotu od 152 vozila (40 autocisterni i 56 tegljača sa poluprikolicama) sa prosečnom nosivošću od 18 tona po skupu vozila, 198 profesionalnih vozača raspoređenih na 8 lokacija širom teritorije Republike Srbije. U ovom trenutku, posmatrana flota u proseku ima dnevno 274 isporuka, sa prosečnom količinom od 11,60 tona po mestu isporuke. Vozila imaju prosečno 1,58 isporuka tokom svakog obrta i prosečnno 1,93 utovara po vozilu. Produktivnost voznog parka je, jednim delom uslovljena i srazmerna veličini isporuke , tj. povećanje prosečne veličine isporuke , povećava produktivnost voznog parka. Takođe, dodatno na produktivnost voznog parka, značajno utiče i vreme koje vozilo provodi u utovarnim procesima, tj. obrnuto srazmerno – smanjivanjem vremena provedenog u utovarnim procesima povećavamo produktivnost vozila i otpremnih procesa.

Posmatrajući vremenska ograničenja angažmana vozača i eksploatacije vozila , kao i radno vreme mesta utovara i istovara, ograničenja brzine saobraćaja, neproduktivno vreme (bilo koje drugo vreme osim vremena čiste vožnje) koje obuhvata i potprocese utovara i istovara , smanjuje koeficijent dinamičkog iskorišćenja korisne nosivosti vozila, voznog parka i produktivnosti (u istom vremenskom periodu, vozilo će imati manje obrta i prevoziti manje robe nego što bi bilo sa nižim vrednostima neproduktivnog vremena - Behdani *et al*. 2013, Pall *et al*. 2014). Između ostalih ograničenja, uvažavanjem kratkih vremenskih intervala u rasporedima pristizanja vozila i započinjanja opsluge u procesu utovaranja („time slot“) pri planiranju i izvršenju sekundarne distribucije (Li and Jiang 2016) i pri planiranju i izvršenju otpremnih operacija na utovaru ostvaruje se mogućnost umirivanja/ smanjenje amplitude neravnomernosti tj. stvaranja povoljnije vremenske distribucije utovarnih zahteva, a time skraćenje vremena utovarnih operacija.

3. SIMULACIONI MODEL

Simulacioni model je realizovan u programskom jeziku Python. Iako u Python-u postoji simulaciona biblioteka (SimPy), zbog specifičnosti samog modela i nemogućnosti SimPy biblioteke da jednostavno prikuplja statistike resursa i redova čekanja realizovana je nova simulaciona biblioteka korišćenjem strategije raspoređivanja događaja (Tyszer1999). Ova biblioteka poseduje entitete resursa i redova čekanja, kao i mogućnost praćenja proteklog simulacionog vremena u vidu datuma i vremena u toku dana. Događaji u sistemu se realizuju u vidu generatorskih funkcija. Generatorske funkcije su slične iteratorima tako što svaki poziv funkcije vraća narednu vrednost, odnosno, u ovom slučaju vraća događaj koji se raspoređuje. Svi ulazni parametri smešteni su u SQLite relacionoj bazi podataka. Datoteka sa podacima je smeštena na lokalnom računaru i pristupa joj se putem ugrađenog SQLite sistema za upravljanje bazama podataka.

U tabeli 1 je prikazan broj kanala utovara, kao i procentualni udeoeksternih prevoznika u zavisnosti od vrste robe i utovarnog mesta. Tabela 2 prikazuje vreme vožnje od transportne baze do utovarnog mesta po vrsti robe, kao i broj vožnji u toku 2018. godine od transportne baze do utovarnog mesta po vrsti robe. U tabelama 3 i 4 su dati primeri raspodele vremena dolaska sopstvenih (iz TB3) i eksternih vozila na utovarno mesto 6 (UM6) . U modelu je data raspodela vremena dolaska za svaku postojeću liniju. Raspodela vremena polaska vozila iz transportne baze se dobija oduzimanjem vremena vožnje od vremena dolaska vozila na utovarno mesto.

Tabela 1: Broj kanala utovara i udeo eksternih prevoznika po vrsti robe i po utovarnom mestu

Utovarno mesto	Vrsta robe	Broj utovarnih Mesta	Udeo eksternih prevoznika (%)	Utovarno mesto	Vrsta robe	Broj utovarnih mesta	Udeo nih prevoznika (%)
UM1	**TNG**	1	11,92	**UM5**	**BELA**	4	30,70
UM2	**BELA**	4	32,29	**UM6**	**BELA**	10	51,84
	TNG	2	24,39		**CRNA**	3	94,97
UM3	**BELA**	4	46,70		**TNG**	3	39,60
	TNG	2	25,10	**UM7**	**TNG**	1	21,98
UM4	**BELA**	1	25,81	**UM8**	**TNG**	1	23,80

Tabela 2: Vreme vožnje i broj vožnji od transportne baze do utovarnog mesta po vrsti robe u 2018 god. (boja određuje vrstu robe, isto kao na slici 1)

Transportna baza	Utovarno mesto															
	UM1		UM2		UM3		UM4		UM5		UM6		UM7		UM8	
	Vreme vožnje (h:min)	Broj vožnji	Vreme vožnje (h:min)	Broj vožnji	Vreme vožnje (h:min)	Broj vožnji	Vreme vožnje (h:min)	Broj vožnji	Vreme vožnje (h:min)	Broj vožnji	Vreme vožnje (h:min)	Broj vožnji	Vreme vožnje (h:min)	Broj vožnji	Vreme vožnje (h:min)	Broj vožnji
TB1									1:15	696	0:45	7035				
TB2					3:10	149	0:50	2764	2:25	332	3:15	243			0:05	1703
TB3					0:10	6672					3:20	143				
					0:10	1973										
TB4	1:00	226	0:10	10512							1:55	1404				
			0:10	2967												
TB5	1:25	1002									0:35	1130	0:05	2385		
											0:35	1157				
TB6									0:45	1516	0:10	5110				
											0:10	1114				
TB7									0:05	5609	0:50	1146				

Tabela 3: Raspodela vremena dolaska na utovar vozila na liniji TB3 – UM6 za slučaj prevoza bele robe

Period (h:min)	6:30-7:00	7:00-7:30	7:30-8:00	8:00-8:30	8:30-9:00	9:00-10:00	10:00-10:30	10:30-11:00	11:00-11:30	11:30-12:00	12:00-12:30	12:30-13:00	13:00-13:30	13:30-14:00	14:00-14:30
Verovatnoća	0.01	0.02	0.04	0.09	0.11	0.22	0.41	0.58	0.71	0.78	0.83	0.91	0.94	0.98	1.00

Tabela 3: Raspodela vremena dolaska vozila eksternih prevoznika na utovar (UM6)

Period (h:min)	0:00-0:30	0:30-1:00	1:00-1:30	1:30-2:00	2:00-2:30	2:30-3:00	3:00-3:30	...	13:00-13:30	13:30-14:00	14:00-14:30	14:30-18:00	18:00-23:00	23:00-23:30	23:30-24:00
Verovatnoća	0.0036	0.01	0.02	0.03	0.06	0.07	0.09	...	0.76	0.77	0.78	0.79	0.82	0.84	1.00

U tabelama 5, 6 i 7 su prikazane empirijske raspodele vremena utovara bele robe, crne robe i TNG-a, respektivno. Raspodele su delimično predstavljene obzirom da su određene velikim brojem tačaka.

Tabela 5: Raspodela vremena utovara bele robe

Vreme (min)	10	20	30	40	50	60	70	...	260	270	280	290	300	310	350
Verovatnoća	0.0035	0.0178	0.0787	0.2891	0.4451	0.5659	0.6702	...	0.9983	0.9985	0.9989	0.9991	0.9993	0.9994	1.00

Tabela 6: Raspodela vremena utovara crne robe

Vreme (min)	<10	20	30	40	50	60	70	...	260	270	280	290	300	350
Verovatnoća	0	0.0027	0.0161	0.0509	0.0991	0.2295	0.3830	...	0.9929	0.9955	0.9964	0.9973	0.9982	1.00

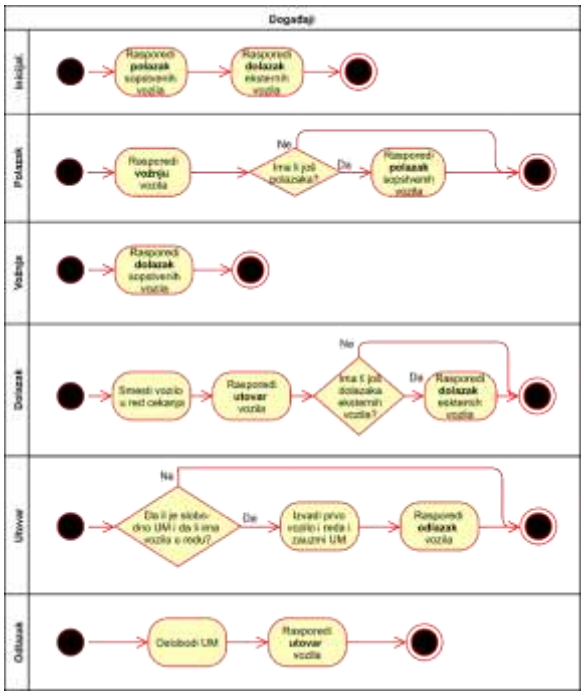
Tabela 7: Raspodela vremena utovara TNG

Vreme (min)	10	20	30	40	50	60	70	...	260	270	280	290	300	310	350
Verovatnoća	0.0283	0.0588	0.1092	0.1879	0.3073	0.4454	0.5458	...	0.9955	0.9965	0.9974	0.9978	0.9984	0.9990	1.00

Na slici 2 je prikazan dijagram aktivnosti događaja koji se odigravaju u sistemu. Kao što je već rečeno, događaji su realizovani kao generatorske funkcije i raspoređivanje događaja u listu budućih događaja se ostvaruje `yield` naredbom Pythona. U modelu postoji 5 događaja (Polazak, Vožnja, Dolazak, Utovar i Odlazak), dok funkcija Inicijalizacija služi za raspoređivanje prvih entiteta u model. Entiteti koji se kreću kroz model se kreiraju korišćenjem klase `vozilo`, koja ima sledeća svojstva: tip vozila (sopstveno ili eksterno), vrsta robe koju prevozi, transportna baza iz koje polazi, utovarno mesto i vreme vožnje.

Broj polazaka sopstvenih vozila iz transportnih baza u toku dana je određen Puasonovom raspodelom pri čemu se intenzitet raspodele dobija kao odnos broja polazaka u toku posmatranog perioda sa brojem radnih dana. Broj radnih dana u posmatranom periodu je određen 6-to dnevnom radnom nedeljom isključujući državne praznike. Takođe, broj dolazaka eksternih vozila u toku dana je određen Puasonovom raspodelom pri čemu se intenzitet raspodele dobija kao odnos broja dolazaka eksternih vozila sa brojem radnih dana. Broj dolazaka eksternih vozila se određuje na osnovu broja polazaka sopstvenih vozila i udela eksternih prevoznika. Obzirom da je broj polazaka i dolazaka u toku dana unapred određen, svi polasci i dolasci su

unapred pregenerisani za radni period i pozivaju se na raspoređivanje u događajima korišćenjem iteratora. Radni period je vremenski period između dva neradna dana.



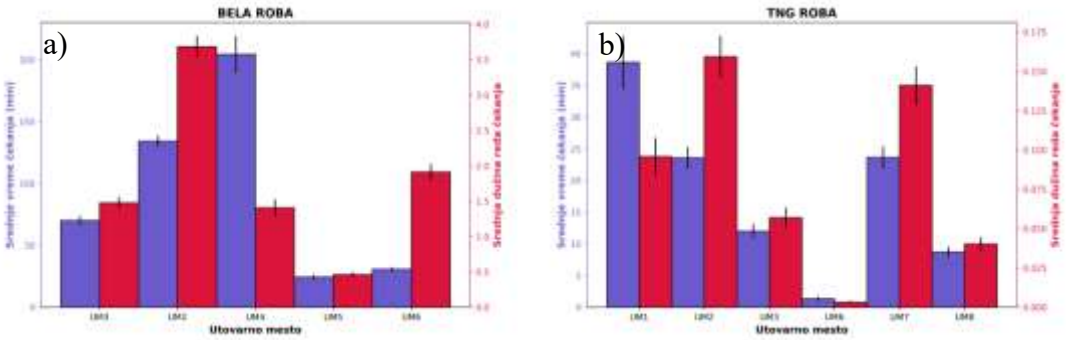
Slika 2: Dijagram aktivnosti događaja u sistemu

4. REZULTATI SIMULACIJE

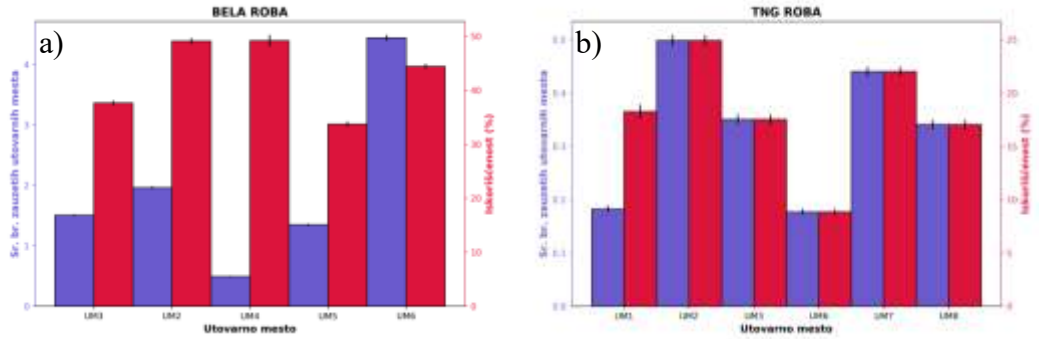
Simulacioni eksperiment je sproveden 120 puta i pri tome je vođeno računa o statističkoj nezavisnosti. Takođe, pri svakom izvršenju simulacionog modela je korišćen različiti skup semena generatora slučajnih brojeva.

Izabrani simulacioni period je 12 meseci, s tim da su iz perioda isključene nedelje i državni praznici. Simulacioni period, je podeljen u radne periode i simulacija se izvršava unutar radnih perioda.

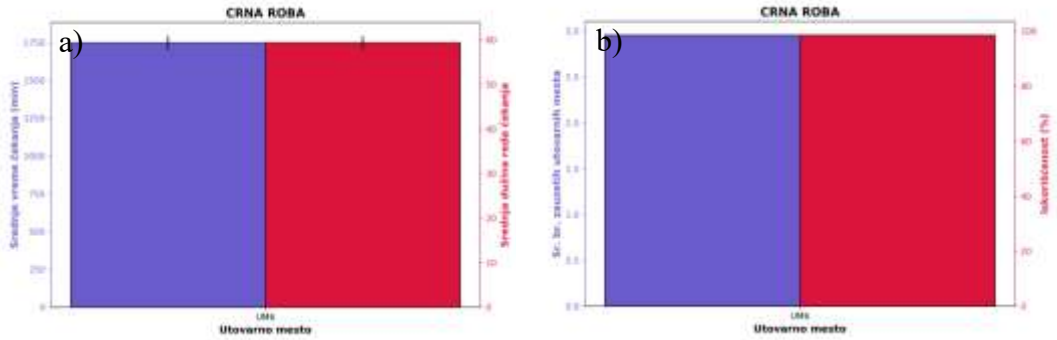
Dobijeni usrednjeni rezultati relevantni za rad sistema u dvanestomesečnom periodu prikazani su na slikama 3, 4 i 5. Slike 3 a) i 3 b) prikazuju statistike redova čekanja vozila na utovarnim mestima za belu robu i TNG, dok su na slikama 4 a) i 4 b) prikazane statistike utovarnih operacija na utovarnim mestima za belu robu i TNG. Na slikama 5 a) i 5 b) su prikazane statistike redova čekanja vozila i utovarnih operacija samo za crnu robu. Posmatrane statistike redova čekanja su: srednje vreme čekanja i srednja dužina reda čekanja, dok su posmatrane statistike utovarnih operacija: iskorišćenost i srednji broj zauzetih utovarnih mesta. Pored srednjih vrednosti rezultata na slikama je prikazana i standardna devijacija rezultata dobijenih simulacijom.



Slika 3: Srednje vreme čekanja i srednja dužina reda čekanja utovarnih mesta po vrsti robe: a) bela roba, b) TNG



Slika 4: Iskorišćenost i srednji broj zauzetih utovarnih mesta po vrsti robe:
a) bela roba, b) TNG



Slika 5: a) Srednje vreme čekanja i srednja dužina reda čekanja utovarnih mesta,
b) iskorišćenost i srednji broj zauzetih utovarnih mesta u slučaju crne robe

5. ZAKLJUČAK

U radu je dat simulacioni model utovarnih operacija u transportu opasnih materija sa analizom za period od dvanaest meseci. Simulacioni model je napravljen korišćenjem nove biblioteke zasnovane na strategiji raspoređivanja događaja, realizovane u programskom jeziku Python. Simulacionom analizom dobijeni su statistički rezultati redova čekanja i utovarnih mesta na različitim lokacijam za različite vrste robe. Rezultati simulacionog modela mogu da se iskoriste za projektovanje proizvodnosti, dimenzionisanje voznog parka i potrebnog broja voznog osoblja kao i za uspešno upravljanje radom transportne organizacije. Pored primene u transportu, rezultati mogu da se iskoriste i kod dimenzionisanja, organizacije, analize procesa i planiranja rada postrojenja za otpremu i utovar vozila za prevoz opasnih materija.

LITERATURA

[1] Behdani, B., van Dam, K. H., & Lukszo Z. (2013). Agent-Based Models of Supply Chains. In K. H. van Dam, I. Nikolic & Z. Lukszo (Eds.), Agent-Based Modelling of Socio-Technical Systems (151–188). Dordrecht: Springer.

[2] van Dam, K. H., Adhitya, A., Srinivasan, R. & Lukszo, Z. (2008). Benchmarking numerical and agent-based models of an oil refinery supply chain. Proceedings of the 18th European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE 18), Lyon, France, 623-628

[3] Pall, K. & Karakostas, B. (2014). A Multi Agent-based Service Framework for Supply Chain Management. Procedia Computer Science, 32, 53 - 60.

[4] Radenković, B., Stanojević, M., & Marković, A. (1999). Računarska simulacija. Beograd: SF-FON.

[5] Tyszer, J. (1999). Object-Oriented Computer Simulation of Discrete-Event Systems. New York: Springer.

[6] Li, Z.P. and Jiang, C.Y. (2016) Study on the Transportation Problem of Petrol Secondary Distribution with Considering Shortage Cost. Open Journal of Modelling and Simulation, 4, 34-40, http://dx.doi.org/10.4236/ojmsi.2016.42004

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.
UNIVERZITET U BEOGRADU FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

SIMULACIONI MODEL ZA ODREĐIVANJE LOKACIJE IZLAZA UZAVISNOSTI OD VREMENA ZAUZETOSTIPOLETNO-SLETNE STAZE

SIMULATION MODEL FOR DETERMINING THE LOCATION OF RUNWAY EXIT IN DEPENDENCY OF RUNWAY OCCUPANCY TIME

STEFAN ŠLJUKIĆ[1], MARKO ĐOGATOVIĆ[2], BOJANA MIRKOVIĆ[3]

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering
[1]stefans-bg@hotmail.com, [2]m.djogatovic@sf.bg.ac.rs, [3]b.mirkovic@sf.bg.ac.rs

Rezime:*U ovom radu je predložen i realizovan simulacioni model za određivanje lokacije izlaza sa poletno-sletne staze u zavisnosti od vremena zauzetosti staze. Ciljrada je da se smanjivreme zauzetosti stazeusled nepotrebnog rulanja do prvog izlaza sa staze, nakon sletanja.Navedeni problem je značajan za velike aerodrome kod kojih sečesto javljaju zagušenja u obavljanju operacija. Simulaciona analiza je izvršenaza slučaj aerodroma „Nikola Tesla“ uBeogradu,pri čemu je urađenaprocena na osnovu trenutnog stanja koje podrazumeva jednu izlaznicu, a takođe je urađena procenaza određivanje lokacije dodatne izlaznice za datu populaciju vazduhoplova.*

Ključne reči: *Lokacija izlaznice sa poletno-sletne staze, vreme zauzetosti staze, aerodrom, simulacija, modeliranje.*

Abstract:*This paper presents simulation model for determining the location of runway exit in dependency of runway occupancy time. The aim of this paper is to minimize runway occupancy time due to unnecessary taxiing till first runway exit, after landing. Described problem is relevant for all airports where operations are performed under saturation conditions. Simulation analysis is performed for the case of Airport "Nikola Tesla", in Belgrade. Current case (one runway exist) is evaluated and location of additional runway exit is determined for the given fleet mix.*

Keywords:*Runway exit location, runway occupancy time, airport, simulation, modelling.*

1. UVOD

Operacije napoletno-sletnoj stazi (u nastavku: stazi) sa jedne strane zavise od razdvajanja vazduhoplova (u vazduhu) koja se primenjuju tokom sletanja, dok sa druge strane zavise od konfiguracije sistema rulnih staza, koje diktiraju vreme zauzetostistaze (*ROT, Runway occupancy time*). ROTpredstavlja vreme tokom kojeg vazduhoplov zauzima stazu i meri se odtrenutka kada vazduhoplov preleti prag staze do trenutka kada njegov rep napusti stazu. Smanjenjem ROT povećava se kapacitet staze koji je veoma značajan u uslovima zasićenja, odnosno stalne potražnje za korišćenjem staze, koja je češće prisutna kod aerodroma sa velikim brojem operacija u određenom periodu.Ovaj rad se bavi analizom ROT iispitivanjem različitih lokacija izlaznica duž staze u odnosu na ROT.Problem je modeliran na primeru aerodroma „Nikola Tesla“(ANT) u Beogradu.

Opis operacija sletanja dat je u drugom poglavlju, dok je u trećem poglavlju predstavljen simulacioni model sa potrebnim ulaznim podacima i rezultatima. U zaključku je sprovedena finalna analiza dobijenih rezultata i dati predlozi za unapređenje simulacionog modela.

2. Karakteristike operacija sletanja

Za bezbedno odvijanje operacija sletanja postoje dva osnovna pravila. Prvo pravilo podrazumevabezbedno (dužinsko)razdvajanje vazduhoplova u vazduhu između „FIX“ tačke i praga (najčešće 5-8 NM), a drugo da na stazi istovremeno može da se nalazi samo jedan vazduhoplov.

Minimalno razdvajanje koje preporučuje Međunarodna organizacija za civilno vazduhoplovstvo (*ICAO, International Civil Aviation Organization*), određena je za par vazduhoplova, a po

kriterijumuizbegavanja turbulencije vodećeg vazduhoplova koja bi mogla ugroziti prateći vazduhoplov. Usled lokalnih uslova, kontrola letenja može primenjivati veće minimalno razdvajanje u odnosu naICAO preporuke.

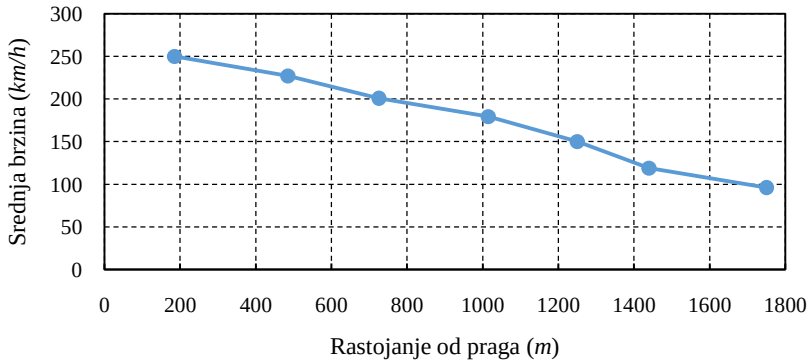
Sledeći vazduhoplov može da sleti tek nakon što je prethodni vazduhoplov napustio stazu.Tako, ROT može da nametne dodatno razdvajanje između parova aviona (veće od razdvajanja usled turbulencije) što će zavisiti od stepena razvijenosti sistema rulnih staza (samo spojnica, paralelna rulna staza, broj i tip izlaza, itd.).

U ovom radu se razmatra razvijen sistem rulnih staza - paralelna rulna staze duž cele staze, a broj i tip izlaza je analiziran u odnosu naROT. Na slici 1 prikazan je sistem rulnih staza na ANT. Staza 12, koja se koristi 70% vremena, ima dva izlaza: prvi (D) se nalazi na dve trećine staze od praga 12, a drugi na samom kraju staze (E).

Slika 1:*Šematski prikaz aerodroma "Nikola Tesla"*

Osnovno pravilo je da vazduhoplov može napustiti stazu samo kada dostigne jednaku ilimanju brzinu od maksimalne moguće brzine za dati izlaz, pri čemumaksimalna brzina za datu izlaznicu zavisi od tipa izlaznice. Brzina vazduhoplova duž staze zavisi odtačke dodira na stazi, brzine koju vazduhoplov ima iznad praga staze, kao i usporenja duž staze. Lokacija tačke dodira na stazi je takođe važna za određivanje lokacije izlaza sa staze, i pozicijadodira na stazi je u korelaciji sa brzinom. Brzina iznad praga staze zavisi od tipa vazduhoplova i vetra.

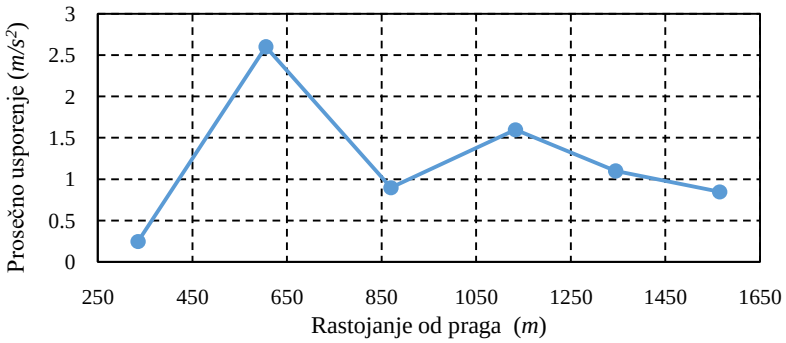
Na slici 2 je prikazan grafik srednje brzine duž staze na primeru vazduhoplova srednje veličine DC-9, zasnovano na empirijskim podacima, prikupljenih na ANT(Tošić i Živković, 1984).



Slika 2:*Grafik srednje brzine duž staze na primeru vazduhoplova srednje veličine*

Prema prikupljenim empirijskim podacima, prosečno usporenje mereno duž staze ima bimodalnu raspodelu tj.raspodelu koja ima dve mode, kao što je predstavljeno na slici 3. Prva najviša tačka na grafiku je rezultat dodira točkova glavnog stajnog trapa sa podlogom staze, dok druga tačka predstavlja korišćenje reverznog potiska (Tošić i Živković, 1984).

Vazduhoplov usporava duž staze sve dok ne dostigne brzinu koja je manja ili jednaka brzini pri kojoj može da napusti stazuna prvoj sledećoj izlaznici. Najmanja brzina do koje vazduhoplov usporava je 30 km/h.Nepotrebno rulanje, te nepotrebno zauzimanje staze, predstavlja razliku između vremena rulanja za datu izlaznicu i vreme rulanja za idealno postavljenu izlaznicu(Tošić i ostali, 1985).



Slika 3: *Grafik prosečnog usporenja duž staze na primeru vazduhoplova srednje veličine*

Izlaznica (D) na ANTkoja se nalazi na 1800 m od praga 12 može da prihvati vazduhoplov pri brzini do 60 km/h (pogledati sliku 1), i nije upotrebljiva za operacije sletanja na stazu 30. Izlaznica (E) se nalazi na kraju staze 2800 m od praga 12.Izlaznica (C) koja je pod pravim uglom nije razmatrana u ovom radu jer zbog svoje lokacije nije upotrebljiva za stazu 12.

Prema preporuci (ICAO, 2016) brzeizlaznice su povezane sa stazom pod oštrim uglom, obično 30 stepeni, čime se omogućava da vazduhoplov napusti stazu pri maksimalnoj brzini od (93 km/h).U postojećem sistemu rulnih staza na ANT nema brzih izlaznica.

Cilj simulacione analize je ocena trenutne lokacije izlaznice (D) na ANT za poznate ulazne podatke, i određivanje lokacija za dodatnu izlaznicu, pri čemu su razmatrani slučajevi obične i brze izlaznice. Analiza je primenjena za trenutnu konfiguraciju na ANT, koristeći empirijske podatke performansi dva tipa vazduhoplova u sletanju sa pretpostavljenim udelom u populaciji.

3. Simulacioni model i rezultati

Simulacija diskretnih događaja (*DES,Discrete Event Simulation*) je specifična simulaciona metodologija koja se koristi za modeliranje sistema kod kojih su promene stanja diskretne i odvijaju se u diskretnim vremenskim trenucima.Diskretne promena stanja sistema se nazivaju događajima.Za modeliranje opisanog sistema u ovom radu se koristi SimEvents biblioteka.SimEvents je biblioteka Simulinka-a koja se koristiza simulaciju i analizu DES sistema(SimEvents, 2018).

U simulacionom modelu usvojena je pretpostavka da postoje dva tipa vazduhoplova u floti, srednji i širokotrupnisa udelom od 60% i 40%, respektivno. Vazduhoplovi u sletanju dolaze na „FIX“ tačku po uniformnoj raspodeli na intervalu od 80 i 160 sekundi. U modelu je takođe usvojena pretpostavka da se tokom operacija sletanja koristidužinsko razdvajanje u prilazu, pri konstantnim brzinama vazduhoplova od „FIX“ tačke do tačke dodirai čeoni vetar koji je jednak nuli.

ROT u modelu je predstavljen kao zbir vremena svake pojedinačne faze u toku operacije sletanja, a koja obuhvata prvu fazu od preleta praga do tačke dodira, zatim drugu fazu koja predstavljavreme od trenutka dodira na stazi do trenutka pri kome vazduhoplov napuštastazuna izlaznici, i poslednja faza predstavlja vremenski interval od 10s tokom koga vazduhoplov nakon skretanjabezbedno napušta stazu.

Tabela 1 prikazuje kumulativnu raspodelu tačke dodira i vrednost početnog srednjeg usporenja duž staze. Ova tabela je zasnovana na empirijskim podacima koji su prikupljeni na ANT (Tošić i Živković 1984).

Tabela 2 prikazuje raspon brzina na tačkama dodira, podeljenih u četiri segmenta za vazduhoplov srednje veličine. Kada vazduhoplov srednje veličine dodirne stazu, u zavisnosti od segmenta gde se dogodio dodir, brzina na tački dodira se može izračunati koristeći uniformnu raspodelu za prikladan raspon. U modelu brzina širokotrupnog vazduhoplova se izračunava kao vrednost vazduhoplova srednje veličine uvećana za 25 km/h.

Tabela 1:*Kumulativna raspodela tačke dodira i srednje početno usporenje duž stazepodeljenih u četiri segmenta za vazduhoplov srednje veličine*

Distanca od praga (m)	Kumulativna raspodela	Usporenje (m/s^2)
0 – 250	0	2.1000
250 - 350	0.04	2.1875
350 - 450	0.21	2.2750
450 - 550	0.51	2.3625
550 - 650	0.72	2.4500
650 - 750	0.89	2.5375
750 - 850	0.95	2.6250
850 - 950	0.97	2.7125
950 - 1050	1.00	2.8000

Tabela 2: *Raspon brzina na tačkama dodira,*

Segment	Distanca od praga (m)	Raspon brzina na tačkama dodira (km/h)
I	350	233 – 265
II	600	210 – 243
III	870	180 – 225
IV	1100	158 – 205

Vazduhoplov ima različitu vrednost početnog usporenja duž staze, koja je u korelaciji sa lokacijom tačke dodira. U radu vrednost početnog srednjeg usporenja se povećava u zavisnosti odlokacije tačke dodira (videti tabelu 1).

Vreme od preleta praga do tačke dodira se može odrediti prema formuli:

$$t_1 = \frac{l_0}{v_0}, \tag{1}$$

gde jel_0 tačka dodira, a$v_0$brzina u tački dodira.

Vreme od trenutka dodira na stazi do izlaza moguće je odrediti korišćenjem sledećeg izraza:

$$t_2 = \int_{l_0}^{l} \frac{d\lambda}{v(\lambda)}, \tag{2}$$

pri čemu je $v(\lambda)$ brzina vazduhoplova na stazi, dok je$l$ dužina staze.

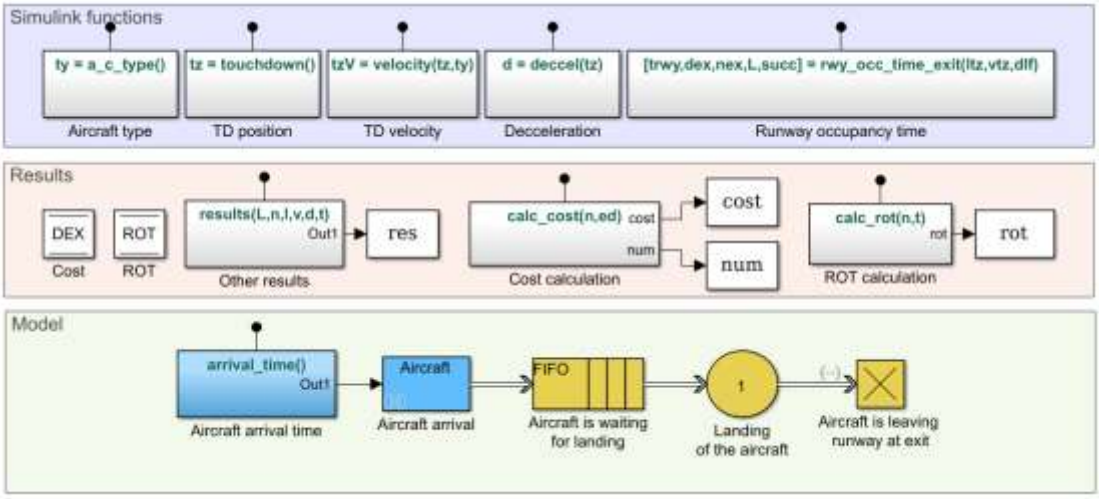
Sabiranjem prethodnih jednačina (1) i (2) sa minimalnim vremenom od 10s, pri kojem vazduhoplov nakon skretanja bezbedno napušta stazu t_3, može se odrediti ukupno ROT:

$$ROT = t_1 + t_2 + t_3. \tag{3}$$

Vrednosti usporenja, brzine i vremena se izračunavaju numerički.Više detalja u pogledu izračunavanja navedenih veličina moguće je naći u (Šljukić i ostali,2018).

Simulacioni eksperiment je izvršen 50 puta.Za svako izvršenje simulacije različita semena se prosleđuju blokovima generatora slučajnih brojeva (Uniform Random Number) modela (slika 4). Funkcijski blokovi (Function)Simulink-a se koriste za grafičku realizaciju MATLAB funkcija (arrival_time, results, itd.). U modelu se koriste za generisanje tačke dodira, brzinu i usporenje, a takođe se koriste i da izračunaju ROT.Simulacioni model je napravljen korišćenjemSimEvents blokova za generisanje entiteta (vazduhoplova), čekanje, opslugu (zadržavanje na stazi) i uklanjanje entiteta iz sistema (napuštanje staze).

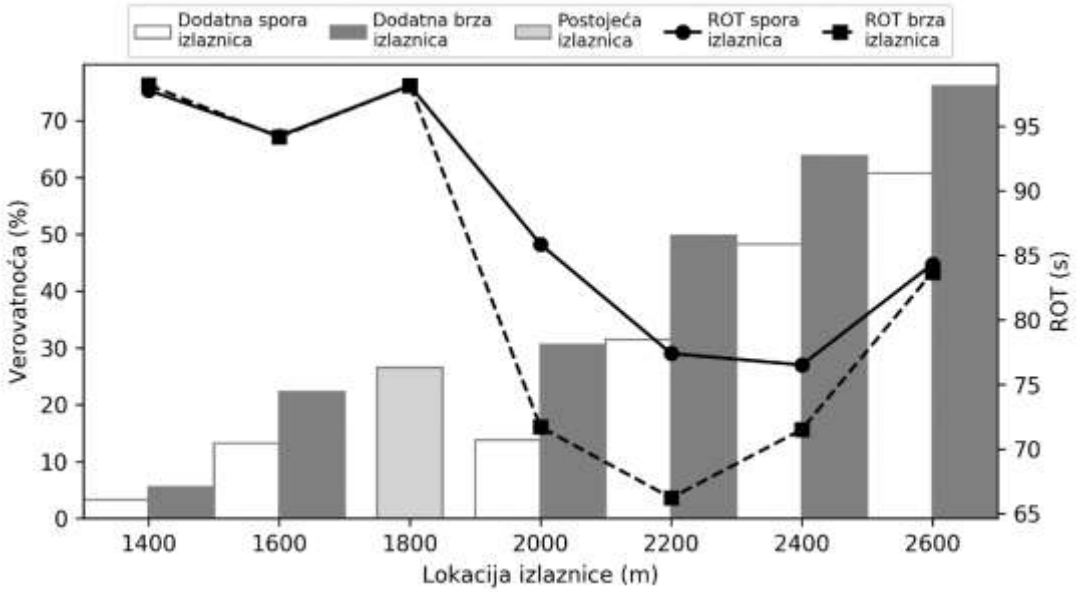
Rezultati simulacije ostvareni u radu (Šljukić i ostali,2018)koji koristi model sličan modelu prikazanom u ovom radusu pokazali da je najbolja lokacija za jednu izlaznicuna 2000 m, u slučaju jednoobrazne flote koju čineisključivo vazduhoplovi srednje kategorije. Onda kada imamomešovitu flotu koja se sastoji od 60%srednjih i 40% širokotrupnih vazduhoplova, najveća prosečna ušteda se ostvaruje ako se dodatna izlaznica nalazi na 2200 m od praga.Kriterijum za određivanje lokacije izlaznice u (Šljukić i ostali,2018) je bila dužina nepotrebnog rulanja vazduhoplova (duž staze i duž rulne staze), pogodan za aerodrome sa pristanišnim kompleksom bliže pragu staze koja se češće koristi (kao što je slučaj sa ANT). Određivanje lokacije izlaznice na bazi ROT stavlja akcenat na nepotrebno zauzimanje staze i kao takav je relevantan za sve aerodrome nezavisno od položaja pristanišnog kompleksa.



Slika 4:*Grafički prikaz modela u Simulink-u*

Za slučaj flote sadva tipa vazduhoplova, prosečno vreme zauzetosti staze za postojeću izlaznicu koja se nalazi na 1800 m iznosi 98.15 s.

Slika 5 predstavlja verovatnoće prihvatanja izlaznice iROT vreme za slučaj postojeće izlaznice (na 1800 m) i moguće dodatne izlaznice na datomrastojanju od praga, diskretno podeljenih u segmente od po 200 m, za slučaj dva tipa vazduhoplova. Sa slike se vidi da će severovatnoća prihvatanja vazduhoplova povećavati kako se dodatna izlaznica udaljava od praga i za sporu i za brzu izlaznicu. Međutim, najveće poboljšanje u pogledu verovatnoće prihvaćenih vazduhoplova će se ostvariti prilikom prelaska sa izlaznice na 2000 m na izlaznicu od2200 m (16% za sporu, 17.15% za brzu). Isto tako, na slici se vidi da se minimum ROT vremena, u slučaju izbora brze izlaznice, nalazi na 2200 m (66.23 s), dok će u slučaju izbora spore izlaznice biti na 2200 (76.53s) ili 2400 m (77.41s).



Slika 5:*Verovatnoće prihvatanjaizlaznice i ROT vreme za slučaj postojeće izlaznice (na 1800 m) i moguće dodatne izlaznice,*

Tabela 3 prikazuje prosečno vreme zauzetosti staze za dodatnu izlaznicu, kao i prosečnu uštedu u vremenukoja se ostvaruje dodavanjem nove izlaznice na datim lokacijama, u odnosu na postojećuizlaznicu koja se nalazi na 1800 m,za flotu sa dva tipa vazduhoplova.Prosečna zauzetost i ušteda u vremenu se posmatraju za izlaznice istih karakteristika kao i postojeća (D), sa maksimalnom brzinomod 60 km/h, kao i za brze izlaznice sa maksimalnom brzinom od 90 km/h. Tabela3takođe prikazuje verovatnoću prihvatanja nove izlaznice.

Za dodatnu sporuizlaznicu na 1600 m ostvarujesenajmanja prosečna ušteda u vremenu od 3.91 s, dok se najvećeprosečneuštede od 21.63 s i 20.75 s ostvaruju ako se izlaznica nalazi na 2400 m od praga i 2200 m od praga,sa verovatnoćom prihvatanja od 74.60% i 56.63%, respektivno (tabela 3).

Kod dodatne brze izlaznice najmanja prosečna ušteda od 3.98 s se ostvaruje ako se izlaznica nalazi na 1600 m, dok se najveća prosečna ušteda od 31.93 s ostvaruje ako se izlaznica nalazi na 2200 m od praga sa verovatnoćom prihvatanja od 74.58%.

Tabela 3:*Prosečno vreme zauzetosti staze za postojeću izlaznicu(boldovano) i moguće lokacije zadodatnu izlaznicu, kao i verovatnoća prihvatanja dodatne izlaznice*

Izlaz na	Prosečno vreme zauzetosti staze (s)		Prosečna ušteda u vremenu (s)		Verovatnoća prihvatanja dodatne izlaznice (%)	
	Spora	Brza	Spora	Brza	Spora	Brza
*1600,**1800***	94.25	94.18	3.91	3.98	29.16	26.36
***1800**,2000*	85.87	71.72	12.29	26.44	40.63	57.43
***1800**,2200*	77.41	66.23	20.75	31.93	56.63	74.58
***1800**,2400*	76.53	71.52	21.63	26.64	74.60	88.24

4. Zaključak

Simulacioni model koji je predložen i realizovan u radu je iskorišćen za analizu lokacije i broja izlaza duž staze u zavisnosti od ROT, kao i da se ispita lokacija za dodatnu brzu izlaznicu na ANT za date ulazne podatke.

Simulaciona analiza je izvršena korišćenjem dostupnih empirijskih podatakasa ANT. Dobijeni rezultati prikazuju najbolju lokaciju za dodatnu izlaznicu, za trenutni i pretpostavljeni budući saobraćaj sa najčešće korišćene staze 12, (udeo tipova vazduhoplova u populaciji, raspodela tačaka dodira duž staze i usporenja).

Rezultati simulacije su pokazali da je najbolja lokacija za jednu izlaznicuna 2000 m,za slučaj jednoobrazne flote koju čineisključivo vazduhoplovi srednje kategorije.U slučaju kada imamomešovitu flotu koja se sastoji od 60%srednjih i 40% širokotrupnih vazduhoplova, najveća prosečna ušteda se ostvaruje ako se dodatna izlaznica nalazi na 2200 m od praga.Ova pozicija je najbolja i za brzu izlaznicu, sa tim što brza izlaznica omogućava vazduhoplovu da napusti stazu pri maksimalnoj brzini od (90 km/h),usled čegase ostvaruje znatno većaprosečnaušteda u vremenu u odnosu na običnu izlaznicu.Pored toga, kraća vremena zauzetosti stvaraju uslove za bolje iskorišćenje kapaciteta poletno-sletne staze.

REFERENCE

[1] De Neufville, R. & Odoni, A. (2013). Airport Systems - Planning, Design and Management, New York, NY: McGraw-Hill.

[2] ICAO (2016). Aerodrome Design Manual (Doc 9157), Part 2, Taxiways (7th ed), Montreal, Quebec: International Civil Aviation Organization.

[3] Radenković, B., Stanojević, M. & Marković, A. (1999). Computer Simulation (in Serbian). Belgrade, Serbia: University of Belgrade – Faculty of Organizational Sciences and Faculty of Transport and Traffic Engineering.

[4] SimEvents documentation. (2018, April 7). Retrieved from: https://www.mathworks.com/products/simevents.html.

[5] Tošić, V., Teodorović, D. & Babić, O. (1985). Optimum runway exit location. Transportation Planning and Technology, 10, 135-145.

[6] Šljukić, S., Đogatović, M. & Mirković, B. (2018). Simulation Model for Determining the Location of Runway Exit,In proceedings of the XIII Balkan Conference on Operational Research, Belgrade, Serbia, 365-372

[7] Tošić, V., Živković, Z. (1984). Pilot study on landing traffic characteristics on runway 12 at the Belgrade Airport. Unpublished paper.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PREDVIĐANJE INTENZITETA SAOBRAĆAJA NA SISTEMU ZA NAPLATU PUTARINE

PREDICTION OF TRAFFIC INTENSITY AT PAY TOLL STATIONS

ANDRIJA PETROVIĆ[1,2], SANDRO RADOVANOVIĆ[2], UGLJEŠA BUGARIĆ[1], BORIS DELIBAŠIĆ[2], MILOŠ JOVANOVIĆ[2]

[1] Mašinski Fakultet, Beograd, aapetrovic2019@mas.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, sandro.radovanovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: *U radu je predstavljen metod za predviđanje intenziteta saobraćaja na sistemu za naplatu putarine za različit broj unapred određnih naplatnih rampi koje će biti otvorene. Sistem za naplatu putarine je predstavljen kao više jednokanalnih sistema opsluživanja, gde jedan kanal predstavlja jednu naplatnu rampu. Razvijanjem metodologije zasnovane na predviđanju parametra opsluživanja za unapred zadati broj otvorenih kanala, kombinacijom neuronskih mreža i modela masovnog opsluživanja evaluirane su verovatnoće stanja sistema za naplatu putarine i ukupni troškovi istog . LSTM neuronska mreža (eng. Long short term memory) sa unutrašnjom standardizacijom korišćena je za predviđanje parametra opsluživanja. Analizirane su 24 arhitekture mreža, model sa najboljim prediktivnim performansama je izabran i korišćen u cilji predviđanja parametra opsluživanja.*

Ključne reči: *rekurentne neuronske mreže, intenzitet saobraćaja, teorija masovnog opsluživanja*

Abstract: *In this paper method for predicting states of toll station system for different number of open toll ramps is developed. The system for toll payment is modeled as single channel queuing model, where one channel presents toll ramp. The novel methodology based on combination of reccurent neural networks and queuing theory is presented. The goal of the methodlogy is to evaluate total costs and probability of traffic intensity at the pay toll stations.. Long short term memory neural network (LSTM) with layer normalization is used as a model for prediction intensity. The 24 different architectures of network are analyzed, and the best one is used as the predictor for intensity of vehicles arrivng time.*

Keywords: *reccurent neural networks, traffic intensity, queueing theory*

1. UVOD

U svakodnevnom životu sreću se različiti sistemi opsluživanja koji se mogu modelirati teorijom masovnog opsluživanja. Neki od primera sistema opsluživanja su: čekanja na kasi u samoposluzi [11], čekanja na naplatnim stanicama na autoputevima [3; 12], čekanja na graničnim prelazima itd. S obzirom da su ovi sistemi bazirani na stohastičkim procesima koji se tiču dolazaka vozila i njihovog opsluživanja samim tim usvojeni model može obezbediti informacije koje se tiču verovatnoće stanja sistema, odnosno verovatnoće koliko se trenutno vozila nalazi u sistemu. Informacije o ovoj verovatnoći mogu biti izuzetno korisne zato što se posredstvom njih mogu doneti upravljačke odlulke koje će smanjiti očekivane ukupne troškove [8]. Minimizacija očekivanih ukupnih troškova podrazumeva minimizaciju zbira očekivanih troškova čekanja i očekivanih troškova opsluživanja. Jedan od najćešćih načina upravljanja ovim troškovima je izborom broja kanala za opsluživanje koji treba da bude dostupan. Odnosno cilj je naći broj kanala koji će maksimalno umanjiti ukupne troškove opsluživanja u datom vremenskom intervalu ukoliko je model opsluživanja nehomogen. Određivanje optimalnog broja kanala kod sistema opsluživanja je problem koji treba da bude rešen u nekom periodu u budućnosti. Na ovaj način mogu se ispravno isplanirati raspoloživi resursi i angažovati ona količina istih kako bi ukupni troškovi bili minimalni. Stoga je neophodno prevashodno predvideti kako će se menjati verovatnoća stanja sistema u budućnosti, za različiti broj kanala, a zatim izabrati onaj broj koji će maksimalno smanjiti očekivane ukupne troškove sistema.

Različite optimizacione i prediktivne tehnike su prisutne u cilju rešavanja problema povećanog intenziteta saobraćaja. U radu [5] prikazan je način optimizacije potrošnje električne energije na mobilnim mrežama u nekom periodu u budućnosti. Usled velike potrošnje električne energije repetitorskih stanica razvijen je sistem koji će predvideti koji je trenutno stepen opterećenja mreže i odrediti koja repetitorska

stanica može da se ugasi. Na ovaj način smanjeni su troškovi potrošnje električne energije i smanjena emisija CO_2 gasova. Model za navođenje vozila ka naplatnim rampama u cilju smanjenja vremena čekanja, razvijen korišćenjem modela vremenskih serija prikazan je u [9]. Metodologija za optimizaciju uključivanja i isključivanja saobraćajne signalizacije prikazana je u [7]. Prikaz velikog broja strategija i metoda korišćenih za upravljanje saobraćajem prikazan je u [10], dok su na sličan način u [2] predstavljene tehnike predviđanja korišćene u saobraćaju zasnovane na algoritmima mašinskog učenja.

U ovom radu korišćenjem kombinacije arhitekture rekurentnih neuronskih mreža (eng. „*Long short term memory"*, skraćeno LSTM) zajedno sa modelima sistema opsluživanja (teorija masovnog opsluživanja) prikazana je metodologija za predviđanje intenziteta saobraćaja na naplatnim stanicama za izbor strategije otvaranja i zatvaranja naplatnih rampi. Metodologija je primenjena na naplatnoj stanici Vrčin na autoputu E70 u smeru ka Beogradu. Metodologija se dalje može generalizovati na slične sisteme koji se ponašaju na isti način.

2. PRIPREMA PODATAKA

Podaci o prolascima vozila kroz naplatnu stanicu Vrčin u periodu od avgusta do septembra 2017. godine korišćeni su u cilju formiranja skupa podataka na osnovu kojeg je učena i testirana LSTM rekurentna mreža. Takođe na ovom skupu podataka verifikovan je predloženi model, odnosno poređen je ukupan trošak praćenjem strategije koja je dobijena primenom razvijene metodologije, sa ukupnim troškom koji je dobijen za stvarno stanje sistema. Izlazne vrednosti parametara su formirane korišćenjem vremenskog prozora sa intervalom od 180 minuta. Intenziteti dolazaka vozila su prognozirani na svakih 5 minuta. Samim tim svi atributi koji su korišćeni kao ulaz u rekurentnu mrežu predstavljaju izvedene statistike vozila koje su evaluirane na svakih 5 minuta sa istim vremenskim prozorom kojim su traženi intenziteti dolazaka. U tabeli 1 dat je pregled svih korišćenih atributa.

Tabela 1. Grupe i opisi atributa korišćenih pri predikciji

Grupe atributa	Opis atributa
Deskriptivni	Broj vozila
	Vreme u časovima i minutima
Statistički	Srednja brzina vozila
	Maksimalna brzina vozila
	Deseti percentil brzine vozila
	Prvi kvartil brzine vozila
	Medijana brzine vozila
	Drugi kvartil brzine vozila
	Devedeseti percentil brzine vozila
Vremenski	Temepratura u ^oC
	Vlažnost vazduha u %
	Tačka rose u ^oC
	Brzina vetra u m/s
	Opis vremena
	Vidljivost%

Pored korišćenja vremenskih atributa u Vrčinu korišćeni su i vremenski atributi u Nišu. Opis vremena je prikazan kao vektor sa 15 elemenata. S obzirom na to da se predviđaju intenziteti dolazaka 300 minuta unapred, izlaz predstavlja vektor sa 60 elemenata.

Pored korišćenih atributa kao ulaz u mrežu korišćeni je vektor izlaza iz prethodne sekvence stoga je ukupan broj ulaznih atributa koji je formiran u skupu podataka 90. U slučaju predviđanja intenziteta dolazaka vozila, kao ulazni atribut koji je u narednoj sekvenci korišćen je vektor intenziteta dolazaka vozila iz prethodne sekvence. Ukupan broj instanci korišćen za testiranje i treniranje mreže je 24979. Za treniranje rekurentne mreže koja predviđa očekivanu vrednost intenziteta dolaska korišćeno je 18040, a ostalih 6939 instanci je korišćeno za testiranje.

3. LSTM MREŽA SA UNUTRAŠNJOM STANDARDIZACIJOM SLOJEVA

Jedan od načina smanjivanja visokog troška računanja pri treniranju standardnih neuronskih mreža je normalizacija izlaza iz skrivenih slojeva. Tehnika koja se naziva unutrašnja (serijska) standardizacija [4] (eng. *„batch normalization"*) koristi ulaze u neuron (iz podataka za učenje) kao vrednosti slučajnih promenljivih na osnovu kojih se izračunava očekivana vrednost i varijansa u cilju normalizacije istih tokom treniranja. Ova tehnika se primenjuje za svaki neuron ponaosob i na taj način značajno smanjuje celokupno vreme treniranja neuronske mreže, omogućavajući korišćenje većih koraka prilikom učenja i smanjujući opasnost od eksplodirajućih gradijenata tokom treninga. Na vrlo sličan način unutrašnja standardizacija se može uopštiti na rekurentne neuronske mreže odnosno preciznije rekurentne neuronske mreže sa LSTM ćelijama. LSTM neuronska mreža sastoji se od LSTM ćelija koje poseduju kapije pomoću kojih se informacija iz dalekih sekvenci uspešno čuva. Iako je uspešna u smanjenju numeričkih grešaka nastalih usled množenja gradijenata niskih vrednosti, ista ima visok trošak računanja. Za razliku od standardnog pristupa kod LSTM neuronskih mreža normalizuju se čitavi slojevi, koristeći sumirane ulaze u neurone kao promenljive na osnovu kojih se određuje očekivana vrednost i varijansa za normalizaciju istih. Uticaj ovakvog vida standardizacije deluje da se gradijenti propagiraju stabilnije u smislu toga da ne dolazi do numeričkih grešaka pri izračunavanju istih. Detaljnije o ovom modelu može se pronaći u [6].

Na osnovu pripremljenog skupa podataka različite neuronske mreže sa različitim metaparametrima su učene u cilju predviđanja intenziteta dolazaka vozila. U svim slučajevima variran je broj slojeva i broj ćelija po sloju. Korišćeno je 8, 16, 32 i 64 ćelije po sloju, dok se broj slojeva menja u rasponu od 1 do 3. U svim arhitekturama ukupan broj instanci u okviru jedne sekvence je 320. Srednja kvadratna greška je korišćena kao funkcija koju je potrebno svesti na minimum, pri učenju rekurentne neuronske mreže. Nakon učenja mreža, modeli su validirani na test skupu podataka. Ukupno je naučeno 24 različita modela. Početni parametar učenja koji je korišćen pri treniranju je 0,1, narednih 7 epoha ovaj parametar je korišćen za učenje, a nakon toga je isti opadao sa stepenom 0,92. Broj epoha treniranja svih arhitektura je 100. Implementacija modela izvršena je u Python i Tensorflow-u. Rezultati performansi predikcije mreža prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2. Prediktivne performanse LSTM modela sa unutrašnjom standardizacijom

R^2 skor sa izbacivanjem ćelija					R^2 skor bez izbacivanja ćelija			
Broj slojeva	Broj LSTM ćelija po sloju				Broj LSTM ćelija po sloju			
	8	16	32	64	8	16	32	64
1	0,726	0,703	0,624	0,692	0,679	0,517	0,431	0,77
2	0,812	0,834	0,803	0,817	0,855	0,803	0,868	0,856
3	0,781	0,772	0,879	0,653	0,824	0,849	0,843	0,849
Srednje kvadratno odstupanje sa izbacivanjem ćelija					Srednje kvadratno odstupanje bez izbacivanja ćelija			
Broj slojeva	Broj LSTM ćelija po sloju				Broj LSTM ćelija po sloju			
	8	16	32	64	8	16	32	64
1	4,558	4,942	6,253	5,125	5,348	8,04	9,481	3,822
2	3,119	2,761	3,27	3,044	2,408	3,27	2,194	2,391
3	3,698	3,797	2,012	5,784	2,931	2,515	2,609	2,503
Srednja apsolutna greška sa izbacivanjem ćelija					Srednja apsolutna greška bez izbacivanja ćelija			
Broj slojeva	Broj LSTM ćelija po sloju				Broj LSTM ćelija po sloju			
	8	16	32	64	8	16	32	64
1	1,412	1,449	1,576	1,483	1,439	1,763	1,645	1,347
2	1,204	1,149	1,191	1,184	1,025	1,162	1,013	1,029
3	1,338	1,352	0,964	1,524	1,182	1,053	1,073	1,035

Sa stanovništva regularizacije primećuje se da mreže kod kojih se odbacuju ćelije (eng. „*dropout regularization*") nemaju značajno bolji rezultat u odnosu na arhitekture kod kojih se ćelije ne odbacuju. Usvojeno je da faktor izbacivanja ćelija iznosi 0,8 odnosno 80%. LSTM mreža sa 3 sloja, 32 LSTM ćelije po sloju i reguarizacijom postignutom tehnikom izbacivanjem ćelija, prikazuje najbolje performanse predikcije

na test skupu podataka. Odnosno R^2 skor ove mreže je 0,879, srednja kvadratna greška je 2,012, dok je srednja apsolutna greška 0,964. Stoga je ova mreža korišćena pri predviđanju intenziteta dolazaka vozila.

4. ODREĐIVANJE STANJA I UKUPNIH TROŠKOVA NAPLATNE STANICE

Predviđanjem intenziteta dolazaka vozila na naplatnu stanicu moguće je predvideti intenzitet saobraćaja za izabranu strategiju otvaranja naplatnih rampi. Imajući u vidu da se naplatna stanica može modelirati kao više jednokanalnih sistema opsluživanja, gde jedan kanal predstavlja jednu naplatnu rampu, moguće je definisati funkciju cilja na osnovu koje se određuje optimalan broj kanala na istoj. Napomenuto je da se pretpostavlja da je intenzitet dolazaka vozila na svaku rampu isti i jednak količniku intentziteta dolazaka vozila na naplatnu stanicu i trenutnog broja otvorenih naplatnih rampi. Na osnovu prethodno navedenog moguće je pre svega postaviti funkciju cilja na osnovu koje je moguće pronaći optimalni broj naplatnih rampi korišćenjem optimizacionih algoritama. S obzirom da se radi o nestacionarnom sistemu, odnosno sistemu koji je promenjiv u vremenu ukupni troškovi se predstavljaju kao [1]:

$$E(UT) = \int_0^t \left(T\check{C}(t) + TO(t) \right) dt \tag{1}$$

gde je $E(UT)$ - očekivani ukupni trošak, $T\check{C}(t)$ - trošak čekanja u trenutku *t* i $TO(t)$ trošak opsluživanja u trenutku *t*. Trošak opsluživanja u trenutku *t* se može zapisati kao [1]:

$$TO(t) = c(t) \cdot C_c \tag{2}$$

gde je C_c - ukupni trošak naplatne rampe izražen u EUR/min, a $c(t)$ je broj otvorenih naplatnih rampi u trenutku *t*. Ukupni trošak naplatne rampe jednak je zbiru sledećih troškova: Troškovi el. energije C_{el}, troškova radne snage C_{rad}, troškovi grejanja i hlađenja $C_{gr,hl}$ i Ostalih troškova C_{ostl}. Ukupni trošak naplatne rampe dobijeni kao zbir svih nabrojanih troškova $C_c = C_{el} + C_{rad} + C_{gr,hl} + C_{ostl}$ iznosi 0,162 EUR/min.

Troškovi čekanja u trenutku *t* se mogu predstaviti kao proizvod funkcije troškova čekanja po vozilu $h(t)$ u zavisnosti od vremena *t* i gustine raspodele verovatnoće vremena provedenog u sistemu $f(t)$, i intenziteta dolazaka vozila $\lambda(t)$ u vremenu *t*. Odnosno, ovi troškovi se mogu zapisati kao:

$$T\check{C}(t) = \lambda(t) \cdot h(t) \cdot f(t) \tag{3}$$

Ukoliko se funkcija troškova čekanja po vozilu napiše kao linearna zavisnost u funkcije vremena, onda sledi da je [1]:

$$h(t) = C_w \cdot t \tag{4}$$

gde je C_w trošak čekanja izražen u EUR/(min · vozilo). Ovaj trošak je računat kao zbir sledećih troškova: troškova goriva C_{gor}, trošak izgubljenog vremena C_{vr} i ostali troškovi čekanja $C_{w,ostl}$. Ukupni troškovi čekanja po vozilu dobijeni kao zbir $C_w = C_{gor} + C_{vr} + C_{w,ostl}$ iznose 0,155 EUR/(min · vozilo).

Gustina raspodele verovatnoće vremena provednog u sistemu se može iskazati u sledećem obliku [1]:

$$f(t) = \sum_{k=0}^{m} q_k \cdot \frac{\mu \cdot (\mu \cdot t)^k \cdot e^{-\mu \cdot t}}{k!} \tag{5}$$

gde je m broj mesta u redu, a q_k pretstavlja verovatnoću dolazećeg vozila koja se može izraziti preko verovatnoće stanja p_k kao:

$$q_k = \begin{Bmatrix} \dfrac{p_k}{1-p_{k+m}} & k = 0,1,2,\ldots,m \\ 0 & k = m+1 \end{Bmatrix} \tag{6}$$

Verovatnoća stanja sistema se izračunava iz matrične diferencijalne jednačine kao [1]:

$$\frac{dp}{dt} = Q^T q \tag{7}$$

gde p predstavlja vektor verovatnoća stanja sistema $p = \left[p_0(t),\ p_1(t),\ldots,p_{m+1}(t) \right]$, a q je vektor verovatnoća dolazećeg vozila $q = \left[q_0(t),\ q_1(t),\ldots,q_m(t) \right]$.

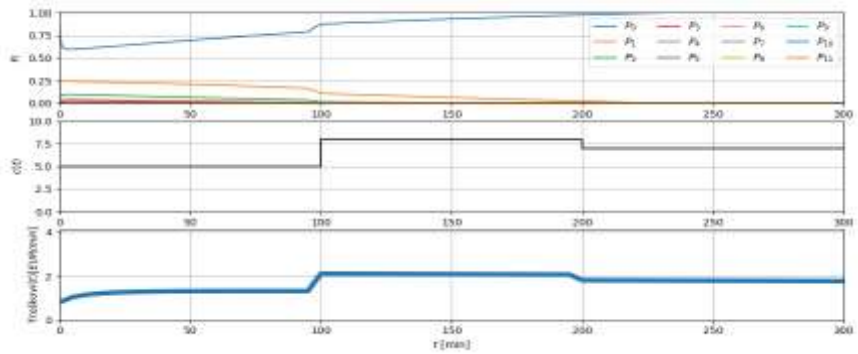
Elementi tranzicione matrice Q se određuju kao:

$$Q = \begin{bmatrix} -\dfrac{\lambda(t)}{c(t)} & \dfrac{\lambda(t)}{c(t)} & 0 & \cdots & 0 \\ \mu & -(\mu + \dfrac{\lambda(t)}{c(t)}) & \dfrac{\lambda(t)}{c(t)} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \mu & -\mu \end{bmatrix} \tag{8}$$

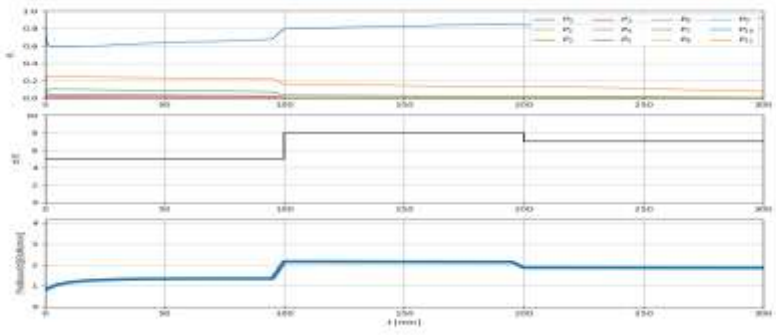
Funkcija cilja očekivanih ukupnih troškova se može predstaviti kao:

$$E(UT) = \int_0^t c(t) \cdot \left(C_c + \lambda(t) \cdot C_w \cdot t \cdot f(t) \right) dt \tag{9}$$

U cilju verifikacije rada izabrane metodologije na slici 1 prikazana je promena verovatnoće stanja i ukupnih troškova na naplatnoj stanici Vrčin za stvarnu vrednost intenziteta dolazaka vozila, dok je na slici 2 prikazana promena verovatnoće stanja i ukupnih troškova za previđen intinziteta dolazaka vozila.



Slika 1. Promena stanja sistema, troškova i strategije otvaranja kanala za stvarne vrednosti intenziteta dolazaka vozila



Slika 2. Promena stanja sistema, troškova i strategije otvaranja kanala za predviđane vrednosti intenziteta dolazaka vozila

Može se videti da je razlika u oceni stanja sistema između stvarnog prikaza rada i rada sistema koji je dobijen primenom LSTM mreže sa unutrašnjom standardizacijom zanemarljiv. To znači da se može uspešno predvideti kako će izabrana polisa otvaranja naplatnih rampi uticati na očekivani ukupan trošak i pojave povećanja intenziteta saobraćaja u sistemu. Razvijena metodologija se dalje može primeniti na mnogo kompleksnijim sistemima u drugim domenima opsluživanja gde je potrebno oceniti verovatnoće stanje sistema na osnovu zadatih ulaznih atributa.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu razvijene metodologije i njene primene na sistem naplatne stanice može se izvesti nekoliko zaključaka:

- LSTM mreža sa unutrašnjom standardizacijom ima visoke performanse (R^2=0,879) predikcije pri predviđanju intenziteta dolazaka vozila u periodu od 300 minuta.
- Stanja sistema i ocena očekivanih ukupnih troškova korišćenjem realnog intenziteta dolazaka vozila i vrednosti koja je dobijena primenom LSTM mreže sa unutrašnjom standardizacijom se ne razlikuju značajno.
- Razvijena metodologija može koristiti kao sredstvo menadžmenta pri donošenju oluka koliko naplatnih rampi (kanala) treba da bude otvoreno u nekom periodu u budućnosti.

Dalja istraživanja treba da budu usmerena ka uključivanju modela matematičkog programiranja u cilju određivanja optimalnog broja naplatnih rampi koji treba da bude otvoren u nekom periodu u budućnosti kako bi troškovi sistema opsluživanja bili minimalni.

LITERATURA

[1] Bugarić, U., & Petrović, D. (2011). Modeliranje sistema opsluživanja. *Mašinski fakultet Beograd, Beograd*.

[2] Castillo, E., Grande, Z., Calviño, A., Szeto, W. Y., & Lo, H. K. (2015). A state-of-the-art review of the sensor location, flow observability, estimation, and prediction problems in traffic networks. *Journal of Sensors, 2015*.

[3] Drew, D. R. (1968). Traffic flow theory and control.

[4] Ioffe, S., & Szegedy, C. (2015). Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. *arXiv preprint arXiv:1502.03167*.

[5] Ishak, S., & Alecsandru, C. (2004). Optimizing traffic prediction performance of neural networks under various topological, input, and traffic condition settings. *Journal of Transportation Engineering, 130*(4), 452-465.

[6] Lei Ba, J., Kiros, J. R., & Hinton, G. E. (2016). Layer normalization. *arXiv preprint arXiv:1607.06450*.

[7] Mihăiţă, A. S., Dupont, L., & Camargo, M. (2018). Multi-objective traffic signal optimization using 3D mesoscopic simulation and evolutionary algorithms. *Simulation Modelling Practice and Theory, 86*, 120-138.

[8] Neely, M. J. (2010). Stochastic network optimization with application to communication and queueing systems. *Synthesis Lectures on Communication Networks, 3*(1), 1-211.

[9] Neuhold, R., Garolla, F., Sidla, O., & Fellendorf, M. (2019). Predicting and Optimizing Traffic Flow at Toll Plazas. *Transportation Research Procedia, 37*, 330-337.

[10] Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Kotsialos, A., & Wang, Y. (2003). Review of road traffic control strategies. *Proceedings of the IEEE, 91*(12), 2043-2067.

[11] Qiu, C. M., & Zhang, W. (2016). Managing long queues for holiday sales shopping. *Journal of Revenue and Pricing Management, 15*(1), 52-65.

[12] Vandaele, N., Van Woensel, T., & Verbruggen, A. (2000). A queueing based traffic flow model. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 5*(2), 121-135.

STATISTICAL MODELS

STATISTIČKI MODELI

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

REGRESIONI MODELI NAD PANEL PODACIMA ZA PROCENU ZAPOSLENOSTI

REGRESSION MODELS ON PANEL DATA FOR ESTIMATING EMPLOYMENT

MARINA DOBROTA[*1], NELA MILOŠEVIĆ[1], MILICA BULAJIĆ[1]

[1]University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, [*]dobrota.marina@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Ovo istraživanje je osmišljeno kako bi se ispitao status zaposlenosti u zemljama i utvrdili mogući trendovi i tendencije zapošljavanja. Ispitali smo koje su to varijable koje utiču na racio zaposlenog stanovništva, imajući u vidu efekte nezavisnih entiteta i vremenske dimenzije. Za potrebe istraživanja, prikupljeni su kratki balansirani panel podaci, a zatim su kreirani i upoređeni modeli ocene panel podataka: model sa konstantnim regresionim parametrima, regresioni model fiksnih efekata i regresioni model stohastičkih efekata. Pokazalo se da model sa konstantnim regresionim parametrima daje najbolje rezultate.*

Ključne reči: *analiza panel podataka, racio zaposlenosti, model sa konstantnim regresionim parametrima, model fiksnih efekata, model stohastičkih efekata.*

Abstract: *This research was designed to examine the employment status across countries and to determine possible trends and tendencies of employment. We examined what are the variables that influence the employment to population ratio, with respect to both cross-section and time determined effects. For this purpose, short balanced panel data were collected, and the panel estimation models were created and compared: the pooled OLS model, the fixed effects regression model, and the random effects regression model. The pooled OLS model was shown to give the best results.*

Keywords: *Panel data analysis, Employment ratio, Pooled OLS, Fixed effects model, Random effects model.*

1. INTRODUCTION

In the wake of recent financial and economic crisis, the topic of employment has again become a very important topic in national political debates, especially in developing countries. Having in mind that employment builds social stability, job opportunities become more and more important in recent years. Countries with lower opportunities are more likely to be underdeveloped and engaged in antisocial behavior (Ferguson, Nillesen, & Brück, 2019). Nowadays, the use of the internet and portable computers has made job opportunities global (Eppinger, 2019). Although it is very hard to include all relevant determinants in the employment analysis, this paper aims to contribute to the never-ending debate about possible trends and tendencies of employment.

Moriconi and Peri argue that in the basic economic theory of labor supply, the decision to work depends on the preferences of an individual but also on cultural characteristics (Moriconi & Peri, 2019). On one hand, in countries where job opportunities are considered as rewarding, people might be willing to work for lower salaries. Moreover, it is very often the case that they will go for the extra mile, giving their best at work although they are underpaid. On the other hand, in countries where work is considered as a hard and daunting activity, the labor supply will be lower. Therefore, culture and countries' characteristics should be very important in every analysis of trends and tendencies of employment.

Employment can be studied from two different aspects (Moriconi & Peri, 2019). The first line of research focuses on a macroeconomic level taking into account cross-country differences, taxes, regulations, and labor supply. The second line of research focuses on the microeconomic level, including for instance gender differences, individual characteristics, and years of education. Our paper combines factors from both lines of research trying to explain the variables that potentially influence employment.

There are numerous determinants of trends and cycles in the labor market (Moffitt, 2012). Although the unemployment rate is the primary indicator used very often in economic studies, Moffitt points out that the employment-population ratio is the best indicator of the quantity of labor supplied. Therefore, in this study, we focus on the employment-population ratio and use it as a dependent variable. In addition, Moffitt (2012) examines the decrease in the employment-population ratio from 2000 to 2007 before the Great Recession

began. The conclusion is that the largest employment-population declines happened among 40 years old people and it has been more monotonic for women than for men (Moffitt, 2012).

The correlations between employment and income, production, and growth were firstly quantified by Okun (1962), in his paper regarding the relationship between the national product and the unemployment rate for American economy in 1950s which was the beginning of many versions of Okun's Law (Stanisław Gedek, Mentel, & Misiak, 2017). In this research, we were driven by these long-standing findings, but we also wanted to discover other determinants. The employment-population ratio has been much discussed recently, both in academic circles and among policymakers. It indicates the ratio of the workforce that are currently employed to the total population and it is measured in percentages. This paper tries to fill the research gap on employment estimation by using data on 153 high and middle-income countries to fit a panel data model stretching from 2010 to 2017.

The rest of the paper is structured as follows. Section 2 provides a deeper insight into the extracted panel data. Section 3 describes the methodology, while Section 4 presents the results. The paper concludes with Section 5.

2. EXTRACTED PANEL DATA

For the purpose of this research, we have extracted the data on the main variable of concern, the *Employment-population ratio*. The variable was measured as a percent of the population that ages 15 and older. Our main goal was to examine what are the variables that influence the employment to population ratio, based on the previous literature review, and with respect to both cross-section and time determined effects. We have extracted the data on nine independent variables of interest whose influence we tackled to examine. The list of the explanatory variables, together with the dependent variable, is given in Table 1.

Table 1: Variables included in the model

Variable	Information
Employment-population ratio	Measured in percentage. It indicates the ratio of the workforce that are currently employed to the total population. It is calculated for the working-age population that ages 15 and older.
Expected years of schooling	Measured in years. It indicates how many years of schooling a child can expect to receive when entering the school, if prevailing patterns of age-specific enrolment rates persist.
Exports and imports	Measured as a percentage of GDP. It indicates a sum of exports and imports of goods and services, and it is a basic indicator of openness to foreign trade and economic integration.
FDI, net inflows	Foreign direct investment, net inflows, measured as a percentage of GDP. It indicates a sum of equity capital, reinvestment of earnings, other long-term capital and short-term capital.
GDP per capita	Gross domestic product (GDP) per capita (2011 PPP $). It indicates the GDP in a particular period divided by the total population in the same period.
Income Index	GNI per capita (2011 PPP International $, using natural logarithm) expressed as an index using a minimum value of $100 and a maximum value $75,000.
Life expectancy at birth	Measured in years. It indicates how many years an infant could expect to live if prevailing patterns of age-specific mortality rates stay the same throughout its life.
Mean years of schooling	Measured in years. It indicates how many years of education people that ages 25 and older would receive, converted from education attainment levels using official durations of each level.
Private capital flows	Measured as a percentage of GDP. It indicates net foreign direct investment and portfolio investment.
Remittances, inflows	Measured as a percentage of GDP. It indicates earnings and material resources transferred by international migrants to recipients in their country of origin where they formerly resided.

Source: UNDP Human Development Indicators (UNDP, we2019b)

We have collected the data for 153 countries, with respect to the certain amount of missing values, forming a short panel data. We observed 8 years period, from 2010 to 2017, that was the last available year for these observations. The source for this research was the United Nations Development Programme Report (UNDP, 2019a). Some of the countries data were missing, so few specific countries were excluded from the observations. Data are balanced, since all the countries that were kept for the analysis, were observed through all time periods.

3. METHODOLOGY

Panel data provide information on entity behavior, both across entities and over time; they have both cross-sectional and time-series dimensions. The models that are commonly used for estimation of the panel data are Pooled OLS, Fixed effects regression model, and Random effects regression model (Adeleye & Eboagu, 2019; Ahmed & Bhatti, 2019; Al-Shammari & Willoughby, 2019; Atan, Alam, Said, & Zamri, 2018; Kumar & Ranjani, 2019; Latinovic & Milosevic, 2019; Marianno & Strunk, 2018; Onakoya, Johnson, & Ogundajo,

2019; Onali, Ginesti, & Vasilakis, 2017). The pooled OLS regression model assumes homogeneity of all sections of data in a panel data research, so it treats all sections the same, as just as these are a single section of data. It does not assume the unique characteristics of entities in the dataset and it does not assume common effects over time. In our case, Pooled OLS does not distinguish between 153 countries, and it overlooks the cross-section and time-series nature of the data.

The fixed effects regression model assumes heterogeneity among different entities, allowing for each cross-section to have different intercepts. Thus, the intercept could be different for the entities but it is time-invariant, and not affected over time. It is possible to estimate the fixed effects model with dummy variables. This model also assumes that the error varies non-stochastically over each cross-section and time. Thus, in a fixed effects regression models, the parameters are fixed by choice and the group means are fixed.

The random effects regression model, also called the variance components model, again assumes heterogeneity among entities, and is time-invariant. Yet, within this model, the individual-specific effect is uncorrelated with the explanatory variables. The random effects model can be observed as a hierarchical linear model, and it assumes that the data are taken from a hierarchy of various populations, whose divergence pertains to that hierarchy. In this research, we have applied and compared all of the indicated panel data estimation models.

4. RESULTS

Table 2 shows the summary descriptive statistics for the dependent variable Employment-population ratio, and for the nine explanatory variables.

Table 2: Summary descriptive statistics for the observed variables

Variables	Mean	SD	Median	Maximum	Minimum	Skewness	Kurtosis	Obs.
Employment to population ratio	57.360	11.2	57.7	87.4	32	0.228	2.938	1217
Expected years of schooling	13.278	2.914	13.2	23.3	4.7	-0.088	2.894	1224
Exports and imports	91.319	57.811	79.3	442.6	0.2	2.889	14.816	1185
FDI, net inflows	5.558	13.071	2.9	252.3	-43.5	9.761	153.669	1202
GDP per capita	17915.54	19021.52	11897.5	129350	593	2.144	9.628	1208
Income Index	0.688	0.176	0.7	1	0.3	-0.383	2.292	1216
Life expectancy at birth	71.542	8.307	73.8	84.1	47.6	-0.686	2.688	1224
Mean years of schooling	8.512	3.201	8.9	14.1	1.4	-0.365	2.013	1224
Private capital flows	-5.251	29.991	-2.8	77.5	-759.8	-18.176	413.444	1077
Remittances, inflows	4.593	6.745	1.8	43.5	0.0	2.366	9.220	1144

The results of panel data regression models are given in Table 3. The table gives the comparative analysis of Pooled OLS, Fixed effects, and Random effects panel data regression model. Note that some of the data, for some variables, for a few specific countries were missing, so these countries were excluded from observation. The models were created for a group of countries that had no missing data, so the panel data were balanced. As shown in Table 3, the models were applied to the dataset of 130 countries in total.

Table 3: Panel data regression models

	Fixed effects	Random effects	Pooled OLS
Intercept	45.035***	56.488***	78.333***
Expected years of schooling	-0.621***	-0.539***	0.197**
Exports and imports	0.003	-0.004	-0.013***
FDI, net inflows	0.0005	0.001	0.029***
GDP per capita	0.0005***	0.0004***	0.0003***
Income Index	0.701	-11.341**	-92.024***
Life expectancy at birth	0.143*	0.133*	0.401***
Mean years of schooling	0.057	-0.104	1.124***
Private capital flows	-0.003	-0.001	0.021***
Remittances, inflows	0.061	0.028	-0.722***
F	638.137***	19.999***	497.466***
Adjusted R^2	0.989	0.146	0.308
Cross-section random Rho		0.985	
Hausman Chi-square test	129.837***		
Wald F test	1.098		
Time period (years)	8	8	8
Number of countries	153	153	153
Number of observations (missing data excluded)	1005	1005	1005
Cross-sections included	130	130	10
Total pool (balanced) observations			10050

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Table 3 presents fixed effects, random effects, and pooled OLS models respectively. The fixed effects and the random effects models were initially created and compared. When observing the fixed effects model, only three out of ten observed variables show the significant influence on employment ratio: Expected years of schooling, GDP per capita, with 0.001 level of significance, and Life expectancy at birth, with 0.05 level of significance. When observing the random effects model, besides the mentioned variables, significant influence can be noted for the variable Income Index, with a 0.01 level of significance. If we compare these two models, we can see that the fixed effects model explains 98.9% of the variability in the model, which is quite the high percent, while the random effects model explains only 14.6%. Further, in order to determine the right model between the fixed and random effects, we used the Hausman test, which tests the null hypothesis that the random effects model is appropriate for the estimate, versus the alternative that the fixed effects model is appropriate. Hausman Chi-square statistics is 129.837 and is significant on 0.001 level ($p<0.001$), which confirms that the fixed effects model is appropriate when comparing these two.

When comparing pooled OLS with the previous models, we can see that all the variables that were included in the model have a significant influence on the employment ratio. Expected years of schooling have a significant influence on the 0.01 level, and all the other variables have a significant influence on the 0.001 level of significance. The pooled OLS explains 30.8% of the variability, which is less than the fixed effects model. Further, in order to determine the right model between the pooled OLS and the fixed effects, we used the Wald test, which tests the significance of the fixed effects model dummy variable coefficients. For this purpose, we created nine dummy variables, one for each explanatory variable. Wald tests the null hypothesis that the dummy variable coefficients all equal zero, in which case the pooled OLS model is appropriate, versus the alternative that the fixed effects model is appropriate, in which case not all the dummy variable coefficients are zero. Wald F statistics is 1.098, and is not significant ($p=0.361$), which confirms that the pooled OLS model is appropriate when comparing these two.

5. DISCUSSION AND CONCLUSION

This paper aimed to explore the status of employment across countries and to determine possible trends and tendencies of employment to population ratio. The main goal was to examine what are the variables that influence employment, with respect to both cross-section and time-series effects.

For this purpose, we collected the short, balanced panel data. We applied the panel data regression models and compared the pooled OLS, fixed effects, and random effects regression model. The pooled OLS model was shown to give the best results of the panel data estimate. This result was not initially expected since the pooled OLS model explained less amount of the variability in the model (30.8%), compared to a fixed effects regression model that explains a much higher amount (98.9%). But on the other hand, pooled OLS specifies the model in which all the examined variables have a significant influence on the dependent variable (see Table 3).

This result was shown to be in accordance with the literature. Firstly, both the Expected years of schooling and the Mean years of schooling have a positive impact on employment ratio which is continued through the years. Expected years of schooling even has a significant influence according to all three models. Similarly, Scappini and Trentini found that there are clear advantages in having high educational qualifications, with greater chances of successfully entering the labor market and, after obtaining a job, better opportunities to reach a high-level occupation (Scappini & Trentini, 2016). Bliksvaer even found that education can be a potentially effective mean of diminishing inequalities between disabled and non-disabled people in the labor market (Bliksvær, 2018), which is a great positive impact. Life expectancy also has a positive influence on employment in all three suggested models, and this finding is not unlooked-for (Barro, 1991). Anxo and his coworkers have shown an interesting finding, based on a perceived life expectancy: people continuing to work after 65 on average display a 6.8% higher probability of reporting better health during retirement than those leaving at the age of 65 (Anxo, Ericson, & Miao, 2019), showing a clear positive influence of life expectancy on the employment.

Remittances have a negative impact on employment. It can be argued that, if the remittances are higher, more labor force migrated to the observed country (which is related to the lower employment) and are sending money to their families from abroad. Accordingly, if there are difficulties with employment in a certain country, the labor force is more probable to leave the country, find employment somewhere else, and naturally, send money to the family that stayed behind (Milosevic, Filipovic, Djuric, & Dobrota, 2014). FDI has a positive impact on the employment according to pooled OLS, while according to fixed and random effects regression models, their influence is not significant. The findings regarding this issue are diverse.

Some found that FDI has no significant impact on employment (Kamar, Bakardzhieva, & Goaied, 2019; Kang & Whang, 2018), but, according to Gardašević, if FDI increase, employment in, for example, Montenegro, can also be expected to increase (Gardašević, 2018), even if in the long run the impact is not found to be significant. Still, other authors have shown a positive impact of FDI on employment, even in the long run (Bayar & Sasmaz, 2017; Sass, Gál, & Juhász, 2018).

GDP's impact on employment is maybe the most envisioned result of all (Cross, 2007; Gilbert, 1973; Okun, 1962; Plosser & Schwert, 1979). For example, it is estimated that in Belgium a 1% rise in GDP brings a 0.5% increase in employment (Burggraeve, de Walque, & Zimmer, 2015). A similar conclusion of the relationship was found in Macedonia (Andonova & Petrovska, 2019), China (Feng, 2018; Liu, Lam, Schipke, & Shen, 2018), and other countries (Blázquez-Fernández, Cantarero-Prieto, & Pascual-Sáez, 2018). The large financial crisis in 2008 additionally excavated this issue (Novák & Darmo, 2019). Okun's law was often investigated using the panel data (de Mendonça & de Oliveira, 2019; Silvo, 2018), similarly as in this research. Our findings show that GDP has a positive influence on employment in all three models.

This research contains a certain number of limitations. The most important is that the data used in this research were mainly the secondary data that were publicly available, with a certain amount of missing data (UNDP, 2019a, 2019b). The initial dataset consisted of 153 countries and was later downsized to 130 countries in total. The research could be significantly improved if more data are publicly available, or if the missing data do not appear in the dataset. The second limitation is regarding the time period that was observed. It included a short panel of 8 observed years, 2010-2017, and the more comprehensive analysis could be made if a longer period of time could be taken into account. Nevertheless, the model presented in this research can be considered as a significant contribution, because it gives a view of the employment and its influential factors from a perspective of not only multiple cross-section dimensions but also a dimension of time effect.

REFERENCES

[1] Adeleye, N., & Eboagu, C. (2019). Evaluation of ICT development and economic growth in Africa. NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking, *20*(1), 31–53. https://doi.org/10.1007/s11066-019-09131-6

[2] Ahmed, T., & Bhatti, A. A. (2019). Do power sector reforms affect electricity prices in selected Asian countries? Energy Policy, *129*, 1253–1260. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.012

[3] Al-Shammari, N., & Willoughby, J. (2019). Determinants of political instability across Arab Spring countries. Mediterranean Politics, *24*(2), 196–217. https://doi.org/10.1080/13629395.2017.1389349

[4] Andonova, D. U., & Petrovska, M. (2019). Disaggregating Okun's Law: A Case-Study for Macedonia. Journal of Central Banking Theory and Practice, *8*(1), 183–207. https://doi.org/10.2478/jcbtp-2019-0009

[5] Anxo, D., Ericson, T., & Miao, C. (2019). Impact of late and prolonged working life on subjective health: the Swedish experience. The European Journal of Health Economics, *20*(3), 389–405. https://doi.org/10.1007/s10198-018-1005-z

[6] Atan, R., Alam, M. M., Said, J., & Zamri, M. (2018). The impacts of environmental, social, and governance factors on firm performance. Management of Environmental Quality: An International Journal, *29*(2), 182–194. https://doi.org/10.1108/MEQ-03-2017-0033

[7] Barro, R. J. (1991). Economic Growth in a Cross Section of Countries. The Quarterly Journal of Economics, *106*(2), 407. https://doi.org/10.2307/2937943

[8] Bayar, Y., & Sasmaz, M. U. (2017). Impact of Foreign Direct Investments on Unemployment in Emerging Market Economies : A Co-integration Analysis World Emerging Market Economies. International Journal of Business and Economic Sciences Applied Research, *10*(3), 90–96. https://doi.org/10.25103/ijbesar.103.07

[9] Blázquez-Fernández, C., Cantarero-Prieto, D., & Pascual-Sáez, M. (2018). Okun's Law in Selected European Countries (2005-2017): An Age and Gender Analysis. Economics & Sociology, *11*(2), 263–274. https://doi.org/10.14254/2071-789X.2018/11-2/18

[10] Bliksvær, T. (2018). Disability, Labour Market Participation and the Effect of Educational Level: Compared to What? Scandinavian Journal of Disability Research, *20*(1), 6–17. https://doi.org/10.16993/sjdr.3

[11] Burggraeve, K., de Walque, G., & Zimmer, H. (2015). The relationship between economic growth and employment. Retrieved from NBB Economic Review website: http://www.nbb.be/doc/ts/publications/economicreview/2015/ecorevi2015_h2.pdf

[12] Cross, P. (2007). GDP and employment growth. Perspectives on Labour and Income, *8*(3), 14–23.

[13] de Mendonça, H. F., & de Oliveira, D. S. P. (2019). Firms' confidence and Okun's law in OECD countries. Economic Modelling, *78*, 98–107. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2018.08.015

[14] Eppinger, P. S. (2019). Service offshoring and firm employment. Journal of International Economics, *117*, 209–

228. https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2019.01.007

[15] Feng, L. (2018). The Labor Market and China's Economic Cycle: A Discussion of Okun's Law in Relation to China. Social Sciences in China, *39*(4), 53–78. https://doi.org/10.1080/02529203.2018.1519223

[16] Ferguson, N. T. N., Nillesen, E., & Brück, T. (2019). Can employment build peace? A pseudo-meta-analysis of employment programmes in Africa. Economics Letters, *180*, 99–101. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2019.03.033

[17] Gardašević, A. (2018). Employment and foreign direct investment. Ekonomski Pregled, *69*(5), 552–570. https://doi.org/10.32910/ep.69.5.4

[18] Gilbert, R. D. (1973). Okun's Law: Some Additional Evidence. Nebraska Journal of Economics and Business, *12*(1), 51–60.

[19] Kamar, B., Bakardzhieva, D., & Goaied, M. (2019). Effects of pro-growth policies on employment: evidence of regional disparities. Applied Economics, *51*(40), 4337–4367. https://doi.org/10.1080/00036846.2019.1591596

[20] Kang, Y., & Whang, U. (2018). To Whom Does Outward FDI Give Jobs? Open Economies Review, *29*(3), 613–639. https://doi.org/10.1007/s11079-018-9484-1

[21] Kumar, S., & Ranjani, K. S. (2019). Dividend Behaviour of Indian-listed Manufacturing and Service Sector Firms. Global Business Review, *20*(1), 179–193. https://doi.org/10.1177/0972150917753863

[22] Latinovic, M., & Milosevic, N. (2019). Income inequality and credit expansion in post-communist countries. *Post-*Communist Economies, *31*(1), 106–122. https://doi.org/10.1080/14631377.2018.1443247

[23] Liu, X., Lam, R., Schipke, A., & Shen, G. (2018). A generalized Okun's Law: Uncovering the myth of China's labor market resilience. Review of Development Economics, *22*(3), 1195–1216. https://doi.org/10.1111/rode.12379

[24] Marianno, B. D., & Strunk, K. O. (2018). The bad end of the bargain?: Revisiting the relationship between collective bargaining agreements and student achievement. Economics of Education Review, *65*, 93–106. https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2018.04.006

[25] Milosevic, D., Filipovic, J., Djuric, M., & Dobrota, M. (2014). Benchmarking diaspora performance as an input for policy makers: a comparative statistical analysis. Current Science, *107*(8), 1253–1259.

[26] Moffitt, R. A. (2012). The Reversal of the Employment Population Ratio in the 2000s: Facts and Explanations.

[27] Moriconi, S., & Peri, G. (2019). Country-specific preferences and employment rates in Europe. European Economic Review, *116*, 1–27. https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2019.03.008

[28] Novák, M., & Darmo, Ľ. (2019). Okun´s Law over the Business Cycle: Does it Change in the EU Countries after the Financial Crisis? Prague Economic Papers, *28*(2), 235–254. https://doi.org/10.18267/j.pep.694

[29] Okun, A. M. (1962). Potential GNP: Its Measurement and Significance. Proceedings of the Business and Economic Statistics Section of the American Statistical Association, 89–104. Alexandria, VA: American Statistical Association.

[30] Onakoya, A., Johnson, B., & Ogundajo, G. (2019). Poverty and trade liberalization: empirical evidence from 21 African countries. Economic Research-Ekonomska Istraživanja, *32*(1), 635–656. https://doi.org/10.1080/1331677X.2018.1561320

[31] Onali, E., Ginesti, G., & Vasilakis, C. (2017). How should we estimate value-relevance models? Insights from European data. The British Accounting Review, *49*(5), 460–473. https://doi.org/10.1016/j.bar.2017.05.006

[32] Plosser, C. I., & Schwert, G. W. (1979). Potential GNP: Its measurement and significance. Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, *10*, 179–186. https://doi.org/10.1016/0167-2231(79)90009-5

[33] Sass, M., Gál, Z., & Juhász, B. (2018). The impact of FDI on host countries: the analysis of selected service industries in the Visegrad countries. Post-Communist Economies, 1–23. https://doi.org/10.1080/14631377.2018.1445332

[34] Scappini, E., & Trentini, M. (2016). Education and employment in Italy of the cohort of adults born in 1954–1958: an analysis from 1993 to 2009. Quality & Quantity, *50*(4), 1611–1631. https://doi.org/10.1007/s11135-015-0223-z

[35] Silvo, D. (2018). A Regional Panel Approach to Testing the Validity of Okun'S Law: The Case of Slovenia. Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research, *52*(3/2018), 39–54. https://doi.org/10.24818/18423264/52.3.18.03

[36] Stanisław Gedek, Mentel, G., & Misiak, T. (2017). Changes in GDP and the Employment and Unemployment in the European Union. Transformations in Business and Economics, 16(3c), 440–456.

[37] UNDP. (2019a). Data. Retrieved May 10, 2019, from http://hdr.undp.org/en/data

[38] UNDP. (2019b). Human Development Indicators. Retrieved May 3, 2019, from http://hdr.undp.org/en/countries/profiles/ben

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

MODELOVANJE VREMENSKE SERIJE SDI: STUDIJA TRŽIŠTA U RAZVOJU

MODELING FDI TIME SERIES: EVIDENCE FROM EMERGING MARKETS

MARINA DOBROTA[*1], NIKOLA ZORNIĆ[1], ALEKSANDAR MARKOVIĆ[1]

[1]University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, [*]dobrota.marina@fon.bg.ac.rs

Rezime: *Strane direktne investicije (SDI) su važan faktor za rast i prosperitet u zemljama i tržištima u razvoju. U poslednje vreme, Srbija je prepoznata kao jedna od najpopularnijih destinacija za strane direktne investicije u Jugoistočnoj Evropi. Ovaj rad ima za cilj da analizira i oceni vremenske serije neto priliva SDI za Srbiju. Pored toga, uporedili smo stanje SDI Srbije sa zemljama bivše Jugoslavije. Ovaj rad takođe vrši predviđanje SDI za odabrane vremenske serije u odgovarajućem vremenskom periodu. Vremensku serije su ocenjene koristeći skup odgovarajućih modela i među njima je odabran onaj koji najbolje podešava (fit) vremensku seriju. Utvrđeno je da Srbija i Severna Makedonija pokazuju blagi rast budućih investicija, dok druge jugoslovenske zemlje imaju tendenciju da stagniraju u narednom vremenskom periodu.*

Ključne reči: *SDI, vremenske serije, ARIMA, AIC, BIC.*

Abstract: *Foreign direct investment (FDI) is an important factor for growth and prosperity in developing countries and emerging markets. Recently, Serbia has been recognized as one of the most popular destinations for FDI in Southeastern Europe. This paper aims to analyze and estimate time series of FDI net inflows for Serbia. Furthermore, we compared the state of Serbian FDI with the former Yugoslav countries. This paper also gives an effort towards forecasting FDI for the selected time series in the credible time period. We estimated the time series using a list of suitable models and we have chosen the best model fit among them. We have found that Serbia and North Macedonia show the mild growth in the future investments, while other Yugoslav countries tend to stagnate for the future period.*

Keywords: *FDI, Time Series, ARIMA, AIC, BIC.*

1. INTRODUCTION

Over the past few decades, opportunities and challenges of globalization for all economies have increased rapidly. ICT has connected the world to such an extent that, for example, an economic problem in one country could now have a harmful effect on financial sectors in faraway countries as well. Foreign direct investment (FDI) is one of globalization's key aspects (Baldwin, 2016; Lacal-Arántegui, 2019; Maiga, Hu, Mekongcho, & Coulibaly, 2018). FDI largely influence trade, productivity, and economic development of a receiving country. Based on UNCTAD's (United Nations Conference on Trade and Development) World Investment Report (United Nations, 2019), the share of global FDI in developing countries is 54 per cent, which is a record. Unfortunately, it is not enough only to have a high level of FDI to achieve economic growth. Sadni-Jallab, Gbakou, and Sandretto (2008) found that macroeconomic stability is essential to translate the impact of FDI on economic growth. Another interesting information presented in the UNCTAD's report is regarding countries' investment policy. Namely, in 2018, 55 economies introduced at least 112 measures affecting foreign investment. A high portion of these (more than one third) are restrictions reflecting national security concerns about foreign ownership of critical infrastructure, core technologies, and other sensitive business assets.

Analyzing international data reveals that a significant part of FDI is directed through financial centers. Two main types of these centers are tax havens and investment hubs. Largest investment hubs include Ireland, Luxemburg, Mauritius, the Netherlands, and Singapore. They accommodate around one-third of global FDI (Hers, Witteman, Rougoor, & van Buiren, 2018).

Some authors analyzed the influence of FDI on the economy, general wellbeing, income inequality, and poverty. Bruno, Campos, and Estrin (2018) combined the country and enterprise-level evidence together in a meta-regression analysis to evaluate the evidence about FDI spillovers in emerging economies. Teixeira and Loureiro (2019) examined to what extent inward FDI contributes to income inequality and poverty in the long-run. They showed that an increase in FDI leads to decrease in both income inequality and poverty rates.

Baek (2016) examined the FDI-income-energy-environment nexus and used panel data of 5 ASEAN (Association of Southeast Asian Nations) countries. He showed that FDI deteriorates the environment, so not everything about FDI is positive. On the other side, there is a number of papers dealing with the prediction of FDI using a time series analysis. Jere and his co-authors explored Simple exponential smoothing (SES), Holt-Winters exponential smoothing (HWES), and Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) and used best fit model to forecast Zambia's annual net FDI (Jere, Kasense, & Chilyabanyama, 2017), while the similar has been done by Fadhil and Almsafir (2015) for Malaysia's FDI inflows.

The second section of this paper presents the empirical data used in time series analysis. Introduction to methodology follows in section three. Results are presented and analyzed in the fourth section. Finally, discussion, conclusion, and future research directions are given.

2. EMPIRICAL DATA

As highlighted in the literature review, given the importance of international investments for markets and economies, in this research we observed the status and trends of the main variable FDI. FDI refers to direct investment equity flows (sum of equity capital, reinvestment of earnings, and other capital) in the reporting economy (IMF, 2019; World Bank, 2019). It represents an investment made by a stakeholder resident in one economy into business activities that is resident in another economy (Brooks & Hill, 2004; Brouthers, Werner, & Wilkinson, 1996; Neuhaus, 2006; Patterson, Montanjees, Motala, & Cardillo, 2004; Rivoli & Salorio, 1996).

We observed the FDI net inflows that are measured in current US dollars (IMF, 2019), while the data were retrieved from the World Bank database (World Bank, 2019). Our main focus was to examine and inspect the trends of FDI in Serbia. In order to make specific comparisons and to elaborate the results in the best possible way, we additionally included in observation the countries from the region. We decided to focus our attention to countries from former SFR Yugoslavia, as they are most similar to Serbia in cultural and social sense. Table 1 shows the descriptive statistics for the abovementioned economies.

Table 1: Observed countries descriptive statistics

Country	Mean	SD	Minimum	Maximum	Count	Period
Bosnia and Herzegovina	489,825,842.53	411,469,198.87	66,736,468.36	1,841,972,230.25	20	1998-2017
Croatia	1,585,988,120.16	1,395,658,544.34	13,000,000.00	5,187,844,808.80	26	1992-2017
North Macedonia	272,648,535.34	206,920,495.82	9,490,000.00	733,466,879.00	24	1994-2017
Montenegro	570,893,579.68	385,825,954.02	49,431,493.60	1,549,312,934.57	16	2002-2017
Serbia	1,585,312,381.08	1,551,437,200.95	1,000.00	4,929,898,533.13	26	1992-2017
Slovenia	615,284,737.47	613,605,652.16	-346,269,217.10	1,884,932,873.06	26	1992-2017

Source: World Bank, Foreign direct investments (World Bank, 2019)

Data in table 1 is collected for all the publicly available time points. While for most of the countries in the World Bank database, data are given from 1970, the earliest period available for the observed economies is 1992. The latest available time period is 2017. Yet, not all the economies from the list in table 1 have the same number of data time points. Small countries have started to keep records of FDI later than large countries. For example, the data for Montenegro are available from 2002. It is interesting to note that this is the year when Montenegro adopts euro as its currency, and that the EU mediated accord was signed to set up the new state to be called Serbia and Montenegro. North Macedonia has its data available from 1994, and it is interesting to note that in 1993, it gained UN membership. Lack of data for a longer period of time is the main limitation of this study.

3. METHODOLOGY

In order to estimate and forecast the trends of FDI, we used time series methodology. We used Palisade @RISK plug-in software for Microsoft Office Excel, that automatically estimates the best fit time series model, based on model selection criteria, the Akaike information criterion (AIC) and Bayesian information criterion (BIC) (Akaike, 1974; Schwarz, 1978). The criteria estimate the quality of each model, relative to other observed models.

Software estimates the best model from the list of the following: AR(p), MA(q), ARMA(p,q), BMMR, BMMRJD, ARCH, GARCH, GBM, GBMJD (Bollerslev, 1986; Engle, 1982; Ross, 2014; Whittle, 1951). If the observed time series is non-stationary, or the seasonality is detected, it can be estimated with the specific order of integration or some deseasonalizing mechanism. So, for example, integrated ARMA(p,q) of the dth integration order represents ARIMA(p,d,q) model (Box & Jenkins, 1970).

4. RESULTS

Table 2 shows the results of the model fit for the specified FDI time series for former SFR Yugoslav countries.

Table 2: Time series model fit results and ranks

Model rank	#1	#2	#3	#4	#5
Serbia	**MA1**	**AR1**	**MA2**	**AR2**	**ARMA**
Data Transform Function	Square Root	Square Root	Square Root	Square Root	Square Root
Detrend	First Order	First Order	First Order	First Order	First Order
AIC	541.25	548.77	550.78	550.90	551.18
BIC	541.25	551.28	553.66	553.77	554.05
Mu (Billions)	169,775,392	169,775,392	169,775,392	169,775,392	13,602,745
Sigma (Billions)	122,574,189	123,258,515	12,142,876	122,564,994	120,703,428
α1 (AR) / β1 (MA)	-0.473	-0.455	-0.556	-0.504	-0.966 (α1)
α2 (AR) / β2 (MA)			0.184	-0.106	-0.385 (β1)
Bosnia and Herzegovina	**MA1**	**MA2**	**ARMA**	**AR1**	**AR2**
AIC	838.40	844.98	849.20	851.09	852.77
BIC	838.40	846.30	850.52	852.57	854.09
Mu (Billions)	489,826	489,826	518,932	489,826	489,826
Sigma (Billions)	30,195	283,424	305,319	352,417	343,711
α1 (AR) / β1 (MA)	0.803	0.733	0.202 (α1)	0.516	0.630
α2 (AR) / β2 (MA)		-0.349	0.662 (β1)		-0.221
Montenegro	**MA1**	**AR1**	**ARMA**	**AR2**	**MA2**
AIC	671.371	678.556	679.475	681.313	681.501
BIC	671.371	678.874	678.929	680.767	680.955
Mu (Billions)	570,894	570,894	625,791	570,894	570,894
Sigma (Billions)	319,625	309,316	286,720	309,314	307,555
α1 (AR) / β1 (MA)	0.458	0.598	0.693 (α1)	0.600	0.125
α2 (AR) / β2 (MA)			-0.203 (β1)	-0.366	0.532
Slovenia	**MA1**	**MA2**	**ARMA**	**AR1**	**AR2**
AIC	1,117.387	1,123.504	1,127.275	1,127.758	1,129.351
BIC	1,117.387	1,126.631	1,130.403	1,130.441	1,132.478
Mu (Billions)	615,285	615,285	632,884	615,285	615,285
Sigma (Billions)	51,421	521,862	511,555	561,227	54,971
α1 (AR) / β1 (MA)	0.699	0.543	-0.120 (α1)	0.404	0.486
α2 (AR) / β2 (MA)		-0.609	0.667 (β1)		-0.202
Croatia	**MA1**	**AR1**	**ARMA**	**AR2**	**MA2**
AIC	1,160.566	1,164.764	1,164.901	1,165.869	1,166.279
BIC	1,160.566	1,167.447	1,168.028	1,168.997	1,169.407
Mu (Billions)	158,599	158,599	177,188	158,599	158,599
Sigma (Billions)	118,265	113,500	107,282	111,823	10,760
α1 (AR) / β1 (MA)	0.422	0.582	0.660 (α1)	0.482	0.371
α2 (AR) / β2 (MA)			-0.176 (β1)	0.171	0.422
North Macedonia	**MA1**	**MA2**	**AR2**	**ARMA**	**AR1**
Detrend	First Order	First Order	First Order	First Order	First Order
AIC	938.87	945.78	947.20	948.37	951.18
BIC	938.87	948.10	949.52	950.69	953.32
Mu (Billions)	155,104	155,104	155,104	15,831	155,104
Sigma (Billions)	182,843	170,677	171,779	17,743	20,128
α1 (AR) / β1 (MA)	-0.834	-0.281	-0.347	0.143 (α1)	-0.228
α2 (AR) / β2 (MA)		-0.563	-0.521	-0.765 (β1)	

Each time series is estimated with the list of models as specified in section 3. They were compared and ranked according to AIC and BIC, that represents the amount of information the model loses; the quality of the model is higher if it loses less information (Akaike, 1974; Schwarz, 1978). The best five models are presented in table 2. Rank orders are the same for both information criteria. The model fit for each time series did not perform any data transformation, nor detrended the time series, unless specified otherwise. Non-stationarity was detected for Serbia and North Macedonia time series, while all other time series were stationary. Yearly time points of the data were collected, thus there was no need for deseasonalizing the data.

Figure 1 (a) presents the time series model for Serbia. The time series was transformed using the square root, and it was detrended using first-order difference to achieve stationarity. The best fit model for Serbia was shown to be integrated MA(1) model that can also be presented as ARIMA(0,1,1) model. According to AIC and BIC (see table 2), it was followed by ARIMA(1,1,0), ARIMA(0,1,2), ARIMA(2,1,0), and ARIMA(1,1,1).

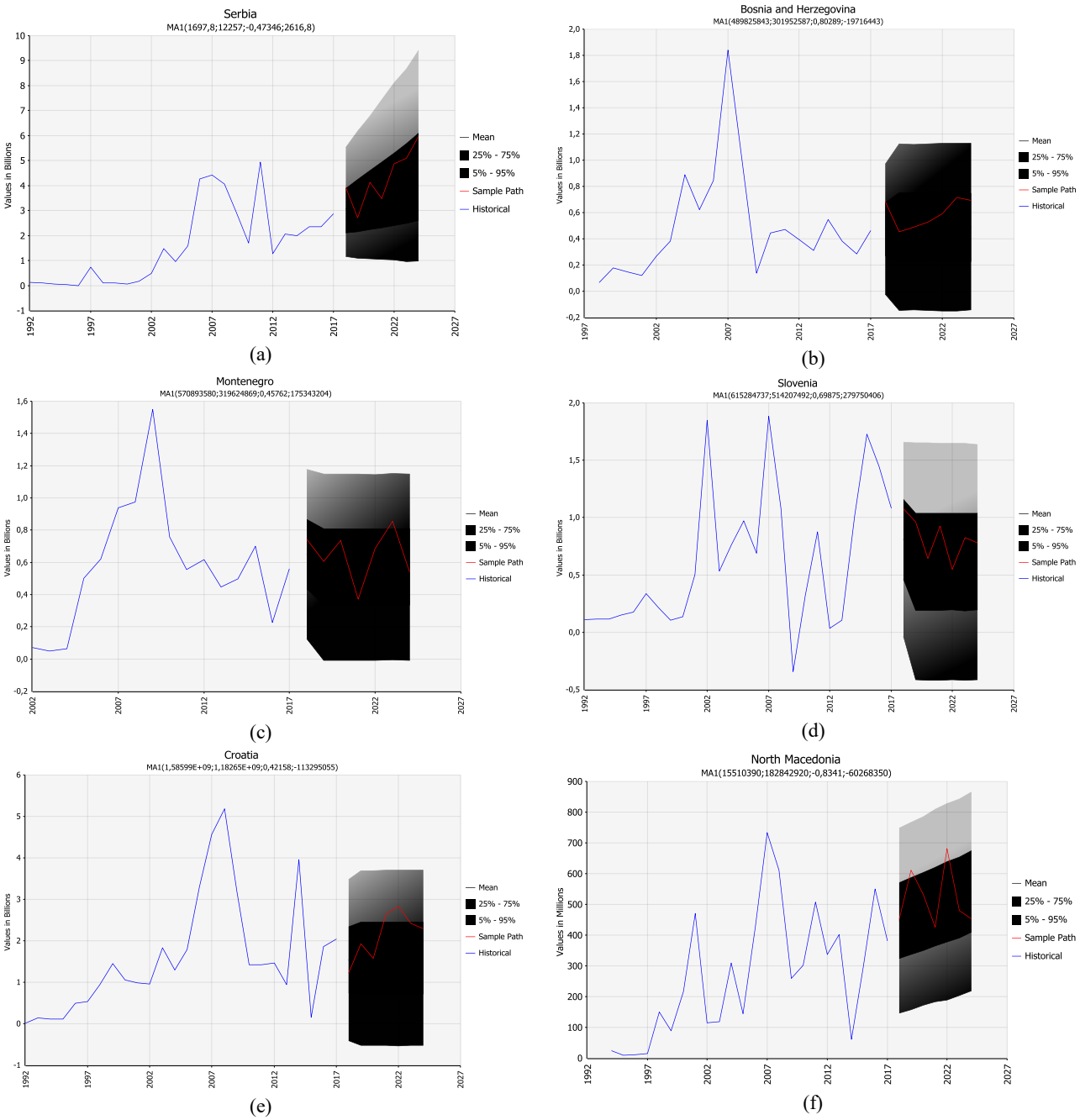


Figure 1: (a) Serbia, (b) Bosnia and Herzegovina, (c) Montenegro, (d) Slovenia, (e) Croatia, and (f) North Macedonia FDI time series

Figure 1 also present time series best fit models for (b) Bosnia and Herzegovina, (c) Montenegro, (d) Slovenia, and (e) Croatia. The non-stationarity was not detected with these time series and thus there was no need for detrending the data. The best fit model for all the listed time series was MA(1) model (see table 2). The model was not integrated, thus it can be presented as ARIMA(0,0,1) for all of the above-mentioned countries. These models show both, the unpredictable random motion features of the Wiener process, and also the mean reversion features, which suggests that the values tend to move to the historical average over time. The order of the models fit differ among time series of different countries (see Table 2).

North Macedonia time series was presented in figure 1 (f). Similarly, as for Serbia, this time series is non-stationary, and its best fit is integrated MA(1) model, i.e. ARIMA(0,1,1) (see table 2). This model is similar to the simple exponential smoothing model, but with some additional flexibility: the estimated MA(1) coefficient is negative (β1), a constant mu term can be included, the trajectory of the long-term forecasts is typically a sloping line (whose slope is equal to mu) rather than a horizontal line, etc.

Figure 1 shows the forecast period up to 2024, with the mean value of the forecast, 50% confidence interval and 90% confidence interval. The red lines in figure 1 for all time series represent the sample paths of the forecast.

5. DISCUSSION AND CONCLUSION

Based on the presented results, we drew some general conclusions regarding the observed countries. Serbia and North Macedonia are the countries that have shown the mild growth in FDI for the observed future period. This is in accordance with the literature because, for example, the analysis of FDI by municipalities and cities in Serbia indicated a growing movement in the period (Stojanovic, Ilic, & Mihajlovic, 2017).

Serbia has been recognized as one of the very popular destinations for FDI in Southeastern Europe. EU companies have invested almost three-quarters of the cumulative FDI inflows to Serbia over the past 8 years, amounting to over EUR 11 billion in total (Dudić, Dudić, Smoleň, & Mirković, 2018). The European countries that have invested most in the Republic of Serbia are Austria, Norway, Netherlands, Russia, Switzerland, United Arab Emirates, China, and USA (Dudić et al., 2018). The growth of FDI in Serbia coincided in 2006, which happened throughout the entire region, primarily as a result of the privatization of the mobile network operator Mobtel, which was bought by Telenor from Norway for 1,513 million euros (Radenković, 2016). According to Radenković (2016), this was an exceptional year since the share of FDI in Serbian GDP went up to 14.10%. However, it should be underlined that greenfield investments such as Ball Packaging, Vip Mobile, and Microsoft's Development Center were practically the only bigger greenfield investments made in Serbia over the period from 2000-2011 (Radenković, 2016).

In North Macedonia, fostering FDI has been promoted by the government as one of the main instruments for generating employment and providing further economic development (Nikoloski, 2017). Furthermore, it was found in North Macedonia that foreign ownership has helped restructure and enhance the productivity of domestic firms, that FDI has a positive influence in reinforcing the creation of new firms, and that FDI is likely to influence the job seeker to get employed rather start their own business (Apostolov, 2017).

According to the results, Bosnia and Herzegovina, Montenegro, Slovenia, and Croatia tend to stagnate for the future period. A couple of years ago, the question arose by Estrin and Uvalic (2014) whether the Balkans are different concerning FDI; they came to the conclusion that they are found to be so because even when the size of their economies, distance from the source economies, institutional quality, and prospects of EU membership are taken into account, Western Balkans countries receive less FDI than other transition countries (Estrin & Uvalic, 2014), calling it a negative 'Western Balkans' effect on FDI. This can to some extent be noted as the reason that the FDI is gravitating around the mean value.

Attracting the FDI inflows in the countries of Southeast Europe has heretofore been recognized as an important issue (Kersan-Skabic, 2013). The suggestions and implications of how to achieve so are numerous (Apostolov, 2017; Estrin & Uvalic, 2014; Nikoloski, 2017). However, it largely depends on politics, economic stability, law, etc. The mild growth in FDI inflows in Serbia and North Macedonia is undoubtedly the decisive and significant result.

Future directions of the study might cover analysis of factors influencing FDI inflows, both in positive and negative direction.

LITERATURE

[1] Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control, 19(6), 716–723. https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705

[2] Apostolov, M. (2017). The impact of FDI on the performance and entrepreneurship of domestic firms. Journal of International Entrepreneurship, *15*(4), 390–415. https://doi.org/10.1007/s10843-017-0205-4

[3] Baek, J. (2016). A new look at the FDI–income–energy–environment nexus: Dynamic panel data analysis of ASEAN. Energy Policy, 91, 22–27. https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2015.12.045

[4] Baldwin, R. E. (2016). The Great Convergence: Information Technology and the New Globalization. Belknap Press.

[5] Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. Journal of Econometrics, 31(3), 307–327. https://doi.org/10.1016/0304-4076(86)90063-1

[6] Box, G., & Jenkins, G. (1970). Time Series Analysis: Forecasting and Control. San Francisco: Holden-Day.

[7] Brooks, D., & Hill, H. (2004). Managing FDI in a Globalizing Economy. Palgrave Macmillan UK.

[8] Brouthers, L. E., Werner, S., & Wilkinson, T. J. (1996). The Aggregate Impact of Firms' FDI Strategies on the Trade Balances of Host Countries. Journal of International Business Studies, *27*(2), 359–373. https://doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8490139

[9] Bruno, R. L., Campos, N. F., & Estrin, S. (2018). Taking stock of firm-level and country-level benefits from foreign direct investment. Multinational Business Review, 26(2), 126–144. https://doi.org/10.1108/MBR-02-2018-0011

[10] Dudić, B., Dudić, Z., Smoleň, J., & Mirković, V. (2018). Support for foreign direct investment inflows in Serbia. Economic Annals-XXI, 169(1–2), 4–11. https://doi.org/10.21003/ea.V169-01

[11] Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. Econometrica, 50(4), 987. https://doi.org/10.2307/1912773

[12] Estrin, S., & Uvalic, M. (2014). FDI into transition economies. Economics of Transition, *22*(2), 281–312. https://doi.org/10.1111/ecot.12040

[13] Fadhil, M. A., & Almsafir, M. K. (2015). The Role of FDI Inflows in Economic Growth in Malaysia (Time Series: 1975-2010). Procedia Economics and Finance, 23, 1558–1566. https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00498-0

[14] Hers, J., Witteman, J., Rougoor, W., & van Buiren, K. (2018). The Role of Investment Hubs in FDI, Economic Development and Trade. Brussels.

[15] IMF. (2019). Balance of Payments. Retrieved May 21, 2019, from https://data.imf.org/?sk=7A51304B-6426-40C0-83DD-CA473CA1FD52

[16] Jere, S., Kasense, B., & Chilyabanyama, O. (2017). Forecasting Foreign Direct Investment to Zambia: A Time Series Analysis. Open Journal of Statistics, 07(01), 122–131. https://doi.org/10.4236/ojs.2017.71010

[17] Kersan-Skabic, I. (2013). Institutional Development as a Determinant of FDI Attractiveness in Southeast Europe. Drustvena Istrazivanja, *22*(2), 215–235. https://doi.org/10.5559/di.22.2.01

[18] Lacal-Arántegui, R. (2019). Globalization in the wind energy industry: contribution and economic impact of European companies. Renewable Energy, *134*, 612–628. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.087

[19] Maiga, O. A., Hu, X., Mekongcho, T. M., & Coulibaly, S. K. (2018). Effects of Economic Globalization, Foreign Capital Influx on Export in ECOWAS. Global Economy Journal, 18(4), 20180055. https://doi.org/10.1515/gej-2018-0055

[20] Neuhaus, M. (2006). The Impact of FDI on Economic Growth. Physica-Verlag HD. https://doi.org/10.1007/3-7908-1735-X

[21] Nikoloski, D. (2017). The impact of Foreign Direct Investments on employment: the case of the Macedonian manufacturing sector. Eastern Journal of European Studies, 8(2), 147–165.

[22] Patterson, N., Montanjees, M., Motala, J., & Cardillo, C. (2004). Foreign Dircect Investment. Trends, Data, Availabilty, Concepts, and Recording Practices. International Monetary Fund.

[23] Radenković, I. (2016). Foreign Direct Investments in Serbia. Beograd: Rosa Luxemburg Stiftung Southeast Europe.

[24] Rivoli, P., & Salorio, E. (1996). Foreign Direct Investment and Investment under Uncertainty. Journal of International Business Studies, *27*(2), 335–357. https://doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8490138

[25] Ross, S. M. (2014). Variations on Brownian Motion. In Introduction to Probability Models (11th ed., pp. 612–614). Amsterdam: Elsevier.

[26] Sadni-Jallab, M., Gbakou, M., & Sandretto, R. P. (2008). Foreign Direct Investment, Macroeconomic Instability and Economic Growth in MENA Countries. SSRN Electronic Journal. https://doi.org/10.2139/ssrn.1170764

[27] Schwarz, G. (1978). Estimating the Dimension of a Model. The Annals of Statistics, 6(2), 461–464. https://doi.org/10.1214/aos/1176344136

[28] Stojanovic, D., Ilic, B., & Mihajlovic, D. (2017). Sustainable Development in Serbia in Correlations With Foreign Direct Investment. In Proceedings of the 21st International Scientific Conference on Economic and Social Development (pp. 101–108).

[29] Teixeira, A. A. C., & Loureiro, A. S. (2019). FDI, income inequality and poverty: a time series analysis of Portugal, 1973–2016. Portuguese Economic Journal, 1–47. https://doi.org/10.1007/s10258-018-00152-x

[30] United Nations. (2019). World Investment Report 2019. Geneva.

[31] Whittle, P. (1951). Hypothesis testing in times series analysis. Uppsala: Almqvist & Wiksells Boktryckeri AB.

[32] World Bank. (2019). Foreign direct investment, net inflows. Retrieved May 20, 2019, from https://data.worldbank.org/indicator/BX.KLT.DINV.CD.WD

UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM I LANCI SNABDEVANJA

PRODUCTION MANAGEMENT AND SUPPLY CHAINS

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.
UNIVERZITET U BEOGRADU FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

DOMETI I OGRANIČENJA PRIMENE ABC KONCEPTA U LEAN OKRUŽENJU
SCOPE AND LIMITATIONS OF ABC CONCEPT APPLICATION IN LEAN ENVIRONMENT

RADMILA JABLAN STEFANOVIĆ[1], VLADAN KNEŽEVIĆ[2], JOVANA JUGOVIĆ[3]

[1] Ekonomski fakultet, Beograd, rasty@ekof.bg.ac.rs
[2]Ekonomski fakultet, Beograd, vknez@ekof.bg.ac.rs
[3]Ekonomski fakultet, Beograd, jjugovic@bg.ac.rs

Rezime: *U nastojanju za dostizanjem i održanjem konkurentske prednosti, brojna preduzeća organizuju poslovanje po lean principima. Specifičnost informacija koje zahteva uspešno upravljanje ovakvim preduzećima, tradicionalne sisteme obračuna troškova čine nepodobnim za njihovo generisanje. U radu nastojimo da ukažemo na to da li je i u kojoj meri Obračun troškova po aktivnostima, podržan širom primenom ERP sistema, kompatibilan sa idejama lean koncepta.*

Ključne reči: *lean preduzeća, računovodstvo troškova, Obračun troškova po aktivnostima, ERP sistemi*

Abstract: *In an effort to reach and maintain a competitive advantage, many companies are organizing a business based on lean principles. The specificity of the information that requires successful management of such enterprises, makes traditional costing systems unsuitable for their generation. In this paper, we try to point out whether and to what extent Activity Based Costing, supported by broader application of ERP systems, is compatible with the idea of lean concept.*

Keywords: *lean companies, cost accounting, Activity Based Costing, ERP systems*

1. UVOD

Nove tendencije savremenog poslovnog okruženja u vidu globalizacije komercijalnih tržišta i tržišta kapitala, hiperkonkurencije, razvoja informacionih i proizvodnih tehnologija nameću potrebu upravljačko-računovodstvenog prilagođavanja novonastalim okolnostima. Stvaranje, a potom i održanje, konkurentske prednosti u dinamičnom poslovnom svetu od menadžmenta kompanija zahteva kreiranje strategija čija će primena obezbediti isporučivanje superiornije vrednosti kupcima, u odnosu na onu koju im konkurenti isporučuju. Jedini pravi put za dostizanje ultimativnog cilja savremenih kompanija – stvaranja vrednosti za vlasnike, vodi preko zadovoljnih kupaca. Mnoga preduzeća su odgovor na izazove savremenog okruženja videla u primeni *lean* koncepta poslovanja, baziranog na kreiranju vrednosti za kupce uz eliminisanje svih rasipničkih aspekata poslovnog procesa, radi redukcije troškova i povećanja kvaliteta finalnih proizvoda. Praksa je pokazala da mnoge, dobro osmišljene, *lean* poslovne strategije nisu naišle na odobrenje sa računovodstvene strane, upravo iz razloga nekompatibilnostii tradicionalnih metoda obračuna troškova, kao i tradicionalnih mera performansi, sa ciljevima *lean* koncepta. Izmena upravljačkog fokusa i organizacione strukture mora ostaviti svoj trag na metodologiju obračuna troškova.

2. INFORMACIONA OGRANIČENJA TRADICIONALNIH METODA OBRAČUNA TROŠKOVA

Tradicionalne metode obračuna troškova kreirane su kako bi informaciono podržale proizvodne sisteme bazirane na proizvodnji velikih serija istovrsnih proizvoda. Kao ključni nedostaci ovih metoda mogu se istaći: arbitrarnost generisane cene koštanja, statičnost standarda, uzak fokus na proizvodnju, izostanak širih, strategijskih aspekata poslovanja i nemogućnost generisanje informacione osnove zasnovane na nefinansijskim pokazateljima (Jablan Stefanović 2018). Robin Cooper (1987) navodi da je jedan od ključnih razloga arbitrarnosti informacija o troškovima proizvoda, koje ove metode generišu, taj što one nisu modifikovane saglasno promenama proizvodnog procesa. Korišćenjem ključeva zasnovanih na obimu aktivnosti za potrebe alokacije opštih troškova, tradicionalni sistemi obračuna troškova precenjuju troškove proizvodnje onih proizvoda koji se proizvode u većoj količini, a potcenjuju troškove proizvodnje proizvoda manjeg obima. Zaključak je da se, za one opšte troškove koji ne variraju sa promenom broja proizvedenih jedinica, moraju naći druge adekvatne osnove za raspodelu.

Dodatni problem primene tradicionalnih metoda obračuna troškova u *lean* poslovnom okruženju je taj što tradicionalne mere performansi ne podržavaju ciljeve i principe *lean* koncepta. To se, prvenstveno, odnosi na pokazatelje kao što su: efikasnost rada, iskorišćenost kapaciteta, odstupanja od standardnih nabavnih cena, odstupanja stvarnih od standardnih opštih troškova i sl. Ocenjivanje učinka na bazi navedenih indiktora motiviše zaposlene na preduzimanje ne-lean akcija, kakve su povećanje zaliha, proizvodnja velikog obima, maksimiziranje odrađenih časova rada, nabavke u što većem obimu i sl. (Maskell 2010). Prema lean filozofiji, prekomerna proizvodnja i, kao njena posledica, gomilanje zaliha, predstavljaju dva osnovna izvora suvišnih trošenja koja bi, sa ciljem postizanja veće efikasnosti, trebalo eliminisati.

3. OSNOVE OBRAČUNA TROŠKOVA PO AKTIVNOSTIMA

Obračun troškova po aktivnostima predstavlja sistem za utvrđivanje mnogo tačnijih i pouzdanijih troškova proizvoda i proizvodnih linija u odnosu na podatke o troškovima istih, koje produkuju tradicionalni sistemi obračuna. Kako bi olakšala i doprinela efikasnijem odlučivanju i merenju performansi, mnoga preduzeća usvajaju ABC poslovnu filozofiju i implementiraju ABC tehniku obračuna troškova. Primena ABC koncepta omogućava bolje razumevanje potrošnje resursa, identifikovanje aktivnosti neophodnih za proizvodnju proizvoda, direktnih i opštih troškova različitih aktivnosti i alokaciju opštih troškova na bazi adekvatnih uzročnika troškova (Jiambalvo 2010).

Obračun troškova po aktivnostima usmerava pažnju menadžmenta na kontrolu troškova na nivou aktivnosti, omogućava bolje razumevanje uzročnika troškova, te donošenje odgovarajućih odluka u pogledu upravljanja ovim uzročnicima radi redukcije troškova. Promene u obimu proizvodnje, veličini serije ili karakteristikama proizvoda ne bi trebalo da budu uzrok pogrešnog utvrđivanja i izveštavanja o troškovima jedinice proizvoda, kao u slučaju tradicionalnih sistema obračuna, koji neretko potcenjuju profit proizvodnje visokog obima i precenjuju profit proizvodnje malog obima.

Kritičari baznog ABC sistema, pak, navode da troškovi implementacije ovog pristupa znaju biti previsoki. Kao ključne slabosti ABC sistema se ističu (Jiambalvo 2010): izbor pogrešnih uzročnika troškova; pretpostavka o linearnom odnosu između uzročnika troškova i kretanja opštih troškova, nije uvek održiva; problem alokacije zajedničkih troškova, koje bi trebalo pripisati većem broju aktivnosti; kompleksnost i visoki troškovi implementacije.

Teškoće implementacije i održavanja obračuna troškova po aktivnostima, pre svega, puno potrošenog vremena i novca za dizajniranje i primenu, subjektivna procena podataka i neadaptibilnost novim uslovima poslovanja, sprečile su da ovaj sistem obračuna troškova bude zastupljeniji u praksi. Ipak, razvoj informacionih tehnologija doveo je do pojave specifičnih integrisanih informacionih sistema, koji su značajno unapredili uslove za primenu obračuna troškova po aktivnostima.

Rezultat intenzivnog razvoja informacionih tehnologija jeste integrisani obračun troškova po aktivnostima, koji koristi automatski dobijene podatke iz integrisanog informacionog sistema preduzeća i produkuje ažurne i informacije u realnom vremenu za potrebe menadžmenta. U takvom visoko integrisanom okruženju pojavile su se nove opcije razvoja i pravci daljeg unapređenja obračuna i upravljanja troškovima po aktivnostima. Otuda se u relevantnoj literaturi sve češće govori o pristupu koji se može nazvati obračun troškova po aktivnostima zasnovan na vremenu ili vremenom uslovljen obračun troškova po aktivnostima (*Time-Driven Activity-Based Costing – TDABC*) (Kaplan and Anderson 2007).

4. OBRAČUN TROŠKOVA PO AKTIVNOSTIMA ZASNOVAN NA VREMENU

Obračun troškova po aktivnostima baziran na vremenu (TDABC) pojednostavljuje procese obračuna i upravljanja troškovima, eliminisanjem potrebe za intervjuisanjem zaposlenih i obimnim istraživanjima, koja se sprovode kod tradicionalnog obračuna troškova po aktivnostima, kako bi se obezbedile neophodne informacije u svrhu alokacije troškova na nosioce troškova. Prema ovom pristupu troškovi resursa se direktno dodeljuju nosiocima troškova, uz pomoć okvira koji zahteva jednostavne procene dva važna parametra. Prvo, izračunavaju se ukupni troškovi obezbeđenja kapaciteta, odnosno ukupni troškovi svih resursa potrebnih za realizaciju konkretnih aktivnosti. Tako utvrđeni troškovi se dele sa ukupno raspoloživim kapacitetom, iskazanim u vremenu svih zaposlenih koji efektivno rade na realizaciji konkretnih aktivnosti, kako bi se dobila stopa troškova kapaciteta. Drugo, ova stopa se koristi za prenos troškova resursa na nosioce troškova na bazi procena tražnje za određenim kapacitetom resursa, što je obično vreme koje zahteva svaki nosilac troškova, čime se i opravdava naziv ovog pristupa. TDABC model simulira stvarne procese koji se dešavaju u preduzeću, te može da obuhvati daleko više varijacija i kompleksnosti procesa od tradicionalnog sistema. Koristeći ovaj pristup, preduzeća mogu sopstvenu

specifičnost da inkorporiraju u obračunske procese, umesto da budu primorana da koriste pojednostavljene ali nedovoljno precizne sisteme za obuhvatanje i praćenje poslovnih procesa (Kaplan and Anderson 2007).

Postupak TDABC modela se ostvaruje kroz šest koraka (Everaert and Bruggeman 2007):

- Identifikovanje različitih grupa resursa potrebnih za izvođenje aktivnosti;
- Procena troškova svake grupe resursa;
- Procena praktičnog kapaciteta svake grupe resursa;
- Utvrđivanje jediničinih troškova za grupe resursa, deljenjem ukupnih troškova resursa praktičnim kapacitetom;
- Određivanje potrebnog vremena za svaku aktivnost;
- Množenje jediničnih troškova (dobijenih u četvrtom koraku) vremenom koje zahteva svaki nosilac troškova.

Uzročnici vremena u TDABC modelu imaju fundamentalni značaj. Oni predstavljaju varijable koje determinišu vreme potrebno za obavljanje neke aktivnosti i mogu biti konitunirani, diskretni ili indikatorski (Everaert and Bruggeman 2007). Ovaj pristup obezbeđuje mogućnost brzog, i troškovno efikasnog, prilagođavanja promenama u internom i eksternom okruženju. Vremenske jednačine omogućavaju lako ažuriranje sistema troškova u uslovima uvođenja novih proizvoda, procesa, kupaca ili kanala distribucije. Važan iskorak koji čini TDABC pristup je da lako inkorporira varijacije u vremenu obavljanja različitih tipova transakcija, pa se ne bazira na pojednostavljenoj pretpostavci da sve transakcije zahtevaju isto vreme za obradu. Na bazi karakteristika pojedinačnih aktivnosti moguće su varirajuće procene jediničnog vremena.

Implementacija vremenskih jednačina vrlo je jednostavna uz primenu integrisanih informacionih sistema jer oni već sadrže podatke o nalozima za isporuku, pakovanju, distribuciji i drugim važnim karakteristikama proizvoda (Barndt *et al* 2015) Zahvaljujući tome, moguće je da se vrlo brzo aktivira jednostavni proračun, koji testira postojanje mogućih karakteristika koje utiču na potrošnju resursa, vremenski zahtevi za bilo koju aktivnost, budući da u promenljivim uslovima poslovanja aktivnosti gotovo nikada ne konzumiraju isti obim resursa.

Preciznost TDABC modela bazirana je na njegovoj sposobnosti da obuhvata zahteve za resursima svih operacija, jednostavnim dodavanjem elemenata u vremenske jednačine pojedinih odeljenja. Tradicionalni obračun troškova po aktivnostima, da bi obuhvatio povećanu kompleksnost operacija, zahtevao bi dekomponovanje operacija odeljenja na posebne aktivnosti i na kraju svakog obračunskog perioda ponovno intervjuisanje zaposlenih o potrebnom vremenu za svaku od aktivnosti. Čitavu tu proceduru TDABC eliminiše, omogućavajući da se sve ove aktivnosti kombinuju u jedinstven proces samo sa jednom jednačinom. Takav model zahteva manje jednačina od broja aktivnosti koje se koriste u tradicionalnom sistemu, ali u isto vreme dozvoljava mnogo veću raznolikost i kompleksnost operacija. Priroda ovog modela je dinamička, budući da odražava stvarnu aktivnost u svakom periodu. Posebnu upotrebnu vrednost za menadžment vremenske jednačine imaju u simulaciji budućih poslovnih tokova. Jednačine obuhvataju glavne faktore tražnje za kapacitetom, uključujući promenu efikasnosti procesa, proizvodnog miksa i obima proizvodnje, kanala distribucije i dr. U tom smislu, daju doprinos efektnom upravljanju troškovima.

U računovodstvenoj literature se ističe da TDABC u poređenju sa tradicionalnim ABC sistemom brže obezbeđuje značajne informacije za upravljanje troškovima preduzeća, da ima niže troškove održavanja i da omogućava:[1]

- Jednostavnu i brzu izgranju modela koji obezbeđuje povećanu tačnost produkovanih informacija;
- Dinamičnost i niži nivo zavisnosti od ljudske intervencije, budući da se dobro integriše sa već postojećim podacima u ERP (Enterprise Resource Planning) sistemu;
- Uspešnije sagledavanje efikasnosti procesa i korisnosti kapaciteta. Pružanje detaljnih informacija koje omogućavaju identifikovanje uzroka problema na njihovim izvorištima;
- Olakšano budžetiranje;
- Efikasano održavanje modela;
- Dizajniranje preciznih modela troškova u okruženju sa kompleksnim aktivnostima, kao što su kompanije za distribuciju, logistiku, pružanje usluga, u zdravstvu ali i ostalim sektorima.

Tradicionalni obračun po aktivnostima podrazumeva sprovođenje obimnih istraživanja zaposlenih da bi se identifikovalo kako oni troše svoje vreme u obavljanju aktivnosti, što zahteva puno vremena, visoke troškove i predstavlja najvažniju barijeru njegove šire primene. Kod TDABC pristupa polazi se od prosečne sposobnosti zaposlenih da izvršavaju operaciju, te se i praktični kapacitet iskazuje kao procenat teorijskog

[1] http://www. sas.co m/news /sascom/2008q 2/ feature_ abc.h tml, 15.04.2019. godine.

kapaciteta. Upravo on i otpočinje procenama praktičnog kapaciteta, čime se od samog početka kreira realniji pregled raspoloživosti resursa. Zahvaljujući tome TDABC omogućava izveštavanje menadžmenta o troškovima na tekućoj osnovi, koja otkriva i troškove poslovnih aktivnosti i potrošeno vreme za njih. Takođe, pruža informacije o iskorišćenom i neiskorišćenom kapacitetu, čime stvara mogućnost preispitavanja neiskorišćenog kapaciteta ili uočavanja eventualnih uskih grla. Posebno važno je da se model ažurira na bazi događaja koji zahtevaju procenu, a ne prema kalendaru, kvartalno ili godišnje (Atkinson *et al* 2004),

U literaturi postoje mišljenja da TDABC model ne predstavlja tako veliku inovaciju budući da je i tradicionalni obračun troškova po aktivnostima u mogućnosti da koristi vreme kao uzročnik troškova, tj. uzročnike bazirane na trajanju. Međutim, korišćenje tih „vremenskih" uzročnika troškova u tradicionalnom obračunu se primenjuje na fundamentalno drugačiji način, jer ih ovaj sistem primenjuje u drugoj fazi alokacije troškova, nakon dodeljivanja troškova resursa aktivnostima. Uzročnici troškova bazirani na vremenu u tradicionalnom obračunu troškova po aktivnostima, samo delimično povećavaju preciznost merenja troškova, jer na prvu fazu alokacije ne utiču. U novom modelu vreme se koristi za direktan prenos troškova resursa na nosioce troškova, izbegavajući dvostepenu alokaciju.

Izgradnja održivog modela obračuna i upravljanja troškovima trebalo bi da bude motivisana ostvarenjem ciljeva obračuna troškova po aktivnostima, pre svega donošenjem kvalitetnijih poslovnih odluka. Činjenica je da novi model ima prednosti u odnosu na tradicionalni u pogledu dostizanju postavljenih ciljeva, ali nema uvek drastičnog pojednostavljenja procesa kreiranja i upravljanja modelom, kao ni značajnog smanjanja troškova implementacije i funkcionisanja. Zato, trebalo bi razmotriti njihovu komplementarnost, odnosno mogućnost dopune tradicionalnog obračuna troškova po aktivnostima, a ne njegovu isključivu zamenu TDABC pristupom, budući da oba mogu biti primenjivana u različitim uslovima u skladu sa svojom namenom i svrhom.

5. KOMPATIBILNOST TDABC I LEAN KONCEPTA

Uspešna implementacija Obračuna troškova po aktivnostima, neminovno, rešava neke od problema koje iskazuju tradicionalni sistemi obračuna troškova, prvenstveno problem arbitrarne alokacije opštih troškova. Ipak, nameće se pitanje, da li se pojavom ABC-a rešava problem organizacije računovodstva troškova lean kompanija, odnosno, da li je ABC pristup obračunu troškova i u kojoj meri kompatibilan sa *lean* konceptom poslovanja.

U narednoj tabeli dat je pregled zahteva *lean* koncepta poslovanja, kao i podobnosti ABC-a da na konkretne zahteve odgovori.

Tabela 1: ABC u lean poslovnom okruženju

	***Lean* koncept poslovanja**	**Activity Based Costing**
Originalna svrha	Redukovanje gubitaka i povećanje efikasnosti	Tačniji obračun troškova proizvoda za svrhe odlučivanja
Dodatna svrha	Filozofija konstantnih unapređenja	Osnova ABM-a
Period razvoja	1950-1960	1910. ali zaživeo 1980.
Koncept optimizacije	Promoviše optimizaciju celog sistema	Nije istaknut
Akcenat na unapređenju	Kaizen za dostizanje perfekcije uz upotrebu Plan-Do-Check-Action tehnike	Nije naglašen, ali ističe kroz proces analize aktivnosti
Vremenski okvir	Dugoročni process unapređenja	Dugoročna usmerenost na varijabilne troškove
Osnovni focus koncepta	Preduzeće kao celina, kooperacija i sinergija	Alokacija troškova radi utvrđivanja što tačnijih troškova objekata trošenja
Tačnost troškova proizvoda	Dosta precizno	Dosta precizno
Kontrola proizvodnje	Pull system uz pomoć Kanbana	Ne ističe se
Alokacija opštih troškova	Povezivanje svih troškova u okviru proizvodnih ćelija	Alokacija najpe na aktivnosti a zatim na proizvode upotrebom brojnih uzročnika troškova
Preciznost troškova	Prilično precizno	Prilično precizno

proizvoda		
Nivo zaliha	Minimalan	Ne ističe se
Gubici (trošenja)	Akcenat na eliminisanju	Ne ističe se, dobija na značaju sa pojavom ABM-a
Kapacitet	Akcenat na balansiranju kapaciteta i toka posla	Merenje neiskorišćenog kapaciteta radi upravljanja kapacitetom
Kvalitet	Kvalitet na izvoru: Jidoka	Ne ističe se
Merenje performansi	Finansijski ali na značaju dobijaju i nefinansijski pokazatelji: kvalitet, isporuka na vreme i sl.	Troškovi na nivou proizvoda, usluga, aktivnosti, kupaca sve sa ciljem merenja profitabilnosti

Prema: http://www.maaw.info/TradABCJITTOC.htm, 03.05.2019.

ABC predstavlja pristup obračunu troškova koji može biti primenjen nezavisno od toga da li se radi o lean ili nelean preduzećima. Njegova inicijalna svrha bila je utvrđivanje preciznije cene koštanja učinaka, iako su mu informacioni dometi mnogo dalji. Izvesno je da analiza aktivnosti, koje su u fokusu ovog pristupa, i ispitivanje njihove profitabilnosti sa ciljem utvrđivanja onih koje dodaju i onih koje ne dodaju vrednost, ima izuzetan značaj u *lean* poslovnom okruženju imajući u vidu da focus *lean* koncepta jeste upravo na eliminisanju svih suviših trošenja, pa time i onih aktivnosti koje nisu profitabilne. Na primer, kada se značajno redukuje planiranje proizvodnje usled efikasnog funkcionisanja pull sistema tražnje, neki od radnika iz proizvodnog planiranja mogu biti trenirani za izvođenje aktivnosti koje dodaju vrednost unutar lanca vrednosti kao sto su kupovina i kontrola kvaliteta (Hansen and Mowen 2013). ABC, za razliku od *lean*-a ne naglašava eksplicitno potrebu za kontinuiranim poboljšanjima, ali izvesno je su upravljačke odluke bazirane na informacijama koje generiše ABC usmerene i ka tom cilju.

Iako primenljiv, ABC pokazuje izvesna ograničenja pri implementaciji u lean kompanijama. Najpre, ove kompanije se organizuju ne oko aktivnosti, već oko tokova vrednosti, čime se stvara potreba za kreiranjem pristupa koji će moći da prati troškove na nivou toka vrednosti. Uz to, jedan od glavnih nedostataka baznog ABC modela jeste upravo njegova prevelika kompleksnost, kao i troškovi koje implementacija i održavanje sistema nose sa sobom. To je u potpunosti u koliziji sa glavnim principima *lean* koncepta koji insistira na redukciji troškova i jednostavnosti. Dodatni problem povezan sa baznim modelom tiče se i njegove nemogućnosti da identifikuje neiskorišćen kapacitet, o čemu *lean* koncept poslovanja posebno vodi računa. Ova dva nedostatka su u velikoj meri otklonjena unapređenom varijantom ABC-a predstavljenoj u obliku TDABC-a, ali ne u potpunosti. ABC je sasvim opravdano u ranim fazama *lean* implementacije, ali vremenom svi prethodno navedeni problem još intenzivnije dobijaju na značaju, što stvara potrebu za pronalaženjem nekog adekvatnijeg rešenja.

6. ZAKLJUČAK

Tradicionalni sistemi obračuna troškova, prilagođeni stabilnom poslovnom okruženju, primenjivi u preduzećima masovne proizvodnje, ne obezbeđuju tačne i pouzdane informacije o troškovima. Stoga se, kao jedna od mogućnosti pred lean kompanije postavlja Obračun troškova po aktivnostima . Bazni ABC, uprkos određene kompatibilnosti sa principima *lean* koncepta, ne smatra se najpogodnijim rešenjem, jer dug, skup i komplikovan proces implementacije i odražavanja sistema nije u skladu sa *lean* idejom o jednostavnosti i uštedama. Naprednija verzija, u vidu Obračuna troškova po aktivnostima baziranog na vremenu, predstavlja prigodnije rešenje, prvenstveno u ranijim fazama implementacije lean principa. Ovome, dominantno, doprinosi šira primena integrisanih softverskih rešenja. Računovodstvo troškova bazirano na obračunu troškova po aktivnostima je strategijski orijentisano, jer je okrenuto upravljanju preduzećem, dok su ERP sistemi operativnog karaktera, ali njihovim integrisanjem bi trebalo iskoristiti pozitivne strane oba sistema, odnosno, model ABC alokacije trebalo bi primeniti unutar ERP sistema. Integrisani ABC model je tačniji, analitičniji i fleksibilniji, prouzrokuje promene u celokupnom sistemu računovodstva troškova, štedeći vreme i novac, i time postaje kritičan faktor uspeha preduzeća organizovanih po lean principima.

LITERATURA

[1] Atkinson, A.A., Kaplan, S.R., Young, S.M. (2004). Management Accounting. Pearson Education Int., New Jearsy.

[2] Barndt, R., Ochlers, P., Soltis, G., (2015). Time-driven activity-based costing: A powerful cost model. Today s CPA March/April 2015, p. 24

[3] Everaert, P., Bruggeman, W., (2007). Time-Driven Activity-Based Costing: Exploring the Underlying model. Cost Management, march/april, Pp.16-20.

[4] Hansen, D.R. and Mowen, M.M. (2013), Cornerstones of Cost Management. South-Western, Cengage Learning.

[5] http://www. sas.co m/news /sascom/2008q 2/ feature_ abc.h tml, 15.04.2019. godine.

[6] http://www.maaw.info/TradABCJITTOC.htm, 03.05.2019.

[7] Jablan Stefanović, R. (2018). Interni obračun. Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta u Beogradu.Beograd.

[8] Jiambalvo, J. (2010). Managerial Accounting. New York: John Wiley & Sons, Inc.

[9] Kaplan S. R., Anderson R. S. (2007). The Innovation of Time-Driven Activity-Based Costing.Cost Management, march/april, 5-15.

[10] Maskell, B., What is lean accounting, preuzeto sa: http://www.maskell.com, 29.04.2019.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

RAZVOJ SPREDŠIT MODELA ZA UPRAVLJANJE ZALIHAMA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJIPRIMENOM DŽEKSONOVOG STRUKTURNOG DIJAGRAMA

DEVELOPMENT OFSPREADSHEET MODEL FOR INVENTORY CONTROL IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY BASED ON THE JACKSON STRUCTURED DIAGRAM

LENA ĐORĐEVIĆ MILUTINOVIĆ[1],DANICA SAVIČIĆ[2],SLOBODAN ANTIĆ[3]

[1]Fakultet organizacionih nauka, Beograd, lena.djordjevic.milutinovic@fon.bg.ac.rs
[2]Fakultet organizacionih nauka, Beograd, dunja.danica@gmail.com
[3] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, slobodan.antic@fon.bg.ac.rs

---

Rezime:*Primena spredšit modela i aplikacija u različitim oblastima beleži značajan rast u poslednjih nekoliko decenija, s obzirom da često predstavljaju osnovu za razvoj sistema podrške odlučivanju u savremenom poslovanju. U skladu sa značajem spredšitova u svakodnevnim poslovnim aktivnostima razvijena je disciplina spredšit inženjerstvo. Spredšit inženjerstvo, bazirano na principima softverskog inženjerstva,odnosi se na različiteaspekte kreiranja i upotrebe spredšitova, odnosno životni ciklus spredšit modela i aplikacija. Deo ove oblasti usmeren je na predupređenje i detekciju grešaka koje nastaju prilikom modelovanja, kako bi se redukovalo donošenje pogrešnih odluka u poslovanju. U cilju predupređenja grešaka, teži se projektovanju modela pre njihove implementacije primenom pristupa i metoda za razvoj modela i aplikacija. U ovom radu predstavlja se pristupbaziran na Džeksonovom strukturnom dijagramu, koji ćebiti prikazan i opisanna primeru modela za upravljanje zalihama u automobilskoj industriji, implementiranog kroz spredšit aplikaciju.*

Ključne reči:*Spredšit inženjerstvo, Spredšit model, Džeksonov strukturni dijagram, Upravljanje zalihama.*

Abstract:*Usage of spreadsheet models and applications in different areas is significantly increasedwithin the last fewdecades, since they are often the basis for the development of decision support systems in the modern business world. Spreadsheet engineering area is developed in accordance with the importance of spreadsheets for everyday business activities. Spreadsheet engineering is based on the software engineering principles and relates to various aspects of spreadsheet creation and usage, i.e. life cycle of spreadsheet models and applications. Important part of this field representsdetection and prevention of errors that occur during the modelling,aimed atreduction ofwrongbusiness decisions. In order to prevent errorsmodellers should design model beforeits implementation. The design process should be realisedin accordance with approaches and methods for model and application development.This paper presents an approach based on the Jackson structured design, which will be described on the example of inventory control model in the automotive industry, implemented through the spreadsheet application.*

Keywords:*Spreadsheet engineering, Spreadsheet model, Jacksonstructured diagram, Inventory control.*

1. UVOD

Spredšit inženjerstvo može se okarakterisati kao primena principa softverskog inženjerstva prilikom kreiranja spredšit modela i aplikacija (Đorđević, 2017). Jedan od osnovnih ciljeva razvoja ove oblasti je predupređenje, detekcija i analiza grešaka u spredšit modelima i aplikacijama. Popularizacija spredšit inženjerstva u skladu je sa opažanjima stručnjaka iz različitih oblasti poslovanja, ali i rezultatima brojnih istraživanja koja ukazuju na intenzitet i opasnost grešaka u izveštajima i analizama baziranim na spredšit alatima i tehnikama (Cullen 2003, Wailgum 2007, Powell et al. 2009, Panko and Aurigemma 2010,SSRB 2016,FAST 2016, Bailey et al. 2018). Greške u spredšitovima uzrokuju donošenje pogrešnih odluka u poslovanju, a kao najopasnije mogu se navesti one u logičkoj strukturi modela, koje je teško detektovati. Istraživanja pokazuju da su upravo grešake koje se odnose na strukturu modela, kao I primenu različitih matematičkih proračuna, neke od najčešćih spredšit grešaka. Osnovni zaključak koji su naučnici iz oveo blasti doneli je da modelari i programeri u velikom broju slučajeva nemaju dovoljno znanja i kompetencija iz oblasti spredšit inženjerstva i da je neophodno aktuelizovati ovu temu, kako bi se sva znanja iz relevantnih oblasti prikupila na jednom mestu i postavila osnova daljih istraživanja (Knight et al., 2000).

Osnovni cilj istraživanja prikazanog u ovom radu je razvoj spredšit modela za rešavanje problema upravljanja zaliha u preduzeću iz automobilske industrije, od faze projektovanja modela do njegove implementacije u spredšit okruženju. Nakon uvodnog, u drugom poglavlju rada predstavljen je matematički model za upravljanje zalihama u automobilskoj industriji, kao osnova za razvoj spredšit modela. Kroz matematički model definisanje problem koji treba rešiti, sa relevantnim ograničenjima i odgovarajućom ciljnom funkcijom. U trećem poglavlju, kako bi se model predstavio u spredšit okruženju, koristi se Džeksonov strukturni dijagram kao podrška razvoju i implementaciji datog modela.

2. MODEL ZA UPRAVLJANJE ZALIHAMA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

Složenost poslovanja u automobilskoj industriji, izazvana pojačanom konkurencijom i raznovršnošću proizvoda, rezultujepoteškoćama u odvijanju logističkih procesa (Humphrey and Memedović 2003).Kako se adekvatno upravljanje lancima snabdevanja smatra konkurentskom prednošću na današnjem tržištu, preduzeća su u obavezi da ovo poslovanje učine što efikasnijim. Podizanje efikasnosti u lancima snabdevanja uzrokuje povišene troškove poslovanja, pri čemu se jedan od najznačajnijih troškovnih aspektaodnosi na zalihe.Jedan od osnovnih problema upravljanja zalihama predstavlja uspostavljanje ravnoteže između ponude i tražnje, odnosno uravnoteženje nesklada koji se javlja među njima (Antić 2014).Kompleksnost ovog procesa čini uzajamna povezanost dobavljača i preduzeća, ali i uticaj ostalih članova lanca. Primer koji se analizira u ovom radu podrazumeva sledeću situaciju. Da bi preduzeće *P*zadovoljilo tražnju za proizvodima iz asortimana *A*, ono mora obezbediti raspoloživost materijala potrebnih dobavljačima D_1 i D_2 da bi napravili gotove proizvode asortimana *A*. Značajno ograničenje, pored kapaciteta dobavljača, koji su manji od nedeljnih potreba preduzeća *P*, je i ograničena raspoloživost sirovinaM_{ij} na tržištu. Za preduzeće *P*, troškovno je efikasnije da snabdeva dobavljače sirovinamaM_{ij}koje su im potrebne za proizvodnju proizvoda asortimana *A*. Međutim, kada to nije moguće, dobavljači mogu iz sopstvenih izvora nabaviti ove materijale.Planiranje potreba i naručivanje u preduzeću *P* za dati asortiman proizvoda vrši se na nedeljnom nivou. Za postojeći problem određivanja količine naručivanjagotovih proizvoda od dobavljača kako bi se zadovoljla tražnja kupaca, definisan je matematički model. U cilju prikaza modela za upravljanje zalihama preduzeća *P*, biće korišćene sledeće oznake:

- D_d - dobavljač preduzeća *P*, *d*=1,2;
- *n* - ukupan broj proizvoda asortimana *A*;
- A_i - proizvod asortimana *A*, preduzeća *P*,*i*=1,…*n*;
- *m* - ukupan broj materijala;
- M_{ij} - materijal potreban za izradu *i*-te vrste proizvoda iz asortimana *A*,*i* =1,…*n*;*j*=1,…*m*;
- M_{ijd} - potrebna količina materijala *j* za realizaciju nedeljne proizvodnje proizvoda *i*od strane dobavljača*d*,*i*=1,…*n*;*j*=1,…*m*; *d*=1,2;
- N_{ij}- normativ materijala *j*za proizvod *i*,*i*=1,…*n*;*j*=1,…*m*;
- O_{id}- minimalna količina naručivanja proizvoda*i*od dobavljača *d*,*i*=1,…*n*;*d*=1,2;
- K_d - ukupan raspoloživi nedeljni kapacitet dobavljača *d*, *d*=1,2;
- x_{id} - binarna promenljiva koja uzima vrednost 1 ukoliko se proizvod *i*nabavlja od dobavljača*d*, i 0 ukoliko se *i*-ti proizvod ne nabavlja od dobavljača*d*, *i*=1,…*n*;*d*=1,2;
- Q_i- potrebna količina naručivanja proizvoda *i* iz asortimana *A*,*i*=1,…*n*.

Promenljiva $Q_i$predstavlja količinu proizvoda *i*, asortimana *A*,koju treba naručiti od dobavljača *d* kako bi se zadovoljila tražnja.Funkcija cilja definisana je kao maksimizacija ukupne količine naručivanja proizvoda asortimana*A*od dobavljača*D1* i *D2*, jer je ukupni kapacitet dobavljača manji od nedeljnih potreba preduzeća *P*. Pri čemu se posmatra suma naručenih proizvoda od oba dobavljača zbog toga što njihova zajednička mogućnost proizvodnje doprinosi zadovoljenju tražnje za proizvodima asortimana *A*.Upravljački model prikazan jerelacijamau nastavku:

$$\max_i f(Q_i) = \sum_{d=1}^{2} \sum_{i=1}^{n} Q_i * x_{id} \tag{1}$$

p.o.

$$\sum_{d=1}^{2} x_{id} = 1\,, \quad i = 1,..n \tag{2}$$

$$x_{id} = \{0,1\}$$

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i * x_{id} \leq K_d \ , \ \ d = 1{,}2 \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{ijd} * x_{id} \geq \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} O_{id} * N_{ij} \quad d = 1{,}2 \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i * x_{id} \geq O_{id}, \qquad d = 1{,}2 \tag{5}$$

Prilikom rešavanja problema, neophodno je voditi računa o ograničenjima modela. Ograničenje prikazano relacijom(2), ukazuje na to da suma promenljivih x_{id}, koja predstavlja binarnu promenljivu i može uzeti vrednost 0 ili 1 u zavisnosti od dobavljača *d* koji preduzeće snabdeva proizvodom *i*, treba da bude jednaka jedinici. Ovo ograničenje označava da se jedan proizvod može naručiti samo od jednog dobavljača. Drugo ograničenje (3), prikazuje da suma količine naručivanja svih proizvoda *i*treba da bude manja ili jednaka nedeljnom kapacitetu dobavljača K_d. Ograničenje prikazano relacijom (4)govori da količina materijala M_{ijd} koja se isporučuje dobavljač*u d* za proizvodnju proizvoda*i* mora biti veća ili jednaka proizvodu minimalne količine naručivanja definisane parametrom O_{id}i normativa zaproizvodnju proizvoda. Poslednje ograničenje (5) prikazuje da količina naručivanja Q_i treba da bude veća ili jednaka minimalnoj količini naručivanja proizvoda*i*od dobavljač*a d*. Kako bi se ostvarila što veća vrednost funkcije cilja postavljenog modela, neophodno je odrediti vrednosti promenljivih u skladu sa ograničenjima modela, ciljevima i kriterijumom efikasnosti.

3. PRIMENA DŽEKSONOVOG STRUKTURNOG DIJAGRAMA U RAZVOJU SPREDŠIT MODELA

Savremeno upravljanje poslovanjempodrazumeva razvoj i primenu modela, koji će omogućiti da se simualcijom ili optimizacijom odrede dopustiva rešenja problema. Spredšitovi predstavljaju okruženje koje krajnjim korisnicima omogućava relativno jednostavan razvoj modela za podršku odlučivanju, bez striktnih pravila.Spredšit upravljački modeli implementiraju konceptualni matematički model, koji odražava znanje i iskustvo domenskog eksperta. Međutim, ovi modeli su podložni nastanku grešaka, usled procesa razvoja koji uključuje prevođenje verbalnih i matematičkih izraza u spredšit formule i funkcije. Krajnji korisnici obično nisu profesionalni programeri i nisu upoznati sa pravilima razvoja modela, kao ni softverske implementacije, što rezultuje nizom grešaka i lošim dizajnom modela i aplikacija. Greške se, usled nedovoljne obučenosti korisnika, lako prave, ali vrlo teško uočavaju. Primena znanja i iskustava, grupisanih i uobličenih u okviru oblasti spredšit inženjerstva, ima potencijal da unapredi razvoj spredšit modela i aplikacija, kao i da omogući predupređenje, detekciju i analizu grešaka u njima. U ovom radu biće korišćen Džeksonov strukturni dijagram kao podrška razvoju i implementaciji opisanog modela u spredšitu. Iako je model razvijen u celosti, u nastavku će biti prikazan samo jedan deo spredšit implementacije zbog ograničenja broja strana.

Kako se navodi u (Rajalingham et al. 2008) spredšit modeli se mogu prikazati u formi Džeksonovog strukturnog dijagrama (Jackson 1975), koji se može koristiti za mapiranje koda programa. Autori ovog rada predlažu metodologiju za primenu strukturnog algoritma u kreiranju spredšit modela. Algoritam se sastoji odsedam osnovnih faza(specifikacija i dizajn izlaza, konceptualni dizajn radne sekcije, logički dizajn radne sekcije, konstruisanje strukture radne sekcije, konstruisanje strukture izlazne sekcije, implementacija funkcija i međuodnosa,kompletiranje izlazne sekcije) i biće korišćen za implementaciju prethodno opisanog upravljačkog modela u spredšit okruženju. Metodologija prikazana u (Rajalingham et al. 2008) se zasniva na strukturiranoj analizi podataka, čiji je ishod prikazan u viduDžekson strukture. Ovakva analiza omogućava jednostavnu modularizaciju, a pojedinačni moduli se mogu predstavitiu formiblokovske strukture programa. Prednosti strukturiranog formata su razumljivost, lakoća održavanja i smanjenje grešaka (Knight et al. 2000). Prema (Ourusoff 2003), bazična ideja Džeksonove strukture je da modelom predstave strukturu informacionog sistema u skladu sa stvarnim objektima i njihovim aktivnostima. Džeksonovo strukturirano programiranje (engl. *Jackson Structured Programming* - JSP) predstavlja dokazanu i dobro dokumentovanu metodu projektovanja programa, nezavisnu od jezika koji se u te svrhe koristi. Struktura je definisana vezama između delova celine. Programi se sastoje od dva tipa komponenti: kompozitnih i elementarnih. Kompozitne komponente, koje imaju jedan ili više delova, su tri kontrolne strukture strukturiranog programiranja: sekvenca od dva ili više dela koji se pojavljuju jedan za drugim, redom; selekcija koja se

sastoji od dva ili više delova, od kojih je samo jedan odabran jednom; iteracija se sastoji od jednog dela koji se ponavlja nula ili više puta.

3.1 Specifikacija i dizajn izlaza

Definisanje izlaznih elementa spredšit modela mora biti u skladu sa potrebama onih koji ga koriste u svrhe donošnja odluka. Cilj prikazanog modela za upravljanje zalihama je određivanjekoličine naručivanjaod dobavljača*D1* i *D2*koja zadovoljava potrebe preduzeća.Izlaz modelapredstavljaizveštaj o količinamaproizvoda koji se naručuju i vremenskim periodima kada je potrebno imati ih na stanju, kako bi se zadovoljile potrebe kupaca. Podaci koje izveštaj treba da sadrži mogu se podeliti u nekoliko grupa: podaci o proizvodu (šifra proizvoda, naziv proizvoda i projektovani datum potrebe za proizvodom), rezultat kalkulacije (proračunata količina naručivanja) i podaci o materijalu (šifra materijala i raspoloživa količina za naručivanje).

3.2 Konceptualni dizajn radne sekcije

U skladu sa definisanim izlazima modela potrebno je konstruisati konceptualni dizajn radne sekcije, koji prikazuje međuproračune i finalne proračune. Prvi korak konceptualnog modela je identifikacija elemenata ili funkcija najvišeg nivoa, koji nemaju sledbenike (engl. *root elements*). Na vrhu hijerahije pozicioniraju seosnovni elementi, a ispod njih se nalaze direktni prethodnici. Po istom principu, svaki element se nalazi ispod elementa čiji je direktni prethodnik. Cilj ove faze je vizualizacija direktnih zavisnosti u modelu. Ukoliko se osnovni element predstavlja kroz višestruke instance, gde svaka odgovara različitom vremenskom periodu, grupi ili kategoriji, to se prikazuje kao odgovarajuće označena iteracija sa osnovnim elementom ispod. Pristup odozgo naniže ne dozvoljava dupliranje elemenata i omogućava predstavljanje instanci sa višestrukim zavisnostima određenog elementa modela.U slučaju primera razvoja modela za upravljanje zalihama ova faza prikazuje strukturu osnovne kalkulacije količine koju treba naručiti od dobavljača kako bi se: utvrdila realna tražnja za gotovim proizvodima, utvrdilo realno stanje materijala i utvrdila količina koju treba naručiti od dobavljača. Konceptualni dizajn radne sekcije prikazan je Slikom 1.

Slika 1: Konceptualni dizajn radne sekcije

3.3 Logički dizajn radne sekcije

Konceptualni dizajn jednostavnih spredšit modela rezultuje strukturnim dijagramom u formi stabla. Međutim, kod kompleksnijih modela se može javiti forma grafa sa petljama na vezama između elemenata, koju je u okviru faze logičkog dizajna radne sekcije potrebno transformisati u formu stabla.U te svrhe definisana su dva pravila (Rajalingham et al. 2008).Prvo pravilo podrazumeva dupliranje elementa koji imaju više od jednog sledbenika. Prethodnici ovih elemenata modela nisu uključeni u prikaz strukture u ovoj fazi.Drugo pravilo nalaže da se prethodnici dupliranih elemenata predstavljajukao odvojeni modulu formi drveta. Modul se prikazuje sa dupliranim elementom na vrhu, ispod kojeg su grane koje prikazuju vezu sa njegovim prethodnicima.Logički dizajn radne sekcije modela za upravljanje zalihama u automobilskoj industriji, razvijen u skladu sa opisanim pravilima, prikazan je Slikom 2. U ovom slučaju, element minimalna količina naručivanja predstavlja prethodnika dva elementa modela. Kako ovaj element nema svoje prethodnike nije bilo potrebno prikazivati dodatni modul.

Slika 2: Logički dizajn radne sekcije

3.4 Konstruisanje strukture radne sekcije

Konstruisanje strukture radne sekcije predstavlja spredšit prikaz strukture definisane logičkim dizajnom. Ova faza zasnovana je na principu razdvajanja koji se primenjuje na zaglavljima redova i odgovarajućim vrednostima. Vrednosti se razdvajaju dodeljivanjem spredšit kolone svakom nivou koji je potrebno razdvojiti. Takozvane, virtuelne kolone podrazumevaju da se elementi modela sa istog nivoa hijararhije predstavljaju u istoj koloni, sa leva na desno, pri čemu svaki red sadrži samo jednu funkciju.Slika 3 predstavlja strukturu radne sekcije modela za upravljanje zalihama prikazanog u poglavlju 2. U prvom redu radne sekcije predstavljen je rezultat, odnosno vrednost elementa koji je u strukturi modela prikazan na najvišem nivou hijerarhije. Ispod su predstavljeni prethodnici, sa svojim direktnim prethodnicima.

Narudžbina gotovog proizvoda	Formula		
Izvedene potrebe gotovog proizvoda		Formula	
Osnovne potrebe gotovog proizvoda			Formula
Minimalna količina naručivanja			Formula
Raspoloživo stanje materijala		Formula	
Stanje materijala iz sistema			Formula
Rezervisana količina materijala			Formula
Minimalna količina naručivanja		Formula	

Slika 3: Konstruisanje strukture radne sekcije

3.5 Konstruisanje strukture ulazne sekcije

Korak konstruisanja strukture ulazne sekcije podrazumeva definisanje posebne sekcije za unos podataka. Na ovaj način se obezbeđuje preglednost i preciznost prilikom unosa podataka, što je važno jer se ćelije za unos uglavnom pozivaju iz više formula. Ovakvom organizacijom spredšita smanjuje se mogućnost nastanka greške prekucavanja formula.Za predstavljeni primer upravljanja zalihama ulazne podatke čine:minimalna količina naručivanja po svakom proizvodu A_i, osnovne potrebe gotovog proizvoda, stanje materijala iz sistema, rezervisana količina materijala.

3.6 Primena funkcija i međuodnosa

Primena funkcija i međuodnosa predstavlja segment u kome se prikazuje međusobna povezanost elemenata modela preko kalkulacija izraženih u vidu formula.Prilikom sastavljanja kalkulacije, koriste se različite vrste funkcija, kako po svojoj prirodi i mogućnosti primene, tako i prema kompleksnosti. Najprostije funkcije su one koje služe za preuzimanje predefinisanih podataka iz baza. Kompleksnije funkcije na najnižem nivou vrše povezivanje i poređenje skupa podataka kako bi rezultirale određenim izlazima, koji se dalje koriste unutar kalkulacija. Ove vrste funkcija mogu postojati na različitim nivoima hijerarhijske strukture, pri čemu se njihova kompleksnost povećava sa povećanjem nivoa u strukturi. Najkompleksnije funkcije su one koje menjaju stanje modela i uglavnom predstavljaju krajnji rezultat simulacije.Na Slici 4 su prikazane formule koje omogućavaju proračun i povezivanje elemenata predstavljenog modela.

3.7 Kompletiranje izlazne sekcije

Kompletiranje izlazne sekcije je finalni korak razvoja modela, koji podrazumeva definisanje izlaza na osnovu prethodno prikazanih ulaznih vrednosti i proračuna. Za razmatrani primer odnosi se na popunjavanje definisane izlazne sekcije odgovarajućim podacima, tj. unos formula koje će automatski popuniti izlaznu sekciju podacima. Izlazna sekcija projektovanog modela biće izveštaj u formi narudžbenice gotovih proizvoda koja se šalje dobavljačima sa prikazom gotovih proizvoda koje treba naručiti, raspoložive količine materijala i ostalih relevantih informacija (šifre materijala, prioriteti za raspoređivanje ograničenih kapaciteta proizvodnje dobavljača, datumi isporuke).

Narudžbina gotovog proizvoda	=IF(OR(D17<D20;D17=0);"Nema dovoljno materijala";IF(D14<D17;D14;D17))		
Izvedene potrebe gotovog proizvoda		=IF(E15>E16;E15;IF(E15/E16<0,6*E16;0;E16))	
Osnovne potrebe gotovog proizvoda			=IF(VLOOKUP("P0001";Baza!A:B;2;0)="D1";SUMIFS(Potrebe!D:D;Potrebe!B:B;"P0001";Potrebe!C:C;"<" & TODAY()+52);SUMIFS(Potrebe!D:D;Potrebe!B:B;"P0001";Potrebe!C:C;"<" & TODAY()+66))
Minimalna količina naručivanja			=VLOOKUP("P0001";Baza!B:C;2;0)
Raspoloživo stanje materijala		=E18-E19	
Stanje materijala iz sistema			=SUMIF('Stanje materijala'!B:B;"P0001";'Stanje materijala'!D:D)
Rezervisana količina materijala			=SUMIFS('Rezervisana kol. mat.'!F:F;'Rezervisana kol. mat.'!A:A;"P0001";'Rezervisana kol. mat.'!H:H;"")
Minimalna količina naručivanja		=VLOOKUP("P0001";Baza!B:C;2;0)	

Slika 4: Primena funkcija i međuodnosa

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je postupak projektovanja modela za određivanja količine naručivanja proizvoda iz izabranog asortimana.Prikazanje teoretskipristup za razvoj spredšit modela i aplikacija, baziran na principu iz oblasti softverskog inženjerstva.Algoritam baziran na Džeksonovom strukturnom dijagramu, originalno prikazan u radu (Rajalingham et al. 2008), korišćen je za razvoj modela definisanog problema u spredšitu.Model je simulacionog karaktera i osnova je za razvoj optimizacionog modela upravljanja zalihama u kome bi se određivala optimalna količina naručivanja pri datim ograničenjima. Proširenje modela, kao mogući pravac budućih istraživanjamože se odnositi na uvođenje referentnih delova procesa definisanih od strane dobavljača. To mogu biti količina materijala koju dobavljači mogu sami nabaviti na tržištu, kao i raspoloživost ostalih komponenti koje dobavljači koriste kako bi proizveli gotove proizvode. Na ovaj način bi se omogućilo šire sagledavanje procesa i raspoloživosti svih potrebnih kapaciteta da bi se gotov proizvod dostaviokrajnjim korisnicima.

Fokus ovog rada je bio i prikazpristupa za razvoj spredšit modela koji za cilj imaunapređenje procesa implementacijeu navedenomokruženju. Iako je model razvijen i implementiran u spredšit alatu *MS Excel*, dalji tok istraživanja bi mogao biti usmeren i na projektovanjespredšit aplikacije, što bi predstavljalodrugi segment oblasti spredšit inženjerstva.

LITERATURA

[1] Antić, S. (2014). *Modeli i metode upravljanja zalihama zasnovani na metaheuristikama*, Doktorska disertacija, Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

[2] Bailey, S. L., Bono, R. S., Nash, D., & Kimmel, A. D. (2018). Implementing parallel spreadsheet models for health policy decisions: The impact of unintentional errors on model projections. *PloS one*, *13*(3).

[3] Cullen, D. (2003). Excel snafu costs fi rm $24 m. The Register, June, 19. dostupno na: http://www.theregister.co.uk/2003/06/19/excel_snafu_costs_firm_24m/, pristupljeno 30. Maj 2019.

[4] Đorđević, L. (2017). *Spredšit inženjerstvo u kontekstu detekcije i ispravke grešaka u dinamičkim diskretnim upravljačkim modelima*, Beograd: Zadužbina Andrejević.

[5] FAST (2016). The FAST Standard-An Overview, dostupno na: http://www.fast-standard.org/the-fast-standard/,pristupljeno 30. Maj 2019.

[6] Humphrey, J., & Memedovic, O. (2003). The global automotive industry value chain: What prospects for upgrading by developing countries. *UNIDO Sectoral Studies Series.* Vienna: UNIDO.

[7] Jackson, M. A. (1975). *Principles of Program Design*. Academic Press.

[8] Knight, B., Chadwick, D., & Rajalingham, K, (2000). A Structured Methodology for Spreadsheet Modelling. *Proceedings of the EuSpRIG 2000 Symposium on Spreadsheet Risks, Audit and Development Methods*, 17-18 Jul 2000, Greenwich, London:University of Greenwich, pp. 43-50.

[9] Ourusoff, N. (2003). Using Jackson Structured Programming (JSP) and Jackson Workbench to Teach Program Design. *Proceedings of 2003 Informing Science and Information Technology Education*, 24-27 Jun 2003, Pori, Finland.

[10] Panko, R. R., & Aurigemma, S. (2010). Revising the Panko-Halverson taxonomy of spreadsheet errors. *Decision Support System*, 49(2), pp. 235-244.

[11]Powell, S. G., Baker, K. R., & Lawson, B. (2009). Errors in operational spreadsheets. *Journal of Organizational and End User Computing* (JOEUC), 21(3), pp. 24-36.

[12] Rajalingham, K., Chadwick, D., & Knight, B. (2008). An Evaluation of a Structured Spreadsheet Development Methodology. *arXiv preprint arXiv:0801.1516*.

[13] SSRB(2016). Best Practice Spreadsheet Modeling Standards, Version 7.2, dostupno na: http://www.ssrb.org/, pristupljeno 30. Maj 2019.

[14] Wailgum, T. (2007). Eight of the Worst Spreadsheet Blunders. CIO. com., August, 17. dostupno na: http://www.cio.com/article/2438188/enterprise-software/eight-of-the-worst-spreadsheet-blunders.html, pristupljeno 30. Maj 2019.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

RAZVOJ MODELA SA DETERIORACIJOM ZALIHA, POPUSTOM NA NARUČENU KOLIČINU I DELIMIČNIM ZADOVOLJENJEM NEISPORUČENIH NARUDŽBINA KAO DISKRETNOG OBJEKTA UPRAVLJANJA U SPREDŠITU

DEVELOPMENT OF SPREADSHEET DETERIORATING INVENTORY CONTROL MODEL WITH QUANTITY DISCOUNT AND PARTIAL BACKORDERING AS DISCRETE TIME CONTROL OBJECT

SLOBODAN ANTIĆ[1], LENA ĐORĐEVIĆ MILUTINOVIĆ[2]

[1] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, slobodan.antic@fon.bg.ac.rs
[2] Fakultet organizacionih nauka, Beograd, lena.djordjevic.milutinovic@fon.bg.ac.rs

---

Rezime: *Modeli upravljanja zalihama sa deterioracijom, popustom na količinu i delimičnim zadovoljenjem neisporučenih narudžbina često se pojavljuju u praksi, ali je istim posvećeno veoma malo pažnje od strane istraživača. Cilj ovog rada je da se razvije dinamički diskretni model zaliha sa popustima na količinu i sa delimično zadovoljenim neisporučenim narudžbinama, kada proizvod na zalihama ima određeni stepen deterioracije u vremenu (gubitak kvaliteta i upotrebne vrednosti porizvoda za potrošača). Ovaj rad predstavlja proširenje osnovnog EOQ modela sa nedostatkom zaliha prikazanog kao diskretni objekat upravljanja. Kao osnovna za pisanje ovog rada i upoređivanje rezultata istraživanja korišćen je rad autora Wee (1999), pod orginalnim nazivom "Deteriorating inventory model with quantity discount, pricing and partial backordering".*

Ključne reči: *Spredšit Model, Diskretni objekat upravljanja, Upravljanje zalihama.*

Abstract: *Inventory models with deterioration, quantity discount and partial backordering are very common in practice, but there is a significant lack of attention of researchers in this specific domain. The aim of this paper is to develop a dynamic discrete spreadsheet inventory control model with deterioration, quantity discount and partial backordering, when the product on stock has a certain degree of deterioration in time (loss of quality and value of goods for the consumer). This paper presents an extension of the basic EOQ model with a backordering policy, presented as a discrete time control object. The basis for writing the paper and comparing the results is the paper published by author Wee (1999), titled "Deteriorating inventory model with quantity discount, pricing and partial backordering*

Keywords: *Spreadsheet Model, Discrete time control object, Inventory Control.*

1. UVOD

U cilju istraživanja ponašanja raznih dinamičkih sistema, koji su često kompleksni, paralelno sa razvojem nauke i informatičke podrške, pristupa se izradi uprošćenih modela sistema, kao i izradi matematičkih diskretnih modela posmatranih sistema. Međutim, pokazalo se da je teško analizirati kompleksno dinamičko ponašanje preko matematičkih relacija, koje opisuju ponašanje fizičkih sistema, čije su promene uslovljene jednostavnim uslovima (Kostić, 2008b). Osim toga, kada se izradi sistem relacija, koje predstavljaju model, mali deo matematičkih problema moguće je rešiti poznatim analitičkim metodama. Zato se pribegava numeričkim metodama, koje se razvijaju sa razvojem informatičke podrške. Postupak rešavanja problema numeričkim metodama sastoji se u tome da se izabere neko početno stanje sistema, koji se proučava, da se definišu zakoni, odnosno pravila promene vrednosti veličina, kojima se opisuje sistem u jedinici vremena i da se korak po korak izračunava vrednost svake od veličina kroz vremenske periode. Na taj način se izbegavaju kompleksne matematičke analize i poteškoće koje se u vezi s njima javljaju. Postupak dobijanja vrednosti veličina, kojima se određuje ponašanje sistema, korak po korak, gde svaki korak predstavlja vremenski interval, naziva se simulacija. Sistem matematičkih relacija kao pravila za izračunavanja vrednosti posmatranih veličina, čini simulacioni model (Kostić, 2008a). Ovaj rad se prvenstveno odnosi na maloprodavce, koji prodaju proizvode podložne deterioraciji zaliha u veoma izraženom konkurantskom okruženju. Deterioracija zaliha, uopšteno gledajući, se definiše kao gubitak, oštećenje, kvarenje, osiromašenje, oskudnost upotrebne vrednosti proizvoda, koja rezultuje smanjivanjem korisnosti proizvoda za

potrošača od njegove originalne upotrebne vrednosti. Nakon uvodnog dela rada, u drugom poglavlju rada, ukratko je predstavljena tipologija modela za upravljanje zalihama. U trećem poglavlju rada, razvijen je matematički model diskretnog objekta upravljanja sa deterioracijom zaliha, popustom na naručenu količinu i sa delimičnim zadovoljenjem neisporučenih narudžbina, kao osnova za razvoj spredšit modela. Kroz matematički model sistema definisan je problem koji treba rešiti, sa relevantnim ograničenjima i odgovarajućom ciljnom funkcijom. U četvrtom poglavlju rada, predstavljen je spredšit model razvijnog matematičkog modela i izvršeni su eksperimenti, upoređivanjem rezultata istraživanja sa rezultatima navedenim u (Wee 1999).

2. TIPOLOGIJA MODELA ZA UPRAVLJANJE ZALIHAMA

Osnovna svrha upravljanja zalihama i kontrole zaliha, prema (Barlow 2003), jeste sigurnost da tačna količina, određenog proizvoda, bude poručena u pravo vreme. Da bi ova pretpostavka bila ispunjena neophodno je odgovoriti na sledeća pitanja. *Koje proizvode (sirovine) treba naručiti?* Prvo pitanje ukazuje na važnost izbora proizvoda (sirovina) koje treba poručiti. Osnovni razlog držanja određenih proizvoda (sirovina) na zalihama je: omogućavanje efikasnog procesa proizvodnje, dobijanje popusta (rabata) na kupovinu veće količine, zaštita od mogućnosti nastanka nedostatka zaliha usled fluktuacije tražnje, pravljenje rezervi zaliha usled oscilacija u nabavci sirovina i zaštita od inflacije i promena cena na tržištu. *Kada porudžbinu treba napraviti?* Kao odgovor na drugo pitanje, mogu se definisati dva pristupa. Prvi, u kome se konstantno u vremenu, isti iznos zaliha, poručuje svaki put u postupku nabavke i bilo kakva varijacija u tražnji za zalihama se prevazilazi menjanjem vremena između porudžbina. Kod drugog pristupa se porudžbine lansiraju u fiksnim intervalima vremena u zavisnosti od veličine zaliha proizvoda (sirovina) na stanju i u slučaju bilo kakve varijacije u tražnji za proizvodima (sirovinama), ista se kompezuje menjanjem količine porudžbine. *Koliko proizvoda (sirovine) treba poručiti?* Odgovor na treće pitanje, predstavlja jedan od težih odgovora, jer je potrebno imati model na osnovu kojeg će se izračunati optimalna količina zaliha za poručivanje. Postoje različiti matematički modeli za određivanje optimalne veličine porudžbine po najnižim troškovima. Najpoznatiji matematički model za određivanje optimalne veličine porudžbine po najnižim troškovima je EOQ model (engl. *Economic order quantity model*) ili model ekonomične količine naručivanja zaliha.

Kako se navodi u (Anderson et al. 2003) matematički modeli za upravljanje zalihama se mogu podeliti na:

- *Modeli fiksne količine poručivanja* (engl. *Fixed Order Size*) – su modeli u kojima postoji promenljiv interval (period) naručivanja, dok je količina koja se poručuje fiksna. U ove modele se ubrajaju: model ekonomične količine poručivanja (engl. *Economic Order Quantity model – EOQ model*), model ekonomične količine proizvodnje (engl. *Economic Production Quantity model – EPQ model*), model sa planiranim probojem (nedostatkom) zaliha (engl. *inventory model with planned shortages*), model ekonomične količine poručivanja sa popustima na količinu (engl. *EOQ with quantity discounts*). Razlikuju se dva tipa ovih modela sa: konstantnim troškovima držanja zaliha (*engl. Constant holding cost*) i promenljivim proporcionalnim troškovima držanja zaliha (engl. *Proportional holding cost*). U modele sa nivom obnavljanja zaliha (engl. *Reorder point – ROP*) se ubrajaju modeli sa kašnjenjem u obezbeđenju nivoa usluge (engl. *Lead time service level*) i modeli sa konstantnom ili promenjivom stopom popunjavanja zaliha (engl. *Fill rate*);
- *Modeli sa fiksnim intervalom poručivanja* (engl. *Fixed Order Interval*) - su modeli u kojima postoji promenljiva količina naručivanja, dok je vremenski interval u kome se vrši poručivanje zaliha fiksan;
- Model jedne porudžbine (engl. *Single Order Model*) – u ovu grupu modela spada model prodavca novina (engl. *Newsboy model*).

Takođe, u (Anderson et al. 2003) navodi se podela matematičkih modela za upravljanje zalihama na determinističke i probabilističke modele u upravljanju zalihama. U determinističke modele za upravljanje zalihama spadaju: model ekonomične količine poručivanja (engl. *Economic Order Quantity model – EOQ model*), model ekonomične količine proizvodnje (engl. *Economic Production Lot Size model*), model sa planiranim nedostatkom zaliha (engl. *Inventory model with planned shortages*) i model ekonomične količine poručivanja sa popustima na poručenu količinu (engl. *Quantity discounts for the EOQ*).

U probabilističke modele za upravljanje zalihama mogu se ubrojati sledeći: model upravljanja zalihama u jednom vremenskom periodu sa probabilističkom tražnjom (engl. *Single period inventory model with probabilistic demand*), model poručivanja zaliha sa nivoom obnavljanja zaliha sa probabilističkom tražnjom (engl. *Order Quantity – Reorder point model with probablistic demand*) i model periodične kontrole zaliha sa probabilističkom tražnjom (engl. *Periodic review model with probabilistic demand*).

3. MATEMATIČKI MODEL SA DETERIORACIJOM ZALIHA, POPUSTOM NA NARUČENU KOLIČINU I DELIMIČNIM ZADOVOLJENJEM NEISPORUČENIH NARUDŽBINA

U radu (Wee 1999) autor razvija postupak popunjavanja zaliha i formiranja politika cena, kada količina proizvoda na zalihama ima stopu deterioracije, prema *Weibull*-ovoj raspodeli. Pretpostavlja se da jedinična cena sirovine ima različite popuste na nabavljenu količinu i da je tražnja deterministčkog karaktera u funkciji od cene. Takođe, pretpostavka je da su kašnjenja na tokovima jednaka nuli. U obzir je uzeta dvoparametarska *Weibull*-ova raspodela, zbog toga što postoji promenjiva stopa deterioracije. U slučaju nedostatka zaliha (*engl. Shortage*), neki od kupaca će tražiti alternativne izvore snabdevanja, dok će drugi kupci čekati dodatnu isporuku. U formulaciji modela, ovakvo ponašanje kupaca se demonstrira delimičnim zadovoljenjem neisporučenih narudžbina (*engl. Backordering*). Osnovne pretpostavke modela, navedenog u (Wee 1999), su sledeće: stopa tražnje je linerana funkcija prodajne cene $d(s)=a-bs$, gde je $b>0$ i $s<a/b$; obnavljanje zaliha je beskonačno; prethodna vremena nabavke se zanemaruju, odnosno kašnjenja na tokovima su jednaka nula; količina za naručivanje, nivo zaliha, deterioracija i tražnja se tretiraju kao kontinualne promenjive, dok se dužina ciklusa T tretira kao diskretna promenjiva; količina za naručivanje i dužina ciklusa su konstantne za svaki novi ciklus nabavke proizvoda; tražnja tokom perioda za nedostajućim zalihama (*engl. Stock-out*) je delimično zadovoljena zbog nestrpljivih kupaca; ne postoji zamena, niti popravka deteriorisanih proizvoda u toku posmatranog ciklusa; posle svake nabavke proizvodi su odmah dostupni za zadovoljavanje neisporučenih narudžbina; trošak deteriorisanih jedinica proizvoda je konstantan i jednak $\ddot{v}i(qi)$; vreme do deterioracije proizvoda ima *Weibull-ovu* raspodelu. Ostale pretpostavke modela navedene u radu predstavljene su u Tabeli 1.

Tabela 1: Pretpostavke za postavljanje modela zaliha navednog u (Wee 1999)

Oznaka pretpostavke u radu autora		**Oznaka u spredšit modelu**
T	Definisan (konstantan) planski period ili dužina ciklusa (u vremenskim jedinicama)	**T**
T1	Dužina ciklusa zaliha kada su zalihe veće od nule	
q	Količina za naručivanje (jedinica/ciklus)	**q**
Im	Maksimalan nivo zaliha na početku ciklusa obnavljanja zaliha (jedinica proizvoda)	
Ib	Količina za zadovoljenje neisporučenih narudžbina na kraju ciklusa obnavljanja zaliha (jedinica proizvoda)	
I1	Količina izgubljene prodaje u ciklusu	
d(s)	Stopa deterministčke tražnje za proizvodom u funkciji od ***s*** (jedinica/vremenskih jedinica)	**D(t)**
B	Koeficijent zadovoljenja neisporučenih narudžbina ($0 \leq B \leq 1$)	**B**
ẗi(qi)	Jedinična cena sirovine ($) u funkciji od količine *qi* ; gde *i* predstavlja broj sniženih cena	**C(qi)**
s	Jedinična prodajna cena proizvoda ($), $s > \ddot{v}i(qi)$.	**Pc**
C1	Fiksni trošak jedne narudžbine ($/narudžbini)	**S**
C2(qi)	Trošak držanja zaliha po jedinici proizvoda u jedinici vremena ($/jedinici proizvoda/jedinici vremena) = ch + I ẗi(qi), ***ch*** predstavlja nezavisan trošak od jediničnog troška proizvoda *ẗi(qi),* dok ***i*** predstavlja godišnji trošak držanja zaliha koji zavisi od *ẗi(qi).*	**H(qi)**
C3	Trošak nedostatka zaliha po jedinici zadovoljenih neisporučenih narudžbina u jedinici vremena ($/jedinici proizvoda/jedinici vremena)	**Sh**
C4	Trošak penala zbog izgubljene prodaje uključujući gubitak profita ($/jedinici proizvoda)	**P**

Popusti na naručenu količinu zaliha mogu se predstaviti sledećim relacijama navedenim u (1):

$$\vartheta i(qi) = \begin{Bmatrix} \vartheta 1 \; za \; m1 < q1 \leq m2 \\ \vartheta 2 \; za \; m2 < q2 \leq m3 \\ \vartheta n \; za \; mn < q \end{Bmatrix} \qquad (1)$$

gde nabavne cene sa popustom $\ddot{v}1>\ddot{v}2...>\ddot{v}n$, zavise od postavljenih granica na nabavljene količine proizvoda $m_1,m_2,...,m_n$. Osnovni cilj postavljenog modela zaliha je da maksimizira prosečan ukupan neto profit $NP\ (T_1,$

s, T), prikazano u Tabeli 1, kao funkciju koja zavisi od T_1, *s i T*. Sledeći cilj je izračunavanje količine *q*. Planski period *T* može biti podeljen u dva perioda, u jedan sa pozitivnim trenutnim zalihama tokom T_1 i drugi sa nedostatkom zaliha tokom $(T- T_1)$. Nedostatak zaliha iz jednog perioda je delimično zadovoljen tokom sledeće isporuke proizvoda. U trenutku t=0, napravljena je inicijalna popuna zaliha od koje će *Ib* jedinica proizvoda biti isporučeno za zadovoljavanje neisporučenih narudžbina, ostavljajući *Im* jedinica proizvoda kao početnih zaliha. Od trenutka t=0 do T_1, nivo zaliha opada usled zadovoljenja redovne tražnje i deterioracije zaliha. U trenutku T_1, nivo zaliha je jednak 0. U vremenu od $T- T_1$, deo ukupnog nedostatka zaliha postaje neisporučena narudžbina (koja će biti isporučena u narednom ciklusu), dok drugi deo ukupnog nedostatka zaliha predstavlja izgubljenu prodaju. Samo onaj nedostatak zaliha koji je proglašen neisporučenom narudžbinom može biti nadoknađen u sledećoj isporuci proizvoda. Raspodela vremena u kome jedinica proizvoda ima deterioraciju je funkcija *f(t)* i kumulativnu funkciju raspodele *F(t)*. Dvoparametarska *Weibull*-ova funkcija se može predstaviti relacijom (2):

$$f(t) = \alpha * \beta_t^{\beta-1} * \exp\left(-\alpha_t^{\beta}\right) \tag{2}$$

gde α $(\alpha>0)$ predstavlja koeficijent nagiba krive, dok $\beta>0$ predstavlja koeficijent oblika krive za *t* (vreme do deterioracije), $t>0$. Kada je $\beta>1$, onda deterioracija ima opadajuću stopu, dok kada je $\beta<1$, deterioracija ima rastuću stopu. Za β=1, weibull-ova raspodela predstavlja eksponancijalnu raspodelu. Ukupan trošak u jedinici vremena *K* je suma materijalnih troškova (koji uključuju troškove deterioracije), troškova naručivanja, troškova čuvanja zaliha, troškova neisporučenih porudžbina i troškova izgubljene prodaje (3).

$$K(T1, s, T) = \frac{\vartheta i(q)q}{T} + \frac{C_1}{T} + \frac{C_2(q)}{T} * I_T(T_1) + \frac{C_3}{T} I_b + \frac{C_4}{T} I_1 \tag{3}$$

Ukupan profit u jedinici vremena *NP (T1, s, T)* može se definisati kao: *UKUPAN PROSEČAN PRIHOD - UKUPNI PROSEČNI TROŠKOVI*, kao što je prikazano relacijom (4),

$$NP(T_1, s, T) = sd(s) - K(T_1, s, T) \tag{4}$$

Na osnovu navedenog može se zaključiti da posmatrani model, prikazan u (Wee 1999) ima sledeće karakteristike: predstavlja varijaciju osnovnog modela za određivanje optimalne količine naručivanja sa nedostatkom zaliha (EOQ model sa nedostatkom zaliha) uz minimalne troškove obnavljanja zaliha i ima sve njgove karakteristike, navedene u Antić (2012); predstavlja varijaciju modela sa popustima na naručenu količinu zaliha navednog u Antić (2012); nedostatak zaliha se javlja na kraju ciklusa obnavljanja zaliha; model je zaliha za jedan proizvod (*engl. Single product inventory model*); model je fiksne količine poručivanja (*engl. Fixed order quantity*); model je sa fiksnim intervalom naručivanja zaliha. Ako govorimo o tipu ulazno-izlaznih tokova, može se reći da ovaj model spada u grupu modela sa diskretnim prilivom i kontinualnim odlivom, navedenih u (Kostić 2009), kao i da je u pitanju je statički model u upravljanju zalihama, jer se dinamika akumulacije subjekta toka posmatra samo za jedan period vremena, odnosno jednu godinu.

3.1 Interpretacija modela sa deterioracijom zaliha, popustom na naručenu količinu i delimičnim zadovoljenjem neisporučenih narudžbina kao diskretnog objekta upravljanja

Za simulaciju ovog problema u spredšitu potrebno je iskoristiti osnovni EOQ model sa nedostatkom zaliha, u kome zakon ponašanja sa regulatorima tokova ostaje isti. Razvoj spredšit modela podrazumeva sledeće korake: razviti funkciju za promenjivu tražnje, za stopu deterioracije zaliha, kao i jednačinu za izračunavanje troška deterioracije zaliha; razviti jednačine za prihode i profit i u ciljnom funkcionalu modela izraziti funkciju dobiti, odnosno napraviti ciljni funkcional u kome ćemo maksimizirati dobit; dopuniti relacije za ukupne troškove naručivanja zaliha sa troškovima deterioracije i sa troškovima izgubljene prodaje; napraviti prilagođavanje vremenskih perioda, iz rada autora (Wee 1999) sa vremenskim periodima u modelu u spredšitu (da bi utvrdili trenutke u kojima treba vršiti naručivanje zaliha, kao i da bi utvrdili trenutke u kojima nastaje nedostatak zaliha); odrediti veličinu nedostatka zaliha (procenat nedostatka zaliha) prema pretpostavkama u radu (Wee 1999); promenjive modela dopuniti sa paremetrom *Bh*, koji predstavlja procenat zadovoljenja nedostatka zaliha u vrermenakom periodu *T*. Zadržavajući osnovne pretpostavke klasičnog EOQ modela sa nedostatkom zaliha, moguće je definisati sledeće pretpostavke modela, prikazane relacijom (5):

$$D = D(t) \neq const, S = const, C = C(Q) \neq const, H = H(Q) \neq const,$$
$$B = const, De = De(Q) \neq const, P = const, Pc = const \quad (5)$$

Ukupna dobit na kraju vremenskog horizonta T, može se prikazati sledećim ciljnim funkcionalom čiju vrednost treba maksimizirati (relacija 6):

$$(max)\ J = \sum_1^T \left[Pc * D(t) - \left[S * \begin{Bmatrix} 1, Y_t^1 > 0 \\ 0, Y_t^1 = 0 \end{Bmatrix} + H(Q) * \left(X_{t-1}^1 + Y_t^1 - Y_t^4 - \frac{Y_t^3}{2} \right) + B * \begin{Bmatrix} 1, Y_t^2 > 0 \\ 0, Y_t^2 = 0 \end{Bmatrix} * \left(X_{t-1}^2 + \frac{Y_t^2}{2} - \frac{Y_t^4}{2} \right) + C(Q) * Y_t^1 + P * \begin{Bmatrix} 1, Y_t^2 > 0 \\ 0, Y_t^2 = 0 \end{Bmatrix} * \left(X_{t-1}^2 + \frac{Y_t^2}{2} - \frac{Y_t^4}{2} \right) * (1 - Bh) + De(Q) * X_t^1 * \theta(t) \right] \right] \quad (6)$$

Pri čemu su:

- T - broj dana obuhvaćenih vremenskim horizontom ($T=365$);
- C - jedinična cena nabavke artikla, koja zavisi od nabavljene količine zaliha;
- S - troškovi dopreme jedne etape isporuke u periodu t, ako se ostvaruje isporuka. Može biti konstanta za svaku isporuku. Ako nema isporuke, onda su troškovi dopreme jednaki nuli;
- H - troškovi držanja jedinice količine artikla na zalihi u jednom danu su jednaki prosečnoj količini zaliha na skladištu, odnosno nivou $Q/2$ i zavise od nabavljene količine zaliha;
- B – trošak nedostatka zaliha, konstantan u vremenu i postoji ako postoji nedostatak zaliha;
- P - trošak izgubljene prodaje ili penala, konstantan u vremenu i obračunava se za količinu koja se definiše srazmerno definisanom Bh (procentu zadovoljenja nedostatka zaliha);
- Pc – prodajna cena;
- De - trošak deterioracije, zavisi od nabaljene količine zaliha;
- $\theta(t)$ - funkciju deterioracije zaliha (stopa po kojoj zalihe na skladištu umanjuju svoju upotrebnu vrednost).

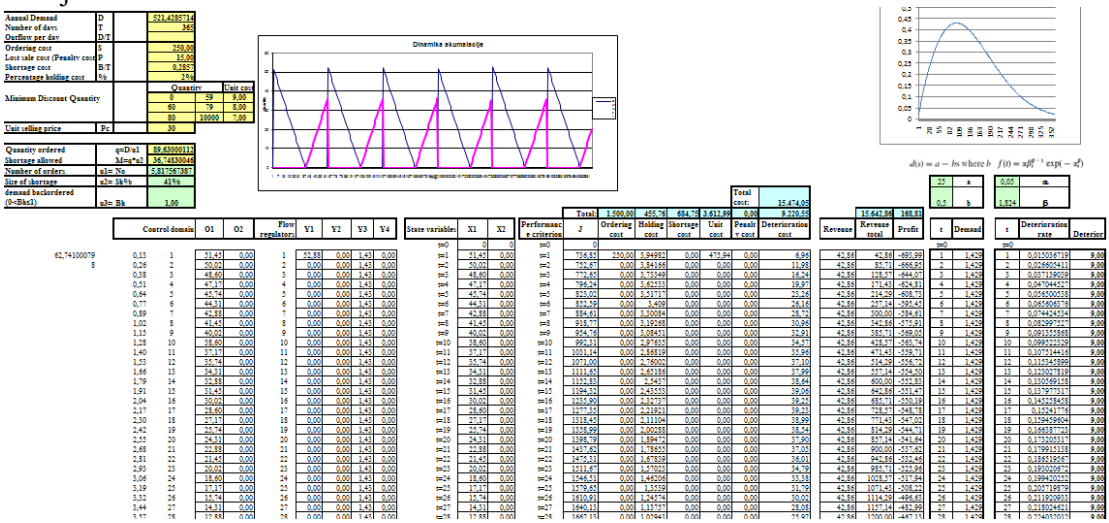
Na osnovu relacija za osnovni dinamički diskretni EOQ model, navedenih u Antić (2012), kao i na osnovu relacija (5) i (6) određuje se diskretni objekat upravljanja, odnosno simulacioni model dinamike zaliha. Kako je definisan diskretni objekat upravljanja sa svojim zakonom ponašanja, poznatim početnim stanjem $X_{t-1}^i = 0$, $i=1,2,....n.$, oblašću upravljanja i ciljnim funkcionalom, potrebno je odrediti zadatak optimalnog upravljanja diskretnim objektom. Za zadati vremenski period T i pri zadatim okolnostima, navedenim u relaciji (5), potrebno je naći takvo upravljanje $u_t^1 = N_0^I$ i u_t^2, koje za zadato vreme T, prevodi diskretni objekat upravljanja iz početnog stanja X_0 u neki skup krajnjih stanja X_T, a da pri tome budu zadovoljena ograničenja i da ciljni funkcional (6) dobije maksimalnu vrednost. Za rešavanje ovog zadatka potrebno je ispitati vrednost ciljnog funkcionala za moguće vrednosti upravljačke promenljive $u_t^1 = N_0^I$, pri zadatoj vrednosti procenta dozvoljenog nedostatka zaliha u_t^2. Upravljačka promenjiva predstavlja nepoznat broj isporuka N_0^I, tako da $u_t^1 = N_0^I$, za t =1,2,3,4,...T. Prikazani matematički model diskretnog objekta upravljanja pogodan je za razvijanje u spredšitu.

3.2 Poređenje rezultata statičkog modela i dinamičkog diskretnog spredšit modela

Testiranje rezultata simulacionog modela u spredšitu realizovano je za polazne podatke navedene u (Wee 1999). Prikazani statički model, pri definisanim okolnostima pokazuje da pri nabavci optimalne količine proizvoda (q=89,6 kom.), ostvarujemo maksimalanu ukupnu godišnju dobit od TP=168,81 n.j. Postavljanjem istih zadatih vrednosti u simulacionom spredšit modelu (Slika 1), može se primetiti da pri nabavci optimalne količine proizvoda (q=89,6 kom.), ostvarujemo No=5,81 porudžbina godišnje, odnosno model izračunava maksimalanu ukupnu godišnju dobit od TP=168,81 n.j. na kraju posmatranog vremenskog perioda T, sa dužinom trajanja jednog ciklusa obnavljanja zaliha od 365 dana. Iako su rezultati simulacionog modela u spredšitu identični rezultatima statičkog modela predstavljenog u (Wee 1999), može se zaključiti da postoje određene razlike koje su uslovljene prirodom diskretnih i kontinualnih modela.

Osnovne razlike između kontinualnog i diskretnog upravljačkog modela, mogu se navesti sledećim pretpostavkama. Da bi se simulirao tačan rezultat ciljnog funkcionala neophodno je korigovati funkciju stope deterioracije zaliha, koja je predstavljena funkcijom zavisnom od vremena koje zalihe provedu na skladištu. Parametar β predstavlja parametar oštrine nagiba krive deterioracije. Promenom parametra β, odnosno menjanjem vrednosti sa 1,5 na 1,8236 u simulacionom spredšit modelu, dobijamo tačnu dobit sa vrednošću od 168,81. Takođe, može se primetiti da je površina koju pokriva kriva deterioracije nepravilnog obllika, odnosno može se izračunati samo integralom funkcije, što znači da će diskretizacija perioda, u kome

posmatramo stopu deterioracije zaliha, dovesti do manjih razlika u diskretnim vrednostima, po pojedinom periodu, od vrednosti koje su postavljene statičkim modelom, predstavljenim u (Wee 1999). Integral izračunava stopu deterioracije u svakom delu trenutka *t*, dok simulacioni model izračunava tražnju u diskretnim tačkama (t_1,t_2,t_3....*T*). Praktično gledajući, broj porudžbina ne može biti decimalan broj (npr. 5,81), već samo ceo broj (na primer 6), što menjanjem promenjivih u modelu može dovesti do promene ciljne funkcije modela.



Slika 1: Izgled diskretnog dinamičkog modela u spredšitu

4. ZAKLJUČAK

U radu je pokazano da je simulacionim modelom objekta diskretnog upravljanja u spredšitu moguće na verodostojan način predstaviti i prikazati bilo koji statički EOQ model i njegove varijacije. Predstavljeni simulacioni model odlučivanja u spredšitu na jednostavan način prikazuje matematički model diskretnog objekta upravljanja (Đorđević 2017). Iako su rezultati simulacionog modela identični rezultatima statičkog modela iz rada (Wee 1999), može se zaključiti da postoje određene razlike koje su uslovljene načinom proračuna i određivanja kontinualnih promenjivih modela, koje u ovom slučaju zavise od dužine vremenskog perioda, a koje prilikom proračuna u simulacionom spredšit modelu diskretizujemo. Kada se govori o pravcima daljih istraživanja neophodno izvršiti testiranje modela za više instanci (proizvoda), uključiti dodatne troškove u model koji utiču na uvećanje gubitaka u prodaji. Takođe, moguće je primeniti specijalne heuristike razvijene u Antić (2014), u cilju automatizacije procesa planiranja, odnosno određivanja broja narudžbina za veći broj proizvoda za *T*=365 dana.

LITERATURA

[1] Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., (2003). *An introduction to management science - Quantitative approaches to decision making*, Tenth edition, Thomson Learning.

[2] Antić, S. (2012). *Modeliranje procesa operacionog menadžmenta u spredšitovima,* Magistarska teza, Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

[3] Antić, S. (2014). *Modeli i metode upravljanja zalihama zasnovani na metaheuristikama,* Doktorska disertacija, Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

[4] Barlow, J., (2003). *Excel models for business and Operations Management*, John Willey & Sons Ltd. West Sussex, England.

[5] Đorđević, L. (2017). *Spredšit inženjerstvo u kontekstu detekcije i ispravke grešaka u dinamičkim diskretnim upravljačkim modelima*, Beograd: Zadužbina Andrejević.

[6] Kostić, K. (2008a), *Izrada i korišćenje poslovnih modela*, Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

[7] Kostić, K. (2008b), *Simulacija biznis situacija – Primeri iz prakse*, Beograd: Fakultet organizacionih nauka.

[8] Kostić, K. (2009). Inventory control as a discrete system control for the fixed-order quantity system, *Applied Mathematical Modelling*, Vol.: 10.1016 / j.apm.03.004.

[9] Wee, H.M. (1999), Deteriorating inventory model with quantity discount, pricing and partial backordering, *International Journal of Production Economics*, Vol. 59, pp. 511-518.

MULTLCRITERIA ANALYSIS AND OPTIMIZATION

VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA I OPTIMIZACIJA

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

PRAVCI UNAPREĐENJA PRILAGODLJIVOSTI RADNE SNAGE VIŠE-ETAPNIM MODELOM KOMPARATIVNOG ODLUČIVANJA

STEPWISE BENCHMARKING MODEL FOR WORKFORCE ADAPTABILITY

MAJA JANDRIĆ[1], SAŠA RANĐELOVIĆ[2], MLADEN STAMENKOVIĆ[3], BRANKO UROŠEVIĆ[4]

[1] Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet, maja@ekof.bg.ac.rs
[2] Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet, randjelovic@ekof.bg.ac.rs
[3] Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet, mladen@ekof.bg.ac.rs
[4] Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet, urosevic@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu analizirane su zemlje u Evropi i nivo prilagodljivosti radne snage na tržištu rada. Primenom više-etapnog modela komparativne analize predložene su putanje razvoja svih zemalja posmatranih studijom, gde je za svaku zemlju definisan konkretan benčmark – zemlja na koju se treba ugledati i čije aktivnosti i javne politike treba pratiti u narednom periodu.*

Ključne reči: *višekriterijumsko odlučivanje, ELECTRE, tržište rada, tehnološke promene*

Abstract: *Stepwise benchmarking model was a foundation tool for the analysis of workforce adaptability in 30 European countries. The model yields direct intermediate benchmark for each country of the study, thus providing the role model and concrete path toward a future policy measures.*

Keywords: *multiple criteria decision aiding, ELECTRE, labor market, technological change*

1. UVOD

Tehnološke inovacije i razvoj digitalne ekonomije u velikoj meri utiču na tržište rada. Promene u funkcionisanju tržišta rada izazvane razvojem digitalne ekonomije mogu se podeliti u tri grupe: 1) supstitucija rada novim tehnologijama (robotizacija i automatizacija), 2) promena načina rada usled primene nove tehnologije i 3) pojava novih oblika ugovornih aranžmana i povećanje učešća nestandardnih oblika zaposlenosti.

Prve dve grupe promena u velikoj meri zahtevaju prilagođavanje znanja i veština radne snage. Struktura zaposlenosti, posmatrana po preovlađujućim veštinama, je u velikom broju zemalja već značajno izmenjena u odnosu na poslednju deceniju XX veka. Primetno je opadanje učešća zanimanja u kojima preovlađuju rutinske kognitivne i manuelne veštine, dok se povećava udeo zaposlenih sa zanimanjima u kojima dominiraju nerutinske kognitivne veštine, veštine vezane za međuljudske odnose i nerutinske manuelne veštine (Svetska Banka, 2016). Uočene promene su u skladu sa pretpostavkom da su zanimanja koja obuhvataju veliki broj zadataka sa visokim stepenom predvidljivosti (rutinski poslovi) najpodložnija automatizaciji. Ovakvi trendovi zahtevaju prilagođavanje radne snage i njeno preusmeravanje ka zanimanjima koja su komplementarna sa upotrebom novih tehnologija. Istovremeno, dinamične tehnološke promene zahtevaju konstantno usavršavanje radne snage i u ovom segmentu.

Potreban set znanja i veština nije konstantan – on se menja zajedno sa unapređenjem tehnologije i novim zahtevima tržišta rada. Stoga je fokus ne samo na postojećem nivou znanja i veština radne snage, nego i na njenoj sposobnosti da se dovoljno brzo prilagođava novim potrebama tržišta. U cilju procene prilagodljivosti radne snage korišćene su tri grupe podataka: veštine vezane za okvir digitalnih kompetencija, rezultati PISA testiranja i učešće u programima celoživotnog učenja sa ciljem povećanja zapošljivosti. Posedovanje odgovarajućeg nivoa digitalnih veština je preduslov za efikasno obavljanje velikog broja zadataka. Istovremeno, adekvatan nivo veština iz ove grupe olakšava pristup drugim oblicima usavršavanja. Učešće u programima celoživotnog učenja ukazuje na rasprostranjenost učestvovanja u raznim oblicima stručnog usavršavanja nakon završenog procesa formalnog obrazovanja. S obzirom na brzinu tehnoloških promena, znanja i veštine koji su stečeni u formalnom procesu obrazovanja zahtevaju konstantnu nadogradnju (ili, u određenim slučajevima, i preusmeravanje ka drugim oblastima), te nisko učešće lica u ovim programima ukazuju na nižu prilagodljivost radne snage. Subjektivna percepcija zapošljivosti, tj. procenjena verovatnoća da će lice u slučaju gubitka posla u narednih šest meseci lako naći novo zaposlenje sa sličnom zaradom je u

uskoj vezi sa stanjem na tržištu rada, ali jednim delom odražava i sposobnost zaposlenog da odgovori na nove zahteve tržišta rada. PISA istraživanje u ovom kontekstu ne pokazuje samo uspešnost obrazovnog sistema – naglasak je više na činjenici da su u fokusu učeničke sposobnosti vezane za rezonovanje, analizu i kreiranje novih ideja (Stamenković, 2016), tj. neke od ključnih veština koje zahteva savremeno tržište rada.

Cilj ovog rada je da se odredi rang 30 evropskih zemalja prema nivou prilagodljivosti radne snage, te da se za svaku od njih definišu optimalni pravci razvoja i nađu konkretne zemlje na koje se treba ugledati tokom daljeg razvoja[1].

2. METODOLOGIJA

Dok je literatura zasnovana na korišćenju benčmarking modela bila posvećena traženju odgovora na pitanje koji je najbolji primer u praksi, više-etapni model komparativne analize daje odgovor na su pitanja *kako učiti od boljih* i *kako se poboljšati*.

Više-etapni model komparativne analize zasniva se na konceptu postepenog poboljšanja, krećući se na taj način prema postavljenim ciljevima, tako što se za svaku alternativu definiše pomoćni benčmark. Neophodno je pronaći pomoćni benčmark za svaku fazu razvoja i time definisati put ka najboljem, idealnom benčmarku. Više-etapni model komparativne analize bazira se na ELECTRE MLO metodi rangiranja (Stamenković et al., 2016) koja kreira parcijalno predurđenje alternativa bazirajući se na acikličnoj relaciji koja je ostvarena unutar izmenjene strukture jezgra alternativa (videti Stamenković (2016) za detalje). Parcijalno predurđenje kreirano ELECTRE MLO metodom ima idealni benčmark na vrhu relacionog drveta, kao idealni cilj celokupnog postupka, koji predstavlja najbolja moguća postignuća kojima zemlje teže. Sa druge strane, pomoćni benčmark će predstavljati alternativu koja je jedan nivo iznad, unutar relacionog drveta. Ovakvo predurđenje predstavlja idealnu osnovu, jer je upravo to ono što se traži idejom modela – alternativa koja je bolja od posmatrane, ali dostižna. Kako i alternativa koja predstavlja pomoćni benčmark ima neku alternativu koja je preferirana, i njoj na isti način možemo da dodelimo pomoćni benčmark. Time putanju razvoja kreiraju alternative koje su preferirane, tako da model obezbeđuje da svaka sledeća alternativa sa narednog, višeg, nivoa. Na taj način se krećemo kroz relaciono drvo ka vrhu sve do idealnog benčmarka (Stamenković, 2016).

3. REZULTATI

Prateći metodologiju više-etapnog modela komparativne analize definisano je devet kriterijuma:

1. Digitalne veštine[2]
   - i. *Informacione veštine* (K1) – Učešće lica sa informacionim veštinama višim od osnovnog nivoa u kontekstu digitalnih kompetencija (16-74);
   - ii. *Komunikacione veštine* (K2) – Učešće lica sa komunikacionim veštinama višim od osnovnog nivoa u kontekstu digitalnih kompetencija (16-74);
   - iii. *Veštine vezane za rešavanje problema* (K3)– Učešće lica sa veštinama vezanim za rešavanje problema višim od osnovnog nivoa u kontekstu digitalnih kompetencija (16-74);
   - iv. *Veštine vezane za softver* (K4) – Učešće lica sa veštinama vezanim za softver višim od osnovnog nivoa u kontekstu digitalnih kompetencija (16-74).
2. Konstantno usavršavanje i percepcija zapošljivosti
   - v. *Učešće u celoživotnom učenju* (K5) – učešće lica starosti 25-64 godine koja su u toku poslednje četiri nedelje učestvovala u različitim oblicima obrazovanja i obuka;
   - vi. *Percepcija zapošljivosti* (K6) – Udeo zaposlenih koji smatraju da će, u slučaju da izgube sadašnji posao, u narednih 6 meseci lako naći posao sa sličnim nivoom zarade (*European Working Conditions Survey).*
3. Rezultati PISA testiranja

[1] U istraživanju koje su sproveli Jandrić i Ranđelović (2018) primenom standardne klaster analize (K-means metod) i LCCA (Latent Class Cluster Analysis) zemlje iz uzorka su, prema prilagodljivosti radne snage koja je procenjena na osnovu posmatranog skupa indikatora, klasifikovane u tri grupe. U ovom radu cilj je da se napravi korak dalje i da se definišu optimalni pravci razvoja za svaku od posmatranih zemalja.

[2] Definisano u skladu sa Eurostatovom metodologijom za praćenje digitalnih kompetencija. Više o metodologiji videti na: http://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/tepsr_sp410_esmsip.htm. Svi podaci se odnose na 2015. godinu. Jedini izuzetak su podaci PISA istraživanja koji su iz 2012. godine, usled činjenice da Srbija u 2015. nije bila obuhvaćena ovim istraživanjem. Za Makedoniju i Maltu su korišćeni podaci PISA testiranja iz 2015. godine. Isti kriterijumi se koriste i u drugim, povezanim istraživanjima, na ovu temu (videti: Jandrić i Ranđelović, 2018).

vii. *Učešće funkcionalno nepismenih učenika* (K7) – *čitalačka pismenost (PISA);*
viii. *Učešće funkcionalno nepismenih učenika* (K8) – *matematička pismenost (PISA);*
ix. *Učešće funkcionalno nepismenih učenika* (K9) – *naučna pismenost (PISA)*[3].

Postignuća zemalja koja su učestovovala u istraživanju prikazana su Tabelom 1. Unutar Tabele prikazan je i idealni benčmark za koji smo u ovoj studiji smatrali najbolja postignuća ostvarena unutar svakog kriterijuma i tu alternativu nazvali smo *EU*.

U ovom radu pratimo metodološki pristup definisan u Stamenković et al. (2016) i ELECTRE MLO proceduru. Cilj je rangiranje zemalja po uspehu, u okviru procesa celoživotnog učenja i definisanje benčmarka, te pravca razvoja za svaku posmatranu zemlju, bazirajući se na ostvarenom rangu. Za postignuće p_{ij} neke zemlje *i* za kriterijum *j* definisaće se najbolje i najgore postignuće unutar svakog kriterijuma

$$M_j = \max p_{ij} \quad \forall i \tag{1}$$

$$m_j = \min p_{ij} \quad \forall i \tag{2}$$

Za ovako definisane vrednosti koristimo min-max diskretizacioni proces predložen u Nardo et al. (2005) dobijamo vrednosti

$$a_{ijk} = \begin{cases} \dfrac{M_{ij} - p_{ijk}}{M_{ij} - m_{ij}}, \ \forall i,k; \ j = 1, \\ \dfrac{p_{ijk} - m_{ij}}{M_{ij} - m_{ij}}, \ \forall i,k; \ j = 2. \end{cases} \tag{3}$$

koje pretvaramo u diskretizovane ocene na sledeći način:

$$\mathrm{g}_k(a_{ij}) = \min\left\{1 + [5a_{ijk}], 5\right\}, \tag{4}$$

Vrednosti parametara definisane su na skali od 1 do 5 za sve kriterijume. Detaljnu analizu o mogućnostima proširenja skala i načinu kako to sprovesti u savremenom duhu indirektnog čitanja preferencija donosilaca odluke pogledati u Petrović et al. (2018a).

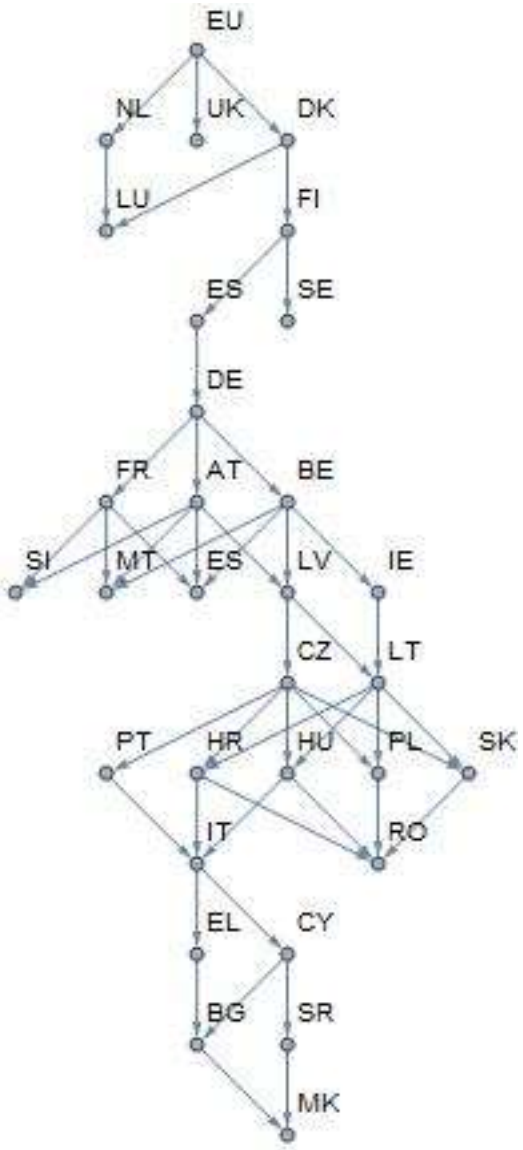
Ocene postignuća za svaku zemlju dobijene su nakon izvršenog procesa diskretizacije predstavljenog jednačinama (1)–(4). Vrednosti za EU, logično, uzele su sve najviše vrednosti jer ova alternativa i predstavlja idealni benčmark naše studije. Sa druge strane Srbija, donekle i očekivano, ima postignuća na samom dnu skale postignuća za veliki broj alternativa, što predstavlja realnu poziciju naše zemlje u Evropi i definisanim EU okvirima.

ELECTRE MLO metod kreira rang alternativa bazirajući se na dve granične vrednosti. Ovaj rang predstavlja parcijalno preduređenje za koje znamo da ne postoje ciklovi. Svaki nivo ranga predstavlja skup međusobno neuporedivih alternativa (zemalja). Strelica označava da je alternativa bolje ranga (*outranking* relacija ELECTRE metodologije) i upravo ovakav odnos između dve zemlje jeste znak da je ona država koja je boljeg ranga dobar benčmark za napredovanje. Slika 1 prikazuje rang zemalja. Srbija se nalazi na samom dnu relacionog drveta, zajedno sa Bugarskom, dok jedino Makedonija ima slabiji rang. Sa druge strane, vidi se da je Kipar nivo iznad i da je direktno bolji od Srbije čime je on jedini kandidat za prvu benčmark zemlju čije bi politike i postignuća Srbija trebalo da prati. Takođe, važno je napomenuti da, iako je Grčka višeg ranga od Srbije, između Srbije i Grčke važi relacija neuporedivosti. Poređenjem postignuća unutar Tabela 1. i 2. se može jasno videti i razlog, iako bolje plasirana, Grčka ima često niža postignuća od Srbije i između te dve zemlje ne postoji direktna veza ,kao što se to javlja sa postignućima Srbije i Kipra.

[3] Funkcionalno pismenom osobom po PISA metodologiji smatra se svaka osoba koja je dostigla najmanje treći nivo kompetencija na PISA skali koja sadrži šest nivoa kompetencija.

Tabela 1: Postignuća zemalja unutar istraživanja.

Zemlja	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Austria	71,0	56,0	58,0	48,0	14,40	35	19,5	18,7	15,8
Belgium	70,0	69,0	57,0	38,0	6,90	43	16,1	19,0	17,7
Bulgaria	41,0	47,0	24,0	20,0	2,00	33	39,4	43,8	36,9
Croatia	61,0	48,0	47,0	45,0	3,10	26	18,7	29,9	17,3
Cyprus	56,0	57,0	28,0	25,0	7,50	19	32,8	42,0	38,0
Czech Republic	66,0	52,0	48,0	33,0	8,50	24	16,9	21,0	13,8
Denmark	87,0	71,0	79,0	61,0	31,30	53	14,6	16,8	16,7
Estonia	79,0	67,0	63,0	46,0	12,40	42	9,1	10,5	5,0
Finland	83,0	64,0	72,0	52,0	25,40	43	11,3	12,3	7,7
France	67,0	50,0	60,0	41,0	18,60	40	18,9	22,4	18,7
Germany	80,0	64,0	65,0	47,0	8,10	38	14,5	17,7	12,2
Greece	57,0	45,0	30,0	28,0	3,30	15	22,6	35,7	25,5
Hungary	65,0	63,0	43,0	28,0	7,10	27	19,7	28,1	18,0
Ireland	61,0	58,0	42,0	33,0	6,50	43	9,6	16,9	11,1
Italy	45,0	42,0	34,0	34,0	7,30	22	19,5	24,7	18,7
Latvia	70,0	62,0	53,0	30,0	5,70	34	17,0	19,9	12,4
Lithuania	62,0	55,0	49,0	36,0	5,80	34	21,2	26,0	16,1
Luxembourg	87,0	79,0	80,0	72,0	18,00	40	22,2	24,3	22,2
Macedonia	48,0	57,0	22,0	26,0	2,60	26	70,7	70,2	62,9
Malta	62,0	61,0	50,0	42,0	7,20	46	35,6	29,1	32,5
Netherlands	84,0	73,0	74,0	50,0	18,90	43	14,0	14,8	13,1
Poland	46,0	44,0	36,0	23,0	3,50	33	10,6	14,4	9,0
Portugal	56,0	52,0	38,0	41,0	9,70	15	18,8	24,9	19,0
Romania	42,0	42,0	27,0	15,0	1,30	38	37,3	40,8	37,3
Serbia	45,0	50,0	31,0	19,0	4,80	28	33,1	38,9	35,0
Slovakia	66,0	59,0	50,0	34,0	3,10	26	28,2	27,5	26,9
Slovenia	62,0	46,0	43,0	40,0	11,90	31	21,1	20,1	12,9
Spain	64,0	54,0	49,0	43,0	9,90	30	18,3	23,6	15,7
Sweden	76,0	70,0	74,0	41,0	29,40	51	22,7	27,1	22,2
United Kingdom	75,0	73,0	65,0	50,0	15,70	49	16,6	21,8	15,0
EU	87,0	79,0	80,0	72,0	31,30	53	9,1	10,5	5,0



Slika 1: Relaciono drvo zemalja.

Kreiranje ranga ELECTRE MLO metode kao i definisanje putanje razvoja za svaku zemlju pogramirana je korišćenjem softvera *Mathematica*. Za svaku zemlju izračunata je idealna putanja do samog vrha i idealnih postignuća, definisanih alternativom EU, bazirajući se na metodološkoj osnovi iz Petrović et al. (2014, 2018) kao i Stamenković (2016). Tabela 2 na narednoj strani predstavlja detaljan opis putanje razoja za svaku zemlju. Zemlje sa prvog nivoa ispod EU nisu uračunate, jer je jasno da je samo idealni benčmark jedina uporediva alternativa za njihov dalji razvoj. Poslednja kolona predstavlja indeks kvaliteta putanje, gde je 0 vrednost najbolje putanje, a 1 predstavlja razvoj za teoretski najgoru putanju razvoja.

5. ZAKLJUČAK

Potencijal primene više-etapnog modela komparativne analize pokazan je u ovom radu na primeru prilagodljivosti radne snage. U radu je za trideset evropskih zemalja kreiran rang trenutnih postignuća u pogledu prilagodljivosti radnika i njihovih funkcionialnih sposobnosti da odgovore potrebama na tržištu rada. Pored toga, model je kreirao predlog pravca daljeg razvoja za sve zemlje i pružio konkretne predloge koja zemlja predstavlja direktni benčmark, što znači da bi trebalo da bude neko na koga se treba ugledati u narednom periodu. Rezultati za Srbiju stavili su je na samo dno ranga, gde je jedino Makedonija lošije rangirana od naše zemlje. Model je ukazao da je Kipar prvi direktni benčmark na koji se treba ugledati. Budući pravci razvoja modela biće fokusirani na pitanje stabilnosti rezultata prateći nalaze u Petrović et al. (2018b).

Tabela 2: Putanje razvoja za svaku zemlju.

Zemlja	Putanja	Kvalitet putanje
Finska	FI – DK – EU	0,25
Luksemburg	LU – DK – EU, LU – NL – EU	0,56
Estonija	EE – FI – DK – EU	0,58
Švedska	SE – FI – DK – EU	0,51
Nemačka	DE – EE – FI – DK – EU	0,57
Austrija	AT – DE – EE – FI – DK – EU	0,56
Belgija	BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,51
Francuska	FR – DE – EE – FI – DK – EU	0,63
Republika Irska	IE – BE – DE – ES – FI – DK – EU	0,4
Letonija	LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,39
Malta	MT – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,47
Slovenia	SI – AT – DE – EE – FI – DK – EU	0,35
Španija	ES – AT – DE – EE – FI – DK – EU	0,4
Republika Češka	CZ – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,38
Litvanija	LT – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,37
Hrvatska	HR – CZ – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,34
Mađarska	HU – CZ – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,37
Poljska	PL – CZ – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,27
Portugal	PT – CZ – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,34
Slovakia	SK – CZ – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,41
Italija	IT – PT – CZ – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,28
Rumunija	RO – HU (SK) – CZ (LT) –	0,32
Kipar	CY – IT – PT – CZ – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,32
Grčka	EL – IT – PT – CZ – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,29
Bugarska	BG – EL – IT – PT – CZ – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,29
Srbija	SR – CY – IT – PT – CZ – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,3
Makedonija	MK – BG – EL – IT – PT – CZ – LV – BE – DE – EE – FI – DK – EU	0,3

LITERATURA

[1] Jandrić, M., Ranđelović, S. (2018). Adaptability of the workforce in Europe – changing skills in the digital era, paper presented at the International Scientific Conference: Economics of Digital Transformation, Opatija, May 2-4, 2018, Manuscript accepted for publication.

[2] Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., and Giovannini, E. (2005). Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide (No. 2005/3). OECD publishing.

[3] Petrović, M., Bojković, N., Anić, I., Stamenković, M., & Tarle, S. P. (2014). An ELECTRE-based decision aid tool for stepwise benchmarking: An application over EU Digital Agenda targets. *Decision Support Systems*, 59: 230-241.

[4] Petrović, M., Bojković, N., Stamenković, M., Anić, A. (2018a). Supporting performance appraisal in ELECTRE based stepwise benchmarking model. *Omega: International Journal of Management Science*, 78:237-251.

[5] Petrović, M., Bojković, N., Stamenković, M., & Anić, I. (2018b). A Sensitivity Analysis of ELECTRE Based Stepwise Benchmarking for Policy: the Case of EU Digital Agenda. *Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*.

[6] Stamenković, M., Anić, I., Petrović, M., & Bojković, N (2016). An ELECTRE approach for evaluating secondary education profiles: evidence from PISA survey in Serbia. *Annals of Operations Research*, 245:337-358.

[7] Stamenković, M. S. (2016). *Višekriterijumsko odlučivanje u upravljanju i optimizaciji ekonomije obrazovanja* (Doctoral dissertation, Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu).

[8] World Bank (2016). *World Development Report — Digital Dividends*. *The World Bank*. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.
UNIVERZITET U BEOGRADU FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

MERENJE TEHNIČKE EFIKASNOSTI NACIONALNE EKONOMIJE REPUBLIKE SRBIJE

MEASUREMENT OF THE TECHNICAL EFFICIENCY OF THE NATIONAL ECONOMY OF THE REPUBLIC OF SERBIA

ANA KRSTIĆ[1], PREDRAG MIMOVIĆ[2], DRAGANA REJMAN PETROVIĆ[3]

[1] Ekonomski fakultet, Kragujevac, anakrstic@kg.ac.rs, [2]mimovicp@kg.ac.rs, [3]rejman@kg.ac.rs

Rezime: *U radu je prikazana primena neparametarske tehnike analize obavijanja podataka (DEA) za merenje tehničke efikasnosti nacionalne Republike Srbije. I pored određenih teorijskih kontroverzi, bruto domaći proizvod se posmatra kao sublimirani izraz ostvarenih makroekonomskih rezultata. Zbog toga je za potrebe merenja efikasnosti nacionalne ekonomije RS, na osnovu odabranih determinanti BDP-a u svojstvu ulaznih i izlaznih varijabli, primenjen CCR DEA model orijentisan na rezultate, u vremenskom periodu 2007-2017 godina. Dobijeni rezultati su pokazali da primenjeni DEA model u dobroj meri reflektuje makroekonomska kretanja RS, apostrofirajući 2007. i 2013.godinu, odnosno kraj predkriznog i početak postkriznog perioda, kao godine kada je nacionalna ekonomija tehnički relativno efikasno koristila raspoložive nacionalne resurse - rad, kapital i energiju.*

Ključne reči: *Analiza obavijanja podataka, Nacionalna tehnička efikasnost, Makroekonomske performanse*

Abstract: *The paper presents the application of non - parametric data analysis technique (DEA) for measuring the technical efficiency of the national Republic of Serbia. Despite some theoretical controversies, gross domestic product is viewed as a sublimated expression of the achieved macroeconomic results. Therefore, for the purposes of measuring the efficiency of the national economy of the Republic of Slovenia, based on the selected determinants of GDP as input and output variables, a CCR DEA model-oriented model was applied for the period 2007-2017. The obtained results showed that the applied DEA model largely reflects the macroeconomic trends of the RS, referring to 2007 and 2013, ie the end of the pre-crisis and the beginning of the post-crisis period, as the year when the national economy technically relatively efficiently used the available national resources - labor, energy.*

Keywords: *Data analysis analysis, National technical efficiency, Macroeconomic performance*

1. UVOD

Makroekonomska stabilnost je primarni cilj ekonomske politike svake zemlje. Prisutna je u nacionalnoj ekonomiji koju karakteriše odsustvo prekomernih fluktuacija ili ekstremna volatilnost makroekonomskih indikatora. To podrazumeva stabilnost cena, visok nivo zaposlenosti i deficit platnog bilansa, sa stabilnim ekonomskim rastom. Opšti cilj makroekonomske politike je doprinos ekonomskom i socijalnom blagostanju na pravedan i održiv način. Primarni cilj politike makroekonomske stabilizacije trebalo bi da bude postizanje stabilnog ekonomskog rasta. Stabilnost cena igra važnu ulogu kroz uticaj na investicione odluke. Budući da je nezaposlenost glavni uzrok siromaštva, ključni zadatak je održavanje ekonomije na visokom nivou zaposlenosti. Za ispitivanje makroekonomske stabilnosti najčešće se prati kretanje makroekonomskog rezultata, uključujući rast bruto domaćih proizvoda (BDP), stopu inflacije i nivo zaposlenosti. Visoka stopa rasta, na šta ukazuju promene u bruto domaćem proizvodu, BDP, niska stopa inflacije kao što je prikazano promenom indeksa potrošačkih cijena (CPI) i visoka stopa zaposlenosti su glavne mete ili misije nacionalne makroekonomske politike.

2. PREGLED LITERATURE

U naučnoj i stručnoj literaturi ima više referenci koje upućuju na problem merenja efikasnosti nacionalne ekonomije. Ekonomisti su dugo bili zainteresovani za teorijsku i empirijsku analizu tehničke efikasnosti u okviru matematičkog programiranja, naročito DEA okvira, pri čemu su različite kombinacije makroekonomskih pokazatelja uzete kao ulazne i/ili izlazne varijable u njenoj primeni.

Lovell (1990), je primenio tehniku matematičkog programiranja merenja performansi da konstruiše "najbolju praksu" i uspostavio skalarnu meru makroekonomskih performansi jedne ekonomije. Međutim, u ovoj aplikaciji nema ulaznih varijabli i sadrži samo četiri rezultata (rast BDP-a, zaposlenost, trgovinski bilans i stabilnost cena). Šta više, studija je sprovedena u malom obimu od 10 ekonomija u Aziji, sa fokusom na Tajvansku, za različito vreme, tako da je bilo teško doći do uverljivog ukupnog rangiranja performansi. Takođe, Lovel et al. (1995) proučavaju performanse makroekonomije 19 zemalja OECD-a u periodu 1970-1990. Ovi autori su razvili alternativni DEA model, onaj koji inkorporira uslužne gepove u postupak evaluacije performansi na ekonomski smislen način. Martić i dr. (2001) su koristili DEA metodu da procene koliko dobro regioni u Srbiji koriste svoje resurse. Na osnovu ulaznih i izlaznih podataka, oni su primenili izlazno orijentisani DEA model, a čini se da je 17 od 30 regija efikasno. Inače, Despotis (2005) je proširio primenjivost DEA modela s varijabilnim prinosima na skalu kako bi procenio relativnu efikasnost zemalja u Aziji i Pacifiku u pretvaranju prihoda u ljudski razvoj. Međutim, uravnoteženi ekonomski rast mora istovremeno biti praćen očuvanjem resursa i životne sredine u održivom svetu. Visoka stopa rasta (kao što pokazuje promena u bruto domaćem proizvodu), niska stopa inflacije, niska stopa nezaposlenosti i povoljan trgovinski bilans su četiri glavna cilja ili ciljevi makroekonomskih kreatora nacionalne makroekonomske politike. Cherchie (2001) je koristio model zasnovan na DEA metodi za vrednovanje različitih ekonomskih ciljeva. Studija je pružila poređenje nekoliko sintetičkih indikatora koji su spojili četiri odvojena indikatora u jednu statistiku. Milner & Weiman-Jones (2003), istražuju uticaj veličine jedne države u smislu njene površine na ukupnu nacionalnu efikasnost primenom metode neparametarskog programiranja na grupu od 85 država u razvoju, u periodu 1980-1989 godina Rezultati su pokazali da postoji jak pozitivan odnos razvoja i efikasnosti i dokazi o pozitivnom uticaju otvorenosti trgovinske politike na ukupnu efikasnost. Postoje i neki dokazi o ograničenju veličine zemlje na efikasnost kada se apstrahuju drugi uticaji. Suzuki et al, (2016) mere ekonomsku efikasnost energije i životne sredine s dva ulaza (potrošnja energije i stanovništvo) i dva rezultata (izlaza) (emisija CO_2 i BDP), uključujući fiksni ulazni faktor koji se odnosi na stanovništvo. Wang & Lee (2018), mere i predviđaju makroekonomske performanse primenom DEA metoda na primeru razvijenih evropskih država i azijskih država u razvoju, u periodu 2013-2016 i 2017-2020 godina. Koristeći četiri makroekonomska indikatora, državni bruto dug, stopu rasta BDP-a, stopu inflacije i stopu nezaposlenosti, oni konstruišu skalarnu meru makroekonomske performanse i pokazuju da su Švajcarska, Singapur i SAD makroekonomski najuspešnije države. Vaz & Pereira (2019), predlažu okvir za primenu DEA metode za procenu tehničke efikasnosti 26 evropskih zemalja u poslednjih pet godina, u okviru tekuće energetske politike 2020. godine. DEA se koristi za procenu efikasnosti koja je dopunjena bootstrapping-om za dobijanje statističkih zaključaka. Primećeno je da je efikasnost ekonomija povećana za oko 13% u proseku, od 2009. godine. Postignuti rezultati ukazuju na to da napori u pogledu energetskih politika razvijenih u svakoj zemlji ne ugrožavaju poboljšanje njihove efikasnosti. Takođe, više studija o merenju i proceni makroekonomskih i razvojnih performansi regiona, gradova, pokrajina i nacija sprovedeno je i objavljeno u literaturi (Mohamad, 2007).

3. METODOLOGIJA

Analiza obavijanja podataka (DEA) je matematički, neparametarski pristup za izračunavanje efikasnosti, koji ne zahteva specifičnu funkcionalnu formu. Koristi se za evaluaciju performansi jedinica odlučivanja (Decision Making Unit – DMU), tako što se više ulaznih varijabli svodi na jedan ″virtuelni″ ulaz i više izlaznih varijabli svodi na jedan ″virtuelni″ izlaz, pomoću težinskih koeficijenata. Detaljnije o praktičnoj primeni DEA metode može se videti u: Dyson et al. 2001; Sarkis, 2002; Sherman & Zhu, 2006; Cooper et al, 2007; Cook et al, 2014; itd.

4. OPIS I STRUKTURIRANJE PROBLEMA

Polazeći od cilja istraživanja, jasno je da je interes da se ostvareni rezultati kao ciljevi ekonomske politike Republike Srbije optimizuju. A kako je i pored određenih teorijskih kontroverzi, bruto domaći proizvod sublimirani izraz ostvarenih makroekonomskih rezultata, za potrebe analize efikasnosti nacionalne ekonomije RS, izabran je izlazno orijentisan CCR racio model (Charnes et al, 1978), čija odgovarajuća dualna forma (koja se češće rešava), u opštem slučaju glasi:

$$(\max)\, \emptyset_k + \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+\right) \tag{1}$$

p.o.

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij}\lambda_j + s_i^- = x_{ik} \quad i = 1,2,..,m \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - s_r^+ = \emptyset y_{rk} \quad r = 1,2,..,s \tag{3}$$

$$\lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0 \quad j = 1,2,..,n; i = 1,2,..,m; r = 1,2,..,s$$

Gde su s_i^- i s_r^+ dualne promenljive koje govore o neophodnom pojedinačnom smanjenju *i*-tog ulaza i povećanju *r*-tog izlaza *k*-te DMU da bi postala efikasna. S obzirom da one predstavljaju dopunu do jednakosti u sistemu ograničenja one se nazivaju dopunske promenljive. Dualna promenljiva λj predstavlja dualnu težinu koja pokazuje važnost koja je dodeljena DMU*j* (*j* = 1,2,..,*n*) pri definisanju ulazno-izlaznog miksa hipotetičke kompozitne jedinice sa kojom će se DMU*k* direktno porediti. DMU*k* je tehnički efikasna, ako i samo ako, su za optimalno rešenje ($\lambda^*, s^{+*}, s^{-*}, \emptyset_k^*$) ispunjeni uslovi: $\emptyset_k^* = 1; s^{+*} = 0; s^{-*} = 0.$ Pomoću optimalnog rešenja ($\lambda^*, s^{+*}, s^{-*}, \emptyset_k^*$) mogu se odrediti ciljane vrednosti za DMU o kojima se odlučuje.

Izbor varijabli u ovom slučaju izvršen je na osnovu analize radova i publikacija u kojima se istražuje problem efikasnosti nacionalnih ekonomija (Vaz & Ferreira, 2019; Milner & Weyman-Jones, 2003; OECD 2001; Lábaj et al, (2013); etc.), i odnosi se na rad, kapital i energiju kao ulazne varijable tj. korišćene reusrse i BDP kao izlaznu varijablu.

Tako da su pretpostavke na kojima počiva formirani izlazno orijentisani CCR model:

- Posmatrani vremenski period je 2007-2017 godina, izabran upravo zbog činjenice da je obeležen brojnim usponima i padovima tranzicione ekonomije Republike Srbije, uzrokovanih najvećim delom objektivnim eksternim faktorima, ali i unutrašnjim strukturalnim slabostima; pri tome, nacionalna ekonomija u svakoj pojedinačnoj godini posmatranog perioda, predstavlja jednu DMU;
- Ulazne varijable (determinante bruto domaćeg proizvoda) su: I1 – stopa učešća radne snage (raspoloživ broj radnika kao % ukupne populacije); I2 – neto akumulacija kapitala (% od BDP); I3 – Potrošnja energije po glavi stanovnika (u kg naftnog ekvivalenta);
- Izlazna varijabla je O1 – stopa rasta BDP-a (%), kao najčešće korišćena mera ukupne ekonomske aktivnosti jedne zemlje;

Potreba za izborom izlazno orijentisanog modela ovde postaje očigledna, imajući u vidu da ulazne varijable I1 i I2 teško mogu biti promenjene u kratkom roku, dok je što se tiče potrošnje energije situacija nešto povoljnija. Primenjeni model može biti modifikovan na različite načine, u zavisnosti od cilja.

Tabela 1: Vrednosti ulaznih i izlaznih varijabli DEA modela za merenje tehničke efikasnosti nacionalne ekonomije RS

DMU	(I)I1	(I)I2	(I)I3	(O)O1(+4)
2007.	51,0	29,1	2248,16	9,9
2008.	51,4	30,3	2290,00	9,4
2009.	48,9	19,4	2070,23	0,9
2010.	50,9	18,5	2141,06	4,6
2011.	50,9	20,1	2237,46	5,4
2012.	51,3	21,0	2020,40	3,0
2013.	52,1	17,6	2080,97	6,6
2014.	52,4	17,5	1859,43	2,2
2015.	52,0	18,9	1967,38	4,8
2016.	53,9	19,1	1986,47	6,8
2017.	53,5	21,0	1954,52	5,9

Tabela 2: Deskriptivna statistika

Variable	I (L)	I (C)	I (E)	O (GDP)
max	53,9000	30,3000	2.290,0000	5,9000
min	48,9000	17,5000	1.859,4300	-3,1000
average	51,6636	21,1364	2.077,8255	1,4091
SD	1,3662	4,3971	137,9579	2,7776

5. ANALIZA REZULTATA

Tehnička efikasnost za svaku DMUs procenjena je po dualnom modelu (2), procenjujući kapacitet svake ekonomije u maksimizaciji BDP-a, uzimajući u obzir fundamentalne doprinose izabranih varijabli(energija, rad i kapital). Najmanja ostvarena relativna tehnička efikasnost je u 2009.godini (0,128), a najveća u 2007. i 2013.godini (tabela 5). Relativna efikasnost zemlje u datoj godini procenjuje se upoređivanjem sa najboljim praksama posmatranim tokom analiziranog perioda, u rasponu od 2007. do 2017. godine. Analiza dobijenih rezultata pokazuje da referentni skup DMU_s čine 2007. i 2013.godina. Tehnička efikasnost nacionalne ekonomije RS u tim godinama jednaka je 1, iskorišćenost raspoloživih reusrsa je bila 100%, sve dualne promenljive s_i^- i s_r^+ su jednake 0, pa su i ciljane vrednosti ulaznih i izlaznih varijabli jednake ostvarenim (tabela 7). Ostale DMUs su tehnički neefikasne. Tako, recimo, optimalno rešenje za DMU_{2009} glasi:

$$\emptyset^* = 0{,}128;\ \lambda_{2007}^* = 0{,}243;\ \lambda_{2013}^* = 0{,}701;$$

$$s_1^- = 0;\ s_2^- = 0;\ s_3^- = 65{,}84;\ s_1^+ = 6{,}129;$$

Kako su $\lambda_{2007}^* > 0 \ \ i \ \lambda_{2013}^* > 0$, referentni skup za DMU_{2009} je R_{2009} $\{2007, 2013,\}$. Preko ovih referentnih vrednosti λ^* moguće je izračunati ciljane vrednosti ulazne varijable I3 i izlazne varijable O1, za koje bi nacionalna ekonomija RS bila tehnički efikasna u 2009.godini, dok su za ulazne varijable I1 i I2 ciljane vrednosti identične ostvarenim.

Tako, da bi u 2009.godini, nacionalna ekonomija bila tehnički efikasna, neophodno je bilo da potrošnja energije po glavi stanovnika, izraženo u kg naftnog ekvivalenta, iznosi I_3^*= 2005, odnosno da bude manja za 65,84 (3,18%), dok je recimo, za izlaznu varijablu BDP, ciljna vrednost u 2009.godini O_1= 7,03%. Slična analiza se može uraditi i za ostale DMU_s.

Optimalno rešenje multiplikativnog problema daje optimalne vrednosti težinskih koeficijenata koji izražavaju relativnu važnost ulaznih i izlaznih varijabli, koje su za referentne DMU_s. Ovi težinski koeficijenti imaju menadžersku i analitičku vrednost. Tako, za 2009.godinu, vrednost težinskog koeficijenta $v_1^* = 0{,}032012,$ znači da bi relativna finansijska efikasnost nacionalne ekonomije RS u 2009.godini bila veća za 3,2012 % da je stopa učešća radne snage, izražena kao procentualno raspoloživ broj radnika u odnosu na ukupnu populaciju, bila manja za 1%. Analogno tome, optimalna vrednost težinskog koeficijenta izlazne varijable O_1 – stopa rasta BDP, u istoj godini je $u_1^* = 1{,}111111,$ što znači da bi relativna finansijska efikasnost bila veća za 111,11%, ako bi se stopa rasta BDP povećala za 1%. Slična interpretacija se može dati i za ostale težinske koeficijente, kao i za ostale DMU_s.

Tabela 3: Tehničke efikasnosti nacionalne ekonomije RS po godinama.

No.	Godina	Efikasnost nacionalne ekonomije RS	Rang	Reference (Lambda)			
1	2007	1	1	2007	1		
2	2008	0,9421	4	2007	1,008		
3	2009	0,128	11	2007	0,243	2013	0,701
4	2010	0,6739	8	2007	0,11	2013	0,869
5	2011	0,7408	6	2007	0,245	2013	0,737
6	2012	0,4009	9	2007	0,388	2013	0,552
7	2013	1	1	2013	1		
8	2014	0,3446	10	2007	0,176	2013	0,704
9	2015	0,6997	7	2007	0,224	2013	0,703
10	2016	0,981	3	2007	0,228	2013	0,708
11	2017	0,7945	5	2007	0,443	2013	0,46

6. ZAKLJUČAK

Prema dobijenim rezultatima, nacionalna ekonomija Republike Srbije je u posmatranom periodu bila efikasna samo u 2007. i 2013. godini. Iako je u predkriznom periodu, od 2001-2008.godine, ostvarena relativno visoka prosečna godišnja stopa rasta BDP-a od 5,4%., model ekonomskog razvoja realizovan je kroz stvaranje i korišćenje BDP-a sa nepovoljnom strukturom i visokim prilivom stranog kapitala (kroz direktne i portfolio strane investicije, a kasnije, sa izbijanjem krize, direktnim inostranim zaduživanjem. U periodu od 2005. do početka krize, u avgustu 2008. godine, Republika Srbija je zabeležila snažan rast izvoza i povećanje vrednosti dinara. Međutim, već u 2009.godini (ali nešto kasnije nego u razvijenim državama, kao posledica nerazvijenog finansijskog sistema) usledile su posledice svetske ekonomske krize, tako da blagi oporavak privredne aktivnosti u 2010. godini nije bio dovoljan da se ekonomija vrati na isti nivo od 2008. godine. Srpska privreda je nakon 2012.godine izašla iz recesije u kojoj je došlo do rasta BDP-a, dok su fiskalna konsolidacija i strukturne reforme za efekat imale poboljšanje poslovnog okruženja i realizaciju većih investicija. Iako ekonomski rast nije bio previše dinamičan, on je promenio paradigmu rasta, jer je bio zasnovan na održivim izvorima, izvozu i investicijama, što je praćeno i rastom zaposlenosti, posebno u sektoru usluga. Takođe, pad tehničke efikasnosti u 2014.godini, na 34% u odnosu na referentnu 2007. godinu, posledica je dramatičnog pada stope rasta BDP-a, sa 5,9% u 2007.godini, na -1,8% u 2014.godini. Pozitivne signale oporavka srpske privrede početkom 2014. godine zaustavile su katastrofalne poplave u maju i septembru 214. godine (ukupna šteta je procenjena na 1,7 mlrd evra). Najveće štete pretrpeo je energetski sektor (800 mil EUR). Padu BDP-a od -1,8% pored energetskog sektora, doprineo je i pad prerađivačke industrije od -1,4% i nakon rekordnog izvoza u 2013. (25,8%), skroman rast izvoza od 1,5%. Na kraju, može se reći da je u radu pokazano da primenjeni DEA model u dobroj meri reflektuje makroekonomska kretanja RS, apostrofirajući 2007. i 2013.godinu, odnosno kraj predkriznog i početak postkriznog perioda, kao godine kada je nacionalna ekonomija tehnički relativno efikasno koristila raspoložive nacionalne resurse - rad, kapital i energiju. U tom kontekstu, buduća istraživanja primenom DEA modela, bi se mogla realizovati u pravcu predviđanja makroekonomskih kretanja kroz optimizaciju vrednosti posmatranih egzogenih determinanata BDP, kao i proširenjem modela uvođenjem dodatnih ograničenja, kako se ne bi ignorisao uticaj pojedini ulaznih varijabli.

LITERATURA

[1] Charnes, A., Cooper, W.W & Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of DMUs, *European Journal of Operational Research*, 2, p. 429-444.

[2] Cherchye, L. (2001). Using data envelopment analysis to assess macroeconomic policy performance. *Appl. Econ*. 33, 407–416.

[3] Cook, W., Tone, K., Zhu, J. (2014). Data envelopment analysis: Prior to choosing a model, *Omega* 44, 1 – 4.

[4] Cooper, W., Seiford, L., Tone, K. (2007). Data envelopment analysis. A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software, Springer, 1-512.

[5] Despotis, D. K., (2005). Measuring human development via data envelopment analysis, *Omega, The International Journal of Management Science, 33*, 385 – 390.

[6] Dyson, R.G., Allen, R., Camanho, A.S., Podinovski, V.V., Sarrico, C.S., Shale, E.A. (2001). Pitfalls and protocols in DEA, *European Journal of Operational Research* 132, 245-259.

[7] Izveštaj o privrednom razvoju Srbije 2014., Republika Srbija, Ministarstvo privrede, 2015.

[8] Lábaj, M. – Luptáčik, M. – Nežinský, E. (2013). Data Envelopment Analysis for Measuring of Economic Growth in Terms of Welfare Beyond GDP, Department of Economic Policy Working Paper Series, University of Economics in Bratislava, Department of Economic Policy 1-18.

[9] Lin, M. I., Lee, Y. D., Ho, T. N. (2011). Applying integrated DEA/AHP to evaluate the economic performance of local governments in China, *European Journal of Operational Research 209*, 129-140.

[10] Lovell, C. K. (1995). Measuring the macroeconomic performance of the Taiwanese economy, *Internationa Journal of Production Economics*, 1-29.

[11] Lovell, C. K., Pastor, J. T., Turner, J. A. (1995). Measuring macroeconomic performance in the OECD: A comparison of European and non-European countries, *European Journal of Operational Research 87,* 507-518.

[12] Martic, M., Savic, G. (2001). An application of DEA for Comparative Analysis and Ranking of Regions in Serbia with Regards to Social-Economic Development, *European Journal of Operational Research, 132* , 343 - 356.

[13] Milner, C. & Weyman-Jones, T. (2003). Relative National Efficiency and Country Size:Evidence for Developing Countries, *Review of Development Economics*, 7(1), 1–14.

[14] Measuring Productivity, OECD Manual, Measurement of aggregate and industry-level productivity growth, OECD, Organisation for economic cooperation and development, 2001.

[15] Mohamad, N. (2007). A linear programming formulation of macroeconomic performance: the case of Asia Pacific, *Matematika* 23, 29 – 40.

[16] Sarkis, J. (2002). Preparing Your Data for DEA, Chapter 4 in Avkiran N.: *Productivity Analysis in the Service Sector with Data Envelopment Analysis*, 2nd edition, N K Avkiran, UQ Business School, The University of Queensland, Australia.

[17] Suzuki, S., Nijkamp, P. (2016), An evaluation of energy-environment economic efficiency for EU,

APEC and ASEAN countries: Design of a Target-Oriented DFM model with fixed factors in Data Envelopment Analysis, *Energy Policy 88,* 100-112.

[18] Sherman, H. D., Zhu, J. (2006). Service Productivity Management: Improving Service Performance Using Data Envelopment Analysis (DEA). Springer Science & Business Media: Boston, MA, USA.

[19] Vaz, B. C., & Ferreira, A. P. (2019). *Measuring technical efficiency of European Countries using data envelopment analysis***,** Imprensa da Universidade de Coimbra, 1-19.

Internet izvori

https://data.worldbank.org/

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

LEADERSHIP IN HIDDEN CHAMPION ORGANIZATIONS: A MULTI-CRITERIA BASED APPROACH

VIOLETA CVETKOSKA[1]

[1] Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Economics-Skopje, Skopje, vcvetkoska@eccf.ukim.edu.mk

Abstract: *We live in a world that is becoming more dynamic and complex. Leaders in organizations are faced with a number of problems and challenges related to increased competition, customers that want high quality but are willing to pay as low a price as possible, limited resources, time pressures, and, of course, as part of this digital era - rapid changes in technology. With the decisions they make, they are responsible for the results the organization achieves both in the short and the long term. The discipline of operational research (OR) helps those who lead organizations to make better decisions by applying adequate analytical methods and techniques. A relatively new field of this discipline is multi-criteria decision-making (MCDM), which refers to making decisions when there are several criteria, which are most often conflicting among themselves. Most of the problems that exist in organizations are multi-criteria. In this paper, the emphasis is placed on the leadership of the hidden champion organizations, which is a central and important driver for their success. The aim of the paper is to develop a MCDM model for the leadership of the hidden champion organizations, which takes into account two dimensions: the individual leadership and the social nature of the leadership (communityship), and factors on which they can be decomposed. The hierarchical model will serve the leaders of the hidden champion organizations in the direction of their further successful leading.*

Keywords: *Leadership, Hidden Champions, Operational Research, MCDM, AHP Model.*

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

MULTI-CRITERIA DECISION MODEL FOR SELECTING THE BEST IT EMPLOYEE OF THE YEAR

VIOLETA CVETKOSKA[1], NIKA IVANOVSKA[2]

[1] Associate Professor, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Economics–Skopje, Skopje, vcvetkoska@eccf.ukim.edu.mk
[2] MSc. Student, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Economics–Skopje, Skopje, ivanovskanika@yahoo.com

Abstract: *The aim of this paper is to propose a multi-criteria model for selecting the best IT employee of the year in IT companies in one developing country. The criteria according to which the IT employees will be evaluated are determined through a two-stage survey process. In the first stage the questionnaire contained eight criteria that were evaluated by the respondents (IT company owners, IT team leaders, employees in the HR sector of IT companies, and IT developers), and the added criteria by them (nine) were evaluated by the same respondents in the second questionnaire. All criteria that have an average grade of importance that is equal to or higher than 4, were grouped in three categories: quality of work, personal quality and knowledge and skills. Based on the categories of criteria and the determined criteria, a multi-criteria decision model was developed, i.e. an AHP model whose solution will serve the management of the IT companies as a recommendation in the process of selection of the best IT performer of the year.*

Key words: *multi-criteria decision making, analytic hierarchy process, criteria, IT companies, IT employees.*

1. INTRODUCTION

Organizations that strive to operate successfully in the global world are aware that the probability of sustainable success depends on their ability to attract and develop talents, and it is even more important to find a way to keep them in the organization and to identify with the set goals. But it would not be possible to talk about achieving organizational goals at all, unless we have motivated employees who put in maximum effort. In that direction, the question arises as to how to determine whether the employees show the desired performance? How to find out which employees are "top performers", and for whom there is a real need to increase their engagement in the workplace? The answer, of course, involves the establishment of an effective system of measurement and performance management as a requirement for the organization to be sure that it does the right things in the right way and in the right direction. Performance appraisal is used to evaluate employees' strengths and weaknesses against a set of predetermined criteria that are linked to organizational goals (Grote 2002). Human Resource Management (HRM) has the difficult task of determining appropriate criteria and assessment methods that will reflect the specificities of the work of individual categories of employees. One of the most commonly used assessment methods in practice are the following: Ranking, Graphic Rating Scale, Paired comparison method, "Checklist method", "Management by objectives (MBO)" and "360 degree review".

It is important to emphasize that performance appraisal, as a widely discussed concept, is only one aspect of performance management, which is quite important because what can not be measured can not be managed. According to Armstrong (2000), performance management is a strategic and integrated approach to delivering sustained success to organizations by improving the performance of people who work in them and by developing the capabilities of teams and individual contributors. While performance appraisal should help to obtain meaningful information on how successful employees are performing their tasks, management should focus on how best to use this information. One of the basic goals that an effective performance management system needs to achieve is to improve employee motivation and satisfaction by creating an organizational culture in which high employee contributions are recognized, valued and publicly promoted.

In this paper, the focus is on evaluating the performance of IT professionals, a workforce for which a real war is taking place in the global labor market. Considering the fact that the tech sector has the highest turnover rate, organizations are happy to maintain these high-tech profiles for more than a year. Under such conditions, HR requires a proactive role and the continuous undertaking of activities that will influence their motivation and satisfaction. To evaluate the performance of IT employees in IT companies in a developing

country, i.e. the Republic of North Macedonia, a model of one of the most well-known multi-criteria methods, the Analytic Hierarchy Process (AHP), is proposed. This method is chosen as the most appropriate, therefore it allows to include more criteria which can be both quantitative and qualitative. The model will enable IT employees that are evaluated to be ranked, and to select the one that is the best performer of the year.

2. OBJECTIVES AND RESEARCH METHODOLOGY

The overall objectives of the research are the following:

- to determine the criteria of key importance in the evaluation of the performances of IT employees in IT companies in one developing country, i.e. the Republic of North Macedonia;
- to develop a multi-criteria decision model for managerial decision-making in the process of selection of the best IT employee of the year.

The specific objectives of the paper are as follows:

- to present and analyze the results of the survey carried out on IT company owners, IT team leaders, employed in the HR sector of IT companies and IT developers;
- to develop a structure of multi-criteria decision model, i.e. an AHP model based on the determined criteria that will help the management of IT companies in the process of selection of the best IT performer of the year.

Those criteria that will have an average grade of importance that is equal or higher than 4 (described in detail in Section 4) will serve as input in the multi-criteria model.

3. QUESTIONNAIRE DESCRIPTION AND RESPONSE

To achieve the set objectives in the research, a questionnaire was created, consisting of questions related to the IT company's location, professional status of the respondents, their gender and age, and there were given 8 criteria by the authors of this paper (ability to meet given deadlines, ability to set priorities when working with numerous projects, ability to work under pressure, creative approach to problem-solving, ability to work in a team, level of technical knowledge, desire and openness to acquire new knowledge, "eye" for details and the ability to identify possible problems) that the respondents needed to evaluate on the scale of 1-5 (1 - the lowest grade, 5 - the highest grade) according to their view of importance in the process of selection of the best IT employee of the year. Also, if they think that there is another criterion (or criteria) they need to add, in this case a list of new criteria will be selected, afterwards sent to the same respondents again to evaluate their importance.

The questionnaire was sent to IT companies in the Republic of North Macedonia and it was stated that it needed to be filled by one person (IT company owner, IT team leader, an employee in the HR sector of an IT company or other (IT developer)). The questionnaire was not anonymous because there had been given the opportunity for criteria to be added, which were not given but are important for the respondents when selecting the top IT performer of the year. If there are new criteria, there will be a two-stage survey process, i.e. the first questionnaire will consist of the given criteria by the authors, and the second questionnaire will consist of the added criteria by the respondents. The second questionnaire will be sent to the same respondents.

The period to fill in the questionnaire with the given criteria by the authors of this paper was the first two weeks in April 2019. The total number of received complete questionnaires was 38. According to the obtained results that are analyzed in the next section there were new criteria added, so the second questionnaire was created and sent to the same respondents at the beginning of the last week of April, and they had two weeks to complete and send the questionnaire.

4. ANALYSIS OF THE RESULTS OF THE SURVEY

Based on the obtained results from the 38 questionnaires, all IT companies are located in Skopje, the capital of the country. Based on gender, 21 respondents (or 55%) are female, while 17 (45%) are male; according to age, most of the respondents (84%) are between 25 and 45 years old, and on the basis of their professional status, 16 are IT team leaders, 11 are employed in the HR sector of IT companies, 8 are in the category Other (IT developers), and 3 are IT company owners. (Figure 1).

The highest average grade of importance regarded the criterion ability to meet given deadlines ($\overline{x}$ = 4.74), followed by the ability to work in a team ($\overline{x}$ = 4.66), ability to set priorities when working with

numerous projects ($\bar{x}$ = 4.53), desire and openness to acquire new knowledge ($\bar{x}$ = 4.39), "eye" for details and the ability to identify possible problems ($\bar{x}$ = 4.24), level of technical knowledge ($\bar{x}$ = 4.21), while the following two criteria: creative approach to problem-solving and ability to work under pressure have the same average grade of importance ($\bar{x}$ = 4.13). (Table 1).

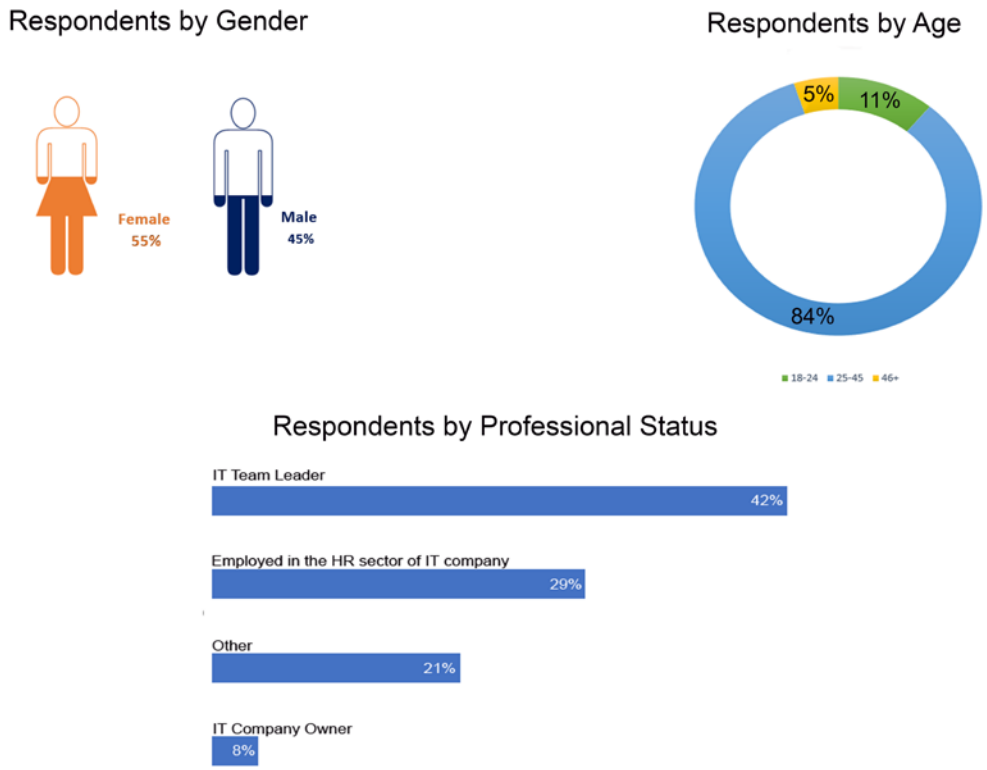


Figure 1. Respondents by gender, age, and professional status

Table 1: The results of the survey – importance of the given criteria

No.	Criteria	Average grade of importance
1.	Ability to fulfill given deadlines	4.74
2.	Ability to work in a team	4.66
3.	Ability to set priorities when working with numerous projects	4.53
4.	Desire and openness to aquire the new knowledge	4.39
5.	"Eye" for details and the ability to identify possible problems	4.24
6.	Level of technical knowledge	4.21
7.	Creative approach to problem-solving	4.13
8.	Ability to work under pressure	4.13

In addition to these 8 criteria, the respondents added the following 9 criteria: persistence, desire to take on initiative, communication, business logic, leadership, adjustment to changes, budget control, commitment, and the ability to organize. Based on this state, the survey was conducted as a two-stage approach, so in the second stage the second questionnaire was created, consisting of the abovementioned 9 criteria, and the same 38 respondents needed to evaluate them on a discrete scale (1 to 5, where 1 is the lowest grade of importance, and 5 is the highest) in the process of selection of the top IT performer of the year. The questionnaire was sent to them at the beginning of the last week in April 2019 and they were given two weeks to fill it in. According to the estimated average grades of importance of these new criteria, they all have an average grade under 4 and will serve as input in the multi-criteria decision model (AHP).

5. MULTI-CRITERIA DECISION SUPPORT METHOD AHP

Being one of the most important and fastest growing fields of the discipline of management science (MS), multi-criteria decision making (MCDM) is about making a decision in the presence of multiple criteria that in most cases are conflicting among themselves. A detailed review of this field of MS, from its beginning to the present can be found in Koksalan *et al*. (2011). Mardani *et al*. (2015) have made a literature review of the MCDM techniques and their applications. In this review there are considered 393 papers published in more than 120 international peer-review journals, published in the period 2000-2014, and they are extracted from the database Web of Science (Cvetkoska and Savic 2017). According to this review, the most used MCDM method is AHP (128 papers).

AHP was developed in the late seventies of the XX century by Thomas L. Saaty (Saaty 1977, 1980), and it enables a complex problem of MCDM to be decomposed to goal, criteria, sub-criteria (if any) and alternatives that are represented as a hierarchy (goal on the top, while the alternatives on the bottom). Cvetkoska and Begicevic-Redzep (2016, pp. 343-344) give an explanation of the four steps of the application of this MCDM method. Also, AHP allows to check the consistency in pairwise comparisons of the elements of the hierarchy by computing the consistency ratio (CR), so that if CR is smaller or equal to 10% (0.01), the inconsistency is accepted, details can be found in Cvetkoska and Iliev (2017, p. 96). Based on the literature review of Emrouznejad and Marra (2017) about the development of AHP, where 8441 published works are considered, extracted from ISI WoS, published in the period 1979-2017 (up to January), the number of publications has increased in the last 10 years, and in the period 2013-2015 there have been identified more than 800 published works.

The use of AHP method in the area of HR can be found in (Rangone 1996, Albayrak and Erensal 2004, Saaty *et al*. 2007, Omrani 2012, Chen *et al.* 2014, Jurik and Sakal 2015). In this paper an AHP model is proposed for selection of the best IT employee of the year. Based on the existing literature it was found that Norddin *et al*. (2015) developed an AHP-based model in order to select the best employee of the year. This model consists of goal, 4 criteria (quality of work, personal quality, knowledge and skills, and external factors), 22 sub-criteria and as alternatives there are used 5 employees. Mittal *et al*. (2009) regarding a case study of Indian IT companies evaluate the performance of employees by using AHP. In the first survey they have obtained a list of criteria that are important for the promotion of employees, and then in another survey they ascertain the criteria for determining three employees for promotion and evaluating their relative weights by AHP.

In our paper the criteria determined and identified through the two-stage survey are grouped in three categories: quality of work, personal quality, and knowledge and skills, and this model is original (described in detail in the next section).

5.1 AHP-based model for selection of the best IT employee of the year

In order to select the best IT performer of the year, employed in an IT company, this paper proposes an AHP model. The hierarchy structure of this model consists of: goal: select the best IT employee of the year; 3 categories of criteria: quality of work (QW), personal quality (PQ) and knowledge and skills (KS); criteria in each category; and as alternatives will serve employees that will be evaluated (their number will be 7±2). Description of the categories (based on Nordinn *et al*. (2015, p.73) and the criteria that belong to each category is given in Table 1.

Each of the members of the Committee from each analyzed IT company that will select the best IT employee of the year, will need to compare the three categories in pairs by using the intensity of importance scale (Cvetkoska & Iliev 2017, p. 95) to assign the appropriate intensity of importance. From the individual judgments for each category, a group judgment will be drawn out (detailed in Cvetkoska & Savic (2017, p. 10), which will be entered in the matrix of pairwise comparisons. Then it will be calculated: the normalized matrix, the weight of each category and consistency ratio. Analogously, for the criteria belonging to each category, a pairwise comparisons matrix will be compiled, and the normalized matrix, the weights for the criteria and the consistency ratio will be calculated; then the employees among who the selection will be made are to be evaluated, and a total priority will be calculated on the basis of which they will be ranked (details of the procedures can be found in Norddin *et al*. (2015, pp. 73-75). From the 38 IT companies compiling the sample for analysis one was selected in which three members (who will comprise the selection committee for the best IT employee of the year) were compared in pairs for the categories and criteria within each category, and the calculated weights are shown in Table 2.

Table 1: Description of categories and criteria

Categories	Description	Criteria
Quality of work (QW)	the ability of the employee to manage multiple projects, maintain high standards and complete the work accurately and on time.	▪ Meet given deadlines ▪ Set priorities when working with numerous projects ▪ Work under pressure ▪ Commitment ▪ Budget control
Personal quality (PQ)	the employee should be able to cooperate with others, make constructive suggestions, share ideas	▪ Creative approach to problem-solving ▪ Work in a team ▪ Persistence ▪ Desire to take initiative ▪ Organize
Knowledge and skills (KS)	the level of technical knowledge of the employee, skills (communication, change management, problem management), and showing interest to upgrade existing knowledge and gain new knowledge.	▪ Level of technical knowledge ▪ Desire and openness to aquire new knowledge ▪ "Eye" for details and the ability to identify possible problems ▪ Communication ▪ Business logic ▪ Leadership ▪ Adjustment to changes

The consistency ratio for the matrix of pairwise comparisons of categories and criteria in categories 1, 2, and 3 respectively is: 0.0136, 0.0880, 0.0858 and 0.0863, thus confirming the consistency. At the end of 2019, the Committee for selection of the best IT employee of the year will evaluate the IT employees of this company in order for their overall priorities to be calculated, and accordingly a ranking of IT employees will be made. Each IT company can apply this model and estimate its own weights and overall priorities according to which the IT employees will be ranked. The employee with rank 1 will serve as a recommendation in the process of selection of the best IT performer of the year. The benefits of using the proposed AHP model in IT companies in our country will be explained in the next paper.

Table 2: Weights of categories and criteria

Categories		
Quality of work (**0.0755**)	Personal quality (**0.5907**)	Knowledge and skills (**0.3338**)
Criteria		
▪ -Meet given deadlines (0.0593) ▪ -Set priorities when working with numerous projects (0,4302) ▪ -Work under pressure (0.0599) ▪ -Commitment (0.2818) ▪ -Budget control (0.1689)	▪ -Creative approach to problem-solving (0.0860) ▪ -Work in a team (0.1542) ▪ -Persistence (0.2072) ▪ -Desire to take initiative (0.3148) ▪ -Organize (0.2378)	▪ -Level of technical knowledge (0.0404) ▪ -Desire and openness to aquire the new knowledge (0.0946) ▪ -"Eye" for details and the ability to identify possible problems (0.0939) ▪ -Communication (0.2000) ▪ -Business logic (0.1646) ▪ -Leadership (0.0692) ▪ **-Adjustment to changes (0.3374)**

6. CONCLUSION

The most important resource in every organization is its employees. The potential for its growth, productivity, efficiency, and profitability depends on the knowledge and skills of the employees. Management should motivate employees to give their maximum to achieve the goals of the organization. A good manager leads by example, evaluates employee performance and directs them to improve, creates a rewarding system that is fair and consistent, and all that leads to success.

The adequate evaluation of the performances within the organizations and the promotion of the high contribution of the employees plays an important role in the improvement of their motivation and the total organizational success. In this paper an AHP model for selection of the best IT employee of the year is proposed. In the direction of determining the criteria of key importance that should be included in the IT

employees' evaluation process, a two-stage survey was conducted. According to one of the IT companies included in the study, the criteria of utmost importance are: set priorities when working with numerous projects, desire to take initiative and adjustment to changes. The obtained results from the developed AHP model will serve as recommendation in the managerial decision-making when selecting the employee of the year. By application of this model the accuracy of the process of selection gains in value. The employee that will be selected as a top performer will serve as a model for other employees in order to improve their performances.

REFERENCES

[1] Albayrak, E., & Erensal, C.Y. (2004). Using analytic hierarchy process (AHP) to improve human performance: An application of multiple criteria decision making problem. Journal of Intelligent Manufacturinf, 15(4), 491-503.

[2] Armstrong M., (2000), Performance Management, Key Strategies and Practical Guidelines, Second Edition, UK, Kogan Page Limited.

[3] Chen, C., Zhang, Z., Chen, L., & Lv, Y. (2014). An effective human resource management mode via analytic hierarchy process. Computer Modelling & New Technologies, 18(12C), 1309-1314.

[4] Cvetkoska, V., & Begicevic-Redzep, N. (2016). Applying the analytic hierarchy process to rank city-branches. In O. Jasko & S. Marinkovic (Eds.), Book of Proceedings of the XV International Symposium SnYMORG 2016: Reshaping the future through sustainable business development and entrepreneurship (pp. 241-252) Belgrade: University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences.

[5] Cvetkoska, V., & Iliev, F. (2017). How to choose your next top salesperson: Multiple-criteria approach. Business Systems Research, 8(1), 92-112.

[6] Cvetkoska, V., & Savic, G. (2017). Efficiency of bank branches: Empirical evidence from a two-phase research approach. Economic Research-Ekonomska Istrazivanja, 30(1), 318-333. doi: http://dx.doi.org/10.1080/1331677X.2017.1305775

[7] Emrouznejad, A., & Marra, M. (2017). The state of the art development of AHP (1979–2017): A literature review with a social network analysis. International Journal of Production Research, 55(22), 6653-6675. doi: 10.1080/00207543.2017.1334976

[8] Grote, R. C. (2002). The performance appraisal question and answer book: A survival guide for managers. New York: American Management Association.

[9] Jurik, L., & Sakal, P. (2015). Application of analytic hierarchy process method in the evaluation of managers of industrial enterprises in Slovakia. Trendy v podnikani – Business Trends, 5(3), 28-35.

[10] Koksalan, M., Wallenius, J., & Stanley, Z. (2011). Multiple criteria decision making: From early history to the 21st century. Singapore, SG: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

[11] Mardani, A., Jusoh, A., Nor, M.D.K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications – A review of the literature from 2000 to 2014. Economic Research-Ekonomska Istrazivanja, 28(1), 516–571. doi: 10.1080/1331677X.2015.1075139

[12] Mittal, K. C., Goel, A. K., & Mohindru, P. (2009). Performance Evaluation of Employees using Analytical Hierarchical Process: A Case Study of Indian IT Industry. Asia Pacific Business Review, 5(4), 119–127. https://doi.org/10.1177/097324700900500410

[13] Norddin, N. I., Ahmad, N., & Yusof, Z. M. (2015). Selecting the best employee of the year using analytical hierarchy process. Journal of Basic Applied Scientific Research, 5(11), 72-76.

[14] Omrani, A. (2012). Analytic hierarchy process and its application in human resource management. Master thesis. Warmoesberg: Hogeschool-Universiteit, Faculty of Economics & Management.

[15] Rangone, A. (1996) An analytical hierarchy process framework for comparing the overall performance of manufacturing departments. International Journal Operations and Production Management, 16(8), 104–119.

[16] Saaty, T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, 15(3), 234-281.

[17] Saaty, T.L. (1980). Multicriteria decision making: The analytic hierarchy process. Pittsburgh, PA: RWS Publications.

[18] Saaty, T.L., Peniwati, K., & Shang, J.S. (2007). The analytic hierarchy process and human resource allocation: Half the story. Mathematical and Computer Modelling, 46 (7-8), 1041-1053. https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.03.010

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

NOVI ITERATIVNI METOD ZA REŠAVANJE PROBLEMA VIŠEKRITERIJUMSKOG RAZLOMLJENO LINEARNOG PROGRAMIRANJA

A NEW ITERATIVE METHOD FOR MULTI OBJECTIVE LINEAR FRACTIONAL PROGRAMMING PROBLEM SOLVING

JOSIP MATEJAŠ[1], TUNJO PERIĆ[1], JADRANKA KRALJEVIĆ[2]

[1] Faculty of Economics and Business, University of Zagreb, jmatejas@efzg.hr tperic@efzg.hr
[2] Croatian Catholic University, Zagreb, jakicakr@gmail.com

Rezime: *Ovde je predstavljen novi metod koji integriše zahteve prirode problema više kriterijumskog programiranja. Problem je pretvoren u ekvivalentni problem više kriterijumskog linearnog programiranja, koji je rešen novim metodom. Metod je iterativan, zasnovan na kooperaciji između donosioca odluka, poštuje njihove aspiracije, meri realnost aspiracija i koristi ih za definisanje strategije iteracije. Ponuđen je primer ekonomske primene i poređenje sa doro poznatom metodom fazy ciljnog programiranja.*

Ključne reči: *Više kriterijumsko razlomljeno linearno programiranje; Odlučivanje; Iterativni metod, Efikasno rešenje; Ekonomska primena.*

Abstract: *We present a new method which integrate requirements imposed by the very nature of multi objective programming problem. We transform the problem into the equivalent linear one by using a new proper linearization and then we adapt our recently published method to solve it. The method is iterative, based on the cooperation among decision makers, it respects their aspirations, measures the reality of aspirations and uses them to define the iteration strategy. We provide economic application example and comparison with well-known linearization fuzzy goal programming method.*

Keywords: *Multi objective linear fractional programming; Decision making; Iterative method; Efficient solution; Economic application.*

1. INTRODUCTION

Multi-objective programming problem (MOPP) is a practical, frequently encountered problem. It has been widely studied in the literature and a variety of methods have been proposed to solve it. If the objective functions are linear (linear fractional) and the constraint set - budget is defined by the linear constraints, we are dealing with a multi-objective linear (linear fractional) programming problem (MOLPP (MOLFP)). The problems that can be expressed in the form of MOLFPP often occur in the economic practice such as financial and corporate planning, production planning, marketing and media selection etc. where the objectives are expressed as a fraction: debt/equity, profit/cost, inventory/sales, output/employee etc. (see Mishra and Singh. 2013, Steuer 1986).

Numerous methods aimed at solving MOLFPP have been developed but they are not sufficiently effective. In our opinion a quality method must meet the following requirements which reflect the very nature of the problem. First, all objectives must be treated equally, which means that all the functions must be normalized to the same set of values. Second, the proper linearization of nonlinear objective functions is necessary. It means that the marginal solution for each nonlinear function and for its linear approximation must be the same. Next, decision makers (DMs) must be fully involved into the decision process which is based on the cooperation among them. Fourth, aspirations of DMs must be respected. The method should reveal if some aspirations are unreal in comparison to the others under the frame of the given constraint set. Fifth, the obtained solution must be evaluated and, if possible, opportunities for improvement should exist. Finally, the numerical method must be simple so that DMs can understand and trust the obtained results.

Some of the abovenamed requirements are met by certain existing methods. However, the challenge to construct the method which will integrate all these requirements has been our motivation and has become our goal. This paper presents the results of our efforts.

We consider the following MOLFPP,

$$\max_{x \in S} \left(f_1(x),\ f_2(x),\ ...,\ f_k(x) \right), \tag{1}$$

where $S \subset R^n$ is the given convex polyhedron (budget) which is usually given by linear constraints (inequalities and/or equalities), $f_i(x),\ x = \left[x_1, x_2, \ ... \ , x_n \right]^T \in R^n,$ be the given real linear fractional objective function for DM i (P_i), i.e. $f_i(x) = c_i(x) / d_i(x),\ c_i(x) = \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_j + c_{i0},\ d_i(x) = \sum_{j=1}^{n} d_{ij} x_j + d_{i0},$ with the given constants $c_{ij}, d_{ij} \in R,\ i = 1,2,...,k,\ j = 0,1,2,...,n$, and k is the number of DMs. The customary assumption in the literature, $d_i(x) > 0,\ x \in S$, is replaced here by a more general assumption that denominators have a constant sign on S, i.e. $d_i(x) > 0,\ x \in S$ or $d_i(x) < 0,\ x \in S$ for $i = 1,2,...,k$.

2. CONSTRUCTION OF THE METHOD

According to the given requirements the construction of our new method for solving the initial problem (1) consists of three steps. First, we normalize linear fractional objective functions to the same set of values. Second, we transform MOLFPP into the equivalent MOLPP by using a new proper linearization for normalized linear fractional objective functions. Finally, we solve the obtained MOLPP by adapting our recently published iterative method from Matejaš and Perić 2014.

Since the values of objective functions $f_i(x),\ i = 1,2,...,k$ can be of various sizes and units we shall normalize (rescale) them. Normalization is often used in the methods for solving MOPP especially in those with weight coefficients. Let $m_i = \min_{x \in S} f_i(x),\ M_i = \max_{x \in S} f_i(x),\ i = 1,2,...,k.$ Then $m_i \le f_i(x) \le M_i \ \Rightarrow$ $0 \le f_i(x) - m_i \le M_i - m_i.$ Thus, if we define

$$\tilde{f}_i(x) = \frac{f_i(x) - m_i}{M_i - m_i} = \frac{1}{M_i - m_i} \left[\frac{c_i(x)}{d_i(x)} - m_i \right] = \frac{c_i(x) - m_i d_i(x)}{(M_i - m_i) d_i(x)}, \quad i = 1,2,...,k, \tag{2}$$

then we have $0 \le \tilde{f}_i(x) \le 1,\ \min_{x \in S} \tilde{f}_i(x) = 0,\ \max_{x \in S} \tilde{f}_i(x) = 1,$ where the optimal points for the minimum and the maximum for $\tilde{f}_i(x)$ are the same as those for $f_i(x)$. In this way we have normalized the objective functions in the sense that the functions $f_i : S \to \left[m_i, M_i \right]$ with different sets of values (ranges) are transformed into the functions $\tilde{f}_i : S \to \left[0,1 \right]$ with the same set of values. Besides, the value $\tilde{f}_i(x)$ shows actual relative realization in the point x in regard to the maximal possible realization (see also relation (4) below). Now we transform the initial problem (1) into the problem

$$\max_{x \in S} \left(\tilde{f}_1(x),\ \tilde{f}_2(x),\ ...,\ \tilde{f}_k(x) \right). \tag{3}$$

To solve problem (3) we construct the iterative method with a basic step which could be repeated. In each step aspiration level $l_i,\ 0 < l_i \le 1$ for the DM P_i, $i = 1,2,...,k$ is defined. It can be any value (level) which DM wants to realize and which is attainable on the given constraint set S. They are used in the methods for solving MOPP especially in almost all goal programming methods (see Pal, Moitra and Maulik 2003, Metev and Gueorguieva 2000).

In a single step of our method, problem (3) is solved by respecting the given aspiration levels. If the obtained solution is not satisfactory for all DMs then a new aspiration should be defined and the next step is performed. To measure the satisfaction of DMs we define

$$\tilde{\mu}_i(x) = \frac{\tilde{f}_i(x)}{l_i}, \quad i = 1,2,...,k. \tag{4}$$

The value $\tilde{\mu}_i(x)$ shows to what extent DM P_i could realize his aspiration l_i in the point $x \in S$. We shall call $\tilde{\mu}_i(x)$ the *actual relative realization* (ARR) for DM P_i in the point x.

To obtain an efficient and simple computational method for solving (3), we shall make a new, proper linearization of functions $\tilde{f}_i(x)$. We require that the linearized functions are also normalized to interval $[0,1]$ and that they have the same marginal solutions as the original ones.

If $\tilde{f}_i(x) = \tilde{c}_i(x) / \tilde{d}_i(x),\ i = 1,2,...,k.$, then, using (2), we have $\tilde{c}_i(x) = \tau[c_i(x) - m_i d_i(x)]$, $\tilde{d}_i(x) = \tau(M_i - m_i)d_i(x),\ \tau \neq 0$. Let $\delta_i = \operatorname{sgn}_{x \in S}\left(d_i(x)\right),\ i = 1,2,...,k.$ Note that δ_i is well defined because we have assumed that $d_i(x)$ has a constant sign on S. In the above expressions we take such τ for which $\operatorname{sgn}(\tau) = \delta_i$, or equivalently $\tau = \delta_i |\tau|$, holds. This yields $\tilde{d}_i(x) > 0$ and, since $0 \le \tilde{f}_i(x) \le 1$, $\tilde{d}_i(x) \ge \tilde{c}_i(x) \ge 0$. Let $v_i(x) = \tilde{d}_i(x) - \tilde{c}_i(x) = \tau\left[M_i d_i(x) - c_i(x)\right] = \delta_i |\tau|\left[M_i d_i(x) - c_i(x)\right],\ i = 1,2,...,k.$ Obviously $v_i(x)$ is a linear function and we have $v_i(x) \ge 0,\ x \in S$ and also $\min_{x \in S} v_i(x) = 0$. Now, we normalize $v_i(x)$ by dividing it by its maximal value on the set S. Thus, let $w_i(x) = v_i(x) / \max_{y \in S} v_i(y)$. Since $\max_{y \in S} v_i(y) = \max_{y \in S} \tau\left[M_i d_i(y) - c_i(y)\right] = |\tau| \max_{y \in S} \delta_i\left[M_i d_i(y) - c_i(y)\right]$, we have

$$w_i(x) = \frac{\delta_i\left[M_i d_i(x) - c_i(x)\right]}{N_i}, \quad N_i = \max_{y \in S} \delta_i\left[M_i d_i(y) - c_i(y)\right], \quad i = 1,2,...,k, \tag{5}$$

which is now uniquely defined (it does not depend on τ any more). Note also that $\delta_i\left[M_i d_i(x) - c_i(x)\right] = \left|M_i d_i(x) - c_i(x)\right|$. By this construction we obtain $0 \le w_i(x) \le 1,\ \min_{x \in S} w_i(x) = 0,$ $\max_{x \in S} w_i(x) = 1,\ i = 1,2,...,k,$ where the minimum is attained in the same point(s) where $\tilde{f}_i(x)$, and then also $f_i(x)$, achieves the maximum. Finally we define

$$z_i(x) = 1 - w_i(x),\ i = 1,2,...,k, \tag{6}$$

for which $0 \le z_i(x) \le 1,\ \min_{x \in S} z_i(x) = 0,\ \max_{x \in S} z_i(x) = 1,\ i = 1,2,...,k$ holds, but now $z_i(x)$, $\tilde{f}_i(x)$ and $f_i(x)$ achieve the maximum in the same point(s). We state the MOLFPP (3) in the linear form (MOLPP),

$$\max_{x \in S} \left(z_1(x),\ z_2(x),\ ...,\ z_k(x)\right). \tag{7}$$

Problems (1), (3) and (7) are equivalent in the sense that for each $i = 1,2,...,k$ we have

$$\max_{x \in S} f_i(x) = f_i(x^{(i)}) = M_i \ \Leftrightarrow\ \max_{x \in S} \tilde{f}_i(x) = \tilde{f}_i(x^{(i)}) = 1 \ \Leftrightarrow\ \max_{x \in S} z_i(x) = z_i(x^{(i)}) = 1.$$

Note that $x^{(i)}$ need not be unique. Thus, the marginal solutions for problems (1), (3) and (7) are the same. To solve problem (7), according to definition (4), we define the relative realization associated with $z_i(x)$,

$$\mu_i(x) = \frac{z_i(x)}{l_i}, \quad i = 1,2,...,k. \tag{8}$$

Here $\mu_i(x)$ can be considered as a linearized version of $\tilde{\mu}_i(x)$, so we shall call it the *linearized relative realization* (LRR) for the player $\mathrm{P_i}$ in the point x. Obviously the problem (7) can be also stated as $\max_{x \in S} \left(\mu_1(x),\ \mu_2(x),\ ...,\ \mu_k(x)\right)$. Let $\mu(x) = \min\left\{\mu_1(x), \mu_2(x), ..., \mu_k(x)\right\}$. We have $\mu_i(x) \ge \mu(x)$ or, according to (8), $z_i(x) \ge l_i \mu(x),\ i = 1,2,...,k$. Using this definition we shall solve MOLPP (7) by transforming it into the linear programming problem (LPP),

$$\max_{x \in S} \mu \quad \text{where} \quad z_i(x) \ge l_i \cdot \mu,\ i = 1,2,...,k. \tag{9}$$

Problem (9) represents a basic step of the iterative method intended for solving problem (1). This step can be repeated until the satisfactory solution is attained. Thus, the essence of our method is to find an efficient solution of (9) which is preferred by all the players.

We summarize the presented solving procedure in the following algorithm.

Algorithm MFM (Multi-Fraction-Method)

1. Transform MOLFPP (1) into MOLPP (7) by using (5) and (6).
2. Define aspiration levels $l_i,\ i=1,2,...,k$.
3. Solve LPP (9) by using any appropriate software.
4. Compute LRR (8) and ARR (4) to evaluate the solution 3.
5. If the solution 3 is not satisfactory then go to 2.
6. End.

Each iteration (step) of the method (loop 2-5 in Algorithm MFM) consists of solving problem (9) for the given aspiration levels $l_i,\ i=1,2,...,k$. At the beginning (in the first step) DMs could set $l_i=1$ which means that they want to achieve the highest possible amount. But it should not be the rule because it is the matter of the agreement among DMs. The evaluation of the solution of (9) (lap 4 in Algorithm MFM) will reveal the (un)reality of aspirations under the frame of given possibilities (the given constraint set). This evaluation results with the decision whether next iteration is necessary or not (lap 5).

3. EFICIENCY OF THE SOLUTION

By solving LPP (9) we obtain an efficient solution for MOLPP (7). *But is it, or when is it, an efficient solution for the normalized problem (3) and for the initial MOLFPP (1)?* Generally, if we consider any nonlinear problem then there does not exist linearization which guaranties that the solution of the linear (approximate) problem will be the efficient one for the nonlinear problem. Namely, gradient of any nonlinear function is a variable vector in the set S while gradient of the corresponding linear function is a constant one. Thus, they differ almost everywhere in S. If we consider any $x\in S$ then there exists a cone, with the vertex in x, in which a linear function decreases and a nonlinear function increases (and vice versa). If set S is stretching inside such a cone, inefficiency becomes possible. The (non)efficiency of the solution can be tested by using the scalar optimization test which is presented in Metev and Gueorguieva 2000.

4. APPLICATIONS

The following example, taken from Perić and Babić 2012, is a practical application in the financial planning.

Example. Consider a firm which is expected to reach US$ 60.0 million of capital in the next year. In order to increase the firm value, the firm's financial manager wants to improve the financial condition of the company by optimally constructing the financial structure. Based on the expected sales for the next year, it is desired to maximize the manager's satisfaction with some financial ratios. Variables which are considered are: current assets x_1, fixed assets x_2, total assets x_1+x_2, current liabilities x_3, long-term liabilities x_4, shareholders equity x_5, retained earnings added x_6, total liabilities and equity $x_3+x_4+x_5+x_6$. The manager's preferences of key financial ratios are given by four conflicting fractional goals: minimization of the current ratio x_1/x_3, minimization of the debt ratio $(x_3+x_4)/(x_5+x_6)$, maximization of the turnover ratio $60/(x_1+x_2)$ and maximization of the profitability ratio $x_6/60$ (see Perić and Babić 2012 for details).

The corresponding MOLFPP (1) is

$$\max_{x\in S}\ (f_1,\ f_2,\ f_3,\ f_4),$$

$$\text{where}\quad f_1(x_1,x_3)=\frac{-x_1}{x_3},\quad f_2(x_3,x_4,x_5,x_6)=\frac{-x_3-x_4}{x_5+x_6},\quad f_3(x_1,x_2)=\frac{60}{x_1+x_2},\quad f_4(x_6)=\frac{x_6}{60},$$

$$S=\left\{\begin{array}{l}(x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,x_6)\in R^6:\ \ x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,x_6\ge 0,\\ \quad 150\le x_1\le 250,\quad x_2\le 300,\quad x_1+x_2\ge 350,\quad 75\le x_3\le 300,\quad 100\le x_4\le 300,\\ \quad x_3+x_4\ge 250,\quad 75\le x_5\le 125,\quad 100\le x_6\le 140,\quad x_1+x_2=x_3+x_4+x_5+x_6.\end{array}\right\}$$

We apply the Algorithm MFM. Computing m_i and M_i, and using (5) and (6), we state the problem (9),

$$\max_{x\in S}\ \mu$$

$$\begin{array}{ll}1300-7x_1+6x_3\ \ge\ 1300l_1\cdot\mu, & 550-x_1-x_2\ \ge\ 125l_3\cdot\mu,\\ 11125-53x_3-53x_4+50x_5+50x_6\ \ge\ 11125l_2\cdot\mu, & x_6-100\ \ge\ 40l_4\cdot\mu.\end{array}\qquad(10)$$

Now we start with the iteration process (loop 2-5 from the Algorithm MFM) where we use LINGO software.

First step. Suppose that the financial manager is ready to accept 20% deviation from the optimal value of each goal, so he set the aspiration levels $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = 0.8$. We solve (10). The solution is

$$\mu = 0.92626,\ x_1 = 176.67,\ x_2 = 280.70,\ x_3 = 150,\ x_4 = 100,\ x_5 = 77.73,\ x_6 = 129.64.$$

Using (8) we compute LRR, $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu$, and, using (2) and (4), ARR, $\tilde{\mu}_1 = 1.0881$, $\tilde{\mu}_2 = 0.9768$, $\tilde{\mu}_3 = 0.8607$, $\tilde{\mu}_4 = \mu$. We see that the given aspirations could be realized with 108.81% for P_1, 97.68% for P_2, 86.07% for P_3 and 92.63% for P_4. Thus, all aspirations could be achieved to a great extent. Regardless of this fact, suppose that the manager is not satisfied and he wants to improve the solution. Since all LRR have the same value which is equal to the optimal one, at least one of aspiration levels has to be decreased to improve the solution. Suppose that he decides to decrease the aspiration level for P_1 to 0.7 and for P_2 to 0.75 because they have the highest ARR, while the levels for P_3 and P_4 remain the same.

Second step. We solve (10) with $l_1 = 0.7,\ l_2 = 0.75,\ l_3 = l_4 = 0.8$. The solution is

$$\mu = 0.94697,\ x_1 = 155.303,\ x_2 = 300,\ x_3 = 150,\ x_4 = 100,\ x_5 = 75,\ x_6 = 130.303.$$

Using (8) we obtain $\mu_1 = 1.2223,\ \mu_2 = 0.9756,\ \mu_3 = \mu_4 = \mu$. Using (2) and (4) we obtain ARR, $\tilde{\mu}_1 = 1.32578$, $\tilde{\mu}_2 = 1.0284$, $\tilde{\mu}_3 = 0.884$, $\tilde{\mu}_4 = \mu$. The realizations are 132.58% for P_1, 102.84% for P_2, 88.4% for P_3 and 94.7% for P_4, which is obviously an improvement. Suppose that the manager is still not satisfied. For further improvements he has to decrease the levels for P_3 or/and P_4 because their LRR have the optimal values. Since $\tilde{\mu}_4 > \tilde{\mu}_3$ he decides to decrease l_4 to 0.75 and leaves l_3 the same. Besides, since $\tilde{\mu}_1$ is very high and $\tilde{\mu}_1 > 1$ he will set $l_1 = 0.7$ as an absolute level. The level l_2 also remains the same.

Third step. We solve (10) where the first constraint $1300 - 7x_1 + 6x_3 \geq 1300 l_1 \cdot \mu$ is replaced by $1300 - 7x_1 + 6x_3 \geq 1300 l_1$ and where $l_1 = 0.7,\ l_2 = 0.75,\ l_3 = 0.8,\ l_4 = 0.75$. The solution is

$$\mu = 0.96154,\ x_1 = 184.29,\ x_2 = 269.56,\ x_3 = 150,\ x_4 = 100,\ x_5 = 75,\ x_6 = 128.85,$$

Now, $\mu_1 = 1,\ \mu_2 = 0.96687,\ \mu_3 = \mu_4 = \mu$ and $\tilde{\mu}_1 = 1.2143$, $\tilde{\mu}_2 = 1.0187$, $\tilde{\mu}_3 = 0.9004$, $\tilde{\mu}_4 = \mu$ where we have again used (8), (2) and (4). The realizations are 121.43% for P_1, 101.87% for P_2, 90.04% for P_3 and 96.15% for P_4. We see how the smallest realization for P_3 gradually increases from step to step. This method enables fine tuning of the solution in the desired direction. But such a tuning has its limits. It can be done under the frame of a given constraint set. Suppose that the manager is not satisfied yet (maybe he does not believe that the substantial improvement is not possible). He wants to increase the smallest realization.

Fourth step. Let the levels be as in the third step but l_3 (instead of l_1) is set to be the absolute one. It means that we now solve (10) where the constraint $550 - x_1 - x_2 \geq 125 l_3 \cdot \mu$ is replaced by $550 - x_1 - x_2 \geq 125 l_3$ and $l_1 = 0.7,\ l_2 = 0.75,\ l_3 = 0.8,\ l_4 = 0.75$. The solution is

$$\mu = 0.83333,\ x_1 = 150,\ x_2 = 300,\ x_3 = 150,\ x_4 = 100,\ x_5 = 75,\ x_6 = 125,$$

and hence $\mu_1 = 1.2637,\ \mu_2 = 0.9438,\ \mu_3 = 1,\ \mu_4 = \mu$, while $\tilde{\mu}_1 = 1.3462$, $\tilde{\mu}_2 = 0.9925$, $\tilde{\mu}_3 = 0.9444$, $\tilde{\mu}_4 = \mu$. The realizations are now 134.62% for P_1, 99.25% for P_2, 94.44% for P_3 and 83.33% for P_4. Thus, the better realization for P_3 is forced at the expense of realization for P_4, which decreases from 96.15% to 83.33%. So, a further significant improvement of one goal can be done at the expense of another goal.

We see how this approach reveals different possibilities which the manager can choose (one of the above steps). Of course, he can also proceed with further steps in the desired direction if we want so.

Using the linearization fuzzy goal programming method from Pal, Moitra and Maulik 2003 to solve the considered problem, we obtain $T(150, 275, 150, 100, 75, 100)$, where $\tilde{f}_1(T) = 0.9423$, $\tilde{f}_2(T) = 0.5955$, $\tilde{f}_3(T) = 1$, $\tilde{f}_4(T) = 0$. Thus, we have 100% realization for P_3 and 0% for P_4 that is not acceptable as a final solution. Namely, if we maximize four goals simultaneously and we have feasible points where $\tilde{f}_i > 0$, $i = 1, 2, 3, 4$, this solution cannot be satisfactory. But the linearization fuzzy goal programming method does

not provide an opportunity for improvement. For comparison, in the first step of our method we obtain $P(176.6701,\ 280.704,\ 150, 100,\ 77.73381, 129.6403)$ where $\tilde{f}_i(P) = l_i \cdot \tilde{\mu}_i = 0.8\tilde{\mu}_i$: $\tilde{f}_1(P) = 0.8705$, $\tilde{f}_2(P) = 0.7814$, $\tilde{f}_3(P) = 0.6885$, $\tilde{f}_4(P) = 0.7410$ that is far more acceptable. Besides, this solution is gradually improved in the next steps of the method. So, the advantages of the presented method is obvious.

5. CONCLUSIONS

In this paper we present a new efficient method for solving the multi objective linear fractional programming problem with an arbitrary number of decision makers. By the original proper linearization of the objective functions the problem is transformed into the equivalent multi objective linear programming problem which is then solved by adapting the iterative method from Matejaš and Perić 2014. The solving procedure integrates the requirements which reflect the nature of the problem that is the main contribution of the paper. The properties and advantages of the method are summarized below.

1. It is an iterative method. The basic step is repeated until the satisfactory equilibrium is attained.
2. It is simple numerically. In each step a single linear optimization problem is solved which yields a unique solution.
3. The objective functions are normalized on the fixed set of values, interval [0,1]. In this way all the objectives have the same treatment in the method.
4. Objectives are properly linearized. The marginal solutions of objective functions and the corresponding linear approximations are the same.
5. The solution is obtained by respecting the aspirations of decision makers within the given budget.
6. In each step the obtained solution is evaluated by two kinds of indicators. They show the reality of the given aspirations and serve as a guideline in defining the strategy for the next step.
7. At each stage of the process decision makers are able to understand why they have obtained such a solution and what should be done to drive the solution in the desired direction. Thus, the final decision on the solving strategy is a matter of cooperation and agreement among decision makers.

Thus, the initial problem is solved by the active participation of all decision makers. The solution process is simple for the analysts and for decision makers. The obtained solution is gradually improved through the iterative process until the final solution, which is satisfactory to everyone, is attained. This enables decision makers to have confidence in the method and to understand and trust the obtained results.

REFERENCES

[1] Matejaš, J., Perić, T. (2014). A new iterative method for solving multiobjective linear programming problem. Applied Mathematics and Computation 243, 746–754.

[2] Metev, B., Gueorguieva, D. (2000). A simple method for obtaining weakly efficient points in multiobjective linear fractional programming problems, European Journal of Operational Research 126, 386-390.

[3] Mishra, B., Singh, S.R. (2013). Linear fractional programming procedure for multi objective linear programming problem in agricultural system, International Journal of Computer Applications 61, 45-52.

[4] Pal, B.B., Moitra, B.N., Maulik, U. (2003). A goal programming procedure for fuzzy multiobjective linear fractional programming problem, Fuzzy Sets and Systems 139, 395-405.

[5] Perić, T., Babić, Z. (2012). Financial structure optimization by using a goal programming approach, Croatian Operational Research Review 3, 150-162.

[6] Steuer, R. (1986). Multiple Criteria Optimization - Theory, Computation and Applications, Willey, New York, Chichester.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA KLIME BEZBEDNOSTI U PROJEKTNO ORIJENTISANIM ORGANIZACIJAMA

MULTICRITERIA ANALYSIS OF SAFETY CLIMATE WITHIN PROJECT-BASED ORGANIZATIONS

NENAD MILIJIĆ[1], IVAN MIHAJLOVIĆ[2], IVAN JOVANOVIĆ[3], ANĐELKA STOJANOVIĆ[4]

[1]Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet Bor, nmilijic@tfbor.bg.ac.rs
[2] Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet Bor, imihajlovic@tfbor.bg.ac.rs
[3] Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet Bor, ijovanovic@tfbor.bg.ac.rs
[4] Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet Bor, anstojanovic@tfbor.bg.ac.rs

Rezime: *U ovom radu su prikazani rezultati višekriterijumske analize klime bezbednosti kao osnove za formiranje adekvatne bezbednosti na radu u organizaciji. Istraživanje je obavljeno u 11 projektno orijentisanih organizacija koje posluju u različitim industrijskim sektorima. Primenom PROMETHEE metode, obavljena je analiza klime bezbednosti u različitim industrijskim sektorima, kao i na različitim radnim mestima na projektima. Konačno, ustanovljeni su faktori klime bezbednosti čijim bi se unapređivanjem postigla poboljšanja u predmetnoj oblasti.*

Ključne reči: *Višekriterijumska analiza, klima bezbednosti, projektno orijentisana organizacija.*

Abstract: *This paper presents the results of a multicriteria analysis of the safety climate as the basis for establishing adequate occupational safety in the organization. The research was conducted in 11 project-based organizations operating in different industrial sectors. An analysis of the safety climate in different industrial sectors, as well as in different project workplaces was conducted by using the PROMETHEE method. Finally, safety climate factors have been identified, by which improving the subject area would be upgraded.*

Keywords: *Multicriteria analysis, Safety climate, Project-based organization.*

1. UVOD

Savremeni projekti, kao i kompanije koje ih realizuju, poslednjih godina se suočavaju sa sve kompleksnijim izazovima, kako tehničko-tehnološkim, tako i socio-ekonomskim. Razlozi su veoma dinamične promene koje se dešavaju u okruženju sa jedne strane, a sa druge strane to su dugo vreme relaizacije i složenost projekata, poteškoće u njihovoj realizaciji, kao i visok nivo neizvesnoti (Li *et al.* 2019). U takvim okolnostima, sa aspekta izvođača radova, potrebno je postići ciljeve kao što su minimizacija vremena i troškova i maksimizacija kvaliteta, performansi i bezbednosti zaposlenih. Međutim, u praksi, bezbednost zaposlenih vrlo često ostaje marginalizovano područje u poslovanju. Dodatno, učešće brojnih subjekata na realizaciji projekata, uz korišćenje složene tehnologije, doprinosi visokom stepenu bezbednosnih rizika, kao i čestom dešavanju povreda na radu. Otuda, potreba za boljim performansama bezbednosti zaposlenih na radu je očigledna. Brojna istraživanja, kao i poslovna praksa, ukazuju na to da je neophodan efikasniji sistem upravljanja bezbednošću na radu kroz unapređenje upravljanja bezbednosnim rizicima, komunikacija, monitoringa bezbednosti, kao i obuka o bezbednosti (Yang *et al.* 2012). Efikasniji sistem upravljanja bezbednošću na radu bi pospešio formiranje pozitivne klime bezbednosti koja bi dugoročno uticala na smanjenje povredna na radu i konačno efikasniju realizaciju projekata. Zbog toga se nameće potreba za istraživanjima koja bi za cilj imala otkrivanje organizacionih faktora koji mogu uticati na poboljšanje klime bezbednosti, kako na projektima kao privremenim strukturama, tako i u okviru samih projektno orijentisanih organizacija. Na taj način bi se učinio veliki iskorak u pronalaženju rešenja primenljivih u praksi.

Klima bezbednosti se može definisati kao percepcija zaposlenih u smislu vrednosti, stavova, politika i procedura vezanih za bezbednost na radu u organizaciji (Zohar 1980). Obzirom da klima bezbednosti pozitivno utiče na stanje bezbednosti na radu i prevenciju povreda (He *et al.* 2016), ovaj koncept je bio u fokusu istraživanja brojnih autora. Njihov cilj je bio određivanje uticajnih faktora, kako demografskih, tako i organizacionih. Potrebno je naglastiti da ti faktori ne moraju biti uniformni u različitim svetskim privredama usled uticaja kulturoloških razlika i dr., te je fokus na unifomnosti percepcije zaposlenih. Stoga je u cilju

formiranja pozitivne klime bezbednosti potrebno postići konsenzus mišljenja, stavova, shvatanja i konačno percepcije bezbednosti među članovima različitih strukovnih grupa na projektu. Na taj način se formira osnova za zadvoljavajuće stanje bezbednosti na radu, a realizacija projekata, kao i funkcionisanje čitavih projektno orijentisanih organizacija se unapređuju (Huang *et al.* 2012).

Trenutno, vrlo mali broj studija istražuje klimu bezbednost u kompanijama na teritoriji Srbije. Kada se govori o projektnom okruženju, broj ovakvih studija je još manji. Zbog toga je cilj ovog rada višekriterijumska analize klime bezbednosti u projektno orijentisanim organizacijama u Srbiji, uz pronalaženje uticajnih elemenata predmetne oblasti.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

2.1. Upitnik i prikupljanje podataka

U okviru sprovedenog istraživanja, prikupljanje podataka je obavljeno anketiranjem zaposlenih. Upitnik je razvijen od strane autora ovog rada, a na osnovu prethodnih istraživanja problematike klime bezbednosti i bezbednosti na radu u proizvodnim kompanijama (Milijić et al. 2013, Lin et al. 2008, Hsu et al. 2008, Saunders et al. 2017, Chen et al. 2018) i sastoji se iz dva dela. Prvi deo sadrži 8 pitanja demografskog karaktera, dok se drugi sastoji od 29 pitanja podeljenih u 5 grupa, a koja su vezana za oblast klime bezbednosti na projektima.

Anonimno anketiranje je obavljeno među zaposlenima u 11 projektno orijentisanih kompanija na teritoriji Srbije. Kompanije realizuju projekte u različitim industrijskim sektorima i to: mašinska industrija (I1), industrija nameštaja (I2), energetika (I3) visokogradnja (I4) i niskogradnja (I5). Anketiranje je obavljeno na skupu od 121 zaposlenog. Za gradaciju odgovora ispitanika je korišćena Likertova petostepena skala, sa vrednostima od 1 do 5, gde 1 predstavlja najmanji značaj (apsolutno se ne slažem sa datom konstatacijom), a 5 predstavlja najveći značaj (apsolutno se slažem sa datom konstatacijom). Priprema podataka i potrebni proračuni neophodni za primenu višekriterijumske analize, obavljeni su u MS Excel-u.

2.2. PROMETHEE kalkulacije

Primenom PROMETHEE metoda, a na osnovu 5 kriterijuma (fakrota klime bezbednosti: GP1 - Svesnost o bezbednosti i kompetencije, GP2 - Posvećenost menadžmenta bezbednosti na radu, GP3 - Obuka i sredstva bezbednosti, GP4 - Bezbednosne prakse i procedure i GP5 - Organizaciono okruženje) obavljena je višekriterijumska analiza klime bezbednosti u projektno orijentisanim organizacijama kod pet vrsta industrijskih projekata. Na taj način, izvršena je višekriterijumska analiza 5 alternativa. Dodatno, kod svakog tipa projekta, izvšena je višekriterijumska analiza klime bezbednosti za tri radna mesta (menadžer (RM1), proizvodni radnik (RM2) i neproizvodni radnik (RM3)). Nakon prikupljanja ulaznih podataka anketiranjem zaposlenih, zadavanja funkcije preference, proračuna težinskih koeficijenata kriterijuma entropijskom metodom (Puška *et al.* 2018) i formiranja matrica evaluacije pomoću softverskog paketa Visual PROMTHEE, izvršeno je se rangiranje nivoa klime bezbednosti kod pet vrsta industrijskih projekata. Nakon toga, identičnom metodologijom je obavljeno rangiranje klime bezbednoti na različitim radnim mestima na projektima.

PROMETHEE metod je baziran na određivanju pozitivnog ($\phi+$) i negativnog toka ($\phi-$) za svaku od alternativa. Pozitivni tok preferencije pokazuje koliko određena alternativa dominira nad ostalim alternativama. Ako je vrednost veća ($\phi+\rightarrow 1$) alternativa je značajnija u odnosu na druge altenative. Negativni tok preference pokazuje koliko je određena alternativa preferirana od strane drugih alternativa. Alternativa je značajnija ako je vrednost toka niža ($\phi- \rightarrow 0$). Kompletno rangiranje prema PROMETHEE II metodu je bazirano na izračunavanju neto toka (ϕ), koji predstavlja razliku između pozitivnog i negativnog toka preferencije. Alternativa koja ima najveću vrednost neto toka je najbolje rangirana i tako redom do najlošije rangirane alternative (Anand and Kodali 2008, Brans and Mareschal 1994, Brans *et al.* 1986).

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Na osnovu prethodno iznetog i dodeljenih parametara kriterijuma i alternativa, izvršeno je kompletno rangiranje (PROMETHEE II) upotrebom softverskog paketa Visual PROMTHEE.

3.1. Višekriterijumska analiza klime bezbednosti u projektno orijentisanim organizacijama u različitim industrijskim sektorima

U ovom slučaju, izvršena je višekriterijumska analiza i konačno rangiranje nivoa klime bezbednosti u projektno orijentisanim organizacijama u pet različitih industrijskih sektora. Polazni podaci za primenu PROMETHEE metoda predstavljaju prosečne ocene ispitanika u pet industrijskih sektora za svih pet grupa pitanja u upitniku (Tabela 1).

Tabela 1: Polazni podaci za PROMETHEE proračun (klima bezbednosti u različitim industrijskim sektorima)

Alternativa	Kriterijum				
	GP1	GP2	GP3	GP4	GP5
I1	4.25	3.46	3.70	3.75	3.14
I2	4.39	3.25	3.46	3.12	2.95
I3	4.29	3.64	3.76	3.74	2.87
I4	4.43	2.58	2.94	2.88	3.11
I5	4.10	3.44	3.49	3.63	3.12

U nastavku, nakon unosa ulaznih podataka, zadavanja najpovoljnije funkcije preference za analizirani tip podataka i određivanja težinskih koeficijenata kriterijuma, formirana je matrica evaluacije (Tabela 2), na osnovu koje je izvršeno rangiranje altrnativa.

Tabela 2: Funkcije preferencije i težinski koeficijenti kriterijuma za evaluaciju i rangiranje klime bezbednosti u različitim industrijskim sektorima

Kriterijum	GP1	GP2	GP3	GP4	GP5
Težinski koeficijent	0.19970238	0.200327187	0.200022475	0.20021875	0.199729208
Funkcija preferencije	Level	Level	Level	Level	Level
Min/Max	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN

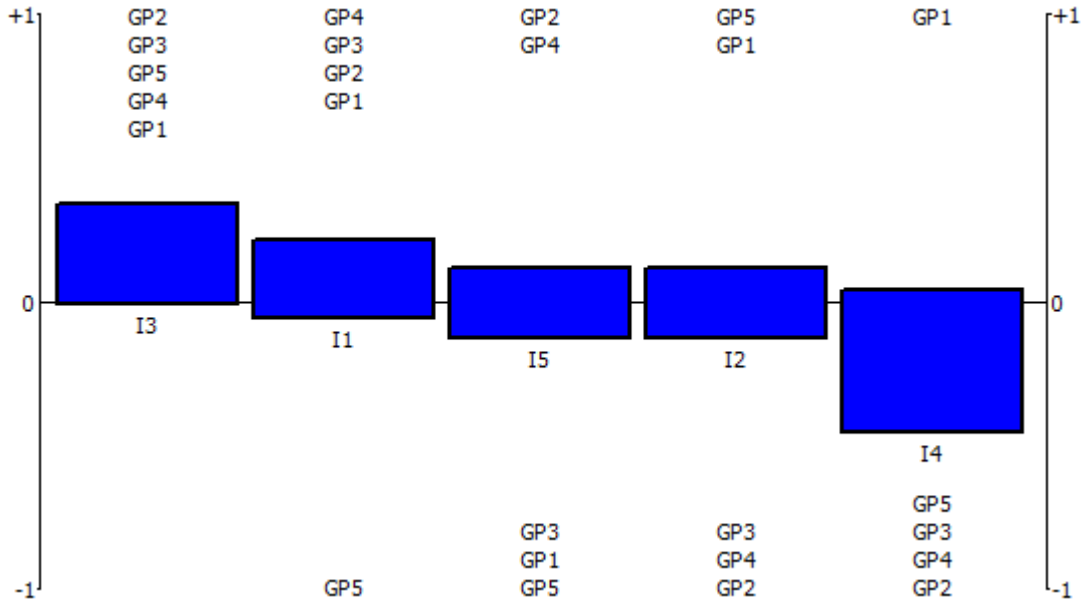
Rezultati kompletnog rangiranja (PROMETHEE II) klime bezbednosti u projektno orijentisanim organizacijama baziranog na mišljenju zaposlenih u različitim industrijskim sektorima, kao i tokovi preferenci, prikazani su u tabeli 3. Dodatno, rezultati rangiranja u prikazu PROMETHEE Duga su predstavljeni na slici 1. Na ovaj način su prikazane prednosti i nedostaci pojedinih alternativa, na osnovu kojih je sprovedeno kompletno rangiranje. Prikaz PROMETHEE Duga predstavlja izuzetno koristan alat za donošenje značajnih zaključaka višekriterijumske analize.

Tabela 3: Rezultati kompletnog rangiranja klime bezbednosti u projektno orijentisanim organizacijama baziranog na mišljenju zaposlenih u različitim industrijskim sektorima

Rang	Alternativa	Φ+	Φ-	Φ
1	I3	0.3252	0.0000	0.3252
2	I1	0.2252	0.0750	0.1502
3	I5	0.1502	0.1749	-0.0247
4	I2	0.1749	0.2002	-0.0253
5	I4	0.0250	0.4504	-0.4254

Na osnovu dobijenih rezultata uočava se da je najbolje rangirana alternativa I3 (Energetika). To znači da je na osnovu odgovora anketiranih zaposlenih klima bezbednosti na projektima iz oblasti energetike ocenjana veoma povoljno, što je značajan preduslov visokog nivoa bezbednost na radu. Sa druge strane, prema ocenma ispitanika, najlošije je rangirana alternativa I4 (Visokogradnja). Može se zaključiti da je klima bezbednosti na projektima iz oblasti energetike (I3), kao i na projektima iz oblasti mašinske industrije (I1), na zadovoljavajućem nivou. Kada se posmatraju projekti iz oblasti niskogradnje (I5) i industrije nameštaja (I2), postoje mogućnosti za unapređenje klime bezbednosti. Konkretno, na projektima iz oblasti niskogradnje, faktori klime bezbednosti koje je potrebno unapređivati su svesnost o bezbednosti i kompetencije (GP1), obuka i sredstva bezbednosti (GP3), kao i organizaciono okruženje (GP5). Kada se razmatraju mogućnosti za unapređenje klime bezbednosti na projektima u industriji nameštaja, potrebno je naglasiti sledeće faktore: posvećenost menadžmenta bezbednosti na radu (GP2), obuka i sredstva

bezbednosti (GP3) i bezbednosne prakse i procedure (GP4). Konačno, kod projekata iz oblasti visokogradnje, i pored razvijene svesnosti o bezbednosti i adekvatnih kompetencija zaposlenih, svi ostali faktori klime bezbednosti predstavljaju oblasti u kojima su neophodna značajna unapređenja.



Slika 1: Rangiranje klime bezbednosti u različitim industrijskim sektorima na osnovu zadatih parametara (prikaz PROMETHEE Duga)

3.2. Višekriterijumska analiza klime bezbednosti na radnim mestima u projektno orijentisanim organizacijama u različitim industrijskim sektorima

U nastavku istraživanje je izvršena višekriterijumska analiza i konačno rangiranje nivoa klime bezbednosti na radnim mestima u projektno orijentisanim organizacijama u različitim industrijskim sektorima. Polazni podaci za primenu PROMETHEE metoda predstavljaju prosečne ocene ispitanika za svih pet grupa pitanja u upitniku, na tri radna mesta (menadžer, proizvodni radnik i neproizvodni radnik) u svih pet proučavanih industrijskih sektora (Tabela 4).

Tabela 4: *Polazni podaci za PROMETHEE proračun (klima bezbednosti na radnim mestima u različitim industrijskim sektorima)*

Alternativa	**Kriterijum**				
	GP1	**GP2**	**GP3**	**GP4**	**GP5**
I1 RM1	3.69	4.17	3.96	3.68	2.87
I1 RM2	4.46	3.23	3.51	3.79	3.05
I1 RM3	4.10	3.53	4.03	3.69	3.60
I2 RM1	4.47	3.48	3.65	3.21	3.02
I2 RM2	4.38	3.13	3.26	3.11	2.76
I2 RM3	4.13	3.17	4.08	2.79	4.00
I3 RM1	4.50	4.05	3.71	3.94	2.42
I3 RM2	4.18	3.54	3.79	3.69	2.89
I3 RM3	4.62	3.08	3.58	3.50	4.16
I4 RM1	4.50	2.25	2.50	2.36	4.00
I4 RM2	4.43	2.59	3.02	2.94	3.06
I4 RM3	4.25	3.00	1.67	2.00	3.00
I5 RM1	4.75	5.00	3.83	4.86	2.50
I5 RM2	4.04	3.35	3.41	3.51	3.10
I5 RM3	4.25	3.17	4.17	4.00	4.00

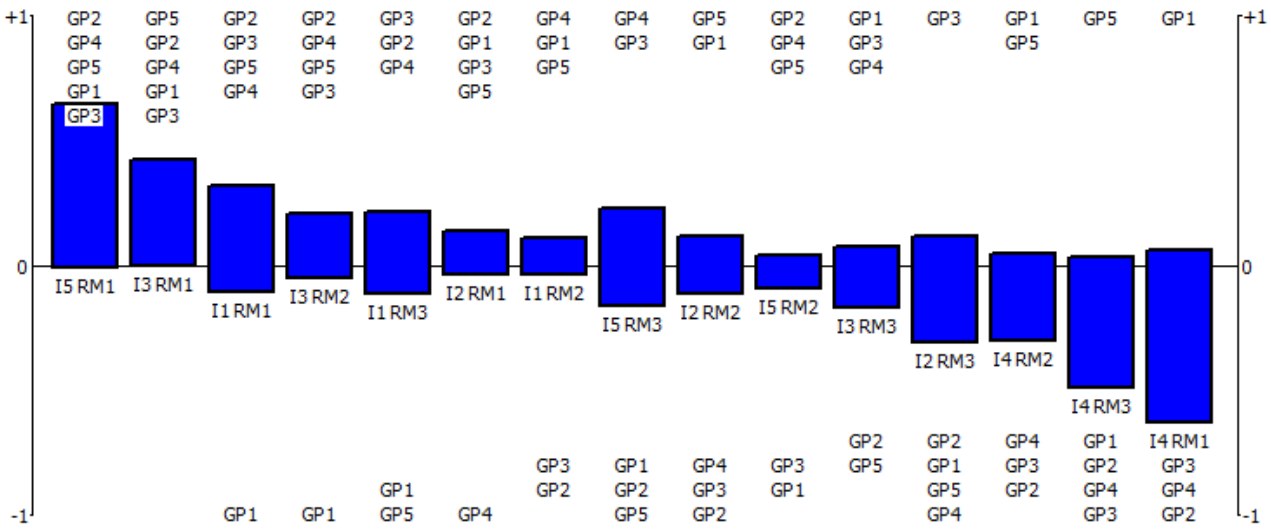
Nakon unosa ulaznih podataka, unošenja prethodno određene funkcije preference i težinskih koeficijenata kriterijuma, formirana je matrice evaluacije, na osnovu koje je izvršeno rangiranje altrnativa.

Rezultati kompletnog rangiranja (PROMETHEE II) klime bezbednosti u projektno orijentisanim organizacijama baziranog na mišljenju zaposlenih na različitim radnim mestima u različitim industrijskim sektorima, kao i tokovi preferenci, prikazani su u tabeli 5. Dodatno, rezultati rangiranja u prikazu PROMETHEE Duga su predstavljeni na slici 2.

Tabela 5: Rezultati kompletnog rangiranja klime bezbednosti u projektno orijentisanim organizacijama baziranog na mišljenju zaposlenih na različitim radnim mestima u različitim industrijskim sektorima

Rang	Alternativa	Φ+	Φ-	Φ
1	I5 RM1	0.6502	0.0214	0.6288
2	I3 RM1	0.4572	0.0500	0.4072
3	I1 RM1	0.3574	0.1570	0.2003
4	I3 RM2	0.2930	0.1428	0.1501
5	I1 RM3	0.2930	0.1999	0.0932
6	I2 RM1	0.2500	0.1572	0.0928
7	I1 RM 2	0.2215	0.1572	0.0643
8	I5 RM3	0.2644	0.2071	0.0574
9	I2 RM2	0.2285	0.2359	-0.0074
10	I5 RM2	0.1930	0.2571	-0.0642
11	I3 RM3	0.1786	0.2857	-0.1072
12	I2 RM3	0.1572	0.3572	-0.2000
13	I4 RM2	0.1285	0.3931	-0.2646
14	I4 RM3	0.0714	0.5432	-0.4718
15	I4 RM1	0.0714	0.6504	-0.5790

Na osnovu dobijenih rezultata uočava se da su najbolje rangirane alternative I5 RM1, I3 RM1 i I1 RM1, respektivno. Ovakav rezultat je i očekivan, obzirom da menadžeri najpovoljnije ocenili klimu bezbednosti na svojim radnim mestima. Dodatno, klima bezbednosti je veoma povoljno ocenjena i u kompletnim industrijama u kojima su ovi menadžeri angažovani. Što se tiče proizvodnih radnika na projektima, najpovoljnije ocenjena klima bezbednosti je na radnim mestima u oblasti energetike (I3 RM2). Kod neproizvodnih radnika, najpovoljnija je klima bezbednosti na projektima u oblasti mašinske industrije. Sa druge strane, veoma najnepovoljna klima bezbednosti je ustanovljena kod svih radnih mesta na projektima u oblasti visokogradnje (I4 RM2, I4 RM3, I4 RM1, respektivno). Ovo su radna radna mesta gde su neophodna unprenjenja gotovo svih faktora klime bezbednosti.



Slika 2: Rangiranje klime bezbednosti na različitim radnim mestima u različitim industrijskim sektorima na osnovu zadatih parametara (prikaz PROMETHEE Duga)

Veoma je zabrinjavajuća činjenica da je apsolutno najnepovoljnija klima bezbednosti ustanovljena kod menadžera na projektima visokogradnje. Ovakva činjenica može biti uzrok i objašnjenje generalno najnepovoljnije klime bezbednoti kod ove vrste projekata i konačno veoma nepovoljnog nivoa bezbednosti zaposlenih na radu. Konačno, na slici 2 se za sva radna mogu uočiti faktori klime bezbednosti koji su nezadovoljavajuće ocenjeni, što predstavlja polaznu osnovu za nastavak detaljnijih analiza.

4. ZAKLJUČAK

Klima bezbednosti, kao osnova za formiranje adekvatne bezbednost na radu u organizaciji, predstavlja veoma značajnu oblast istraživanja. Ova oblast postaje još značajnija kada se proučava bezbednost na radu u projektno orijentisanim organizacijama, odnosno na projektima kao privremenim strukturama. U cilju detaljne analize uticajnih faktora klime bezbednosti, metode višekriterijumske analize mogu biti veoma korisni alati. Višekriterijumska analiza klime bezbednosti u projektno orijentisanim organizacijama, odnosno na realizaciji različitih industrijskih projekata, predočava određene značajne zaključke. Na proučavanom uzorku su ustanovljeni industrijski sektori kod kojih postoje znatni nedostaci klime bezbednosti. Konačno, primenjenom metodologijom su egzaktno određeni faktori čijim bi se unapređenjem unapredila i klima bezbednosti u projektno orijentisanim organizacijama, kako na nivou pojedinih radnih mesta, tako i u organizaciji kao celini.

LITERATURA

[1] Anand, G., & Kodali, R. (2008). Selection of lean manufacturing systems using the PROMETHEE. Journal of Modelling in Management, 3(1), 40–70.

[2] Brans, J.P., & Mareschal, B. (1994). The PROMCALC and GAIA decision support system for multicriteria decision aid. Decision Support Systems, 12, 297–310.

[3] Brans, J.P., Vincke, P.H., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The Promethee method. European Journal of Operational Research, 24(2), 228-238.

[4] Chen, Y., McCabe, B., & Hyatt, D. (2018). A resilience safety climate model predicting construction safety performance. Safety Science, 109, 434–445.

[5] He, Q., Dong, S., Rose, T., Li, H., Yin, Q., & Cao, D. (2016). Systematic impact of institutional pressures on safety climate in the construction industry. Accident Analysis and Prevention, 93, 230–239.

[6] Hsu, S.H., Lee, C.C., Wu, M.C., & Takano, K. (2008). A cross-cultural study of organizational factors on safety: Japanese vs. Taiwanese oil refinery plants. Accident Analysis and Prevention 40, 24–34.

[7] Huang, Y-H., Verma, S.K., Chang, W.-R., Courtney, T.K., Lombardi, D.A., Brennan, M.J., & Perry, M.J. (2012). Management commitment to safety vs. employee perceived safety training and association with future injury. Accident Analysis and Prevention, 47, 94– 101.

[8] Li, J., Zhang, J., & Suo, W. (2019). Risk assessment in cross-border transport infrastructure projects: A fuzzy hybrid method considering dual interdependent effects. Information Sciences, 488, 140–157.

[9] Lin, S.H., Tang, W.J., Miao, J.Y., Wang, Y.M., & Wang, P.X. (2008). Safety climate measurement at workplace in China: A validity and reliability assessment. Safety Science, 46, 1037-1046.

[10] Milijić, N., Mihajlović, I., Štrbac, N., & Živković, Ž. (2013). Developing a Questionnaire for Measuring Safety Climate in the Workplace in Serbia. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 19(4), 631–645.

[11] Puška, A., Beganović, A., & Šadić, S. (2018). Model for investment decision making by applying the multi-criteria analysis method. Serbian Journal of Management, 13(1), 7-28.

[12] Saunders, L.W., Kleiner, B.M., McCoy, A.P., Ellis, K.P., Smith-Jackson, T., & Wernz, C. (2017). Developing an inter-organizational safety climate instrument for the construction industry. Safety Science, 98, 17–24.

[13] Yang, H., Chew, D.A.S., Wu, W., Zhou, Z., & Li, Q. (2012). Design and implementation of an identification system in construction site safety for proactive accident prevention. Accident Analysis & Prevention, 48, 193–203.

[14] Zohar, D. (1980). Safety climate in industrial organizations: theoretical and applied implications. Journal of Applied Psychology, 60(1), 96–102.

XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18.9.2019.

EFEKTI OBJEKTIVNOG I SUBJEKTIVNOG ODREĐIVANJA TEŽINA KRITERIJUMA U VIŠEKTIRTRIJUMSKOM DONOŠENJU ODLUKA

EFFECTS OF OBJECTIVE AND SUBJECTIVE DETERMINATION OF THE CRITERIA'S WEIGHT IN THE MULTI-CRITERIA DECISION MAKING

ANĐELKA STOJANOVIĆ[1] ,NENAD MILIJIĆ[2], ĐORĐE NIKOLIĆ[3], IVAN MIHAJLOVIĆ[4]

[1] Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet Bor, anstojanovic@tfbor.bg.ac.rs
[2] Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet Bor, nmilijic@tfbor.bg.ac.rs
[3] Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet Bor, djnikolic@tfbor.bg.ac.rs
[4] Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet Bor, imihajlovic@tfbor.bg.ac.rs

Rezime: *Cilj ovog rada je da se prikaže na koji način pristup u određivanju težina kriterijuma, kod višekriterijumskog donošenja odluka, utiče na konačni poredak alternativa. Naime, u procesu optimizacije tehničkog procesa pasterizacije mleka, na podatke dobijene merenjima parametara u procesu, primenjena je TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) višekriterijumska metoda kako bi se odabrala najbolja kombinacija ulaznih parametara. Ulazni podaci u primeni TOPSIS metodologiije su i težine kriterijuma koje su određivane objektivnim (CRITIC i Entropijska metoda) i subjektivnim metodama (AHP- Analytic Hierarchy Process). Dobijeni reziltati su upoređeni kako bi se utvrdila uloga težinskoh koeficijenata u donošenju odluka.*

Ključne reči: *Višekriterijumsko donošenje odluka, TOPSIS, Entropijska metoda, AHP,CRITIC.*

Abstract: *The aim of this paper is to show how the approach in determining the weight of the criteria in the multi-criteria decision-making affects the final alternative order. Namely, in the process of optimization of the milk pasteurization process on data obtained by measuring the parameters in the process, the TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) method is applied to select the best combination of input parameters. The input data in the application of the TOPSIS methodology are the weights of the criteria, determined by the objective (CRITIC and Entropy Method) and subjective methods (AHP- Analytic Hierarchy Process). The obtained results were compared to determine the role of weight coefficients in decision making.*

Keywords: *Multi-Criteria Decision Making, TOPSIS, Entropy method, AHP, CRITIC.*

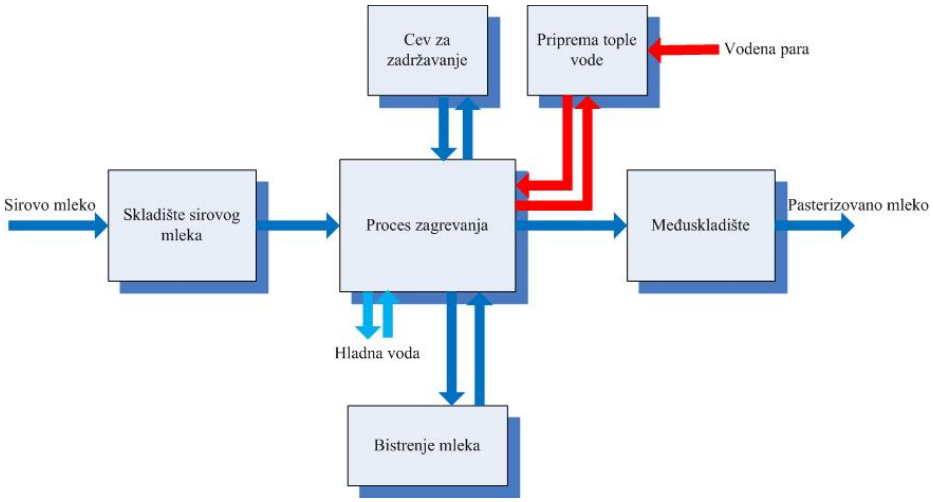
1. UVOD

Višekriterijumsko donošenje odluka (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) se primenjuje u brojnim naučnim, poslovnim, inženjerskim i društvenim oblastima. Pored brojnih prednosti koje višekriterijumsko odlučivanje nudi donosiocima odluka, javljaju se brojni problemi u samoj primeni ovih metoda. Jedno od čestih ograničenja koje se pripisuje ovakvom načinu donošenja odluka je subjektivnost. Višekriterijumsko donošenje odluka zasniva se na procedurama i prikupljenim podacima. Najčešće se radi o određenom broju alternativa koje se generišu iz samog problema odlučivanja i o određenom broju kriterijuma čiji izbor je, uglavnom, subjektivan i čija značajnost zavisi od preferencija donosioca odluke. Takođe, mnogi kriterijumi se mere kvalitativnim vrednostoma te se prilikom primene višekriterijumskih metoda moraju kvantifikovati što sa sobom nosi dodatnu subjektivnost (Kujawski, 2003). Uticaj određenog kriterijuma na konačnu odluku utvrđuje se težinom kriterijuma. Težine kriterijuma tj. njihova značajnost, određuju se na osnovu procena eksperata ili na osnovu statističkih podataka, dakle subjektivno ili objektivno.

U ovom radu razmatra se nekoliko pristupa u određivanju težina kriterijuma i kako one utiču na konačni poredak alternativa. Koriste se objektivne metode za određivanje težina kriterijuma (metoda Entropije i CRITIC-Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) i subjektivne (AHP - Analitički hijerarhijski proces), čiji se rezultati koriste u konačnom određivanju optimalnih parametara u procesu pasterizacije mleka primenom TOPSIS metode (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution).

1.1. Opis studije slučaja

Model višekriterijumskog odlučivanja definisan je na osnovu podataka prikupljenih praćenjem parametara procesa pasterizacije sirovog mleka radi pripreme sirovine za dalju preradu. Pasterizacija mleka je proces zagrevanja mleka do određene temperature i u određenom vremenskom periodu kako bi se dobilo mleko koje je bezbedno za upotrebu i dalju preradu, Slika 1. Cilj pasterizacije je uništavanje svih mikroorganizama koji bi mogli da izazovu kvarenje namirnica i pogoršanje kvaliteta prehrambenih proizvoda sa protokom vremena. U većini država proces obrade mleka je definisan zakonskim propisima o zaštiti potrošača od infekcija patogenim organizmima. Propisana temperatura pasterizacije je minimalno 72°C najmanje 15 sekundi (Bylund, 1995). Temperatura zagrevanja mora biti zabeležena. Hladno neprerađeno mleko se, najpre, upumpava u prvu sekciju pasterizatora, sekciju predgrevanja. Mleko se zagreva pasterizovanim mlekom koje se u isto vreme rashlađuje. Mleko se zagreva do 55°C nakon čega se šalje u centrifugalni prečišćavač u kome se vrši bistrenje mleka, a posle se vraća u pasterizator. Konačno zagrevanje do temperature pasterizovanja vrši se vrućom vodom koja je 2-3°C viša od temperature pasterizacije. Vruće mleko nastavlja ka spiralnoj cevi za zadržavanje. Ako se temperatura tokom pasterizacije spusti ispod predviđene postrojenje mora da ima ventile kojima se sprečava usmeravanje nedovoljno pasterizovanog mleka u tank sa adekvatno pasterizovanim mlekom. Nakon sekcije za zadržavanje mleko se vraća u regenerativnu sekciju radi hlađenja. Ovde pasterizovano mleko predaje temperaturu hladnom mleku u fazi predgrevanja. Maksimalna efikasnost regenerativnog hlađenja je oko 94-95%. Pasterizvano mleko se dalje rashlađuje hladnom vodom. Da bi se mleko ohladilo do željene temperature za skladištenje od 4°C potrebno je hlađenje ledenom vodom od 2°C (Bylund, 1995). Temperatura ohlađenog mleka se beleži zajedno sa temperaturom pasterizacije i pozicijom ventila za obrnuti protok.



Slika 1: Generalizovani blok dijagram procesa pasterizacije mleka (Bylund, 1995)

Drugi važan element termičke obrade mleka je očuvanje pozitivnih svojstava mleka. Intenzivno zagrevanje može dovesti do značajne degradacije izgleda, ukusa i nutritivnih vredosti mleka. Izbor vremena i temperature pasterizacije ključan je za optimizaciju ovog pocesa i mora uzeti u obzir oba elementa: bezbednost i kvalitet proizvoda.

Tabela 5. Rezultati merenja izlaznih karakteristika

Redni broj kombinacie	X_1	X_2	X_3	T_{pas}	T_{iz}	t_{pas}
1	6	95	1	81,23	4,07	14,78
2	6	95	2	80,63	4,17	14,67
3	8	93	1	81,00	4,10	15,61
4	8	97	2	82,07	4,27	14,61
5	4	97	1	80,90	4,17	15,00
6	4	93	2	79,87	4,03	15,72

Istraživanjem literature (Bon et al., 2010; Niamsuwan et al., 2013) i u saradnji sa tehnolozima koji se neposredno bave procesom pasterizacije mleka izdvojena su 3 parametra koja su značajna za proces pasterizacije. Prvi parametar X_1 je temperatura sirovog mleka(°C), drugi X_2 temperatura tople vode (°C), treći X_3 temperatura hladne vode(°C) Nema međusobnih uticaja između ovih parametara. Izlazni elementi su temperatura mleka u pasterizatoru T_{pas} (°C), temperatura izlaznog mleka T_{iz} (°C), i vreme pasterizacije t_{pas} (s). Šest kombinacija ulaznih parametara predstavlja alternative dok su mereni izlazni elementi kriterijumi. Merenja su vršena više puta za svaku kombinaciju i u Tabeli 1 predstavljena je matrica izmerenih podataka.

2. METODOLOGIJA

2.1. TOPSIS metoda

TOPSIS metodu (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) su razvili Hwang i Yoon (Hwang & Yoon, 1981) i postala je jedna od najpoznatijih višekriterijumskih metoda (Behzadian et al., 2012). Izbor najbolje alternative zasniva se na pronalaženju one alternative koja je najbliža idealnom pozitivnom rešenju i najdalje od idealnog negativnog rešenja. Idealno pozitivno rešenje se definiše kao ono koje sadrži najbolje vrednosti alternativa po svakom kriterijumu, dok idealno negativno rešenje sadrži najlošije vrednosti alternativa po svakom kriterijumu. TOPSIS metoda se sastoji od 6 koraka:

1. Normalizovanje matrice odlučivanja
2. Težinsko normalizovanje matrice performansi
3. Određivanje idealnih rešenja (idealno pozitivno i idealno negativno)
4. Određivanje rastojanja alternativa od idealnih rešenja
5. Određivanje relativne blizine alternativa idealnom pozitivnom rešenju
6. Rangiranje alternativa (Puška et al., 2018).

2.2. Određivanje težina kriterijuma

Definisanje težina kriterijuma smatra se jednim od najkritičnijih koraka u primeni kod onih višekriterijumskih metoda za donošenje odluka koje pretpostavljaju postojanje težina (Alemi-Ardakani et al., 2016). Subjektivne metode se zasnivaju na procenama eksperata i donosilaca odluka. Sam proces donošenja odluke može biti pod uticajem nivoa znanja i ekspertize donosioca odluke i značajno može biti narušen usled neadekvatnih procena. Takođe, kod problema koji se satoje od velikog broja kriterijuma i alternativa donosilac odluke može imati ograničenu sposobnost da pravilno odredi značaj pojedinih kriterijuma. Sa druge strane, objektivne metode isključuju donosioca odluke iz procesa i putem matematičkih i statističkih metoda, koristeći polazne podatke, omogućavaju određivanje težina kriterijumima. Korišćenjem objektivnih metoda u procesu donošenja odluke, mogu da se izostave vredna zapažanja donosilaca odluka koji dobro poznaju različite aspekte problema koji se razmatra. Kako bi se prevazišli nedostaci oba pristupa, razvijeni su i hibridni modeli koji koriste prednosti i subjektivnih i objektivih metoda (Yang et al., 2017).

Direktno određivanje težina

Najjednostavniji način za određivanje težina kriterijuma je direktno, pri čemu donosilac odluke dodeljuje vrednosti relativnih značajnosti kriterijumima (Alemi-Ardakani et al., 2016). U ovom slučaju subjektivne preferencije mogu u potpunosti da izmene poredak alternativa i uslove donošenje neadekvatne odluke. Takođe, donosioci odluka u ovakvim slučajevima često kriterijumima dodele jednake težine što opet može negativno da utiče na konačni rezultat rangiranja.

Analitički hijerarhijski proces (AHP)

Analitički hijerarhijski proces (AHP) je metoda za donošenje odluka koja uspešno kombinuje kvalitativne i kvantitativne kriterijume. Ovu metodu razvio je Satty (Saaty, 2008) i zasniva se na dekompoziciji problema odlučivanja u hijerarhijsku strukturu gde se putem upoređivanja parova kroz čitavu hijerarhiju i sintezom rezultata dobija konačan poredak razmatranih alternativa. AHP metoda je vrlo popularna jer se koristi jednostavan i organizovan način prikupljana podataka koji donosioci odluka lako razumeju i primenjuju. Često se koristi u hibridnim modelima za subjektivno određivanje težina kriterijuma pre primene neke druge metode kojom se utvrđuje konačan poredak alternativa.

Entropijska metoda

Određivanje težina kriterijuma objektivnim metodama podrazumeva da težine reflektuju informacije sadržane u samim podacima proučavajući matricu odlučivanja (Milićević & Župac, 2012). Jedna od često korišćenih metoda za objektivno utvrđivanje težina kriterijuma je entropijska metoda. Entropija je koncept koji je preuzet iz termodinamike, a koji je kasnije predložio Shannon (Shannon, 1948) u teoriji komunikacije. Primenu je pronašla u brojnim oblastima, između ostalog, u teoriji odlučivanja. Što je entropija manja, veća je razlika u vrednostima koje alternative imaju za pojedini kriterijum te je doprinos kriterijuma procesu rangiranja značajniji, tj, ima veću težinu.

CRITIC metoda

CRITIC metoda (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) je objektivna metoda za određivanje težina kriterijuma koja ima za cilj da uključi intenzitet kontrasta i konflikta između kriterijuma koji su sadržani u samoj strukturi matrice odlučivanja (Diakoulaki et al., 1995). Pripada grupi korelacionih metoda gde se koristi standardna devijacija normalizovane matrice odlučivanja kako bi se utvrdio kontrast sadržan u kriterijumima.

3. REZULTATI STUDIJE SLUČAJA I DISKUSIJA

Metode za određivanje težina kriterijuma pomenute u prethodnom odeljku su primenjene na donošenje odluke o izboru optimalnih parametara za proces pasterizacije mleka. Za subjektivne metode određivanja značajnosti kriterijuma mišljenja i ocene važnosti su obezbeđeni od strane iskusnih tehnologa u ovoj oblasti (u ovom slučaju donosioci odluka). Za objektivne metode, podaci su prikupljeni praćenjem parametara procesa pasterizacije.
Primenom četiri pomenute metode dobijene su težine kriterijuma predstavljene u Tabeli 2.

Tabela 2. Težinske vrednosti kriterijuma

Metoda	***Kriterijum***		
	$\mathbf{T_{pas}}$	$\mathbf{T_{iz}}$	$\mathbf{t_{pas}}$
Direktna	0.33	0.33	0.33
AHP	0.56	0.32	0,12
Entropijska	0.05	0.28	0.67
CRITIC	0.23	0.28	0.49

Tabela 2 ukazuje na razlike između težinskih koeficijenata dobijenih primenjenim metodama. Na osnovu rezultaza dobijenih objektivnim metodama, kriterijum sa najvećom značajnošću je vreme pasteritacije t_{pas}. Subjektivne ocene kao rezultat daju različite vrednosti težina kriterijuma jer su izlazni parametri: temperatura pasterizacije T_{pas} i temperatura izlaznog mleka T_{iz} po donosiocima odluka važniji za sam proces od vremena trajanja pasterizacije.

Dobijene težine su korišćene kao ulazni podaci u primeni TOPSIS metodologije prilikom rangiranja alternativa, koje predstavljaju kombinacije ulaznih parametara procesa pasterizacije mleka. Prilikom primene koraka predložene metode potrebno je definisati i smer funkcije preferencije kriterijuma (max, min). U ovom slučaju kriterijum temperatura pasterizacije T_{pas} ima smer max, temperatura izlaznog mleka T_{iz} ima smer min, i vreme pasterizacije t_{pas} ima smer min. Rezultati dobijeni TOPSIS metodom predstavljeni su u Tabeli 3.

Tabela 3. Rangiranje kombinacija ulaznih parametara korišćenjem TOPSIS metode

Kombinacija ulaznih parametara	**Metoda korišćena za određivanje težine kriterijuma**							
	Direktna		*AHP*		*Entropijska*		*CRITIC*	
	vrednost	rang	vrednost	rang	vrednost	rang	vrednost	rang
X1	0.82	1	0.74	1	0.85	1	0.84	1
X2	0.66	2	0.46	6	0.83	2	0.77	2
X3	0.39	6	0.56	2	0.22	6	0.27	6
X4	0.57	3	0.49	4	0.75	3	0.69	3
X5	0.55	4	0.46	5	0.62	4	0.60	4
X6	0.43	5	0.51	3	0.25	5	0.31	5

4. ZAKLJUČAK

Rezultati primene različitih metoda prilikom određivanja težina kriterijuma ukazuju na razlike u ukupnim rezultatima rangiranja kod donošenja odluka višekriterijumskim metodama. Subjektivne težine koje odrede iskusni donosioci odluka mogu biti značajne za sam proces koji se optimizuje obzirom da se na taj način favorizuju kriterijumi izvođenja operacija koji direktno utiču na efikasnost i željene izlazne karakteristike.

Objektivne metode, zapravo, omogućavaju određivanje težina kriterijuma zasnovanih na trenutnom stanju operacija i mogu da ukažu donosiocima odluka na one performanse operacija koje treba optimizovati.

LITERATURA

[1] Alemi-Ardakani, M., Milani, A., Yannacopoulos, S., & Shokouhi, G. (2016). On the effect of subjective, objective and combinative weighting in multiple criteria decision making: A case study on impact optimization of composites. *Expert Systems With Applications 46* , 426–438.

[2] Behzadian, M., Khanmohammadi Otaghsara, S., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. Expert Systems with Applications, 39(17) , 13051–13069.

[3] Bon, J., Clemente, G., Váquiro, H. A., & Mulet, A. (2010). Simulation and optimization of milk pasteurization processes using a general process simulator (ProSimPlus). Computers & Chemical Engineering 34(3), 414-420.

[4] Bylund, G. (1995). Dairy processing handbook. Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 86 Lund, Sweden.

[5] Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method. Computers & Operations Research, 22 (7), 763–770.

[6] Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making making: methods and applications. Berlin: Springer-Verlag.

[7] Kujawski, E. (2003). Multi-criteria decision analysis: Limitations, pitfalls, and practical difficulties. Berkeley, California: Lawrence Berkeley National Laboratory.

[8] Milićević, R., & Župac, Ž. (2012). An objective approach to determining criteria weights. Military Technical Courier, 60(1), 39-56.

[9] Niamsuwan, S., Kittisupakorn, P., & Mujtaba, I. (2013). Predictive Control Strategy for Temperature Control for Milk Pasteurization Process. Proceedings of the 23 European Symposium on Computer Aided Process Engineering –ESCAPE 23 (str. 109-114). Lappeenranta: Elsevier B.V.

[10] Puška, A., Beganović, A., & Šadić, S. (2018). Model for investment decision making by applying the multi-criteria analysis method. Serbian Journal of Management 13 (1), 7-28.

[11] Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences 1(1), 83-98.

[12] Shannon, C. (1948). A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal, 27, 379–423.

[13] Yang, G., Yang, J., Xu, D., & Khoveyni, M. (2017). A three-stage hybrid approach for weight assignment in MADM. Omega 71 , 93–105.

XLVI Symposium on Operational Research
SYM-OP-IS 2019
Kladovo, 15-18 September 2019
UNIVERSITY OF BELGRADE FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING FOR ROBOT SELECTION BASED ON CROSS-ENTROPY

ZORICA DODEVSKA[1], MIRKO VUJOŠEVIĆ[2], BORIS DELIBAŠIĆ[2]

[1] Research and Development Institute Lola Ltd, Belgrade, zorica.dodevska@li.rs
[2] Faculty of Organizational Sciences, Belgrade, vujosevic.mirko@fon.bg.ac.rs (M.B.V.), boris.delibasic@fon.bg.ac.rs (B.V.D.)

Abstract: *Due to the fact that there is an increasing number of robots in use, decision-making in the field of robotics is extremely important. Robots are complex machines and their impacts on society are numerous, so multi-criteria decision-making (MCDM) is a suitable tool for their selection. The literature about MCDM methods for robot selection is rich, but still, there is a lot of vague, uncertain, and incomplete information in the decision-making processes. Therefore, fuzzy approaches are recognized in addition to standard MCDM methods. This paper suggests the use of cross-entropy in hesitant intuitionistic fuzzy sets (HIFS) environment for performing MCDM procedures for robot selection. Possible applications of cross-entropy for discrete-valued HIFS and for interval-valued HIFS will be presented and illustrated on practical examples to point to the advantages of the suggested approach for solving optimization problems regarding robot selection.*

Keywords: *Robot Selection, Multi-Criteria Decision-Making (MCDM), Cross-Entropy, Hesitant Intuitionistic Fuzzy Sets (HIFS).*

1. INTRODUCTION

Robot selection, in relation to the characteristics which best fit necessary requirements, is a critical task (Sen *et al*, 2015). Decision-makers in the field of robotics should have multidisciplinary knowledge (for example, in professions such as electrical engineering, mechanical engineering, informatics), which is why it is necessary to have multiple criteria when deciding during the selection of robots.

Industrial robots were in the focus in early development (Hudson, 2019), but the use of robots that are not intended for industrial purposes is also widespread in the literature today (for research, educational, medical, rescue, and other activities), as well as on the market. The selection of proper robots is a challenging and risky task, no matter if discussing a robot to be made or to be purchased for some purpose. In the first case, many characteristics need to be considered, improved, or invented for future robot functionalities. In the second one, there is a lot of choice on the market today, but the question is which solution is the best for a given context of use. Cost aspects must also be taken into account, as well as organizational, social, environmental, and ethical impacts.

It is interesting how people that are intuitive beings decide about autonomous technical systems. During robot selection, especially when considering a robot's innovative characteristics, experts are prone to give subjective assessments due to the lack of exact information and the presence of cognitive biases. When they rely on intuition ('gut feeling' factors), some people are inclined to affirmatively vote, some rather prefer disagreement, while the others tend to be reserved due to hesitancy (Wang and Li, 2011). Therefore, three degrees of membership to hesitant intuitionistic fuzzy sets (HIFS) will be considered in this paper, in relation to the level of satisfaction of decision-maker with the offered alternative regarding defined criterion.

MCDM for robot selection is often elaborated by using different methods in the literature: AHP – Analytic Hierarchy Process (Goh, 1997), PROMETHEE II – Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation II (Sen *et al*, 2015), VIKOR – VIšekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje (Chatterjee *et al*, 2010), ELECTRE – ELimination and Et Choice Translating REality (Chatterjee *et al*, 2010), TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (Bhangale *et al*, 2004). However, despite many advantages of these methods and their relatively frequent use in the literature, especially for industrial robot selection, it is questionable how experts vote and how they determine the weight coefficients among criteria. The problem is bigger if decision-makers give numerical estimations at the beginning of the implementation of MCDM procedure, such as in *a priori* approaches (Vujošević, 2012), and when there is no possibility to change them later. This is a common case in practice and real-life situations, where an uncertain environment is a dominant category.

In the process of robot selection, both objective and subjective criteria are recognized in the literature (Parameshwaran *et al*, 2015). In order to deal with uncertainty and subjective judgments for robot selection, many authors integrate MCDM methods with fuzzy set logic, for example: fuzzy AHP (Kapoor and Tak, 2005), IF-VIKOR or extended VIKOR in intuitionistic fuzzy environment (Devi, 2011), fuzzy TOPSIS (Chu and Lin, 2003), IVF-COPRAS or interval-valued fuzzy multiple criteria complex proportional assessment (Vahdani *et al*, 2014). In fuzzy MCDM methods, linguistic terms represented by fuzzy numbers are used for the weight criteria evaluation.

Since entropy is important when measuring uncertain information (Ye, 2009), the approach that will be suggested in this paper is multi-criteria decision-making (MCDM) based on cross-entropy. The use of cross-entropy for solving ill-structured MCDM problems for robot selection under HIFS environment will be presented for discrete-valued HIFS in combination with score functions (Wang and Li, 2011), as well as for interval-valued HIFS (Ye, 2011; Narayanamoorthy *et al*, 2019; Ye, 2010) in combination with extended TOPSIS (Zhang and Yu, 2012; Tian *et al*, 2015;). The first case will be illustrated by the example of the selection of an industrial robot and the second one by the example of an education robot. Possible contributions of the suggested approach will be discussed.

2. CROSS-ENTROPY IN MCDM OPTIMIZATION

Cross-entropy is a function of two probability distributions, *P* or "true" distribution, and *Q* or predicted distribution. Starting from the standard well-known definition of entropy, $H(P) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i$, defined under probability distribution $P = \{p_1, p_2, \ldots, p_n\}$, $p_i \in [0,1]$, $\sum_{i=1}^{n} p_i = 1$, the cross-entropy between the probability distributions *P* and *Q* can be defined as follows (Ye, 2009):

$$H(P,Q) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 \frac{p_i}{q_i}.$$

The cross-entropy $H(P,Q)$ is always greater or equal to entropy $H(P)$:

- $H(P,Q) > H(P)$, when *Q* is different than *P*,
- $H(P,Q) = H(P)$, when *Q* is equal to *P*.

For $n = 2$, when $P = \{p, 1-p\}$ and $Q = \{q, 1-q\}$, the binary cross-entropy between the probability distributions *P* and *Q* is defined as follows (Ye, 2011):

$$H(P,Q) = p \log_2 \frac{p}{q} + (1-p) \log_2 \frac{1-p}{1-q}. \quad (1)$$

Decisions should be entirely based on the facts. In reality, when there are insufficiently known and uncertain parameters, decisions also rely on likelihood to some extent. In those situations, decision-makers embed their own intuition in decisions. The motivation for the use of cross-entropy in MCDM optimization under HIFS environment is to grasp this problematics in order to make the right decisions.

2.1. Cross-entropy for discrete-valued HIFS in combination with score functions

If *X* is a universal set, then a discrete-valued intuitionistic fuzzy set can be defined as (Yao and Wang, 2018):

$$I = \{x, \mu_I(x), \nu_I(x) | x \in X\},$$

where $\mu_I: X \longrightarrow [0,1]$ and $\nu_I: X \longrightarrow [0,1]$ represent the degree of membership and the degree of non-membership respectively, i.e. the measures of satisfaction or dissatisfaction of decision-maker with offered alternative regarding defined criterion.

The sum of μ_I and ν_I does not have to be equal to 1 ($0 \leq \mu_I(x) + \nu_I(x) \leq 1, \forall x \in X$), because there is one more measure in HIFS, the so-called degree of hesitance or intuitionistic index or Atanassov's intuitionistic fuzzy index (Yao and Wang, 2018; Peng *et al*, 2015):

$$\pi_I(x) = 1 - \mu_I(x) - \nu_I(x),$$

where $0 \leq \pi_I(x) \leq 1$.

Figure 1 illustrates some possible situations regarding previously defined measures.

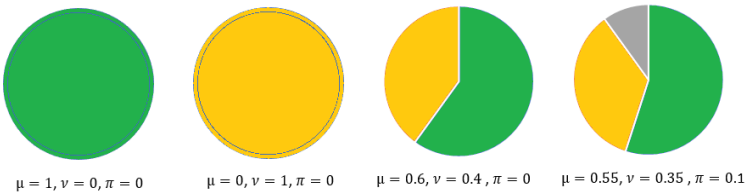


Figure 1. HIFS measures

Suppose that there are *m* alternatives $A = \{A_1, A_2, \ldots, A_m\}$ and *n* criteria $C = \{C_1, C_2, \ldots, C_n\}$. Initial matrix (where rows are alternatives and columns are criteria) for MCDM problem for discrete-valued HIFS measures can be defined as follows:

$$\begin{bmatrix} (\mu_{A1}(x_1), \nu_{A1}(x_1), \pi_{A1}(x_1)) & (\mu_{A1}(x_2), \nu_{A1}(x_2), \pi_{A1}(x_2)) & \ldots & (\mu_{A1}(x_n), \nu_{A1}(x_n), \pi_{A1}(x_n)) \\ (\mu_{A2}(x_1), \nu_{A2}(x_1), \pi_{A2}(x_1)) & (\mu_{A2}(x_2), \nu_{A2}(x_2), \pi_{A2}(x_2)) & \ldots & (\mu_{A2}(x_n), \nu_{A2}(x_n), \pi_{A2}(x_n)) \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ (\mu_{Am}(x_1), \nu_{Am}(x_1), \pi_{Am}(x_1)) & (\mu_{Am}(x_2), \nu_{Am}(x_2), \pi_{Am}(x_2)) & \ldots & (\mu_{Am}(x_n), \nu_{Am}(x_n), \pi_{Am}(x_n)) \end{bmatrix}$$

In a situation when the weight coefficients are not given and decision-maker chooses an alternative which satisfies either criteria $C_1, C_2, \ldots, C_{n-1}$ or the criterion C_n (this is one possible assumption, similarly it can be for a different combination of grouping the criteria regarding logical connectives „∧“ and „∨“), the following evaluation function can be defined (Wang *et al*, 2006; Wang and Li, 2011):

$E(A_i) = \langle \mu_i, \nu_i \rangle$,

where, in this case, $\mu_i = \max\left(\min\left(\mu_{i1}, \mu_{i2}, \ldots, \mu_{i(n-1)}\right), \mu_{in}\right)$ and $\nu_i = \min\left(\max\left(\nu_{i1}, \nu_{i2}, \ldots, \nu_{i(n-1)}\right), \nu_{in}\right)$.

According to Ye (2009), if in Eq. (1) $p = \mu_i$ and $q = \frac{1}{2}(\mu_i + \nu_i)$, then $\frac{p}{q} = \frac{\mu_i}{\frac{1}{2}(\mu_i + \nu_i)} = \frac{2\mu_i}{\mu_i + \nu_i}$ and $\frac{1-p}{1-q} = \frac{1-\mu_i}{1-\frac{1}{2}(\mu_i + \nu_i)} = \frac{2(1-\mu_i)}{2-(\mu_i + \nu_i)}$, so, the following formula for cross-entropy can be obtained:

$$H(\mu_i, \nu_i) = \mu_i log_2 \frac{2\mu_i}{\mu_i + \nu_i} + (1 - \mu_i) log_2 \frac{2(1-\mu_i)}{2-(\mu_i + \nu_i)}, \quad 0 \le \mu_i \le 1. \tag{2}$$

In order to modify Eq. (2) to the symmetric form, the following calculation need to be done (Wang and Li, 2011):

$H\left(E(A_i)\right) = \left(H(\mu_i, \nu_i) + H(\nu_i, \mu_i)\right)/2.$

The same authors suggest that the degree of suitability of alternative A_i with assumed decision-maker's requirement can be expressed by the following score function:

$$S\left(E(A_i)\right) = \begin{cases} \mu_i - \nu_i + H\left(E(A_i)\right)\pi_i, & \mu_i > \nu_i \\ \mu_i - \nu_i - H\left(E(A_i)\right)\pi_i, & \mu_i < \nu_i \\ 0, & \mu_i = \nu_i \end{cases}.$$

The alternative with the highest score function is the best according to the defined requirement.

2.2. Cross-entropy for interval-valued HIFS in combination with extended TOPSIS

There are the lower (L) and the upper (U) points of the previously defined degrees of membership or belongingness in the case of an interval-valued intuitionistic fuzzy set (Ye, 2011):

$I = \{x, [\mu_I^L(x), \mu_I^U(x)], [\nu_I^L(x), \nu_I^U(x)] | x \in X\}$.

Hesitant intuitionistic fuzzy interval index is:

$\pi_I(x) = [1 - \mu_I^U(x) - \nu_I^U(x), 1 - \mu_I^L(x) - \nu_I^L(x)]$,

where $\mu_I^L(x) \ge 0, \nu_I^L(x) \ge 0, 0 \le \mu_I^U(x) + \nu_I^U(x) \le 1$.

After normalization of the initial matrix with *m* alternatives and *n* criteria, i.e. $\left([\mu_{ij}^L, \mu_{ij}^U], [\nu_{ij}^L, \nu_{ij}^U]\right)_{mxn}$, the normalized matrix can be transformed by using the following calculations for obtaining the lower and the upper bounds of its elements $\left([D_{ij}^L, D_{ij}^U]\right)_{mxn}$ (Zhang and Yu, 2012):

$$D_{ij}^L = \frac{\mu_{ij}^L \ln 2 + \nu_{ij}^U \ln \frac{2\nu_{ij}^U}{\nu_{ij}^U + 1} + \ln \frac{2}{\nu_{ij}^U + 1}}{(\mu_{ij}^L + \nu_{ij}^U) \ln 2 + \mu_{ij}^L \ln \frac{2\mu_{ij}^L}{\mu_{ij}^L + 1} + \nu_{ij}^U \ln \frac{2\nu_{ij}^U}{\nu_{ij}^U + 1} + \ln \frac{2}{\mu_{ij}^L + 1} + \ln \frac{2}{\nu_{ij}^U + 1}},$$

$$D_{ij}^{U}=\frac{\mu_{ij}^{U}\ln 2+v_{ij}^{L}\ln\frac{2v_{ij}^{L}}{v_{ij}^{L}+1}+\ln\frac{2}{v_{ij}^{L}+1}}{(\mu_{ij}^{U}+v_{ij}^{L})\ln 2+\mu_{ij}^{U}\ln\frac{2\mu_{ij}^{U}}{\mu_{ij}^{U}+1}+v_{ij}^{L}\ln\frac{2v_{ij}^{L}}{v_{ij}^{L}+1}+\ln\frac{2}{\mu_{ij}^{U}+1}+\ln\frac{2}{v_{ij}^{L}+1}}. \quad (3)$$

The lower and the upper bounds also represent the minimum and the maximum of $D_{ij}=\frac{D_{ij}^{-}}{D_{ij}^{+}+D_{ij}^{-}}$ (Tian *et al*, 2015), where D_{ij}^{+} and D_{ij}^{-} represent degrees of discrimination of alternative A_i $(i=1,\ldots,m)$ from positive ideal solution (A^{+}) and from negative ideal solution (A^{-}), respectively, regarding criterion C_j $(j=1,\ldots,n)$.

In order to identify the optimal weight vector $\omega=(\omega_1,\omega_1,\ldots,\omega_n)^T$, a mathematical model of linear programming, which includes the objective function $max\ D=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\omega_j\frac{D_{ij}^{L}+D_{ij}^{U}}{2}$ (Tian *et al*, 2015) and the given constraints (including natural constraints), need to be solved.

The preference of each alternative, $PREF_i=\left[PREF_i^{L},PREF_i^{U}\right]$, can be computed by multiplying the optimal weight vector and the decision matrix $\left(\left[D_{ij}^{L},D_{ij}^{U}\right]\right)_{mxn}$ (Tian *et al*, 2015):

$PREF_i=\sum_{j=1}^{n}\omega_j\left[D_{ij}^{L},D_{ij}^{U}\right]$.

In the next step, the likelihood matrix (or pairwise comparison matrix) can be established as follows:

$$P=(p_{ij})_{mxm}=\begin{bmatrix}p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1m}\\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2m}\\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mm}\end{bmatrix},$$

where according to Zhang and Yu (2012):

$$p_{ij}=p(A_i\geq A_j)=p(PREF_i\geq PREF_j)=\max\left\{1-\max\left\{\frac{PREF_j^{U}-PREF_i^{L}}{PREF_i^{U}-PREF_i^{L}+PREF_j^{U}-PREF_j^{L}},0\right\},0\right\}.$$

Note that the diagonal values of *P* equals 0.5, while $p_{ij}+p_{ji}=1$ $(i=1,\ldots,m;\ j=1,\ldots,m)$.

Finally, the ranking vector for the alternatives can be obtained as follows (Tian *et al*, 2015):

$$\omega_i=\frac{\sum_{j=1}^{m}p_{ij}+m/2-1}{m(m-1)},\ i=1,2,\ldots,m.$$

3. APPLICATION OF CROSS-ENTROPY FOR ROBOT SELECTION OPTIMIZATION

3.1. Selection of industrial robot – illustrative example 1

Selection of industrial robot is frequently described problem in the literature. In this example, we want to select one of three robots R_1,R_2,R_3, intended for a computer integrated manufacturing system, regarding the following criteria: C_1 – adaptability, C_2 – flexibility, C_3 – capability (Haleh and Nezu, 2004). Initial matrix, where rows are alternatives and columns are criteria, is given in the form $(\mu_{ij},v_{ij})_{3x3}$, i.e. $(\mu_{ij},v_{ij},\pi_{ij})_{3x3}$:

$$\begin{bmatrix}(0.45,0.25) & (0.58,0.15) & (0.4,0.3)\\ (0.7,0.12) & (0.6,0.25) & (0.55,0.1)\\ (0.65,0.15) & (0.5,0.4) & (0.4,0.6)\end{bmatrix},\ \text{i.e.}\begin{bmatrix}(0.45,0.25,0.3) & (0.58,0.15,0.27) & (0.4,0.3,0.3)\\ (0.7,0.12,0.18) & (0.6,0.25,0.15) & (0.55,0.1,0.35)\\ (0.65,0.15,0.2) & (0.5,0.4,0.1) & (0.4,0.6,0.0)\end{bmatrix}.$$

According to the procedure described in Section 2.1 and the assumption that decision-maker wants to satisfy either criteria C_1 and C_2 or criterion C_3, the results in Table 1 are obtained:

Table 1: Ranking the alternatives by the score function.

Alternative	$E(A_i)$	$H(E(A_i))$	$S(E(A_i))$
A_1	$\langle 0.45, 0.25\rangle$	0.0320	0.2096
A_2	$\langle 0.6, 0.1\rangle$	0.2141	0.5642
A_3	$\langle 0.5, 0.4\rangle$	0.0073	0.1007

Therefore, the next order of the alternatives is adopted: $A_2 > A_1 > A_3$, so the alternative A_2 is the best.

3.2. Selection of education robot – illustrative example 2

"Robotics" course becomes widely represented in educational institutions (Parameshwaran *et al*, 2015). In this illustrative example, we want to select one of three robots R_1, R_2, R_3, intended for teaching purposes, regarding the following criteria: C_1 – possibilities of learning, C_2 – suitability of programming interface, C_3 – diversity of hardware performances, that we want to maximize. Initial matrix, where rows are alternatives and columns are criteria, is given in the form $\left([\mu_{ij}^L, \mu_{ij}^U], [\nu_{ij}^L, \nu_{ij}^U]\right)_{3x3}$:

$$\begin{bmatrix} ([0.6, 0.65], [0.15, 0.25]) & ([0.42, 0.49], [0.3, 0.5]) & ([0.65, 0.7], [0.3, 0.4]) \\ ([0.55, 0.62], [0.1, 0.3]) & ([0.3, 0.4], [0.6, 0.7]) & ([0.5, 0.7], [0.17, 0.23]) \\ ([0.75, 0.8], [0.5, 0.55]) & ([0.65, 0.8], [0.35, 0.4]) & ([0.4, 0.5], [0.4, 0.5]) \end{bmatrix}.$$

Partial information about the weight coefficients is given as follows: $0.2 \leq \omega_1 \leq 0.3$, $0.15 \leq \omega_2 \leq 0.25$, $0.3 \leq \omega_3 \leq 0.45$, $1.5\omega_1 \leq \omega_3$.

The initial matrix can be transformed by using Eq. (3) to the following form:

$$[D_{ij}^L, D_{ij}^U]_{3x3} = \begin{bmatrix} [0.7458, 0.8502] & [0.4452, 0.6445] & [0.6496, 0.7447] \\ [0.6790, 0.8823] & [0.2553, 0.3740] & [0.7128, 0.8489] \\ [0.5949, 0.6413] & [0.6496, 0.7388] & [0.4304, 0.5696] \end{bmatrix}.$$

Based on that, the following mathematical model (M_1) can be defined in order to find optimal value:

$max\ D = 2.1967\omega_1 + 1.5537\omega_2 + 1.9780\omega_3$

s.t. $\omega_1 \geq 0$, $\omega_2 \geq 0$, $\omega_3 \geq 0$,

$\omega_1 \geq 0.2$, $\omega_1 \leq 0.3$, $\omega_2 \geq 0.15$, $\omega_2 \leq 0.25$, $\omega_3 \geq 0.3$, $\omega_3 \leq 0.45$, $1.5\omega_1 \leq \omega_3$,

$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$.

The optimal value is obtained by solving M_1 in Lingo software: $\omega = (0.30, 0.25, 0.45)^T$.

According to the procedure described in Section 2.2, calculation of the preference is done for each alternative: $PREF_1 = [0.6274, 0.7513]$, $PREF_2 = [0.5883, 0.7402]$, $PREF_3 = [0.5345, 0.6334]$.

The next step is the calculation of the likelihood matrix based on the obtained preferences:

$$P = (p_{ij})_{3x3} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5910 & 0.9731 \\ 0.4090 & 0.5 & 0.8202 \\ 0.0269 & 0.1798 & 0.5 \end{bmatrix}.$$

Finally, we can calculate the ranking vector of all alternatives: $\omega_1 = 0.4273$, $\omega_2 = 0.3715$, $\omega_3 = 0.2011$. Therefore, the next order of the alternatives is adopted: $A_1 > A_2 > A_3$, so the alternative A_1 is the best.

4. CONCLUSION

Cross-entropy based MCDM approach for robot selection is suggested to be used in an uncertain HIFS environment that engineers face due to incomplete information and complex tasks, which is why they are hesitant when voting. It is possible to use it successfully in different situations depending on how the input data are defined, for both discrete-valued HIFS and interval-valued HIFS. The results of illustrative examples show unambiguous sorted alternatives despite initial vagueness. Sensitive results are obtained, and therefore, there are not "equally good" alternatives. All partial input information is used in order to rank the alternatives. The approach considers the human intuitive nature and it is suitable for decision-making in socio-technical environment.

The use of cross-entropy in combination with other MCDM methods and comparison of the results is also possible but is not described in this paper. Deeper learning based on cross-entropy to overcome intuitive factors in a very demanding and responsible area such as robotics remains for future research.

REFERENCES

[1] Bhangale, P.P., Agrawal, V.P., & Saha, S.K. (2004). Attribute based specification, comparison and selection of a robot. Mechanism and Machine Theory, 39, 1345–1366.

[2] Chatterjee, P., Athawale, V.M., & Chakraborty, S. (2010). Selection of industrial robots using compromise ranking and outranking methods. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 26, 483–489.

[3] Chu, T.-C., & Lin, Y.-C. (2003). A Fuzzy TOPSIS Method for Robot Selection. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 21 (4), 284–290.

[4] Devi, K. (2011). Extension of VIKOR method in intuitionistic fuzzy environment for robot selection. Expert Systems with Applications, 38 (11), 14163–14168.

[5] Goh, C-H. (1997). Analytic hierarchy process for robot selection. Journal of Manufacturing Systems, 16 (5), 381–386.

[6] Haleh, H., & Nezu, K. (2004). A multi-criteria approach to robot selection for a computer integrated manufacturing system. 569–574.

[7] Hudson, J. (2019). The Robot Revolution: Understanding the Social and Economic Impact, Cheltenham: Edward Elgar Pub.

[8] Kapoor, V., & Tak, S.S. (2005). Fuzzy Application to the Analytic Hierarchy Process for Robot Selection. Fuzzy Optimization and Decision Making, 4, 209–234.

[9] Narayanamoorthy, S., Geetha, S., Rakkiyappan, R., & Joo, Y.H. (2019). Interval-valued intuitionistic hesitant fuzzy entropy based VIKOR method for industrial robots selection. Expert Systems with Applications, 121, 28–37.

[10] Parameshwaran, R., Kumar, S.P., & Saravanakumar, K. (2015). An integrated fuzzy MCDM based approach for robot selection considering objective and subjective criteria, Applied Soft Computing 26, 31–41.

[11] Peng, J., Wang, J., Wu, X., Zhang, H., & Chen, X. (2015). The fuzzy cross-entropy for intuitionistic hesitant fuzzy sets and their application in multi-criteria decision-making. International Journal of Systems Science, 46 (13), 2335–2350.

[12] Sen, D.K., Datta, S., Patel, S.K., & Mahapatra, S.S. (2015). Multi-criteria decision making towards selection of industrial robot: Exploration of PROMETHEE II method. Benchmarking: An International Journal, 22 (3), 465–487.

[13] Tian, Z., Zhang, H., Wang, J., Wang, J., & Chen, X. (2015). Multi-criteria decision-making method based on a cross-entropy with interval neutrosophic sets, International Journal of Systems Science, 11 pages.

[14] Vahdani, B., Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghodratnama, A., & Mohammadi, M. (2014). Robot selection by a multiple criteria complex proportional assessment method under an interval-valued fuzzy environment. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 73 (5-8), 687–697.

[15] Vujošević, M. (2012). Metode optimizacije u inženjerskom menadžmentu. Akademija inženjerskih nauka Srbije, Fakultet organizacionih nauka.

[16] Wang, J., Zhang, J., & Liu, S-Y. (2006). A New Score Function for Fuzzy MCDM Based on Vague Set Theory. International Journal of Computational Cognition, 4 (1), 44–48.

[17] Wang, J., & Li, J. (2011). Multi-criteria fuzzy decision-making method based on cross entropy and score functions. Expert Systems with Applications, 38 (1), 1032–1038.

[18] Yao, D., & Wang, C. (2018). Hesitant intuitionistic fuzzy entropy/cross-entropy and their applications. Soft Computing, 22, 2809–2824.

[19] Ye, J. (2009). Fault diagnosis of turbine based on fuzzy cross entropy of vague sets. Expert Systems with Applications, 36, 8103–8106.

[20] Ye, J. (2010). Multicriteria fuzzy decision-making method using entropy weights-based correlation coefficients of interval-valued intuitionistic fuzzy sets. Applied Mathematical Modelling 34, 3864–3870.

[21] Ye, J. (2011). Fuzzy cross entropy of interval-valued intuitionistic fuzzy sets and its optimal decision-making method based on the weights of alternatives. Expert Systems with Applications, 38, 6179–6183.

[22] Zhang, H., & Yu, L. (2012). MADM method based on cross-entropy and extended TOPSIS with interval-valued intuitionistic fuzzy sets. Knowledge-Based Systems, 30, 115–120.

INDEX OF AUTHORS / INDEKS AUTORA

A

Abramović	*Snežana*	13		
Amović	*Mladen*	154		
Andrejić	*Milan*	309		
Andrić Gušavac	*Bisera*	68	347	
Aničić	*Nenad*	232	238	
Antić	*Slobodan*	739	745	
Antunović	*Biljana*	160		
Arsić	*Sanela*	39		

B

Babarogić	*Slađan*	232	238	
Backović	*Marko*	83		
Bačević	*Andrijana*	347	353	
Bakrač	*Saša*	137		
Banković	*Radoje*	291		
Baškot	*Bojan*	405		
Berković	*Ivana*	373		
Bibić	*Dragana*	606		
Bijelić	*Mitar*	470		
Bijelić	*Zdravko*	470	551	
Bijelić	*Želka*	470		
Bjelić	*Nenad*	321		
Bjelobaba	*Goran*	226		
Bogdanović	*Dejan*	39	44	
Bolbotinović	*Željko*	536		
Brtka	*Vladimir*	503		
Bugarić	*Uglješa*	199	711	
Bugarinović	*Mirjana*	497		
Bugarski	*Danica*	56		
Bulajić	*Milica*	719		
Bundalo	*Sofija*	341		

C

Caballero	*Rafael*	399		
Chroneos Krasavac	*Biljana*	513		
Cvetkoska	*Violeta*	25	765	
Cvetković	*Dragoš*	173		
Cvetković	*Nikola*	519		
Čomić	*Tijana*	536		

Č

Čudanov	*Mladen*	436		

Ć

Ćalić	*Jovana*	667	672	
Ćebić	*Dejan*	367		
Ćirović	*Goran*	589	600	606
Ćirović	*Marko*	61		

D

Dabetić	*Đorđe*	536		
Davidović	*Tatjana*	185		
Delibašić	*Boris*	199	711	789
Delić	*Marija*	361		
Desnica	*Eleonora*	373		
Dimić	*Srđan*	632	638	
Dimitrijević	*Branka*	297		
Dobrota	*Marina*	719	725	
Dodevska	*Zorica*	789		
Dragojević	*Marko*	559	565	
Dragović	*Ivana*	504		
Drenovac	*Dragana*	321		
Drobnjak	*Siniša*	131	137	148
Duran	*Abel*	559	565	

Đ

Đogatović	*Marko*	693	699	705
Đoković	*Aleksandar*	519		
Đorđević	*Momčilo*	291		
Đorđević Milutinović	*Lena*	739	745	
Đuran	*Davor*	103		
Đurđević	*Nevena*	571		

E

Emrouznejad	*Ali*	4		

F

Feichtinger	*Gustav*	3		
Filipović	*Rava*	205	206	

G

Galjak	*Nenad*	165		
Gavrić	*Željko*	215		
Georgieva	*Lidija*	25		
Gigović	*Ljubomir*	148	137	160
Glavić	*Draženko*	681		
Glišić	*Miroslav*	654		
Grujić	*Milica*	50		
Guerrero Casas	*Flor*	399		

H

Horvat	*Ana*	398		
Hudec	*Miroslav*	485		

I

Ilić	*Ivana*	125		
Ilin	*Vladimir*	185		
Ivanovska	*Nika*	766		

J

Jablan Stefanović	*Radmila*	733		
Jablanović	*Vesna*	393		
Jandrić	*Maja*	753		
Janković	*Irena*	117		
Janković	*Ivana*	160		
Janković	*Radomir*	621		
Janković	*Slađana*	491	497	
Jaško	*Ondrej*	442		
Jednak	*Sandra*	436		
Jeremić	*Olivera*	589		
Jeremić	*Veljko*	436	448	
Jokić	*Aleksandar*	442		
Jovanović	*Aleksandar*	97	661	
Jovanović	*Irena*	173		
Jovanović	*Ivan*	39	44	778
Jovanović	*Miloš*	711		
Jovanović	*Natalija*	379		
Jovanović-Milenković	*Marina*	103	536	
Jugović	*Jovana*	733		

K

Kanakaraš	*Milan*	632	638	
Kapor	*Nenad*	650		
Karamata	*Ema*	513		
Karić	*Ilhan*	267		
Kaya	*Onur*	333		
Knežević	*Snežana*	471		
Knežević	*Vladan*	733		
Kosić-Jeremić	*Sandra*	571	577	
Kostić	*Kristina*	179		
Kovač	*Milovan*	303		
Kovač	*Mitar*	644		
Kovačević	*Predrag*	154		
Kraljević	*Jadranka*	772		
Krstić	*Ana*	759		
Krstić	*Dušan*	209		
Krstić	*Mladen*	303		
Krunić	*Tanja*	209		
Kukić	*Katarina*	661		
Kutlača	*Đuro*	253	259	
Kuzmanović	*Marija*	5	341	347

L

Lakatuš	*Filip*	503		
Lambić	*Ana*	464		
Lazarević	*Saša*	220		
Lečić-Cvetković	*Danica*	524		
Letić	*Duško*	373		
Lukić	*Darko*	148		

LJ

Ljubisavljević	*Valentina*	504		

M

Macura	*Dragana*	672		
Makajić-Nikolić	*Dragana*	193	353	524
Makitan	*Vesna*	503		
Maksimović	*Snježana*	571		
Maraš	*Vladislav*	497		
Maravić	*Manojlo*	436		
Marič	*Miha*	464		
Maričić	*Milica*	398	448	681
Marić	*Kemal*	267		
Marinović	*Minja*	531		
Marjanović	*Ivana*	31		
Marković	*Aleksandar*	725		
Marković	*Ljubo*	595		
Martić	*Milan*	74		
Matejaš	*Josip*	772		
Matijašević	*Nikola*	405		
Matijević	*Luka*	185		
Michnik	*Jerzy*	453		
Mičeta	*Doroteja*	315		
Mihajlović	*Ivan*	44		
Mihajlović	*Ivan*	778		
Mihajlović	*Ivan*	784		
Milanović	*Biljana*	470	551	
Milenković	*Marina*	681		
Milenković	*Nemanja*	61		
Milić Marković	*Ljiljana*	595		
Milijić	*Nenad*	778	784	
Milinović	*Momčilo*	621		
Milošev	*Nataša*	458		
Milošević	*Nela*	719		
Milošević	*Pavle*	379		
Milošević	*Željana*	232		
Milovanović	*Vladimir*	627		
Milutinović	*Radul*	430		
Mimović	*Predrag*	759		
Minović	*Miroslav*	215		
Mirković	*Bojana*	687	705	
Mišić	*Nebojša*	291		
Mitić	*Vlada*	644	650	
Mitrović	*Miroslav*	615		
Mitrović	*Snežana*	589		
Mladenović	*Nada*	285		
Mladenović	*Snežana*	491		
Mrkela	*Lazar*	279		
Mučenski	*Vladimir*	606		

N

Naumovski	*Toni*	25		
Nedović	*Ljubo*	361		
Nešković	*Siniša*	238		
Netjasov	*Fedja*	693		
Nikolić	*Dejan*	644		
Nikolić	*Dragan*	589		
Nikolić	*Đorđe*	784		
Nikolić	*Marko*	531		
Nikolić	*Miloš*	667	672	
Nikolić	*Nebojša*	247	627	
Nikolić	*Nebojša*	285		
Nikolić Topalović	*Marina*	600		
Novaković	*Jelena*	19		

O

Obradović	*Zoran*	3		
Ognjenović	*Višnja*	503		
Ozkok	*Dogus*	333		

P

Pajić	*Vukašin*	309		
Pandžić	*Slobodan*	583		
Pap	*Endre*	361		
Pardalos	*Panos*	185		
Pavlović	*Goran*	687		
Pavlović	*Petar*	193		
Pejčić	*Sanja*	291		
Pejica	*Maja*	699		
Peković	*Jelena*	97		
Pérez León	*Victor*	399		
Perić	*Tunjo*	772		
Peško	*Igor*	606		
Petković	*Miloš*	273		
Petrović	*Andrija*	199	711	
Petrović	*Bratislav*	379		
Petrović	*Dalibor*	650		
Petrović	*Ivan*	632		
Petrović	*Marijana*	406	479	
Petrović	*Nataša*	61		
Petrović	*Veljko*	551		
Poledica	*Ana*	504		
Popović	*Dražen*	315		
Popović	*Marina*	471		
Popović	*Zoran*	83		
Praščević	*Nataša*	559	565	
Preradović	*Ljubiša*	577		

R

Radaković	*Jelena Andreja*	**61**	**74**	
Radišić	*Branislava*	**373**		
Radojičić	*Milan*	**448**	**519**	
Radovanović	*Sandro*	**199**	**519**	**711**
Rajić	*Vladimir*	**379**		
Rajković	*Teodora*	**524**		
Rakić	*Ivan*	**232**		
Rakićević	*Aleksandar*	**379**		
Rakićević	*Ana*	**347**		
Rakićević	*Zoran*	**341**		
Ralević	*Nebojša*	**361**	**367**	
Ranđelović	*Saša*	**111**	**753**	
Ratković	*Branislava*	**297**		
Regodić	*Miodrag*	**160**		
Regodić	*Miodrag*	**165**		
Rejman Petrović	*Dragana*	**759**		
Rikanović	*Saša*	**103**		
Rončević	*Dejan*	**165**		
Ruso	*Jelena*	**545**		
Ružić	*Miloš*	**315**		

S

Saković	*Radiša*	**638**		
Savićić	*Danica*	**739**		
Savić	*Ana*	**226**		
Savić	*Gordana*	**13**	**68**	
Sekulović	*Aleksa*	**545**		
Sekulović	*Dragoljub*	**125**	**154**	
Senjak	*Milena*	**606**		
Shmyrev	*Vadim*	**329**		
Sibdari	*Soheil*	**412**		
Simić	*Marijana*	**424**		
Simonović	*Dragoljub*	**471**		
Skorup	*Dragana*	**125**	**142**	
Slavković	*Marko*	**424**		
Stamenković	*Mladen*	**753**		
Stanimirović	*Zorica*	**179**	**279**	
Stanković	*Jelena*	**31**		
Stanojević	*Bogdana*	**385**		
Stanojević	*Jelena*	**89**		
Stanojević	*Milan*	**385**		
Stanojević	*Milorad*	**699**		
Stefanović	*Hana*	**226**		
Stefanović	*Milorad*	**699**		
Stojanov	*Jelena*	**503**		
Stojanović	*Anđelka*	**784**		
Stojanović	*Anđelka*	**778**		
Stojanović	*Marko*	**131**		
Stojanović	*Tatjana*	**220**		
Stojiljković	*Aleksandra*	**406**	**418**	**479**
Stojimirović	*Dejan*	**238**		
Stojković	*Dejan*	**654**		
Stojković	*Filip*	**448**		
Stojković	*Nebojša*	**31**		
Stokić	*Ivan*	**165**		
Stošić	*Biljana*	**430**		

Š

Šelmić	*Milica*	**667**	**672**	
Šljukić	*Stefan*	**705**		
Štrbac	*Dijana*	**253**		
Šuša	*Milan*	**530**		

T

Tadić	*Katarina*	**681**		
Tadić	*Snežana*	**303**		
Tanović	*Petra*	**56**		
Tatimirović	*Slaviša*	**142**		
Teodosijević	*Bojan*	**103**		
Timotić	*Doroteja*	**693**		
Todorčević	*Vesna*	**173**		
Todorović	*Ivan*	**464**		
Tomić	*Slavoljub*	**583**		
Tošić	*Biljana*	**398**		
Trivunović	*Jelena*	**583**		
Turajlić	*Nina*	**238**		

U

Urošević	*Branko*	**753**		
Uzelac	*Ana*	**491**		

V

Vasilić	*Nikola*	**253**	**259**	
Vasiljević	*Slavko*	**142**		
Vejzović	*Zanin*	**267**		
Veselinović	*Radosav*	**226**		
Vidović	*Milorad*	**321**		
Vučetić	*Darko*	**103**		
Vučičević	*Ana*	**131**		
Vujošević	*Mirko*	**193**	**524**	**789**
Vukadinović	*Katarina*	**297**		
Vukmirović	*Dragan*	**536**		

Z

Zaharijev	*Aleksandar*	**627**		
Zdravković	*Stefan*	**97**	**491**	
Zornić	*Nikola*	**725**		
Zrnić	*Nenad*	**291**		

Ž

Živković	*Lazar*	**259**		