



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Економски факултет

XLV

**Simpozijum
o operacionim
istraživanjima**

ZBORNIK RADOVA

**Zlatibor,
16-18. septembar, 2018.**



**SYMOPIS
2018**

XLV Simpozijum o operacionim istraživanjima

<https://symopis2018.ekof.bg.ac.rs/>

Međunarodni regionalni simpozijum

SYM-OP-IS 2018

Zlatibor, hotel „Palisad“

16 – 18. septembar 2018. godine

ZBORNİK RADOVA



Editor:

Prof. dr Jelena Kočović



ZBORNİK RADOVA SYM-OP-IS 2018

Izdavač:

Ekonomski fakultet u Beogradu

Centar za izdavačku delatnost

Kamenička 6

tel. 3021-045, faks 3021-065

E-mail: cid@ekof.bg.ac.rs

Za izdavača:

Prof. dr Branislav Boričić

Direktor:

dr Đorđe Mitrović

Urednik:

Prof. dr Jelena Kočović

Tehnički urednik:

Aleksandar Grašić

Idejno rešenje korica:

Aleksandar Grašić

Godina:

2018

Tiraž:

50

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

519.8(082)(0.034.2)

СИМПОЗИЈУМ о операционим истраживањима (45 ; 2018 ; Златибор)
Zbornik radova [Elektronski izvor] / XLV Simpozijum o operacionim
istraživanjima SYM-OP-IS 2018, Zlatibor 16-18. septembar 2018. godine ;
[organizatori Ekonomski fakultet ... et al.] ; editor Jelena Kočović. -
Beograd : Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta, 2018
(Beograd : Čigura print). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Na nasl. str.: Međunarodni regionalni
simpozijum. - Tiraž 50. - Str. [8]: Predgovor / editor. - Bibliografija uz
svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-403-1567-8

1. Кочовић, Јелена [уредник] [аутор додатног текста]

2. Економски факултет (Београд)

а) Операциона истраживања - Зборници

COBISS.SR-ID 269629708

© 2018. Сва права су задржана. Ниједан део овог Зборника се не може умножавати, преносити у било којој форми или било којим средствима, електронски, механички, фотокопирањем, снимањем или на други начин, без претходне дозволе аутора и издавача.

ORGANIZATORI



Ekonomski fakultet, Beograd
Izvršni organizator SYM-OP-IS-a 2018



Društvo operacionih istraživača



Institut "Mihajlo Pupin",
Beograd



Saobraćajni fakultet,
Beograd



Matematički fakultet,
Beograd



Ministarstvo odbrane
Republike Srbije



Ekonomski institut,
Beograd



Matematički institut SANU,
Beograd



Vojska Srbije



Fakultet organizacionih
nauka, Beograd



Rudarsko-geološki fakultet,
Beograd



Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd



Univerzitet u Banjoj Luci

PROGRAMSKI ODBOR

Kočović Jelena, predsednik, Ekonomski fakultet, Beograd
Aleksić Vule, Visoka Građevinsko-Geodetska Škola, Beograd
Vidović Milorad, Saobraćajni Fakultet, Beograd
Vujić Slobodan, Rudarski Institut, Beograd
Vujošević Mirko, Fakultet Organizacionih Nauka, Beograd
Vukadinović Katarina, Saobraćajni Fakultet, Beograd
Davidović Tatjana, Matematički institut SANU, Beograd
Dimitrijević Branka, Saobraćajni Fakultet, Beograd
Dugošija Đorđe, Univerzitet u Novom Pazaru
Đorović Boban, Univerzitet odbrane, Beograd
Ilić Aleksandar, Ministarstvo odbrane
Janković Irena, Ekonomski fakultet, Beograd
Kovačević-Vujčić Vera, Fakultet organizacionih nauka, Beograd
Kratice Jozef, Matematički institut SANU, Beograd
Kuzmanović Marija, Fakultet Organizacionih Nauka, Beograd
Kutlača Đuro, Institut Mihajlo Pupin
Letić Duško, Fakultet Tehničkih Nauka, Zrenjanin
Makajić-Nikolić Dragana, Fakultet Organizacionih Nauka, Beograd
Martić Milan, Fakultet Organizacionih Nauka, Beograd
Mesaroš Katalin, Ekonomski Fakultet, Subotica
Milovanović Gradimir, Matematički institut SANU, Beograd
Miljanović Igor, Rudarsko-Geološki Fakultet, Beograd
Mitrović Snežana, Visoka Građevinsko-Geodetska Škola, Beograd
Mladenović Zorica, Ekonomski Fakultet, Beograd
Mladenović Nenad, Matematički institut SANU, Beograd
Netjasov Feđa, Saobraćajni Fakultet
Nikolić Dragan, Visoka Građevinsko-Geodetska Škola, Beograd
Ognjanović Zoran, Matematički Institut SANU, Beograd
Pap Endre, Univerzitet Singidunum, Beograd
Petrović Dalibor, Ministarstvo odbrane
Petrović Slavica, Ekonomski Fakultet, Kragujevac
Praštalo Željko, Rudarski fakultet Beograd
Preradović Ljubiša, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci
Radojević Dragan, Institut Mihajlo Pupin, Beograd
Savić Gordana, Fakultet Organizacionih Nauka, Beograd
Sorak Miloš, Tehnološki fakultet, Banja Luka
Stanić Stanko, Ekonomski fakultet, Banja Luka
Stanojević Milan, Fakultet Organizacionih Nauka, Beograd
Stanojević Milorad, Saobraćajni Fakultet, Beograd
Starčević Dušan, Fakultet Organizacionih Nauka, Beograd
Stojković Dejan, Ministarstvo odbrane
Suknović Milija, Fakultet Organizacionih Nauka, Beograd
Teodorović Dušan, Saobraćajni Fakultet, Beograd
Ćirović Goran, Visoka Građevinsko-Geodetska Škola, Beograd
Urošević Dragan, Matematički Institut SANU, Beograd
Cvetković Dragoš, Matematički institut SANU, Beograd
Cvijanović Janko, Ekonomski Institut, Beograd
Čangalović Mirjana, Fakultet Organizacionih Nauka, Beograd
Šelmić Milica, Saobraćajni Fakultet, Beograd
Aloise Daniel, Natal University, Brazil
Artiba Abdelhakim, University of Valencia, France
Brimberg Jack, Royal Military College, Kingston, Canada
Caporossi Gilles, HEC Montreal, Canada
Carrizosa Emilio, University of Sevilla, Spain
Crainic Teodor G., University of Quebec, Montreal, Canada

Duarte Abraham, Universidad Rey Juan Carlos, Spain
Eremeev Anton, Omsk State University, Russia
Escudero Laureano, Universidad Miguel Hernández, Spain
Golden Bruce, University of Maryland, United States of America
Hanafi Saïd, University of Valenciennes, France
Hansen Pierre, GERAD, Montréal, Canada
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
Pardalos Panagote M., University of Florida, United States of America
Raidl Ginter, 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
Zhao Beijing Qihong, University of Aeronautics and Astronautics, China

POČASNI PROGRAMSKI ODBOR

Andrejić Marko, VA, Beograd
Batanović Vladan, IMP, Beograd
Baković Marko, EF, Beograd
Borović Siniša, FMMSp, Beograd
Cvetković Dragoš, SANU, Beograd
Čabarkapa Obrad, MO, Beograd
Đorđević Branislav, GF, Beograd
Guberinić Slobodan, IMP, Beograd
Krčevinac Slobodan, FON, Beograd
Kovač Mitar, MO, Beograd
Matejić Vlastimir, AINS, Beograd
Mihaljević Miodrag MI, Beograd

Milovanović Gradimir, SANU, Niš
Mučibabić Spasoje, MO, Beograd
Nikolić Ilija, FGM, Beograd
Opricović Serafim, GF, Beograd
Petrović Radivoj, IMP, AINS, Beograd
Rakić Milan, IMP, Beograd
Todorović Jovan, AINS, Beograd
Vujić Slobodan, RI, Beograd
Vukadinović Svetozar, SF, Beograd
Vuleta Jovo, EF, Beograd
Zečević Tomislav, EF, Beograd

ORGANIZACIONI ODBOR

Dragan Azdejković, predsednik
Irena Janković
Jasna Soldić Aleksić
Mirjana Ilić
Tatjana Rakonjac-Antić

Dejan Trifunović
Marija Koprivica
Jelena Stanojević
Milena Lutovac
Ivana Ivković
Đorđe Stakić

PREDGOVOR

XLV SYM-OP-IS 2018 - Simpozijum o operacionim istraživanjima održan je ove godine na Zlatiboru. Čast da bude izvršni organizator ovog skupa pripala je Ekonomskom fakultetu iz Beograda.

Ove godine, kao i prethodne, simpozijum je bio međunarodni regionalni. Za izlaganje na simpozijumu prihvaćeno je 98 referata i tri saopštenja. Karakteristika ovog simpozijuma, kao i prethodnih, bilo je prisustvo velikog broja mladih operacionih istraživača, iz svih obrazovnih institucija.

Bila nam je čast i zadovoljstvo da su ovom skupu prisustvovala 3 pozvana predavača iz inostranstva i zemlje, iz kredibilnih ustanova i sa velikim naučnim i stručnim iskustvom, koji su svojim referatima doprineli kvalitetu i internacionalizaciji simpozijuma.

Programski odbor SYM-OP-IS 2018 održao je jednu sednicu između dva simpozijuma. Takođe, usvojio je 31 programsku oblast – sekcije. Posebna tema ove godine bila je Kvantitativni modeli u finansijama, na osnovu koje je štampana i međunarodna monografija pod nazivom “QUANTITATIVE MODELS IN ECONOMICS”.

U koncepciji i realizaciji ovog simpozijuma učestvovao je veliki broj eminentnih operacionih istraživača, i izvršni organizator im se na tome zahvaljuje. Zahvaljujemo se i svim autorima, učesnicima, recenzentima, članovima Programskog i Organizacionog odbora.

Predsednik Programskog odbora

Prof. dr Jelena Kočović

SADRŽAJ:

00. PREDAVAČI PO POZIVU

Martin Balleer

SOLVENCY II - MODELLING AND MEASURING RISKS IN THE INSURANCE INDUSTRY 2

Branislav Boričić

MODELING, PROVING AND REFUTING 3

Željko Šain, Edin Taso, Jasmina Selimović

ENTERPRISE RISK MANAGEMENT IN INSURANCE COMPANIES USING INTERNATIONAL FINANCIAL REPORTING STANDARD 17 "INSURANCE CONTRACTS" 4

2. ANALIZA PERFORMANSI

Blagoje Paunović, Zorica Aničić

SETTING THE RESEARCH FRAMEWORK FOR ANALYZING THE IMPACT OF CORPORATE ENTREPRENEURSHIP ON THE COMPANY'S PERFORMANCE..... 7

3. EKONOMSKI MODELI I EKONOMETRIJA

Filip Obradović

UNIVARIATE MIXED DATA SAMPLING MODEL SPECIFICATION 15

Zorica Mladenović

TESTING FOR EXPLOSIVE EPISODES IN ECONOMIC TIME SERIES: THEORETICAL OVERVIEW AND EMPIRICAL APPLICATIONS 21

Jelena Stanojević, Katarina Kukić, Vesna Jablanović

THE GINI COEFFICIENT IN THE GENERALIZED LOGISTIC FORM 27

4. ELEKTRONSKO POSLOVANJE

Željko Dudić

TRANSFORMATION OF RETAIL SALE ON THE GLOBAL ELECTRONIC MARKET 35

5. GEOINFORMACIONI SISTEMI

Siniša Drobnyak, Ljubomir Gigović, Zoran Kričković, Saša Bakrač

COMBINATION OF SATELLITE AND AERIAL PHOTOGRAMMETRIC IMAGES FOR VEGETATION CLASSIFICATION 38

Nenad Galjak, Miodrag Regodić, Stanojka Simić, Stefan Mijodragović

MONITORING FOREST DEGRADATION USING REMOTE SENSING IMAGES 45

Nenad Galjak, Miodrag Regodić, Borislav Guzijan, Rajka Mijatović

AERIAL PHOTO-IMAGES APPLICATION IN CREATING GIS 51

Ljubomir Gigović, Siniša Drobnyak, Dragoljub Sekulović

GIS-AHP CONCEPT OF DECISION ON AN EXAMPLE FOR LAND USE FOR BUILDING A TRAFFIC CORRIDOR 56

Stanislava Bosiočić, Nebojša Bosiočić, Miodrag Kostić

GIS BASED DIGITAL TERRAIN MODELS AS A BASIS FOR GEOMORPHOMETRIC ANALYSIS... 61

Aleksandar Ilić, Zoran Stojanović, Zoran Srdić

ASSISTANCE OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM IN REAL ESTATE APPRASIAL 68

6. GRAFOVI I MREŽE

Zoran Maksimović, Milena Bogdanović, Jozef Kratica, Aleksandar Savić

OPEN-LOCATING-DOMINATING NUMBER OF GENERALIZED PETERSEN GRAPHS 75

8. INFORMACIONI SISTEMI I TEHNOLOGIJE

Goran Bjelobaba, Ana Savić, Hana Stefanović
AN APPLICATION OF WEIGHTED LEAST SQUARE METHOD (WLMS) IN CENTRAL BANK
TWITTER FOLLOWERS GREW PREDICTION 81

9. ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ

Iva Vuksanović Herceg, Veljko M. Mijušković, Bojan Ristić
SITUATION ANALYSIS FOR MANAGING R&D PROJECTS IN SERBIA 90

Đuro Kutlača, Dušica Semenčenko
SILENT TRANSITION – STRUCTURAL CHANGES IN SCIENCE AND RESEARCH SYSTEM IN
SERBIA 95

Lazar Živković, Đuro Kutlača
CONNECTIONS OF KEY INSTITUTIONS IN THE FIELD OF OPERATIONAL RESEARCH
AND THEIR IMPACT ON KNOWLEDGE TRANSFER - APPLICATION OF THE
NETWORK ANALYSIS 102

Vukašin Kuč
THE INTERDEPENDENCE OF BUSINESS STRATEGY AND FINANCIAL STRUCTURE 109

10. KOMBINATORNA OPTIMIZACIJA

Đorđe Stakić, Miodrag Živković, Ana Anokić, Radoslav Rajković
SOLVING THE PROBLEM OF PACKING PACKAGES IN THE CONTAINERS WITH THE
LIMITATION OF THE MASS AND THE VOLUME BY VNS METHOD 112

Dragoš Cvetković, Zorica Dražić, Vera Kovačević - Vujčić, Mirjana Čangalović
THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM: SPECTRAL MOMENTS AND THE LENGTH OF
AN OPTIMAL TOUR 118

11. KVANTITATIVNI MODELI U FINANSIJAMA

Milijana Novović Burić, Vladimir Kaščelan, Ljiljana Kaščelan
LIMITING FACTORS OF REAL ESTATE INSURANCE DEVELOPMENT IN MONTENEGRO -
DECISION TREE ANALYSIS 125

12. LOGISTIKA

Herbert Kopfer
ANALYSIS AND COMPARISON OF TRANSPORTATION EFFICIENCY: ELECTRIC-
POWERED FLEETS VERSUS COMBUSTION-POWERED FLEETS 134

Milorad Kilibarda, Tanja Kaurin, Vlado Popović, Dejan Despić
SELECTION OF THE RFID SYSTEM IN THE PRODUCT DISTRIBUTION BY USING
AHP METHOD 135

Gordana Radivojević, Dražen Popović
MODEL FOR SELECTING SOFTWARE APPLICATIONS IN A LOGISTICS COMPANY 141

Branislava Ratković, Branka Dimitrijević
MULTIOBJECTIVE APPROACH TO DESIGN DANGEROUS WASTE
MANAGEMENT SYSTEMS 148

Milovan Kovač, Dražen Popović, Milorad Vidović, Nenad Bjelić
APPLICATION OF NEAREST NEIGHBOUR AND CLARKE-WRIGHT ALGORITHM FOR
SOLVING MULTI CAPACITATED MVRP 155

13. MATEMATIČKO PROGRAMIRANJE

Marija Boričić
REASONING SYSTEMS WITH HIGH PROBABILITIES 164

<i>Marija Kuzmanović, Dragana Makajić - Nikolić</i> OPTIMIZATION OF EFFICIENT EXPERIMENTAL DESIGN IN CONJOINT ANALYSIS	167
<i>Vladimir Ilin, Luka Matijević, Tatjana Davidović, Panos M. Pardalos</i> ASYMMETRIC CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOW	174

14. MEKA I BIHEJVORALNA OPERACIONA ISTRAŽIVANJA

<i>Sanja Živković</i> MEASURING THE LEVEL OF EXHAUSTION TECHNICAL SUPPORT STAFF TO SERBIAN BROADCASTING CORPORATION	182
---	-----

15. MEKO RAČUNARSTVO

<i>Miroslav Hudec</i> THE THREE LEVELS OF AGGREGATION FOR EVALUATING QUESTIONNAIRES FROM THE DIFFERENT RESPONDENTS' GROUPS.....	190
<i>Marko Knežević, Pavle Milošević, Ivana Dragović, Bratislav Petrović</i> CREDIT RATING ESTIMATION USING COMPUTATIONAL INTELLIGENCE METHODS: THE CASE OF SERBIAN MEDIUM-SIZED COMPANIES.....	197
<i>Nataša Jerkić, Ana Poledica, Aleksandar Rakićević, Nemanja Milenković</i> THE INFLUENCE OF OUTLIERS DATA ON NEURAL NETWORK PREDICTION OF PERFORMANCE INDEX RATING IN BASKETBALL	203
<i>Dragan Radojević</i> GRAPHICAL PRESENTATION OF REAL-VALUED LOGICAL RELATION OF EQUIVALENC AND DISIMILARITY OF MULTIDIMENSIONAL LOGIAL VARIABLES	209

16. NAUKA O PODACIMA

<i>Marko Milanović, Miloš Jovanović</i> PREFERENCE LEARNING AS AN AUC OPTIMIZATION METHOD FOR BINARY CLASSIFIERS	216
<i>Lazar Čolić, Marina Petrović, Ivana Prica</i> INFLUENCE OF PRIMING IN MARKETING RESEARCH.....	223
<i>Jasna Soldić - Aleksić, Biljana Chroneos Krasavac</i> DATA AND BUSINESS ANALYTICS DEMOCRATIZATION	228

18. POUZDANOST I UPRAVLJANJE RIZIKOM

<i>Dejan Trifunović</i> MORAL HAZARD IN INSURANCE CLAIMS	237
<i>Dragana Makajić - Nikolić, Nebojša Nikolić, Mirko Vujošević</i> ALGORITHM FOR REDUCING CUT SETS IN COHERENT FAULT-TREE ANALYSIS	242

19. PRIMENE OI U EKOLOŠKOM MENADŽMENTU I UPRAVLJANJU PRIRODNIM RESURSIMA

<i>Đorđe Mitrović, Olga Gavrić</i> CIRCULAR ECONOMY COMPOSITE INDEX – DEA APPROACH	250
<i>Nataša Petrović, Aleksandra Kručićan, Jelena Andreja Radaković</i> LIBRARIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS.....	257

20. PRIMENE OI U FINANSIJAMA I BANKARSTVU

Irena Janković

CHALLENGES OF FINDING EFFICIENT FRONTIER AND OPTIMAL RISKY PORTFOLIO IN EMERGING MARKETS – EXAMPLE OF SERBIA..... 265

Jelena Kočović, Marija Koprivica

MEASURING ADEQUACY OF UNEARNED PREMIUM RESERVE..... 271

21. PRIMENE OI U GRAĐEVINARSTVU

Slobodan Pandžić, Slavoljub Tomić, Dragan Macanović

ACCURACY ANALYSIS OF DISTANCE MEASUREMENT BETWEEN TWO INACCESSIBLE POINTS ON THE CONCRETE CONSTRUCTION OF A BUILDING..... 280

Dragan Nikolić, Goran Ćirović, Snežana Mitrović

CONCRETE CRACK ANALYSIS IN RC ELEMENTS USING ROUGH SET THEORY..... 287

Dragoljub Mirjanić, Ljubiša Preradović, Darko Divnić

SIGNIFICANCE OF THE GEOGRAPHICAL ORIENTATION AND INCLINATION OF THE PANELS TO THE ENERGY EFFICIENCY OF SOLAR PANELS..... 294

22. PRIMENE OI U MENADŽMENTU

Ana Aleksić Mirić

DIGITAL ORGANIZATION..... 303

Nenad Kovačević, Mitar Kovač, Antonio Mak

RISK ASSESSMENT IN THE WORKPLACE USING DECISION SUPPORT SYSTEMS..... 312

23. PRIMENE OI U ODBRANI

Zoran Mačak, Srđan Marković

APPLICATION OF THE A'WOT METHOD IN THE IMPROVEMENT OF ECOLOGICAL SECURITY IN MINISTRY OF DEFENCE AND SERBIN ARMED FORCES..... 319

Jovica Bogdanov, Zoran Bajić, Mihael Bučko

ANALYSIS OF STUDY PROGRAMMES FOR EDUCATION OF CHEMICAL TECHNOLOGY ENGINEERS IN MILITARY ACADEMIES BETWEEN 1993 AND 2018 325

Dejan Stojković

MAJOR DETERMINANTS OF DEFENSE EXPENDITURE OF THE REPUBLIC OF SERBIA 331

Vlada Mitić, Dejan Nikolić

APPLICATION OF THE AHP METHOD IN DEVELOPING THE MODIFICATOR OF MOVEMENT OF LEND UNITS IN WAR GAMES 336

Milan Kankaraš, Ivan Petrović, Zoran Mačak

THE CHOICE OF ADDITIONAL CRITERIA FOR SELECTION OF DEFENCE HUMAN RESOURCES 342

Srđan Dimić, Srđan Ljubojević, Radiša Saković

COMPARISON OF RANKS OF STRATEGIC OPTIONS OBTAINED BY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING 348

Radiša Saković, Srđan Dimić

POSSIBILITIES FOR IMPROVING THE OFFICIAL RANGE PROCESS IN THE MINISTRY OF DEFENSE AND SERBIAN ARMED FORCES 354

Dejan Nikolić, Miloš Vasković, Milan Kovačević

POSSIBILITY OF APPLICATION OF THE AHP METHOD FOR THE SELECTION OF SUPPLIERS BY AUTHORITY OF LOGISTICS IN SERBIAN ARMY 361

Dalibor Petrović, Vlada Mitić, Nenad Kapor

INFLUENCE OF AVAILABILITY OF TARGET INFORMATION ON COMBAT CAPABILITY OF AIRCRAFT PLATFORMS..... 368

24. PRIMENE OI U RUDARSTVU, GEOLOGIJI I ENERGETICI

Minja Marinović

OVERVIEW OF OPTIMIZATION PROBLEMS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS 376

25. PRIMENE OI U SAOBRAĆAJU, TRANSPORTU I KOMUNIKACIJAMA

Slavica Dožić

SELF-CONNECTING PASSENGERS AND IMPLICATIONS FOR AIRLINE AND AIRPORT NETWORK CONNECTIVITY 384

Danica Babić, Milica Kalić, Milica Šelmić, Dragana Macura

AN OVERVIEW OF STOCHASTIC METHODS FOR SEAT INVENTORY CONTROL IN AIR AND RAIL TRANSPORT 391

Dušan Crnogorac, Feđa Netjasov

FUZZY MODEL FOR THE EVALUATION OF FUTURE AIR TRAFFIC MANAGEMENT SCENARIOS SAFETY PERFORMANCE INDICATORS 398

Danica Babić, Boris Begović, Tijana Levajković

FEAR OF FLYING EFFECTS ON OPTIMAL NETWORK STRUCTURE IN A MONOPOLY AIRLINE MARKET 405

Doroteja Timotić, Feđa Netjasov

MODELLING OF RUNWAY EXCURSIONS WITH BAYESIAN BELIEF NETWORKS 412

Saška Grujić, Milena Popović, Gordana Savić, Dragan Pamučar

SAFETY ASSESSMENT OF RAILWAY CROSSINGS IN SERBIA USING DEA METHOD 419

Ivana Jovanović, Branka Dimitrijević, Milica Šelmić, Vladimir Momčilović

SELECTION OF THE SENSOR TECHNOLOGY FOR TRAFFIC FLOW PARAMETERS' DETERMINATION IN THE REPUBLIC OF SERBIA 426

Konstantinos Ampountolas

THE FREE-FLOATING BIKE SHARE REBALANCING PROBLEM 433

26. SIMULACIJA I STOHAŠTIČKI MODELI

Anton Ereemeev, Alexander Spirov

BRIDGING THE GAP BETWEEN THE THEORY OF EVOLUTIONARY ALGORITHMS AND GENETICS 441

Bojana Todić

SOME VARIANTS OF COUPON COLLECTOR'S PROBLEM 442

Milorad Stefanović, Marko Đogatović, Maja Pejica, Milorad Stanojević

SIMULATION ANALYSIS OF LOADING AND UNLOADING OPERATIONS IN TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS IN THE PEAK MONTHS 447

29. TEORIJA IGARA

Vladislav Radak, Ivan Anić

COOPERATION AND PARTNERSHIP GAME IN VENTURE CAPITAL FUNDING 454

Neda Isaković, Marija Kuzmanović

BOUNDED RACIONALITY IN ALL-PAY AUCTIONS: EXPERIMENTAL EVIDENCE 461

Dragan Azdejković

ANALYZING ACQUIZING OF FIRMS USING GAME THEORY 468

30. UPRAVLJANJE PROIZVODNOM I LANCI SNABDEVANJA

Radmila Jablan Stefanović, Vladan Knežević, Jovana Jugović

INFORMACIONI IZAZOVI UPRAVLJANJU LEAN KOMPANIJAMA..... 474

Jelena Končar, Sonja Vučenović, Zita Petrović Katai

MEASUREMENT OF OMNICHANNELTY ON THE GLOBAL MARKET..... 479

31. VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA I OPTIMIZACIJA

Zoran Bajić, Jovica Bogdanov

A SIMPLE MATHEMATICAL APPROACH FOR THE MEAN RANDOM CONSISTENCY

INDEX CALCULATION AT HIGHER MATRIX DIMENSIONS..... 486



2018

***PREDAVANJA
PREDAVAČA PO POZIVU***



SOLVENCY II - MODELLING AND MEASURING RISKS IN THE INSURANCE INDUSTRY

MARTIN BALLEER

Rad se nalazi u monografiji *Quantitative models in economics*, CID, Ekonomski fakultet u Beogradu (2018), strana 225-240.



MODELING, PROVING AND REFUTING

BRANISLAV BORIČIĆ¹

¹ University of Belgrade, Faculty of Economics, boricic@ekof.bg.ac.rs

Rad se nalazi u monografiji *Quantitative models in economics*, CID, Ekonomski fakultet u Beogradu (2018), strana 3-20.

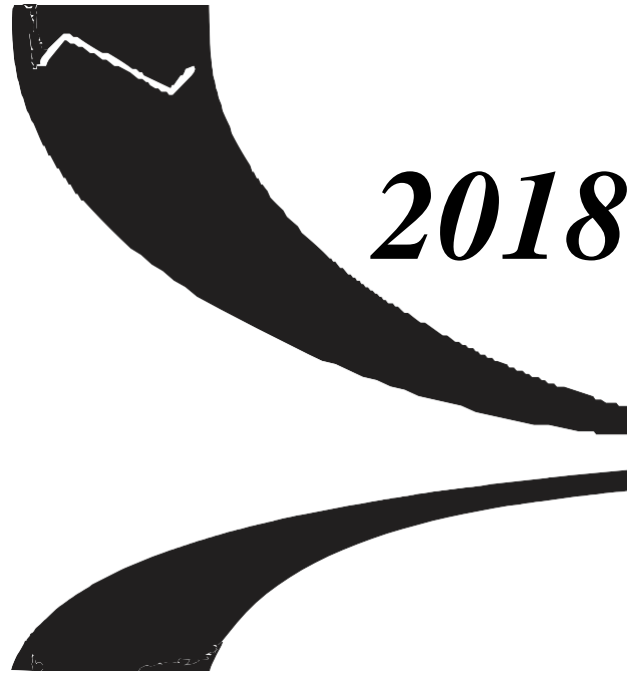


ENTERPRISE RISK MANAGEMENT IN INSURANCE COMPANIES USING INTERNATIONAL FINANCIAL REPORTING STANDARD 17 “INSURANCE CONTRACTS”

ŽELJKO ŠAIN¹, EDIN TASO, JASMINA SELIMOVIĆ

¹University of Sarajevo, Faculty of Economics

Rad se nalazi u monografiji *Quantitative models in economics*, CID, Ekonomski fakultet u Beogradu (2018), strana 265-288.



2018

ANALIZA PERFORMANSI



POSTAVKA ISTRAŽIVAČKOG OKVIRA ZA PROUČAVANJE UTICAJA KORPORATIVNOG PREDUZETNIŠTVA NA PERFORMANSE PREDUZEĆA

SETTING THE RESEARCH FRAMEWORK FOR ANALYZING THE IMPACT OF CORPORATE ENTREPRENEURSHIP ON THE COMPANY'S PERFORMANCE

BLAGOJE PAUNOVIĆ¹, ZORICA ANIČIĆ²

¹ Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu, paunovic@ekof.bg.ac.rs

² Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu, zorica@ekof.bg.ac.rs

Rezime: Rezultati ranijih istraživanja govore o dvojakom uticaju korporativnog preduzetništva na uspešnost poslovanja, što ukazuje na postojanje optimalnog nivoa preduzetničke aktivnosti velikih preduzeća. Cilj rada jeste postavljanje novog teorijskog okvira koji objašnjava: a) šta određuje optimalni nivo preduzetničke aktivnosti velikih preduzeća i b) da li se taj optimalni nivo razlikuje između pojedinih grupa preduzeća. Polazeći od tradicionalnog shvatanja da veći stepen inovativnosti doprinosi povećanju efektivnosti poslovanja, smanjujući njenu efikasnost, možemo pretpostaviti da optimalni nivo preduzetničke aktivnosti predstavlja funkciju njihove adekvatne kombinacije. Potencijalne razlike u optimalnom nivou korporativnog preduzetništva između preduzeća, razmatrane su u kontekstu karakteristika okruženja u kome ona posluju. Postavljeni teorijski okvir predstavlja predmet budućeg empirijskog istraživanja.

Ključne reči: korporativno preduzetništvo, efikasnost, efektivnost, dinamičnost okruženja.

Abstract: Prior research results talk about two-way impact of corporate entrepreneurship on the company performance, indicating the existence of the optimal level of corporate entrepreneurship in large companies. The aim of this paper is the establishment of the new theoretical concept, which explains: a) what defines optimal level of entrepreneurship in large companies and b) does that level differ between different groups of companies. Starting from traditional learning that the higher level of innovation contributes positively to companies effectiveness but reduces its efficiency, we may assume that the optimal level of entrepreneurial activity can be described by the function of their adequate combination. Potential differences in the optimal level of corporate entrepreneurship between companies have been considered in the context of their environment. The established theoretical concept would be empirically tested.

Keywords: corporate entrepreneurship, efficiency, effectiveness, environmental dynamism.

1. UVOD

Tehnološke i tržišne promene vrše snažan pritisak na preduzeća da kroz porast preduzetničkih aktivnosti održe svoju poziciju na tržištu. Koncept koji se koristi da objasni preduzetničko ponašanje etabliranih srednjih i velikih preduzeća u literaturi poznat je kao korporativno preduzetništvo. Iako se preduzetništvo isključivo vezivalo za osnivanje novih, mikro i malih poslovnih subjekata, već više od četiri decenije govori se o preduzetničkoj aktivnosti već etabliranih preduzeća. Prve naznake ovakvog shvatanja preduzetništva dali su Peretson i Berger (Peterson and Berger, 1971) dovodeći u vezu inicijative zaposlenih sa preduzetničkom aktivnošću preduzeća, zatim Miler (Miller, 1983) objašnjavajući da se ne samo pojedinci, već i preduzeća mogu ponašati preduzetnički, ali i Covin i Slevin mereći spremnost organizacije za sprovođenje inovativnih ideja (Covin and Slevin, 1986.). Teoretičari iz oblasti preduzetništva uglavnom ističu preduzetnički duh i kreativnost preduzeća, objašnjavajući da će oni nesporno dovesti do boljih performansi. Da korporativno preduzetništvo nije uvek poželjno ističe se tek u nekoliko radova novijeg datuma koji pozivaju na dalju analizu problema (Wales *et al.*, 2013). Iako postoji indikacija postojanja krivolinijske veze između korporativnog preduzetništva i performansi preduzeća, još uvek nije dovoljno ispitana njena jačina, priroda, ali ni uslovi koji je opredeljuju. Otuda, cilj ovog rada jeste da, kroz kratak prikaz dosadašnjih istraživanja na ovu temu, ukaže na jaz koji u literaturi postoji i postavi novi okvir budućih istraživanja.

2. ODNOS IZMEĐU KORPORATIVNOG PREDUZETNIŠTVA I PERFORMANSI PREDUZEĆA - PREGLED LITERATURE

Burgleman je 1984. godine među prvima govorio o korporativnom preduzetništvu, objašnjavajući da ono širi domen kompetentnosti i odgovarajućeg seta mogućnosti preduzeća kroz interno generisanje novih ideja.



Mnogi istraživači definišu korporativno preduzetništvo kao proces u kome pojedinci unutar organizacije tragaju za mogućnostima, nezavisno od resursa koje trenutno poseduju i kontrolišu (Stevenson and Jarilo 1990). Shvatanje korporativnog preduzetništva najbliže formi u kojoj se ono i danas koristi daju Guth i Ginsberg još 1990. godine (Guth and Ginsberg, 1990.). Autori objašnjavaju koncept korporativnog preduzetništva identifikujući njegove dve osnovne dimenzije. Prvu, rađanje novog biznisa unutar postojećih preduzeća i drugu koja se odnosi na transformaciju organizacije kroz obnavljanje ključnih ideja na kojima ona počiva. Inspirisan radovima Gutha i Ginsberga, Zahra 1996. godine objašnjava korporativno preduzetništvo kao skup inovacija, preduzetničkih poduhvata i strateške transformacije jednog preduzeća. Iako su kasnije istraživači ispitivali koncept korporativnog preduzetništva na različite načine, najveći broj istraživanja se upravo oslanja na ove tri dimenzije. Pod inovacijama se podrazumeva kreiranje i/ili uvođenje novog proizvoda, procesa ili organizacionog sistema. Preduzetnički poduhvat se odnosi na ulazak kompanije u nove poslove na postojećim ili novim tržištima u cilju revidiranja postojećeg poslovnog portfolija. Strateška obnova podrazumeva revitalizaciju kompanijskih operacija menjajući okvir biznisa, njegov konkurentni pristup ili oba.

Nakon izučavanja pojma korporativnog preduzetništva i konceptualizacije njegovih dimenzija, centralna tema, u periodu koji sledi, postaje njegov doprinos rezultatima preduzeća, ali i celokupne privrede. O značaju preduzetničke aktivnosti generalno, govori istraživanje sprovedeno 80ih godina u USA u kome se nalazi da je neproporcionalan rast broja radnih mesta u privredi (za čak 90% više) posledica naglog razvoja preduzetničkog sektora (Birch, 1979). To je inspirisalo istraživače da dalje ispituju razlike između tradicionalnih i preduzetnički orijentisanih firmi. Rezultati su samo potvrdili potrebu za preduzetničkim ponašanjem, ističući da preduzetnički orijentisana preduzeća više doprinose kreiranju novih radnih mesta. Veliki broj istraživanja u pomenutom razdoblju bio je usmeren na ispitivanje prirode veze između korporativnog preduzetništva i ostvarenih finansijskih rezultata poslovanja preduzeća. Tako, značaj korporativnog preduzetništva za uspešnost kompanije ističu mnogi, objašnjavajući njegovu pozitivnu vezu sa prihodom (Mcgrath *et al.*, 1994), profitabilnošću (Zahra 1993, Zahra 1995), inovativnošću (McFadzean *et al.*, 2005) i rastom preduzeća (McDougall *et al.*, 1994). Često se govorilo i o doprinosu korporativnog preduzetništva konkurentskoj prednosti preduzeća (Covin and Miles, 1999). Aktan i Bulutu su na uzorku od 312 preduzeća ispitivali vezu između pomenutih dimenzija korporativnog preduzetništva i ostvarenih finansijskih performansi i time potvrdili pozitivan doprinos svake od njih (Aktan and Bulutu, 2008). Lekmat i Selvarajah potvrđuju prethodna istraživanja, posebno ističući doprinos inovativnosti kao najznačajnije dimenzije korporativnog preduzetništva. Naime, rezultati ukazuju da upravo ova dimenzija najviše doprinosi povećanju profitabilnosti i rastu preduzeća (Lekmat and Selvarajah, 2008). Ovo samo potvrđuje mišljenje utemeljivača koncepta da su inovacije najznačajniji element korporativnog preduzetništva i kao takve najveći prediktori superiornih finansijskih rezultata (Zahra, 1991). On u jednom od svojih sledećih istraživanja sa Garvisom, nalazi da je pozitivna veza posebno izražena u internacionalnim kompanijama, objašnjavajući da mnogo veća autonomija zaposlenih u ćerkama firmama doprinosi brzom operacionalizaciji njihovih ideja, a posledično i boljim rezultatima poslovanja (Zahra and Gavris, 2000).

Predstavljeni rezultati ukazuju na neophodnost preduzetničkog delovanja svih preduzeća. Tačnije, veća investicija u podsticanje i sprovođenje preduzetničkih ideja unutar preduzeća nesporno će se odraziti pozitivno na poslovni uspeh. Ukoliko je to u potpunosti tačno, na koji način objasniti krah preduzeća, kao što je npr. Enron (Birkinshaw, 2003), čija je centralna strategija poslovanja bila bazirana na proaktivnim i inovativnim akcijama. U literaturi nema puno radova koji ukazuju na negativan uticaj korporativnog preduzetništva na performanse preduzeća. Andersen daje kritički osvrt na već dugo utemeljenu pozitivnu vezu između posmatranih varijabli i ističe brojne faktore koji su u tom odnosu zanemareni i koji mogu značajno uticati na promenu pravca veze (Andersen, 2010). Tang ukazuje na postojanje nelinearne veze između preduzetničke orijentacije i performansi preduzeća (Tang *et al.*, 2008). Shamsuddin nalazi da inovativnost i starteška obnova, kao dve dimenzije korporativnog preduzetništva, ipak dovode do negativnih finansijskih rezultata u osmatranom uzorku preduzeća (Shamsuddin *et al.* 2012). Slično tome, Su sa saradnicima 2011. godine pokazuje da se sa povećanjem preduzetničke aktivnosti njen pozitivan efekat na performance preduzeća smanjuje. Inspirisani potpuno suprotstavljenim zaključcima prethodnih istraživača, autori postavljaju pitanje: da li je investiranje u preduzetničke aktivnosti velikih preduzeća opravdano ili ne, tačnije da li je visok stepen korporativnog preduzetništva uvek povezan sa superiornim finansijskim rezultatima.



3. VEZA IZMEĐU KORPORATIVNOG PREDUZETNIŠTVA I PERFORMANSI PREDUZEĆA - NOVI ISTRAŽIVAČKI OKVIR

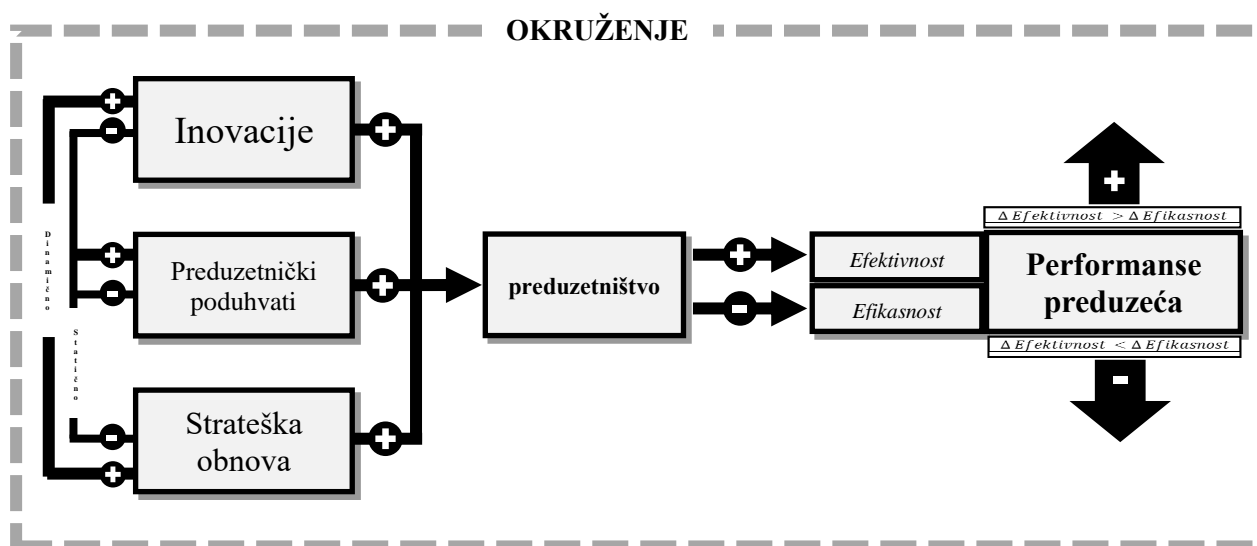
Zajedničko svim prethodnim istraživanjima jeste tvrdnja da je određeni stepen preduzetničkog delovanja uvek poželjan, samo što se u prvoj grupi sa rastom investicija u preduzetničke aktivnosti taj pozitivan efekat pojačava, dok u drugoj grupi on jenjava. Ovo smanjenje marginalne korisnosti od korporativnog preduzetništva sa povećanjem njegovog nivoa svakako može biti indikacija krivolinijske veze između dve varijable. Ovakav, prvo progresivan, zatim konstantan i na kraju degresivan rast ukupnih performansi sa povećanjem nivoa korporativnog preduzetništva možemo prikazati *S krivom*. I dalje, ukoliko preduzeće nastavlja da povećava nivo preduzetničke aktivnosti marginalni doprinos svake dodatne jedinice može postati negativan i dovesti do pada ukupnih performansi, što dodatno menja oblik krivolinijske veze. Polazeći od pretpostavke nelinealne veze oblika zvona između korporativnog preduzetništva i ukupnih performansi preduzeća, u radu je predstavljen istraživački okvir koji može objasniti uzrok ovako definisane relacije. Drugim rečima, ukoliko postoji optimalni nivo preduzetničke aktivnosti u nastavku ćemo pokušati da utvrdimo šta taj optimalni nivo određuje. Ako previše preduzetništva dovodi do smanjenja njegovog pozitivnog efekta na performance, ili šta više do smanjenja samih performansi neophodno je utvrditi uzrok promene smera posmatrane relacije. Na potrebu za postavljanjem novog istraživačkog okvira ukazuje i Wales ističući da postojanje i jačina krivolinijske veze između korporativnog preduzetništva i performansi, kao i mogući štetan uticaj preduzetničke aktivnosti na uspeh poslovanja još uvek nije dovoljno ispitan u literaturi (Wales *et al.*, 2013).

Kako bismo bolje objasnili krivolinijsku vezu, korisno je analizirati razliku između marginalnih koristi i marginalnih troškova povezanih sa porastom nivoa korporativnog preduzetništva. Prema tradicionalnom shvatanju, veći stepen inovativnosti, zbog kreiranja dodatne vrednosti za preduzeće, doprinosi povećanju efektivnosti. Sa druge strane, realizacija novih poslovnih ideja iziskuje trošenje resursa preduzeća, pa se takvo povećanje efektivnosti, ostvaruje na ustrb efikasnosti. Tako su efikasnost i inovativnost često međusobno suprotstavljeni. Otuda, marginalne koristi možemo posmatrati kroz povećanje efektivnosti, a marginalne troškove kroz smanjenje efikasnosti poslovanja. Kako bi preduzeće ostvarilo superiorne performanse, neophodno je da postigne i efikasnost i efektivnost svom poslovanju (Mousse, 2006). Implicitno, određeni nivo preduzetničke aktivnosti je poželjan u velikim preduzećima u cilju postizanja efektivnosti, ali takav nivo koji neće previše negativno uticati na efikasnost poslovanja. Određivanje tog optimalnog nivoa korporativnog preduzetništva, tačnije nivoa koji maksimizira performanse preduzeća, zahteva kontinuirano praćenje marginalnih koristi i marginalnih troškova koji nastaju usled povećanja inovativne aktivnosti preduzeća. Preduzeće bi trebalo da povećava nivo preduzetničkih aktivnosti sve dok se efektivnost povećava više nego što se efikasnost smanjuje i obrnuto. Kada marginalne koristi od povećanja efektivnosti postanu manje od marginalnih troškova smanjenja efikasnosti, preduzeće bi trebalo da smanjuje stepen internog preduzetništva.

Previše inovativnih aktivnosti velikih preduzeća može biti prouzrokovano brzim tehnološkim promenama, kao i novih zahtevima koje sa sobom nosi era digitalizacije. Ispunjavanje zahteva tržišta (čak više tehnološki, nego potrošački orijentanim) dovodi preduzeća u situaciju da zanemaruju značajna investiciona ulaganja resursa koja su neophodna u tom procesu. Posledično, povećanje efektivnosti, u ovom slučaju mereno stepenom ispunjavanja zahteva tržišta, može biti značajno manje od negativnih efekata koje sa sobom nosi pad efikasnosti korišćenja resursa. Vođena rapidnim tehnološkim promenama i ponašanjem konkurencije, preduzeća mogu ići iz jedne u drugu inovativnu aktivnost, zanemarujući na koji način se to odražava na efikasnost tekućeg poslovanja. Ukoliko preduzeće nema adekvatnu infrastrukturu i resurse koji će podržati ovaj visok stepen preduzetničkih aktivnosti krajnji rezultat za njega može biti nepovoljan. Potpuno suprotan primer predstavljaju preduzeća koja razvijajući sisteme kontrole, sa ciljem eliminisanja rizika i neizvesnosti, povećavaju efikasnost na račun inovativnosti i preduzetničkog ponašanja. Ni ovakvo rešenje nije dobro, jer dugoročni efekti od zanemarivanja efektivnosti mogu imati značajne negativne posledice na opstanak preduzeća i njegovu tržišnu poziciju. Složen odnos između potrebe za efektivnošću i efikasnošću preduzeća komplikuje činjenica da optimalni nivo korporativnog preduzetništva, čak i kada se utvrdi, nije nepromenjen i nezavisan od karakteristika okruženja (Slevin *et al.*, 1990). Posledično, kontinuirano praćenje pozitivnih i negativnih efekata od povećanja nivoa preduzetničke aktivnosti omogućići će preduzeću da maksimizira svoje performanse kroz postizanje i efikasnog i efektivnog poslovanja. Suprotstavljenost efikasnosti i preduzetničkog ponašanja nameće pitanje stepena slobode koji treba da imaju menadžeri preduzeća. Previše slobode, s jedne strane, može dovesti do neorganizovanosti, pa čak i haosa, dok premalo slobode, s druge strane, može značiti gušenje kreativnosti,

inicijative i preduzetničkog ponašanja. Stoga se odgovor na dilemu o stepenu slobode menadžera svodi na pitanje sklada ovih suprotstavljenih zahteva (Paunović, 2018).

Pored toga, opravdano je tvrditi da će optimalni nivo korporativnog preduzetništva biti različit za preduzeća koja posluju u različitim uslovima okruženja. Ispitivanje okruženja u kome preduzeće posluje je preduslov izbora adekvatnih aktivnosti korporativnog preduzetništva (Zahra, 1993.). Dodatno, firme moraju prilagođavati i stepen preduzetničke aktivnosti karakteristikama okruženja (Miller, 1983). Istraživanja pokazuju da u poređenju sa lošim firmama, u onim uspešnijim postoji mnogo veći stepen korelacije između rasta dimaničnosti okruženja i rasta inovativnosti (Miller and Friesen, 1982). Dinamičnost se odnosi na nestabilnost okruženja usled kontinuiranih i nepredvidivih promena koje se u njemu dešavaju (Keats and Hitt, 1988). Promene u okruženju otvaraju veliki broj novih mogućnosti za preduzeće, ali sa druge strane i za njegove rivale. Ukoliko se preduzeće suočava sa izrazito brzim i nepredvidivim promenama, volatilnim tržištem, velikom konkurencijom i slično, potreba za inovativnim aktivnostima je veća. Suprotno, ukoliko preduzeće posluje u relativno stabilnim uslovima, tačnije u okruženju gde ili nema ili je promene lako predvideti, zahtevi sa preduzetničkim aktivnostima su manji. Jedan od razloga male potrebe za preduzetničkim aktivnostima u stabilnom okruženju sigurno je i inertnost konkurencije. Pa tako, svako ulaganje u realizaciju novih ideja može biti percipirano kao uzaludno trošenje resursa uz zanemarljive dobitke. U takvom okruženju marginalni troškovi mogu mnogo ranije nadmašiti marginalne koristi od inovativnog delovanja. Sve ovo ukazuje da optimalni nivo preduzetničke aktivnosti ne samo da je definisan njenim efektom na efikasnost i efektivnost poslovanja, već se taj nivo i razlikuje u zavisnosti od dinamičnosti okruženja u kome preduzeće posluje. Istraživački okvir, postavljen na osnovu predlega literature i definisanih uzročno-posledičnih relacija, prikazan je na slici 1.



Slika 1. Korporativno preduzetništvo i performanse preduzeća - novi istraživački okvir

Sprovođenje aktivnosti, koje su u teoriji opisane sa tri dimenzije korporativnog preduzetništva (inovacije, preduzetnički poduhvati i strateška obnova), dovodi do njegovog većeg nivoa. Dalje, uticaj korporativnog preduzetništva na ukupne performanse zavisi od njegovog efekta na efikasnost i efektivnost poslovanja konkretnog preduzeća. Sve dok preduzeće sprovođenjem preduzetničkih aktivnosti povećava efektivnost više nego što smanjuje efikasnost, preduzeću se i dalje isplati da se preduzetnički ponaša. Ako preduzeće raspolaže resursima koji su neophodni samo za održavanje tekućeg poslovanja i sa njima nije sposobno da podrži buduće inovacije, svaka dodatna preduzetnička aktivnost dovela bi do haosa i prevelikih gubitaka u efikasnosti. Gde bi tačno preduzeće, za momenat, trebalo da stane sa inovacijama i da se fokusira na povećanje efikasnosti tekućih aktivnosti zavisi i od karakteristika okruženja u kome posluje. Zahtev za većim nivoom korporativnog preduzetništva sigurno postoji u okruženju većeg stepena dinamičnosti.

5. ZAKLJUČAK

Rad ima za cilj da predstavi novi istraživački okvir koji preciznije objašnjava vezu između korporativnog preduzetništva i performansi preduzeća. Iako su prethodna istraživanja uglavnom ukazivala na pozitivan doprinos preduzetničkih aktivnosti poslovanju preduzeća, tek nekoliko radova novijeg datuma ukazuje na njihovu negativnu relaciju. Ovo daje indikaciju nelinearne veze između varijabli i postojanja optimalnog nivoa



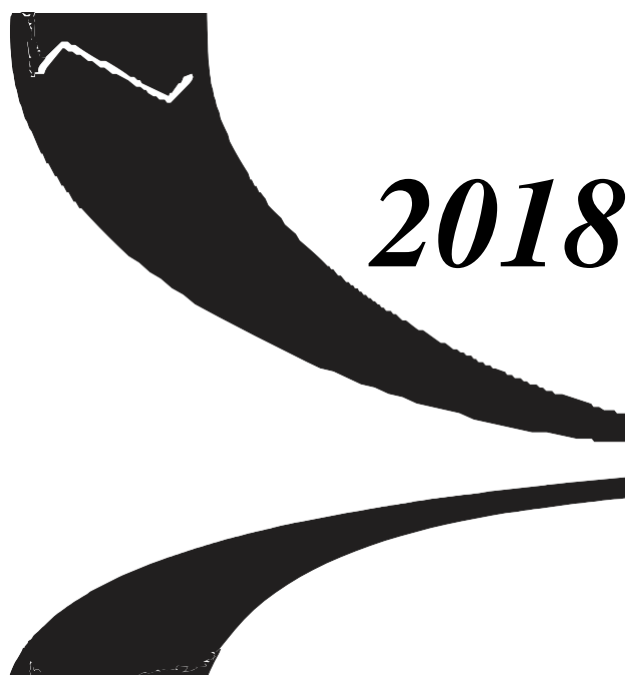
preduzetničke aktivnosti u velikim preduzećima. Polazeći od tradicionalnog shvatanja da je inovativnost povezana za povećanjem efektivnosti i smanjenjem efikasnosti, taj optimalni nivo preduzetničke aktivnosti može se odrediti njihovom adekvatnom kombinacijom. Pored toga, rezultati brojnih istraživanja ukazuju da su u dinamičnom okruženju uspešnija ona preduzeća koja više inoviraju, pa je opravdano tvrditi i da će optimalni nivo korporativnog preduzetništva biti različit za preduzeća koja posluju u različitim uslovima okruženja. Uzimajući u obzir postavljene relacije između korporativnog preduzetništva i efikasnosti i efektivnosti u okruženju različitog stepena dinamičnosti postavljen je istraživački okvir sledećeg empirijskog istraživanja.

LITERATURA

- [1] Aktan, B., & Bulut, Ç. (2008). Financial performance impacts of corporate entrepreneurship in emerging markets: a case of Turkey. *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences*, 12, 69-79.
- [2] Andersen, J. (2010). A critical examination of the EO-performance relationship. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 16, 4, 309-328.
- [3] Birch, D. L. (1979). *The Job Generation Process*. MIT Program on Neighborhood and Regional Change, Cambridge: MA
- [4] Birkinshaw, J. M. (2003). The Paradox of Corporate Entrepreneurship. *Strategy and Business*, 30, 1-10.
- [5] Burgelman, R. A. (1984). Designs for Corporate Entrepreneurship in Established Firms. *California Management Review*, 26, 3, 154 – 166.
- [6] Covin, J. G., & Slevin, D. P. (Eds.). (1986). *The development and testing of an organizational-level entrepreneurship scale*. Wellesley, MA: Babson College Center for Entrepreneurship Research.
- [7] Covin, J., & Miles, M. (1999). Corporate entrepreneurship and the pursuit of competitive advantage. *Entrepreneurship: Theory and Practice*, 23, 3, 47-63.
- [8] Guth, W. D., & Ginsberg, A. (1990). Guest Editors' Introduction: Corporate Entrepreneurship. *Strategic Management Journal*, 11 (4), 5-15.
- [9] Keats, B. W. & Hitt, M.A. (1988). A Causal Model of Linkages Among Environmental Dimensions, Macro Organizational Characteristics, and Performance, *Academy of Management Journal*, 31, 3, 570-598.
- [10] McDougall, P.P., Covin, J.G., Robinson, R.B., & Herron, L. (1994). The effects of industry growth and strategic breadth on new venture performance and strategy content. *Strategic Management Journal*, 15, 537-554.
- [11] McFadzean, E., O'Loughlin, A. & Shaw, E. (2005). Corporate entrepreneurship and innovation part 1: the missing link. *European Journal of Innovation Management*, 8, 3, 350-372.
- [12] Mcgrath, R.G., Venkataraman, S., & MacMillan, I.C. (1994). The advantage chain: Antecedents to rents from internal corporate ventures. *Journal of Business Venturing*, 9, 5, 351-369.
- [13] Miller, D. & Friesen, P.H. (1982). Innovation in Conservative and Entrepreneurial Firms: Two Models of Strategic Momentu. *Strategic Management Journal*, 3 (1), 1-25.
- [14] Miller, D. (1983). The Correlates of Entrepreneurship in Three Types of Firms. *Management Science*, 29 (7), 770-791.
- [15] Mouzas, S. (2006). Efficiency versus effectiveness in business networks. *Journal of Business Research*, 59 (10-11), 1124-113.
- [16] Paunović, B. (2018). *Preduzetništvo i upravljanje malim preduzećem*. Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta. Beograd.
- [17] Peterson, R. A., & Berger, D. G. (1971). Entrepreneurship in Organizations: Evidence from the Popular Music Industry. *Administrative Science Quarterly*, 16 (1), 97-106.
- [18] Shamsuddin, S., Othman, J., Asmady, S.M. & Zakaria, Z. (2012). The dimensions of corporate entrepreneurship and the performance of establishes organisation. *ACRN Journal of Entrepreneurship Perspectives*, 1, 111-131.
- [19] Slevin, D. P., & Covin, J. G. (1990). Juggling entrepreneurial style and organisational structure - how to get your act together. *Sloan Management Review*, 31(2), 43-53.



- [20]Stevenson, H. H. & Jarillo, J. C. (1990). A Paradigm of Entrepreneurship: Entrepreneurial Management. *Strategic Management Journal*, 11, 17-27.
- [21]Su, Z., Xie, E. & Li, Y. (2011). Entrepreneurial Orientation and Firm Performance in New Ventures and Established Firms. *Journal of Small Business management*, 49, 4, 558-577.
- [22]Tang , J., Tang, Z., Marino, L. D., Zhang, Y. & Li, Q. (2008). Exploring an Inverted U-Shape, Relationship between Entrepreneurial Orientation and Performance in Chinese Ventures. *Entrepreneurship: Theory and Practice*, 32, 1, 219-239.
- [23]Wales, W. J., Patel, P. C., Parida, V. & Kreiser, P.M. (2013). Nonlinear Effects of Entrepreneurial Orientation on Small Firm Performance: The Moderating Role of Resource Orchestration Capabilities, 7, 2, 93-121.
- [24]Zahra, S.A. (1993). Environment, corporate entrepreneurship, and financial performance: A taxonomic approach. *Journal of Business Venturing*, 8, 4, 319-340.
- [25]Zahra. S. A. (1996). Governance, ownership, and corporate entrepreneurship: The moderating impact of industry technological opportunities. *Academy of Management Journal*, 39, 6, 1713-1735.
- [26]Zahra, S. A., & Garvis, D. 2000. International corporate entrepreneurship and company performance: The moderating effect of international environmental hostility. *Journal of Business Venturing*, 15, 469–492.



***EKONOMSKI MODELI I
EKONOMETRIJA***



Specifikacija jednodimenzionih modela podataka mešovutih frekvencija Univariate mixed data sampling model specification

Filip Obradović¹

¹ Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu, obradovicfilip@ekof.bg.ac.rs

Abstract: Frequent problem that many econometricians encounter is the availability of regressors and the dependent variable at different frequencies. The prevalent solution is to aggregate the data to the lowest common frequency. It has been shown that this is not always a valid method since the loss of information from the sample due to aggregation can lead to biased and inconsistent estimates. An alternative in the form of MIDAS models (hence Mixed Data Sampling) has been developed as a solution. Currently available results in the recent literature reveal significant advantages of the aforementioned specification over the traditional aggregation approach. In this paper the basic specification is presented and a correction of the existing beta polynomial is suggested. It is formally shown why parameter estimates in MIDAS models have no closed-form solution using the least squares method.

Rezime: Čest problem s kojim se mnogi ekonometričari susreću jeste dostupnost regresora i zavisne promenljive na različitim frekvencijama. Ustaljeno rešenje jeste agregacija svih podataka do najniže zajedničke učestalosti. Pokazano je da to nije uvek opravdan metod jer gubitak informacija koji izaziva može dovesti do pristrasnih i nekonzistentnih ocena. Alternativa u formi modela podataka mešovutih frekvencija je razvijena kao rešenje. Rezultati koji su dostupni u skorijoj literaturi ukazuju na velike prednosti pomenute specifikacije nad tradicionalnim pristupom agregiranih podataka. U ovom radu je predstavljena osnovna specifikacija i predložena izmena postojećeg beta polinoma. Formalno je pokazano zašto ocene parametara u modelima podataka mešovutih frekvencija nemaju analitičko rešenje upotrebom metoda najmanjih kvadrata.

Keywords: MIDAS, temporal aggregation, mixed frequency variables

Ključne reči: MPMF, vremenska agregacija, promenljive različitih frekvencija

1. Uvod

Tipični regresioni modeli zahtevaju upotrebu promenljivih za koje su podaci dostupni s istom učestalošću. Nije neuobičajeno da makar jedan regresor u empirijskim istraživanjima bude dostupan na većoj frekvenciji od zavisne promenljive. Sledstveno čest problem sa kojim se istraživači susreću jeste agregiranje podataka. Pomenuto se može pojaviti već kod najjednostavnijih modela kretanja bruto domaćeg proizvoda. Zbog ograničene dostupnosti podataka, u njima se često promenljiva od interesa posmatra kvartalno dok objašnjavajuće promenljive, poput nivoa cena, indeksa industrijske proizvodnje i monetarnih agregata, mogu biti raspoložive i na mesečnom nivou. Najintuitivnije rešenje bilo bi jednostavno uprosečenje ili sumiranje opservacija visokofrekventnih podataka do kvartalne frekvencije. Na ovaj način se apriorno nameće ograničenje podjednakog uticaja svakog od mesečnih podataka na kretanje kvartalne veličine. Kako je fundamentalni proces koji generiše visokofrekventne podatke nepoznat, ne mora nužno biti opravdano uvesti takvo ograničenje.

Prihvatanje odluke da se pođe putem proste agregacije sa sobom nosi i određene posledice koje neizostavno utiču na stepen iskorišćenosti raspoloživog skupa informacija koji nam pružaju podaci veće učestalosti. Pokazano je da je pretpostavljena struktura ovakvog agregiranja podataka često neopravdana, usled čega se može javiti kao izvor pristrasnosti i neefikasnosti pri ocenjivanju.

Jedan od načina za prevazilaženje te prepreke jeste korišćenje ponderisanih proseka prilikom formiranja novih promenljivih niže frekvencije iz postojećeg skupa podataka i to na način koji bi minimizirao gubitke informacija, dok bi istovremeno poštovao princip ekonomičnosti. Ta ideja predstavlja srž zamisli alternative nazvane modeli podataka mešovutih frekvencija¹ (u daljem tekstu *MPMF*). U ovom radu će biti obrađene specifikacije jednodimenzionih *MPMF* kao i predložena izmena postojeće specifikacije beta polinoma. Nakon definisanja osnovnih funkcionalnih formi biće pokazano da parametri modela ne mogu biti ocenjeni metodom ONK.

¹ Eng. - Mixed Data Sampling (MIDAS)



2. Specifikacija modela

Opšti oblik jednostavnog modela podataka mešovitih frekvencija defisan je prvi put u Ghysels et al. (2004) kao:

$$Y_t = \beta_0 + \beta \sum_{j=1}^K B(j, \theta) X_t^{(m)} L^{\frac{j}{K}} + \varepsilon_t \quad (1)$$

u kome je zavisna promenljiva dostupna na nižoj frekvenciji, dok za $X_t^{(m)}$ postoji tačno m vrednosti u svakom intervalu $[t-1, t]$ za obim uzorka zavisne promenljive T . K predstavlja broj uključenih docnji regresora $X_t^{(m)}$ koje opisuju jednu vrednost zavisne promenljive u trenutku t , a $L^{\frac{j}{K}}$ je visokofrekventni operator docnje takav da važi $X_t^{(m)} L^{\frac{j}{K}} = X_{t-\frac{j}{K}}^{(m)}$. Sa $B(j, \theta)$ je označen ponder za j -tu docnju promenljive veće učestalosti koji je funkcija docnje i vektora parametara $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_r)$, dok su parametri β_0 i β odsečak i nagib regresione prave respektivno. Promenljiva ε_t je normalno raspodeljena, neautokorelisana slučajna greška s konstantnom varijansom i nultom očekivanom vrednošću. Promenljiva raspoloživa u kraćim vremenskim intervalima obeležena je sa (m) na mestu eksponenta, što označava broj opservacija posmatrane promenljive kojim se raspolaže za svaku opservaciju zavisne, odnosno horizont agregiranja podataka.

2.1. Specifikacija polinoma

Specifikacija polinoma mora ispunjavati uslove normalizacije pondera $\sum_{j=1}^K B(j, \theta) = 1$ i pozitivne semidefinitnosti, odnosno $B(j, \theta) \geq 0, \forall j \in [0, K]$. Neophodno je obezbediti navedena svojstva kako bi se osigurala identifikovanost parametra nagiba, kao i nenegativnost uslovne varijanse u modelima volatilnosti. U izvornim radovima su predložene moguće specifikacije koje uključuju polinome konačnog reda, polinome beskonačnog reda, mešavine polinoma, kao i funkcije koraka.

2.2. Polinomi konačnog reda

Ghysels et al. (2007) predlažu dve moguće polinomske specifikacije odlikovane navedenim svojstvima. Prva i češće upotrebljavana u dosadašnjim empirijskim istraživanjima jeste eksponencijalni Almonin polinom reda r :

$$B(j, \theta) = \frac{e^{\theta_1 j + \theta_2 j^2 + \dots + \theta_r j^r}}{\sum_{j=1}^K e^{\theta_1 j + \theta_2 j^2 + \dots + \theta_r j^r}} \quad (2)$$

Svaki ponder $B(j, \theta)$ će biti pozitivan broj za bilo koje vrednosti parametara u vektoru θ . Uz to važi da je $\sum_{j=1}^K B(j, \theta) = 1$, zahvaljujući faktoru normalizacije u imeniocu. Polinom je izveden direktno iz specifikacije koja je u upotrebi u modelima raspodeljenih docnji. Ovako definisano $B(j, \theta)$ sa dva parametra θ_1 i θ_2 poznato je kao veoma fleksibilno u smislu mogućnosti obuhvatanja različitih šema ponderisanja.

Jasno je da je za polinom reda dva i $\theta_1 = \theta_2 = 0$ obuhvaćen slučaj prostog uprosečivanja podataka. Moguće je da na osnovu podataka model sa agregiranim podacima bude izabran kao optimalan. Zahvaljujući tome se može reći da su jednačine sa agregiranim podacima specijalan slučaj MPMF sa nametnutim ograničenjem. Autori u radu Andreou et al. (2010) dokazuju za određene slučajne procese koji generišu visokofrekventni regresor da je nametanje ovakvog ograničenja ekvivalentno grešci izostavljanja relevantne promenljive. Takva greška dovodi do nekonzistentnih ocena, a u slučaju autoregresionih procesa one postaju značajno pristrasne.

Kako se može očekivati da će manje udaljene docnje nezavisne promenljive imati veći uticaj na generisanje vrednosti zavisne promenljive, najčešće će ponderi koji se tiču njih uzimati veće vrednosti nego oni za dalje docnje. Nije teško pokazati da je za takvu strukturu ponderisanja neophodno da važi da je $\theta_2 < 0$. Velika prednost modeliranja na ovaj način jeste činjenica da sami podaci utiču na odabir docnje nakon koje će vrednosti visokofrekventnog regresora biti isključene iz jednačine, dok bi u modelu poput onog definisanog u (1) pitanje veličine K bilo ostavljeno istraživaču, što otežava pravilnu specifikaciju. Drugi predložen način definisanja parametara jeste upotrebom tzv. beta polinoma:

$$B(j, \theta_1, \theta_2) = \frac{f(\frac{j}{K}, \theta_1, \theta_2)}{\sum_{j=1}^K f(\frac{j}{K}, \theta_1, \theta_2)} \quad (3)$$

gde je:

$$f(\frac{j}{K}, \theta_1, \theta_2) = \frac{(\frac{j}{K})^{\theta_1-1} (1 - \frac{j}{K})^{\theta_2-1} \Gamma(\theta_1 + \theta_2)}{\Gamma(\theta_1) \Gamma(\theta_2)} \quad (4)$$



$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{a-1} dx, a > 0$$

Naziv polinoma potiče od beta raspodele jer je sa f opisana njena funkcija gustine raspodele verovatnoće. Zbog toga, u neizmenjenom obliku moguće je koristiti je samo kao polinom u kom figurišu dva parametra. Ne postoji mogućnosti da uvođenja dodatnih parametara u ovako definisanu funkciju f sem postojećih θ_1 i θ_2 (za koje mora važiti $\theta_1 > 0, \theta_2 > 0$).

Modifikacijom (3) dobija se pojednostavljena verzija beta polinoma u uputstvu Ghysels (2013) za alat namenjen oceni MPMF u programskom paketu *MATLAB*. Slična modifikacija implementirana je kao beta polinom i u programskom paketu *EViews* i češće korišćena u praksi zbog manje zahtevnosti u pogledu računarskih resursa od (3):

$$B(j, \theta_1, \theta_2, \theta_3) = \frac{\left(\frac{j}{K+1}\right)^{\theta_1-1} \left(1 - \frac{j}{K+1}\right)^{\theta_2-1}}{\sum_{j=1}^K \left(\frac{j}{K+1}\right)^{\theta_1-1} \left(1 - \frac{j}{K+1}\right)^{\theta_2-1}} + \theta_3 \quad (5)$$

Primetno je da specifikacija (5) ne ispunjava svojstvo normalizacije parametara ukoliko ne važi da je $\theta_3 = 0$. Iz tog razloga je možemo izmeniti na sledeći način:

$$B(j, \theta_1, \theta_2, \theta_3) = \frac{\left(\frac{j}{K+1}\right)^{\theta_1-1} \left(1 - \frac{j}{K+1}\right)^{\theta_2-1} + \theta_3}{\sum_{j=1}^K \left(\left(\frac{j}{K+1}\right)^{\theta_1-1} \left(1 - \frac{j}{K+1}\right)^{\theta_2-1} + \theta_3\right)} \quad (6)$$

Može se pokazati da specifikacija (5) dovodi do pristrasnih ocena u slučaju kada je fundamentalni proces takav da podrazumeva da je $\theta_3 \neq 0$. Pitanje fleksibilnosti polinoma je detaljno diskutovano upotrebom Monte Karlo simulacija u Obradović (2018).

2.3. Polinomi beskonačnog reda i autoregresiona proširenja

Činjenica da odnos dva polinoma konačnog reda $B(L)/A(L)$ po operatoru docnje L , gde je $LX_t = X_{t-1}$, daje polinom beskonačnog reda može biti iskorišćena prilikom specifikacije MPMF. Zamisao nije nova i već je eksploatisana u modelima raspodeljenih docnji. Autoregresiona proširenja se u model uvode dodavanjem pomaknutih vrednosti zavisne promenljive u jednačinu. Kako su u MPMF definisane dve vrste operatora docnje L i $L^{1/m}$, tako i ove vrednosti mogu u regresiji figurisati kao Y_t ili $Y_{t+1-1/m}$:

$$Y_{t+1} = \beta_0 + \lambda Y_t + \beta B(L^{1/m}, \theta) X_t^{(m)} + \varepsilon_{t+1} \quad (7)$$

$$Y_{t+1} = \beta_0 + \lambda Y_{t+1-1/m} + \beta B(L^{1/m}, \theta) X_t^{(m)} + \varepsilon_{t+1} \quad (8)$$

gde je polinom $B(L^{1/m}, \theta) = \sum_{j=1}^K B(j, \theta) L^{\frac{j}{m}}$ i $|\lambda| < 1$. Izvesno je da ove dve specifikacije nisu ekvivalentne. Dalje se mogu srediti kao:

$$Y_{t+1} = \frac{\beta_0}{1-\lambda} + \beta \frac{B(L^{1/m}, \theta)}{1-\lambda L} X_t^{(m)} + \frac{\varepsilon_{t+1}}{1-\lambda L} \quad (9)$$

$$Y_{t+1} = \frac{\beta_0}{1-\lambda} + \beta \frac{B(L^{1/m}, \theta)}{1-\lambda L^{1/m}} X_t^{(m)} + \frac{\varepsilon_{t+1}}{1-\lambda L^{1/m}} \quad (10)$$

U (9), ponderi su funkcija operatora docnje L , $B(L^{1/m}, \theta) \sum_{l=0}^{\infty} \lambda^l L^l = \sum_{j=1}^K B(j, \theta) L^{\frac{j}{m}} \sum_{l=0}^{\infty} \lambda^l L^l$. Zamenom u jednačinu, uz pretpostavku da je $K = m$, i razvijanjem po j dobija se:

$$\begin{aligned} Y_{t+1} = & \frac{\beta_0}{1-\lambda} + \beta(B(1, \theta) X_{t-1/m}^{(m)} + B(2, \theta) X_{t-2/m}^{(m)} + \dots + B(m, \theta) X_{t-1}^{(m)} + \\ & + \lambda B(1, \theta) X_{t-\frac{m+1}{m}}^{(m)} + \lambda B(2, \theta) X_{t-\frac{m+2}{m}}^{(m)} + \dots + \lambda B(m, \theta) X_{t-2}^{(m)} + \\ & + \lambda^2 B(1, \theta) X_{t-\frac{2m+1}{m}}^{(m)} + \lambda^2 B(2, \theta) X_{t-\frac{2m+2}{m}}^{(m)} + \dots + \lambda^2 B(m, \theta) X_{t-3}^{(m)} + \\ & \vdots \\ & + \lambda^l B(1, \theta) X_{t-\frac{lm+1}{m}}^{(m)} + \lambda^l B(2, \theta) X_{t-\frac{lm+2}{m}}^{(m)} + \dots + \lambda^l B(m, \theta) X_{t-l-1}^{(m)} + \dots) + \frac{\varepsilon_{t+1}}{1-\lambda} \end{aligned} \quad (11)$$

tj. polinom beskonačnog reda u kom figuriše vektor parametara $\theta_{r \times 1}$ takav da ima geometrijski opadajuće vrhove na razdaljini m . Ovakva izmena bi mogla biti pogodna za modeliranje sezonskih uticaja $X_t^{(m)}$.



U drugoj specifikaciji (10), polinom jeste zapravo geometrijska funkcija po visokofrekventnom operatoru docnje $L^{1/m}$ i odlikuju je ponderi oblika $B(L^{1/m}, \theta) \sum_{l=0}^{\infty} \lambda^l L^{l/m}$. Nedostatak ovog pristupa jeste što podrazumeva poznatu vrednost $Y_{t+1-1/m}$ koja obično nije dostupna. Pored toga, prisutna je izvesna korelacija između $Y_{t+1-1/m}$ i slučajne greške ε_{t+1} , dovodeći do daljih poteškoća u vidu pojave endogenih regresora. Konzistentno ocenjivanje ovakve specifikacije bi zahtevalo metod instrumentalnih promenljivih. Za detaljnu diskusiju autoregresionih proširenja MPMF pogledati Duarte et al. (2014). Upotreba ovakve specifikacije se može videti u radovima Clements and Galvão (2008) i Duarte et al. (2017).

Uprkos navedenim teškoćama, upotreba odnosa dva polinoma jeste perspektivan metod za istraživanje pomoću modela podataka mešovitiha frekvencija sa beskonačno mnogo docnji. Ghysels et al. (2007) navode i sledeću funkcionalnu formu:

$$Y_t = \beta_0 + \beta \frac{B_{1K}(L^{1/m}, \theta)}{B_{2Q}(L^{1/m}, \theta)} X_t^{(m)} + \varepsilon_t = \beta_0 + \beta \frac{\sum_{j=1}^K B_1(j, \theta) L^{j/m}}{\sum_{j=1}^Q B_2(j, \theta) L^{j/m}} X_t^{(m)} + \varepsilon_t \quad (12)$$

gde su K i Q redovi polinoma u brojiocu i imeniocu, respektivno. Specifikacija u (12) jeste modifikacija modela raspodeljenih docnji beskonačnog reda objavljenih u radu Jorgenson (1966).

2.4. Funkcije koraka

U do sada predstavljenim jednačinama ponderi u $B(j, \theta)$ su nelinearna funkcija docnji i vektora parametara θ . Ghysels et al. (2007) analiziraju regresije s funkcijom koraka kao strukturom pondera. Da bi je definisali, uvode regresore $X_t(K_i, m) = \sum_{j=K_{i-1}+1}^{K_i} X_{t-j/m}^{(m)}$ koji su parcijalne sume visokofrekventnog regresora $X_{t-j/m}^{(m)}$. Regresija MPMF sa M koraka je:

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^M \beta_i X_t(K_i, m) + \varepsilon_t \quad (13)$$

za $K_1 < K_2 < \dots < K_M$. Model implicira da će prvih K_1 , drugih $K_2 - K_1$, trećih $K_3 - K_2$, itd. sve do poslednjih $K_M - K_{M-1}$ docnji imati isti ponder. Ukupan uticaj $X_t^{(m)}$ se meri sa $\sum_{i=1}^M \beta_i$, dok se uticaj svake od M pojedinačnih parcijalnih suma $X_t(K_i, m)$ meri odgovarajućim β_i . Kako se broj koraka M povećava, tako raste i broj parametara za ocenu, što pobija ideju štedljivosti MPMF u pogledu broja stepeni slobode. Ovakav pristup ipak može biti privlačan kao aproksimacija zbog jednostavnosti ocene jer za $M \rightarrow m$ će $\sum_{i=1}^M \beta_i \rightarrow \beta$. Tvrdnja je posledica činjenice da za broj koraka koji je jednak m , funkcionalna forma se pretvara u višestruki linearni model u kome za zavisnu promenljivu postoji m regresora svaki sa svojim parametrom koji je zapravo jednak ponderu pomnoženom originalnim parametrom nagiba β . Za takvu specifikaciju važi da zbir svih pojedinačnih ocena parametra nagiba $\hat{\beta}_i$, gde je $i = (1, 2, \dots, m)$, teži oceni parametra nagiba $\hat{\beta}$ iz originalnog MPMF što je demonstrirano u Obradović (2018). Posledica jeste da ovakvi modeli mogu biti ocenjeni metodom ONK, što za ostale navedene specifikacije nije slučaj. Tvrdnja će biti potkrepljena izvođenjem u poslednjem delu rada.

3. Opšti jednodimenzioni linearni modeli

Opšti jednodimenzioni linearni MPMF može biti definisan kao:

$$Y_{t+k} = \beta_0 + \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L B_{ij}(L^{1/m_i}, \theta_{ij}) X_t^{(m_i)} + \varepsilon_{t+k} \quad (14)$$

gde je $B_{ij}(L^{1/m_i})$ polinom određen vektorom parametara θ_{ij} . Neka je $k = 0$. Jednačina (14) je konvencionalni model raspodeljenih docnji za $K = 1$, $L = 1$ i $m_1 = 1$ i jednostavni MPMF za $K = 1$, $L = 1$ i $m_1 > 1$. Jednačina postaje jednodimenziona vremenska serija ukoliko je $Y_t^{(m_1)} = X_t^{(m_1)}$

Za $K > 1$, $L = 1$ i u modelu će figurisati ista promenljiva $X_t^{(m_i)}$, ali uvedena u model na više različitih frekvencija. Za $m_1 = 1$ i $m_2 > 1$ bi, na primer, dnevni i intra-dnevni podaci bili upotrebljeni za objašnjavanje zavisne promenljive na dnevnom nivou. U MPMF je moguće uvoditi iste ili različite objašnjavajuće promenljive s različitim učestalostima dokle god su one jednake ili veće od one koja odlikuje dostupnost zavisne promenljive. S druge strane, ako se pretpostavi $K = 1$ i $m_1 > 1$, za $L > 1$ će u modelu biti prisutno više polinoma za istu nezavisnu promenljivu. Na ovaj način mogu se dobiti mešavine šema ponderisanja kojima je moguće obuhvatiti raznovrsnije strukture pondera. Slučaj gde je $L = 2$, $K = 1$ i $m_1 > 1$ korespondira mešavini dva polinoma definisana sa dva različita vektora parametara θ_1 i θ_2 dimenzija redom $r_1, r_2 < m_1$.

Bitno je naglasiti da ovo uopštenje demonstrira fleksibilnost modela u pogledu upotrebe različitih frekvencija iste promenljive istovremeno u jednačini.



3.1. Nelinearni jednodimenzioni modeli

Dalje uopštenje MPMF je:

$$Y_{t+k} = \beta_0 + f\left(\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L B_{ij}(L^{1/m_i}, \theta_{ij})g(X_t^{(m_i)})\right) + \varepsilon_{t+1} \quad (15)$$

gde su f i g neke poznate funkcije ili funkcije koje zavise od skupa poznatih parametara. Primena je pokazana u radu Ghysels et al. (2005) kroz modifikaciju Nelsonovog *EGARCH* modela:

$$Y_{t+k} = \beta_0 + \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L B_{ij}(L^{1/m_i}, \theta_{ij})(r_t^{(m)} + \theta_L |r_t^{(m)}|)^2 + \varepsilon_{t+1} \quad (16)$$

u kom je parametar θ_L reprezentacija asimetrične reakcije volatilnosti u zavisnosti od toga da li su prinosi negativni ili pozitivni. U slučaju da parametar θ_L u oceni modela uzme statistički značajnu nenultu vrednost, to može biti posmatrano kao empirijska potvrda asimetrične prirode volatilnosti. U pomenutom radu su autori prvi put demonstrirali statistički značajne modele prinosa na rizik upotrebom ove metodologije.

3.2. Nejednako raspoređene opservacije

Nejednako vremenski raspoređeni podaci su tema od interesa u finansijama, naročito ukoliko je poznato da se beleženje promena prinosa odvija svaki put kada se potvrdi neka transakcija. Bilo bi optimalno raspolagati promenama prinosa koje se dešavaju s konstantnom učestalošću. Transakcije će se događati kada agenti izdaju naloge i izvesno je da je verovatnoća da će se tako nešto odigravati u jednakim vremenskim intervalima zanemarljiva. Ideja modela podataka mešovutih frekvencija nije nužno ograničena na vremenski ujednačeno raspoređene opservacije. Na mestu visokofrekventnog operatora docnje oblika $L^{1/m}$ moguće je koristiti L^τ gde je τ realan, umesto racionalan broj.

Za eksponencijalnu Almoninu specifikaciju pondera kao u (2), ponder za opservaciju kojoj odgovara operator L^τ bio bi:

$$B(k, \theta) = \frac{e^{\theta_1 k + \theta_2 k^2 + \dots + \theta_r k^r}}{\sum_{k=1}^K e^{\theta_1 k + \theta_2 k^2 + \dots + \theta_r k^r}} \quad (17)$$

gde je k umesto celobrojne vrednosti visokofrekventne docnje reprezentacija proteklog vremena, npr. minut ili sekunda u kojoj se desila transakcija u posmatranom radnom danu, a K maksimalna moguća vrednost k , tj. za radni dan u kome se trguje šest sati 360 i 21600, mereno minutima i sekundama, respektivno.

4. Uslovi prvog reda i linearni metodi ocene

Sređeni uslovi prvog reda metoda ONK za MPMF definisan u (1) su:

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^T (Y_t - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta} \sum_{j=1}^m B(j) X_{t-j/m}^{(m)}) &= 0 \\ \sum_{t=1}^T (Y_t - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta} \sum_{j=1}^m B(j) X_{t-j/m}^{(m)}) \sum_{j=1}^m B(j) X_{t-j/m}^{(m)} &= 0 \\ \sum_{t=1}^T (Y_t - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta} \sum_{j=1}^m B(j) X_{t-j/m}^{(m)}) \sum_{j=1}^m \frac{\partial}{\partial \hat{\theta}_1} B(j) X_{t-j/m}^{(m)} &= 0 \\ &\vdots \\ \sum_{t=1}^T (Y_t - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta} \sum_{j=1}^m B(j) X_{t-j/m}^{(m)}) \sum_{j=1}^m \frac{\partial}{\partial \hat{\theta}_r} B(j) X_{t-j/m}^{(m)} &= 0 \end{aligned} \quad (18)$$

gde je $B(j) = f(j, \theta_{r \times 1})$ kao što je to prikazano u odeljku koji govori o specifikacijama polinoma. U svakoj će jednačini figurisati prvi izvodi pondera $B(j)$ koji su nelinearna funkcija nepoznatih parametara vektora $\theta_{r \times 1}$. Kako bi takav sistem imao jedinstveno analitičko rešenje neophodno je transformisati ga tako da bude linearan



po $\hat{\theta}_{r \times 1}$, $\hat{\beta}_0$ i $\hat{\beta}$. Za eksponencijalnu Almoninu specifikaciju sa proizvoljnim brojem parametara r iz (2) pokazuje se da nije moguće svesti funkciju u linearni oblik po parametrima $\theta_{r \times 1}$:

$$\ln B(j, \theta) = \ln \frac{e^{\theta_1 j + \theta_2 j^2 + \dots + \theta_r j^r}}{\sum_{j=1}^K e^{\theta_1 j + \theta_2 j^2 + \dots + \theta_r j^r}} = \sum_{i=1}^r \theta_i j^i + \ln \sum_{j=1}^K e^{\theta_1 j + \theta_2 j^2 + \dots + \theta_r j^r} \quad (19)$$

U jednačinama bi se uvek nalazio logaritam sume nelinearne funkcije, što implicira da sistem (18) nije moguće rešiti analitički po nepoznatim parametrima β_0 , β i $\theta_{r \times 1}$ prema Greene (2012). Isto trivijalno sledi i za beta polinome kao u (3), (5) i (6). Štaviše, zaključak se može uopštiti na sve specifikacije polinoma koje su nelinearne po parametrima $\theta_{r \times 1}$ i istovremeno normalizovane, jer će upravo faktor normalizacije ostajati nelinearna funkcija bez obzira na transformacije. Navedeno potvrđuje da MPMF sa specifikacijama polinoma koje rezultuju normalizovanim vrednostima pondera nije moguće oceniti metodom ONK, već samo nelinearnim metodama ocene poput NNK.

5. ZAKLJUČAK

Modeli podataka mešovutih frekvencija predstavljaju inovativan pristup rešavanja problema pristrasnosti i nekonzistentnosti izazvanih agregacijom podataka dostupnih s različitom učestalošću i kao takvi imaju veliki potencijal za primene u praktičnom ekonometrijskom modeliranju. Moguće i preporučljive upotrebe su u svim slučajevima regresionih modela u kojima postoji disparitet u frekvenciji između zavisne i nezavisnih promenljivih kada je regresand u uzorku dostupan ređe u odnosu na regresore. U literaturi se izdvajaju primene u makroekonometrijskom i finansijskom modeliranju, kao i u upotrebi finansijskih vremenskih serija u makroekonometriji koja postaje praktična i jednostavna. Konkretni pravci koji su perspektivni i eventualno primenljivi u Srbiji uključuju modeliranje kvartalnog kretanja stope rasta BDP uključujući procene trenutnog nivoa i modeliranje i procena mesečne privatne potrošnje upotrebom intra-dnevnih podataka elektronskog plaćanja.

LITERATURA

- Andreou, E., Ghysels, E., and Kourtellis, A. (2010). Regression models with mixed sampling frequencies. *Journal of Econometrics*, 158(2):246–261.
- Clements, M. P. and Galvão, A. B. (2008). Macroeconomic forecasting with mixed-frequency data: Forecasting output growth in the united states. *Journal of Business & Economic Statistics*, 26(4):546–554.
- Duarte, C. et al. (2014). Autoregressive augmentation of midas regressions. Technical report.
- Duarte, C., Rodrigues, P. M., and Rua, A. (2017). A mixed frequency approach to the forecasting of private consumption with atm/pos data. *International Journal of Forecasting*, 33(1):61–75.
- Ghysels, E. (2013). Matlab toolbox for mixed sampling frequency data analysis using midas regression models. *Federal Reserve Bank of New York*.
- Ghysels, E., Santa-Clara, P., and Valkanov, R. (2004). The midas touch: Mixed data sampling regression models. *Finance*.
- Ghysels, E., Santa-Clara, P., and Valkanov, R. (2005). There is a risk-return trade-off after all. *Journal of Financial Economics*, 76(3):509–548.
- Ghysels, E., Sinko, A., and Valkanov, R. (2007). Midas regressions: Further results and new directions. *Econometric Reviews*, 26(1):53–90.
- Greene, W. H. (2012). *Econometric analysis, 7th edition*. Pearson Education.
- Jorgenson, D. W. (1966). Rational distributed lag functions. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pages 135–149.
- Obradović, F. (2018). Regresioni modeli podataka mešovutih frekvencija: specifikacija i svojstva ocena. Master's thesis, Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu.



TESTING FOR EXPLOSIVE EPISODES IN ECONOMIC TIME SERIES: THEORETICAL OVERVIEW AND EMPIRICAL APPLICATIONS

ZORICA MLADENOVIĆ¹

¹ University of Belgrade, Faculty of Economics, zorima@eunet.rs

Abstract: *The paper considers methodology developed to test for the presence of explosive episodes in time series (Phillips et al. 2011 and Phillips et al. 2014, 2015a, 2015b). Dating algorithm of explosive intervals represents important part of the procedure. The approach appears to be useful in a variety of econometric time series analyses. We argue that the search for temporary explosiveness in consumer prices may be of interest in finding out subperiods of extremely high inflation persistence being one of the key parameters in conducting and adjusting monetary policy.*

Keywords: *periodic explosiveness, generalized supremum ADF test, consumer price index, persistence.*

1. INTRODUCTION

Temporary explosiveness may occur in various economic time series as found in recent empirical investigations. World oil price series is an obvious example given its extraordinary surge during period of 2007 - 2008 (Gronwald, 2016). Food commodity markets were also characterized by multiple explosive episodes based on empirical analysis of 1970 - 2011 period (Gutierrez, 2013; Etienne et al. 2014, 2015). Housing market prices across different regions were subjects of similar analyses, with general finding that explosive subperiods existed (Tsai et al. 2015; Caspi, 2016; Shi, 2016, Pavlidis et al. 2016). Even prices associated to art markets followed temporary explosive trajectory when period 1970 - 2013 is covered (Kraussl et al. 2016). Econometric modelling of several real exchange rates data (for example, sterling-dollar exchange rate for period: 1972-2012) points to the same conclusion (Bettendorf and Chen, 2013).

These empirical works have two common characteristics. First, most of them are motivated by the question of finding out if speculative bubbles existed in the given markets. Second, they employed econometric approach introduced in Phillips, Wu and Yu (2011) and Phillips, Shi and Yu (2014, 2015a, 2015b). It provides framework for making distinction between pure unit root time series and time series that is dominantly unit root process with episodes of explosive behavior. Extraction of the explosive episodes is part of the procedure. Original economic motivation for the procedure advanced by Phillips and his co-authors is to examine whether explosiveness at the financial markets is driven by speculative bubbles or explosive market fundamentals.

The presence of explosive trajectory in the dynamics of price index series would imply their high sensitivity to external shocks. That would be of interest in assessing the magnitude of inflation persistence being one of the key parameters in conducting and adjusting monetary policy. It is usually defined as a tendency of the inflation rate to converge toward its long-run value upon a certain shock occurred. Therefore, we argue that the application of this methodology can provide valuable information in measuring the inflation persistence.

The purpose of this paper is twofold. First, we overview the methodology designed to test for the presence of explosive subperiods in time series and to identify them (Phillips et al. 2011 and Phillips et al. 2014, 2015a, 2015b). Second, results are presented that consider dynamics of the Serbian consumer price index in respect to possible existence of explosive episodes.

Paper is structured according to its main goals. Section 2 covers methodological framework. Empirical econometric research is described in Section 3. Conclusions are summarized in Section 4.

2. THEORETICAL OVERVIEW

For explosive processes general asymptotic inference cannot be applied as the central limit theorem does not hold. However, asymptotic behavior of mildly explosive process (Phillips and Magdalinos, 2007) is more regular and a least squares regression models can be used to construct confidence intervals. Based on these results new methodology of Phillips et al. (2011) and Phillips et al. (2014, 2015a, 2015b) is advanced.



The null hypothesis assumes that time series X_t is a random walk with an asymptotically negligible drift:

$$X_t = dT^{-\eta} + X_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

where d is a constant, T is the sample size, η is a parameter that controls the magnitude of the intercept and drift in asymptotic case and $\varepsilon_t : iid(0, \sigma^2)$. Under the alternative hypothesis time series follows a random walk path with explosive episodes.

To make discrimination between two hypotheses recursive algorithm has been suggested that extends the standard model for augmented Dickey-Fuller (ADF) test. Recursive estimation is based on a rolling window.

Let us suppose that the rolling window regression sample starts from the r_1^{th} fraction of the sample T and ends at the r_2^{th} fraction of the sample such that $r_2 = r_1 + r_w$, where r_w denotes the window size of the regression. The baseline regression model reads as follows:

$$\Delta X_t = \alpha_{r_1, r_2} + \beta_{r_1, r_2} X_{t-1} + \sum_{i=1}^p \delta_{r_1, r_2}^i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t : iid(0, \sigma_{r_1, r_2}^2) \quad (2)$$

The order of the test is p .

When $p=0$, this regression is estimated on sample $T_w = [Tr_w]$. The ADF test calculated from this regression is denoted as $ADF_{r_1}^{r_2}$. Two tests are proposed: supremum ADF test (*SADF*) and the rolling window generalized SADF test (*GSADF*).

The *SADF* test consists of repeatedly estimating the ADF model on forward expanding sample sequence and identifying the sup value of the calculated ADF statistic sequence. The window size r_w enlarges from r_0 (the smallest sample window fraction) to 1 (the largest sample window fraction). The starting point r_1 of each sample is fixed at 0, such that the end point of each sample, r_2 , is equal to r_w . It changes from r_0 to 1. The ADF statistic obtained from sample that runs from 0 to r_2 is given by $ADF_0^{r_2}$. The *SADF* statistic is defined as:

$$SADF(r_0) = \sup_{r_2 \in [r_0, 1]} ADF_0^{r_2}. \quad (3)$$

The *GSADF* test is also based on the recursive estimation of ADF test. The key difference is in type and size of subsamples employed. The *GSADF* test allows not only that the end point changes (from r_0 to 1), but also that the starting point r_1 moves within a feasible range: from 0 to $r_2 - r_0$. The *GSADF* test is introduced as the maximum value of ADF statistic computed over all feasible ranges of r_1 and r_2 . It is defined for initial value r_0 in the following way:

$$GSADF(r_0) = \sup_{\substack{r_2 \in [r_0, 1] \\ r_1 \in [0, r_2 - r_0]}} ADF_{r_1}^{r_2}. \quad (4)$$

The limiting distributions of *SADF* and *GSADF* tests are defined by Phillips *et al.* (2011) and Phillips *et al.* (2015a, 2015b).

Upon the conclusion that the null hypothesis cannot be accepted and the result reached that time series has experienced explosive episodes, the relevant issue is to detect the beginning and the end of each explosive path. The so-called date-stamping procedure can be conducted in two ways.



The first strategy proposed in Phillips *et al.* (2011) is to calculate right-tailed ADF recursively so that the sequence ADF_{r_2} is obtained, where r_2 runs from r_0 to 1. These values are compared with the right tailed critical value of ADF test. The beginning of explosive episode is defined by the first chronological observation with ADF statistic greater than the critical value. This date is denoted as $[T\hat{r}_b]$. The end of the explosive episode is estimated at $[T\hat{r}_e]$, being the first chronological observation after $[T\hat{r}_b] + \log(T)$ for which calculated ADF statistic is lower than the critical value. Explosive episode is well defined only if its duration is no less than $\log(T)$.

The estimated (fractional) origin and end points of the explosive episode, given the $100(1-k)\%$ critical value of the ADF test based on $[Tr_2]$ observations ($cv_{r_2}^{k\%}$), can be specified as follows:

$$\begin{aligned}\hat{r}_b &= \inf_{r_2 \in [r_0, 1]} \left\{ r_2 : ADF_{r_2} > cv_{r_2}^{k\%} \right\}, \\ \hat{r}_e &= \inf_{r_2 \in [\hat{r}_b + \log(T)/T, 1]} \left\{ r_2 : ADF_{r_2} < cv_{r_2}^{k\%} \right\}\end{aligned}\quad (5)$$

The second approach developed in Phillips *et al.* (2015a, 2015b) is based on the backward sup ADF test. The backward *SADF* test is defined as a sup ADF test that is obtained on a backward expanding sample sequence such that the end point of each sample is fixed at r_2 and the start point moves from 0 to $r_2 - r_0$. The computed ADF statistic sequence is denoted by $\left\{ ADF_{r_1}^{r_2} \right\}_{r_1 \in [0, r_2 - r_0]}$. The backward *SADF* statistic is defined as the maximum of these values over the given interval:

$$BSADF_{r_2}(r_0) = \sup_{r_1 \in [0, r_2 - r_0]} \left\{ ADF_{r_1}^{r_2} \right\}.\quad (6)$$

The origination date of explosive trajectory is the first observation with backward sup ADF statistic that exceeds the corresponding critical value. The termination date is identified as the first observation after $[T\hat{r}_b] + q \log(T)$ that drops below the critical value of the backward sup ADF test. To control for the duration of the explosive episode, the term $q \log(T)$ is introduced, where q denotes frequency dependent parameter.

The estimated (fractional) beginning and termination points of the explosive episode are:

$$\begin{aligned}\hat{r}_b &= \inf_{r_2 \in [r_0, 1]} \left\{ r_2 : BSADF_{r_2}(r_0) > scv_{r_2}^{k\%} \right\}, \\ \hat{r}_e &= \inf_{r_2 \in [\hat{r}_b + q \log(T)/T, 1]} \left\{ r_2 : BSADF_{r_2}(r_0) < scv_{r_2}^{k\%} \right\}\end{aligned}\quad (7)$$

where $scv_{r_2}^{k\%}$ represents the $100(1-k)\%$ critical value of the sup ADF test based on $[Tr_2]$ observations. Critical values in (6) and (7) correspond to a significance level of $k\%$.

Having in mind the notation introduced under the date-stamping procedure, a closer connection with supremum ADF (*SADF*) test and the rolling window generalized *SADF* test (*GSADF*) can be drawn. Since *SADF* test is defined by the application of ADF test for each $r_2 \in [r_0, 1]$, it can be written as follows:

$$SADF(r_0) = \sup_{r_2 \in [r_0, 1]} \left\{ ADF_{r_2} \right\}.\quad (8)$$



Similarly, the *GSADF* test employs backward sup ADF for each r_2 from r_0 to 1 and the conclusion is based on the sup values of the backward sup ADF statistic sequence. This can be represented in the following way:

$$GSADF(r_0) = \sup_{r_2 \in [r_0, 1]} \{BSADF_{r_2}(r_0)\} \quad (9)$$

Asymptotic properties of the procedure are provided in Phillips *et al.* (2015b). It is shown that both strategies under certain conditions consistently estimate the origination and the termination dates if only one explosive episode exists. However, under the assumption of two different explosive trajectories, forwardly calculated ADF statistic detects only the first episode correctly. More precisely, if the first episode lasts longer than the second episode, then the second episode is not identified at all. If the duration of the second episode exceeds the first one, then the second explosive path is detected but with wrong dates. On the other side, the BSADF algorithm consistently detects both episodes regardless of their relative duration. The issue of date-stamping multiple (more than two) explosive sub periods is discussed in Phillips *et al.* (2015a).

3. TESTING FOR EXTREMELY HIGH PERSISTENCE IN PRICES

Our empirical study covers monthly consumer price index (log values) in Serbia from January, 2007 to January, 2018 ($T=133$). The application of the conventional unit root tests shows that series has one unit root. To test for the presence of periodically explosive episodes the backward calculation of sup ADF statistic is performed. Recursive estimation of this test is based on the initial sample defined as $0.2T$ (26). Critical values are obtained from Monte-Carlo simulations with 2000 replications under the assumption that the drift parameter is asymptotically negligible. Results are given in Table 1, implying that price index went through episodes of explosive behavior.

Table 1: Testing for the existence of explosive episodes

ADF test		GSADF test	Critical value of GSADF test	
Level	The first difference	Level	95%	90%
-1.14	-9.89	4.14	2.00	1.64

Note: The 5% critical value of the ADF test is -3.44. The version with constant and trend is applied. Number of corrections is 1 in the level and 0 in the first difference. The GSADF critical values are based on the assumption $d=\hat{\eta}=1$, and the number of correction factors is chosen according to the SC.

Date-stamping procedure was conducted based on the backward SADF calculation. Figure 1 plots the recursive ADF statistic against the simulated 95% critical value sequence. Consumer price index with identified explosive episodes is depicted in Figure 2. Explosive path is considered to be significant if its length is greater than $q \log(T)$. We chose $q=2.5$, such that the shortest length of the explosive dynamics is 6 months. Multiplication by 2.5 avoids episodes due to short-term blips and outliers.

Two explosive episodes were located for the Serbian consumer price index. They were identified during 16 months in total, for the following periods: November, 2010 – July, 2011 (9 months) and August, 2012 – February, 2013 (7 months). There is an indication that the second episode started two months earlier because the BSADF statistic was also significant for June, 2012. Estimated episodes take only 12% of the sample during which average monthly inflation was substantially higher than for overall data. Similar conclusions were reached when seasonally adjusted data were considered.

Further empirical analysis implies that identified explosive episodes were closely associated with strong upward trend in annual inflation that was in accordance with annual exchange rate depreciation lagged 6 months. Econometric results indicate significant dynamic influence of yearly depreciation rate to yearly inflation rate. Therefore, temporary high persistence of prices reflected their sensitivity to positive shocks in exchange rate.



4. CONCLUSION

Econometric approach discussed in this paper is defined to test for explosive episodes in time series and it is originally developed to search for the existence of speculative bubbles in the given market. But, the framework offers possibilities for different economic investigations. For example, the presence of explosive trajectory in the dynamics of price index series would imply their high sensitivity to external shocks. That is of interest in estimating the magnitude of inflation persistence. Our empirical results show that monthly consumer price index in Serbia during period January, 2007 – January, 2018 experienced explosive dynamics over two short episodes that were found within the first 56% of the sample.

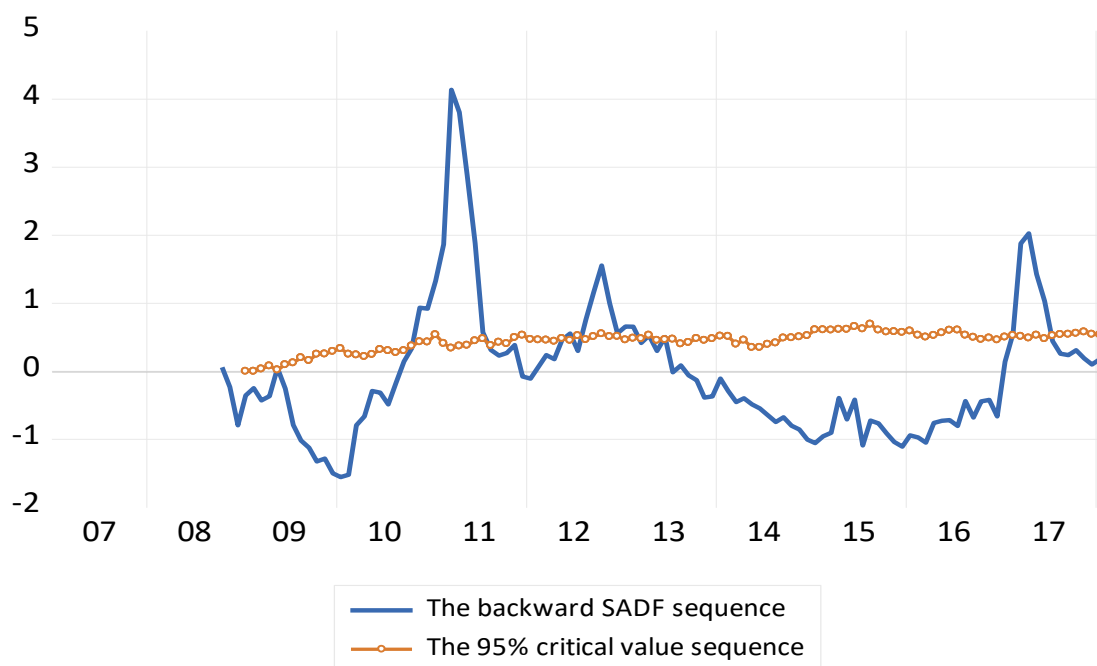


Figure 1: The backward SADF sequence

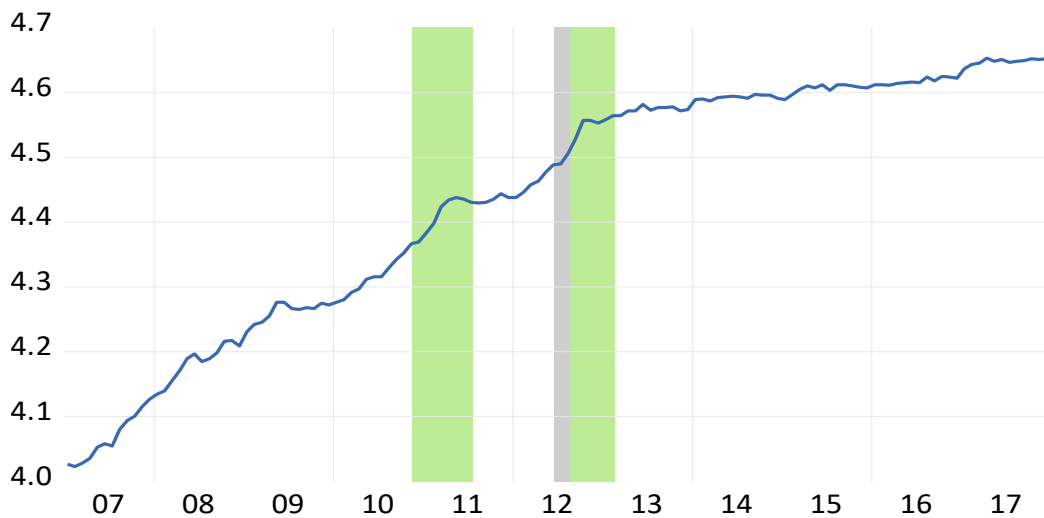


Figure 2: Consumer price index with explosive subperiods

REFERENCES

- [1] Bettendorf, T. & Chen, W. (2013). Are there bubbles in the Sterling-dollar exchange rate? New evidence from sequential ADF tests. *Economics Letters*, 120, 350–353.
- [2] Caspi, I. (2016). Testing for a housing bubble at the national and regional level: The case of Israel. *Empirical Economics*, 51(2), 483–516.
- [3] Etienne, X. L., Irwin, S.H., & Garcia, P. (2014). Bubbles in food commodity markets: Four decades of evidence. *Journal of International Money and Finance*, 42, 129–155.
- [4] Etienne, X.L., Irwin, S.H., & Garcia, P. (2015). Price explosiveness, speculation, and grain futures prices. *American Journal of Agricultural Economics*, 97(1), 65–87.
- [5] Gronwald, M. (2016). Explosive oil prices. *Energy Economics*, 60, 1–5.
- [6] Gutierrez, L. (2013). Speculative bubbles in agricultural commodity markets. *European Review of Agricultural Economics*, 40 (2), 217–238.
- [7] Kraussl, R., Lehnert, T., & Martelin, N. (2016). Is there a bubble in the art market? *Journal of Empirical Finance*, 35, 99–109.
- [8] Pavlidis, E., Yusupova, A., Paya, I., Peel, D., & Martinez-Garcia, E. (2016). Episodes of exuberance in housing markets: In search of the smoking gun. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 53(4), 419–449.
- [9] Phillips, P.C.B. & Magdalinos, T. (2007). Limit theory for moderate deviation from a unit root. *Journal of Econometrics*, 136 (1), 115–130.
- [10] Phillips, P.C.B., Wu, Y., & Yu, J. (2011). Explosive behavior in the 1990s NASDAQ: When did exuberance escalate asset values? *International Economic Review* 52 (1), 201–226.
- [11] Phillips, P.C.B., Shi, S.P., & Yu, J. (2014). Specification sensitivity in right-tailed unit root testing for explosive behavior. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 76 (3), 315–333.
- [12] Phillips, P.C.B., Shi, S.P. & Yu, J. (2015a). Testing for multiple bubbles: Historical episodes of exuberance and collapse in the S&P500. *International Economic Review* 56 (4), 1043–1078.
- [13] Phillips, P.C.B., Shi, S.P., & Yu, J. (2015b). Testing for multiple bubbles: Limiting theory of real-time detectors. *International Economic Review* 56 (4), 1079–1134.
- [14] Shi, S. (2016). Speculative bubbles or market fundamentals? An investigation of US regional housing markets, CAMA, Australian National University Working Paper 46/2016.
- [15] Tsai, S-L., Kung, H.H., & Haga, K. A. (2015). Testing for multiple bubbles in the 35 large and medium cities of real estate price in China. *Theoretical and Applied Economics*, 22(4), 275–290.



THE GINI COEFFICIENT IN THE GENERALIZED LOGISTIC FORM

JELENA STANOJEVIĆ¹, KATARINA KUKIĆ², VESNA JABLANOVIĆ³

¹ Faculty of Economics, University of Belgrade, jelenas@ekof.bg.ac.rs

² Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, k.mijailovic@sf.bg.ac.rs

³ Faculty of Agriculture, University of Belgrade, vesnjab@ptt.rs

Abstract: *In this paper we present one model of dynamic of the Gini coefficient with generalized logistic map. The Gini coefficient is known in economic as the measure of the income or wealth inequality. The generalized logistic map is the generalisation of the logistic map, which is well known from the literature and widely used in many applications as in natural sciences and also in sociology, ecology and economy.*

Keywords: *Gini coefficient, Generalized logistic map, Chaos*

1. INTRODUCTION

The logistic map with one parameter has been used since 1960s, and discrete form of that equation was first time used in the 1970s, by Robert May in the journal Nature. In this paper, we develop the difference equation for Gini coefficient based on the generalized logistic map with two parameters. The developed model is generalization of the model based on the logistic equation with one parameter, see Jablanović (2017)¹. The parameters in model are important because they have influence on the number of equilibrium points, their locations, stability conditions and bifurcation diagrams up to the chaotic behaviour. Dynamical system is a function of the control parameter and its' bifurcation diagrams give us some informations about asymptotic solution. It is possible that for some value of the control parameter a periodic point of period three will appear, what means that all periods exist, and further that there exists chaos, see Li and Yorke (1975)².

The logistic map with one parameter has a form:

$$x_{n+1} = f(x_n) = rx_n(1 - x_n),$$

and it is one of the most simple forms of a chaotic process, well known in the literature. Fixed points, cobweb diagrams for different values of parameter r , time series, bifurcation diagrams for different values of r , are given in many papers, and also in Kukić, *et al.* (2018)³.

The generalized logistic map is a function with three parameters and has the following form:

$$x_{n+1} = f_r(x_n) = rx_n^\beta(1 - x_n^\alpha), x \in [0,1], \alpha, \beta > 0. \quad (1)$$

The function (1) has been presented for the first time in Rak (2003)⁴ and also analyzed in the paper Radwan (2013)⁵, as three cases, where (α, β) can take one of the three values: (α, α) , $(1, \alpha)$ and $(\alpha, 1)$, for all $\alpha \in R^+$. For each case they discussed the fixed points, its' ranges, the effect of iteration and bifurcation diagrams with respect to the two parameters α and r .

¹ Jablanović, V.D. (2017). The Chaotic Gini Coefficient Growth Model . In: Proceeding of SYM-OP-IS 2017 XLIV International Symposium on Operations Research. Čirović G. (ed) , Beograd: Visoka građevinsko- geodetska škola 67-71.

² Li, Y. and Yorke. J. (1975). Period three implies chaos. Am Math Month, 82-92.

³ Kukić, K. , Stanojević, J. and Jablanović, Vesna. (2018). Generalized discrete logistic maps with applications in economics. To appear.

⁴ Rak, R. (2003). PhD. Thesis, University of Rzesow.

⁵ Radwan, A. (2013). On some generalized discrete logistic maps. Journal of Advanced Research, 4, 163-171.



In the following sections our main focus will be on the case of the generalized logistic map, when $\beta = 1$ and $\alpha > 0$, then we have the function:

$$x_{n+1} = f_r(x_n) = rx_n(1 - x_n^\alpha), x \in [0,1], \alpha > 0.$$

In this case $r \in [0, \frac{(\alpha+1)^{\frac{\alpha+1}{\alpha}}}{\alpha}]$, since $f: [0,1] \rightarrow [0,1]$.

2. THE GINI COEFFICIENT AS A SOLUTION OF THE GENERALIZED LOGISTIC MAP

The Gini coefficient is one of the measures of the income or wealth inequality and takes value between 0 and 1. The higher value means the greater the degree of income inequality. If coefficient takes value of 0 that means wealth equality, and value of 1 means wealth inequality.

It is important to adopt relevant economic policies (e.g. monetary policy, fiscal policy, income policy, etc.) to increase the income of the bottom 40 % of the population. Also, the goals are to reduce inequalities based on income, sex, age, disability, race,...and to encourage the development assistance and foreign direct investment.

On the other hand, as Stiglitz (2013, Chapter 9)⁶ notes, the macroeconomic models placed too little attention on inequality and the consequences of policies for distribution. Further, macroeconomic policies have contributed to the high level of inequality in America and elsewhere. According to Stiglitz (2013, Chapter 9), there is no single, best policy. But if alternative policies that would have led to better overall economic performance are to be implemented, the institutional arrangements through which the decisions are made will have to change.

Also, Atkinson (2015)⁷ explains the influence of the upper class on government policy in their attempt to protect their wealth. To reduce inequality, Atkinson (2015) recommends new policies in five areas: technology, employment, social security, the sharing of capital, and taxation. He defends these against the common arguments: (i) intervention of economic policy will shrink the economy; (ii) globalization makes action impossible, and (iii) new policies cannot be afforded.

The well known model from the literature, for example see Jablanović (2017)⁸, for the Gini coefficient takes the following form:

$$\frac{g_{t+1} - g_t}{g_t} = \gamma(1 - g_t), \quad \gamma \in R, \quad (2)$$

Where g_t is a Gini coefficient at the moment t and γ is a suitable parameter. From the equation (2) we can obtain:

$$g_{t+1} = (\gamma + 1)g_t(1 - \frac{\gamma}{\gamma+1}g_t).$$

⁶ Stiglitz, Joseph E. (2013). *The Price of Inequality: How Today's Divided Society Endangers Our Future*. New York: W. W. Norton and Company.

⁷ Atkinson, Anthony B. (2015). *Inequality: What Can Be Done?* Cambridge, MA: Harvard University Press.

⁸ Jablanović, V.D. (2017). *The Chaotic Gini Coefficient Growth Model*. In: *Proceeding of SYM-OP-IS 2017 XLIV International Symposium on Operations Research*. Čirović G. (ed), Beograd: Visoka gradjevinsko-geodetska škola 67-71.



If we introduce new variable: $z_t = \frac{\gamma}{\gamma+1} g_t$, from the previous equation we can get well known logistic map with one parameter:

$$z_{t+1} = \frac{\gamma}{\gamma+1} g_{t+1} = \gamma g_t \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma+1} g_t\right) = (\gamma + 1)z_t(1 - z_t) = rz_t(1 - z_t),$$

which behaviour as relation of parameter r we know.

Here, we suggest one modification of the model (2) with one more parameter $\alpha > 0$, where that new parameter can explain the income policy influence on income distribution. Notice, that if $\alpha > 1$ then economic policy has positive impact on income distribution.

The modification of the model is:

$$\frac{g_{t+1} - g_t}{g_t} = \gamma(1 - g_t^\alpha), \alpha > 0, \gamma \in R. \quad (3)$$

The equation (3) can be transformed into:

$$g_{t+1} = (\gamma + 1)g_t(1 - \frac{\gamma}{\gamma+1} g_t^\alpha). \quad (4)$$

Let us introduce here new variable: $z_t = \left(\frac{\gamma}{\gamma+1}\right)^{\frac{1}{\alpha}} g_t$. After some calculation from the equation (4), we obtain:

$$\begin{aligned} z_{t+1} &= \left(\frac{\gamma}{\gamma+1}\right)^{\frac{1}{\alpha}} g_{t+1} = \left(\frac{\gamma}{\gamma+1}\right)^{\frac{1}{\alpha}} (\gamma + 1)g_t \left(1 - \left(\left(\frac{\gamma}{\gamma+1}\right)^{\frac{1}{\alpha}} g_t\right)^\alpha\right) = \\ &= (\gamma + 1)z_t(1 - z_t^\alpha) = rz_t(1 - z_t^\alpha). \end{aligned} \quad (5)$$

Equation (5) is generalized case of logistic equation with two parameters, r and α , where for $\alpha = 1$ well known logistic equation is obtained.

Let us consider here the stability of the proposed model for two different values of the parameter α . Arbitrary, we will consider cases $\alpha = 3$ and $\alpha = 2/3$. Notice, that by increasing α observed economic policy becomes more efficient in sense of wealth equality.

In the case for $\alpha = 3$ we obtain:

$$z_{t+1} = f_r(z_t) = rz_t(1 - z_t^3), z_t \in [0,1], t = 0,1,2, \dots \quad (6)$$

Fixed points of (6) are $z_1^* = 0$ and $z_2^* = \sqrt[3]{1 - \frac{1}{r}}$, they are obtained as solutions of equation $rz(1 - z^3) = z$.

Their stability is examined from the value of the first derivative $f_r'(z) = r - 4rz^3$ in those points.

First, we have to find interval value for parameter r since we have the demand that $f([0,1]) \subset [0,1]$. From the first derivative we get that local maximum is in the $z = \frac{1}{\sqrt[3]{4}}$ and $f_r\left(\frac{1}{\sqrt[3]{4}}\right) = \frac{3r}{4\sqrt[3]{4}}$, so in order to be satisfied that $f: [0,1] \rightarrow [0,1]$, we conclude that $r \in (0, \frac{4\sqrt[3]{4}}{3}]$.

Further, we analyze stability in the fixed points:

- [1] $r \in (0, 1]$: $f_r'(z_1^*) = r \leq 1$, then $z_1^* = 0$ is the only one stable fixed point, and all solutions converge to that fixed point. For this parameter value r second point $z_2^* = \sqrt[3]{1 - \frac{1}{r}}$ is not positive and it is out of our interest.



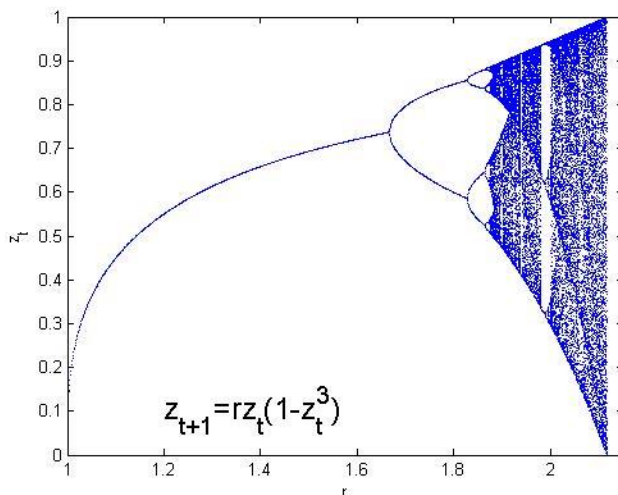
- [2] $r \in (1, \frac{5}{3})$: $f'_r(z_1^*) = r > 1$, then $z_1^* = 0$ becomes unstable and $|f'_r(z_2^*)| = |4 - 3r| < 1$, for $r \in (1, \frac{5}{3})$, so for these values of parameters z_2^* is the stable fixed point.
- [3] $r \geq \frac{5}{3}$: both fixed points $z_1^* = 0$ and $z_2^* = \sqrt[3]{1 - \frac{1}{r}}$ are unstable fixed points. In this situation, like in the logistic map as a next step is to consider the fixed points of the next, second iteration:

$$f_r^{(2)}(z) = r^2 z(1 - z^3)(1 - r^3 z^3(1 - z^3)^3)$$

By equating $f_r^{(2)}(z) = z$, beside z_1^* and z_2^* , we get two more solutions z_3^* and z_4^* which appearance are related to the first period doubling. The bifurcation diagram for this case is presented on the Figure 1 and it shows that for $r \in [\frac{5}{3}, \frac{4^3/4}{3}]$ period doubling and finally chaos appears. More about this type of analysis one can find in Rak and Rak (2015)⁹.

In our model interpretation in order to have stable behaviour of Gini coefficient, the parameter $1+\gamma$ should be in $(0, \frac{5}{3})$ or that γ should be less than $\frac{2}{3}$ in order to have stable behaviour of Gini coefficient.

Figure 1: The bifurcation diagram of $f_r(z_t) = rz_t(1 - z_t^3)$



Let us consider the second case of model (5) for $\alpha = \frac{2}{3}$. Equation (5) becomes:

$$z_{t+1} = f_r(z_t) = rz_t \left(1 - z_t^{2/3}\right), \quad z_t \in [0,1], t = 0,1,2, \dots \tag{7}$$

Fixed points of (7) are $z_1^* = 0$ and $z_2^* = \sqrt{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^3}$. The first derivative is $f'_r(z) = r - \frac{5}{3}rz^{2/3}$, then the local maximum is in the point $z_{max} = \left(\frac{3}{5}\right)^{3/2}$ and $f(z_{max}) = \frac{2}{5}r\left(\frac{3}{5}\right)^{3/2}$.

Again, from demand that $f([0,1]) \subset [0,1]$ we obtain for parameter $r \in \left(0, \frac{5}{2}\left(\frac{5}{3}\right)^{3/2}\right)$.

⁹ Rak, R. and Rak, E. (2015). Route to Chaos in Generalized Logistic Map. Acta Physica Polonica A, Vol 127, 113-117.



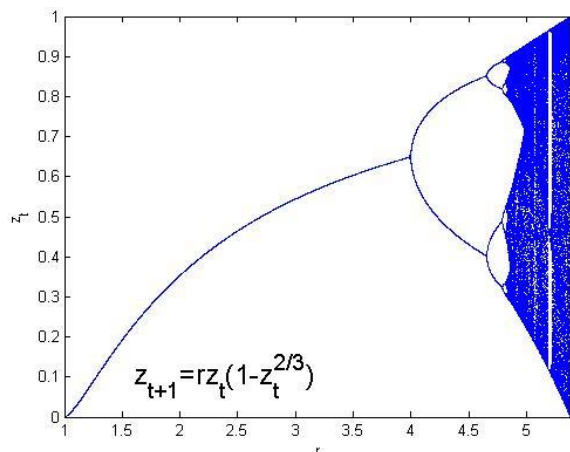
In this case, when we compare the value of the first derivative of the function given in (7) in the fixed points by 1, we conclude:

- [1] $r \in (0, 1]$: $z_1^* = 0$ is the only stable fixed point.
- [2] $r \in (1, 4)$: $z_1^* = 0$ becomes unstable fixed point and the second fixed point $z_2^* = \sqrt{(1 - \frac{1}{r})^3}$ is stable.
- [3] $r \geq 4$: in this case we have to consider fixed points of the second iteration of (7):

$$f_r^{(2)}(z) = r^2 z (1 - z^{2/3})^3 \sqrt[3]{r^2 z^2 (1 - z^{2/3})^2} = z.$$

Since this last equation is no longer in polynomial form, we can only find solutions with numerical methods, but we will skip that here. Finally, we present bifurcation diagram for (7) on Figure2 from which one can see the values of parameter r where the changes of stability happens. For interpretation of parameters in our model, γ should be less than 3 in order to have stable Gini coefficient.

Figure 2: The bifurcation diagram of $f_r(z_t) = rz_t(1 - z_t^{2/3})$



5. CONCLUSION

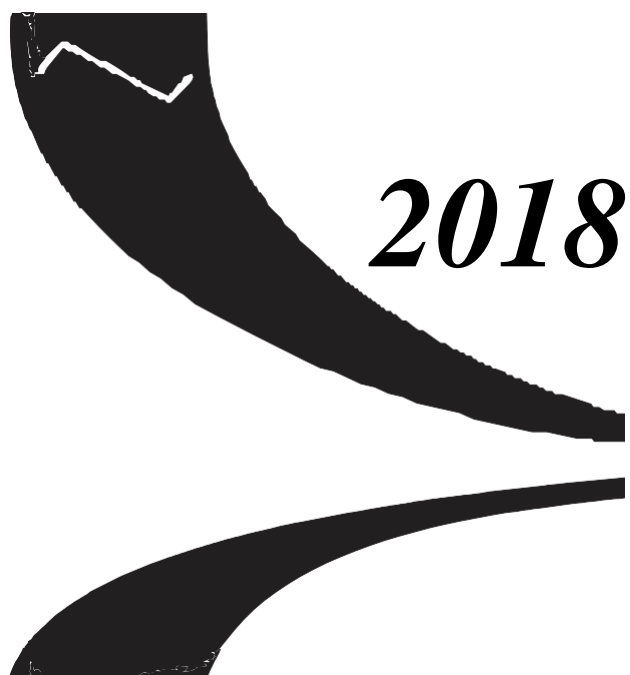
Our model (5) contributes to model (3) in sense that extra parameter α allows better data fitting and model becomes more sensitive. As a future work, fitting data from practice and choosing appropriate value of α , will give us possibility to evaluate critical values of γ .

REFERENCES

- [1] Atkinson, Anthony B. (2015). Inequality: What Can Be Done? Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [2] Jablanović, V.D. (2017). The Chaotic Gini Coefficient Growth Model . In: Proceeding of SYM-OP-IS 2017 XLIV International Symposium on Operations Research. Čirovic G. (ed) , Beograd: Visoka gradjevinsko- geodetska škola 67-71.
- [3] Kukić, K., Stanojević, J. and Jablanović, V. (2018). Generalized discrete logistic maps with applications in economics. To be appered.
- [4] Li. Y. and Yorke. J. (1975). Period three implies chaos. Am Math Month, 82-92.
- [5] Radwan, A. (2013). On some generalized discrete logistic maps. Journal of Advanced Research, 4, 163-171.



- [6] Rak, R. (2003). PhD. Thesis, University of Rzesow.
- [7] Rak, R. and Rak, E. (2015). Route to Chaos in Generalized Logistic Map. *Acta Physica Polonica A*, Vol 127, 113-117.
- [8] Stiglitz, Joseph E. (2013). *The Price of Inequality: How Today's Divided Society Endangers Our Future*. New York: W. W. Norton and Company.



2018

***ELEKTRONSKO
POSLOVANJE***



(SAOPŠTENJE)

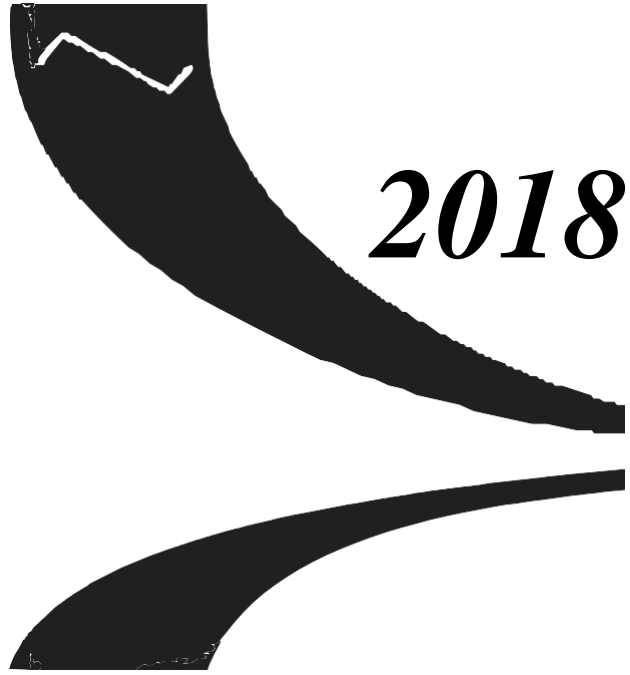
TRANSFORMATION OF RETAIL SALE ON THE GLOBAL ELECTRONIC MARKET

ŽELJKO DUDIĆ¹

¹ Univeristy of Novi Sad, Subotica Faculty of Economics, PhD student, zeljko.dudic@yahoo.com

Abstract: *The subject of the research is transformation of retail sale on the electronic market. The objective of the paper is a better understanding of e-tailing by presenting prevailing trends on the electronic retail sale market. The development of electronic market is conditioned by technological advancement and application of innovation in modern business. A review of possible retail sale strategies on the electronic market is also given in the paper. A special attention is paid to omni-channel retailing as it is one of main features of present-day electronic retailing. An emphasis is also put on mobile e-commerce which is in expansion and increasingly accepted by consumers, thus becoming a key factor in the future development of retail sale. There is also an overview of social commerce due to a growing number of its users. Greater personalization is one of main trends. The impact of consumers on changes in electronic retailing is also presented having in mind a possibility of high personalization level. Lastly, assumptions on the future development of electronic retail sale are presented in this paper. Secondary data obtained via KOBSON network were used in the research.*

Keywords: *E-tail, e-tailer, omni-channel, mobile-commerce, social-commerce, e-commerce, technology, retail, brick-and-click, B2C.*



2018

***GEOINFORMAZIONI
SISTEMI***



KOMBINACIJA SATELITSKIH I AEROFOTOGRAMETRIJSKIH SNIMAKA ZA POTREBE KLASIFIKACIJE VEGETACIJE

COMBINATION OF SATELLITE AND AERIAL PHOTOGRAMMETRIC IMAGES FOR VEGETATION CLASSIFICATION

SINIŠA DROBNJAK¹, LJUBOMIR GIGOVIĆ², ZORAN KRIČKOVIĆ³, SAŠA BAKRAČ⁴

¹ Vojnogeografski institut, Beograd, sinisa.drobnjak@vs.rs

² Vojna akademija, Katedra za prirodno-matematičke nauke, Beograd, gigoviclj@gmail.com

³ Vojnogeografski institut, Beograd, zorankrickovic@gmail.com

⁴ Vojnogeografski institut, Beograd, sbakrac@yahoo.com

Rezime: U cilju dobijanja što boljih snimaka za potrebe realizacije klasifikacije vegetacije u radu je urađena kombinacija multispektralnog satelitskog i panhromatskog aerofotogrametrijskog snimka. U realizaciji kombinacije aerofotogrametrijskih i satelitskih snimaka korišćeni su podaci dobijeni pomoću digitalnih senzora satelitskog sistema Sentinel -2A i digitalne aerofotogrametrijske kamere Leica ADS80. Postupak kombinacije snimaka sa niskom i srednjom rezolucijom sa snimcima visoke prostorne rezolucije najčešće se vrši za potrebe poboljšanja vizuelnog kvaliteta i prostorne rezolucije u cilju isticanja delova snimka sa određenim svojstvima. U radu su analizirane i predstavljene različite metode kombinacije kao što su: Brovey-ova transformacija, IHS transformacija, PCA transformacija i multiplikativna transformacija. Na kraju rada su predstavljeni rezultati kombinacije snimaka i dat zaključak o kvalitetu dobijenih rezultata.

Gljučne reči: Daljinska detekcija, klasifikacija, vegetacija, satelitski snimci, pan-sharpening.

Abstract: In order to conduct vegetation classification from high-quality imagery, as much as possible, a combination of multi-spectral satellite image and panchromatic aerial image is done. Data made by Multi-Spectral Imager on Sentinel-2A and Leica ADS80 Airborne Digital Sensor are used for the image combination. The combination process of low-middle resolution images with high resolution images is usually done to improve visual quality and spatial resolution in order to emphasis parts of images with certain property. In the paper, different methods and combinations are analysed and presented, such as the Brovey Transform, the IHS transformations, PCA transformation and Multiplicative Transformation. Results of the image combination are presented at the end of the paper, as well as quality of obtained results.

Keywords: Remote Sensing, classification, vegetation, satellite images, pan-sharpening.

1. UVOD

Šume i šumska područja predstavljaju veoma važan prirodni resurs u mnogim zemljama, u kojima su drvo i drvni proizvodi glavna izvozna sirovina. Pored toga one su veoma značajne u vodoprivredi, turizmu i rekreaciji, zaštiti divljači, kontroli erozije zemljišta. Za vegetaciju se može reći da ima veoma veliku ulogu u svim značajnijim globalnim ciklusima, u šta ulazi: kruženje vode u prirodi, razmena energije, kiseonika, ugljen-dioksida i drugih elemenata između abiotskih regija procesom fotosinteze.

Satelitska daljinska istraživanja postala su veoma efikasna metoda, a satelitski snimci efikasno sredstvo u praćenju i proučavanju šumske i druge vegetacije. Sa satelitskih snimaka mogu se proučavati različiti parametri vegetacije kao što su: granice između različitih vrsta vegetacije, stepen razvijenosti vegetacije, vlažnost u krošnjama drveća, morfologija vegetacije, različiti oblici teksture, biomasa, zdravstveno stanje šuma i mnogi drugi parametri. Takođe, satelitska istraživanja imaju određene prednosti u proučavanju vegetacije nad klasičnim metodama, među kojima se ističu:

- prekrivanje velikih prostranstva
- ponovno snimanje istog područja (multi-temporalna analiza)
- dostupnost svih područja na Zemljinoj površini
- velika ažurnost podataka
- brzo i efikasno praćenje i kartiranje vegetacionog pokrivača

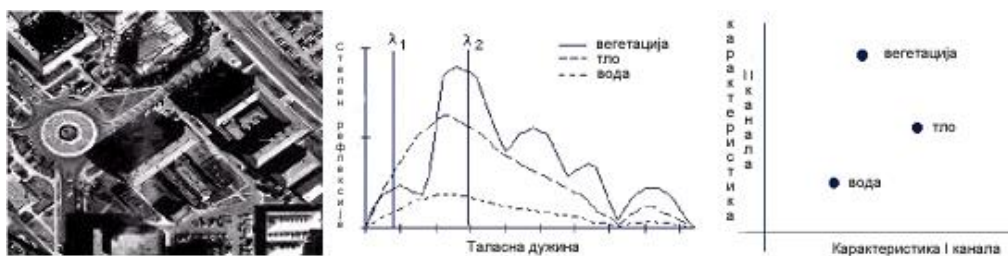
2. DIGITALNA OBRADA SNIMAKA I KLASIFIKACIJA

Samo radiometrijski, prostorno i spektralno poboljšani snimak je spreman za dalju digitalnu analizu u cilju dobijanja željenih podataka za potrebe klasifikacije vegetacije. Grupisanje piksela u tematske kategorije, klase uz pomoć statističkih metoda utvrđivanjem korelacije između njihovih digitalnih vrednosti naziva se klasifikacija i predstavlja jednu od, u pogledu znanja operatera, najzahtevnijih operacija u računarskom procesiranju snimaka [1].

Postupci klasifikacije praktično podrazumevaju analiziranje sadržaja snimka i objedinjavanje piksela u odgovarajuće kategorije podataka. Objedinjavanje se obavlja prema predhodno definisanom pravilu odlučivanja numeričke analize (primena odgovarajućeg ključa). Ovo se postiže putem statističkog grupisanja piksela u tematske kategorije na osnovu njihovih digitalnih vrednosti, odnosno sadržajih celina, poznatih pod nazivom "klase". Rezultat klasifikacije predstavlja izdvajanje jedne ili više klasa u zavisnosti od potreba istraživanja [1].

Način na koji se varijacije digitalnih vrednosti piksela reprezentuju matematički i konceptualno je važan prvi korak u definisanju postupaka digitalne analize snimaka. Postoje tri glavna načina na koji multispektralni snimci mogu biti predstavljeni kvantitativno i vizuelno (slika 1), a to su [1, 2]:

- u obliku snimka (slikovni prostor, eng. image space) u kome pikseli zauzimaju geometrijske odnose jedan prema drugome,
- u obliku dijagrama rasipanja digitalnih vrednosti piksela jednog kanala snimka u funkciji promene talasne dužine (spektralni prostor, eng. spectral space) i
- u obliku dijagrama rasipanja digitalnih vrednosti piksela dva ili više kanala snimka u funkciji promene talasnih dužina i osobina područja koje reprezentuju (sadržajni prostor, eng. feature space).



Slika 1. Načini predstavljanja multispektralnih podataka

3. KORIŠĆENI PODACI

U cilju dobijanja što boljih snimaka za potrebe realizacije klasifikacije vegetacije u radu je urađena kombinacija multispektralnog satelitskog snimka i panhromatskog aerofotogrametrijskog snimka. U realizaciji kombinacije aerofotogrametrijskih i satelitskih snimaka korišćeni su podaci dobijeni pomoću digitalnih senzora satelitskog sistema Sentinel-2A i digitalne aerofotogrametrijske kamere Leica ADS80.

Sentinel-2A je prvi optički senzor za osmatranje Zemlje u okviru programa Evropski Kopernikus koji je razvijen i proizveden u kompaniji Airbus (Airbus Defence and Space - ADS) za potrebe Evropske Svemirske Agencije (ESA). Sentinel-2A je prvi civilni optički satelit za osmatranje Zemlje koji poseduje senzore u 4 "Red Edge" talasna područja koja daju ključne informacije o stanju vegetacije na zemlji.

Tabela 1. Osnovni podaci satelitske misije Sentinel-2A

Sentilel -2A kanal	Centralna talasna dužina (μm)	Prostorna rezolucija (m)
Kanal 1 - Obalne aerosoli	0.443	60
Kanal 2 - Plavi kanal	0.490	10
Kanal 3 - Zeleni kanal	0.560	10
Kanal 4 - Crveni kanal	0.665	10
Kanal 5 - Red Edge vegetacija	0.705	20
Kanal 6 - Red Edge vegetacija	0.740	20
Kanal 7 - Red Edge vegetacija	0.783	20
Kanal 8 - Blisko infra-crveni kanal	0.842	10
Kanal 8A - Red Edge vegetacija	0.865	20
Kanal 9 - vodena para	0.945	60
Kanal 10 - Srednje infra-crveni kanal - cirusi	1.375	60
Kanal 11 - Srednje infra-crveni kanal	1.610	20
Kanal 12 - Srednje infra-crveni kanal	2.190	20

Sistem za aerofotogrametrijsko snimanje Vojnogeografskog instituta se sastoji od (slika 2):

- digitalne aerofotogrametrijske kamere Leica ADS80 i
- aviona Piper Seneca V

Sistem omogućava savremeni pristup u oblasti prikupljanja i analize geoprostornih podataka za potrebe subjekata sistema odbrane i drugih korisnika u zemlji.


Slika 2. Sistem za aerofotogrametrijsko snimanje

Osnovne karakteristike senzora-digitalne kamere Leica ADS80:

- Multispektralni senzor (panhromatski, RGB i infracrveni kanal)
- Inovativno jednovremeno razdvajanje svetlosnog snopa
- Obezbeđivanje iste rezolucije za sve snimljene kanale
- 12000 piksela, rezolucija senzora 6.5 μm ,
- 24000 piksela korišćenjem HiRes Moda
- Fokus objektiva 62,7 mm
- 100% neprekidnog podužnog preklopa
- Snimanje u neprekidnim trakama (do nekoliko stotina kilometara)
- Automatsko generisanje digitalnog modela površi

4. TENIKA PAN-SHARPENING

Kombinacija snimaka sa niskom i srednjom rezolucijom sa snimcima sa visokom rezolucijom najčešće se vrši za potrebe poboljšanja vizuelnog kvaliteta i prostorne rezolucije u cilju isticanja delova snimka sa određenim svojstvima. Postupak se zasniva na korišćenju prednosti specifičnih informacija, koje sadrže snimci



dobijeni različitim sistemima registracije. Ova tehnika kombinacije snimaka u literaturi se zove panhromatsko poboljšanje (eng. Panchromatic sharpening ili kraće Pan-sharpening)

Kombinacija snimaka regostrovanih različitim satelitskim i aerofotogrametrijskim sistemima i uređajima između ostalog obuhvata kombinovanje snimaka različite prostorne rezolucije i spektralnih karakteristika. Postupak kombinovanja obuhvata utvrđivanje i poklapanje granica područja obuhvaćenog polaznim snimcima. Potom se vrši fizička promena veličine snimka sa niskom prostornom rezolucijom povećanjem ukupnog broja piksela multipliciranjem originalnih piksela. Interpolacija se vrši bidimenzionalno, izborom nekog od više mogućih postupaka kombinacije [3].

Novodobijeni multispektralni snimak se u vizuelnom pogledu odlikuje maglovitim, nejasnim izgledom. Oštrina, odnosno jasnoća detalja se postiže kombinovanjem njegovih kanala sa snimkom visoke prostorne rezolucije, koje omogućava slaganje odgovarajućih piksela jednog i drugog snimka [3].

Navedeno kombinovanje snimaka najčešće se primenjuje za povećanje razmere niskih i srednje prostorno rezolutnih multispektralnih snimaka, njihovom integracijom sa panhromatskim kanalom snimka visoke prostorne rezolucije. Novoformirani snimci imaju i dalje sve spektralne karakteristike multispektralnog snimka, sada prikazane u znatno krupnijoj razmeri. Pri kombinovanju se izoštrava sadržaj novih snimaka. Panhromatski snimci u ovom slučaju se koriste kao kontrolna podloga za usklađivanje inteziteta osvetljenosti.

Danas se za povećanje razmere i poboljšanje satelitskih snimaka niske prostorne rezolucije sa uspehom koriste visokorezolutni snimci satelitskih misija ili snimci dobijeni aerofotogrametrijskim snimanjem. Za potrebe daljinskih istraživanja takođe se kombinuju satelitski snimci koji sadrže kvalitetne spektralne informacije sa klasičnim, kolor i infra-crvenim aerofoto snimcima [3].

5. PRIKAZ RAZLIČITIH METODA PAN-SHARPENING-A

Panhromatsko poboljšanje multispektralnih snimaka predstavlja radiometrijsku transformaciju koja je omogućena kroz korisnički interfejs ili kroz alate geoprociranja različitih softvera. U zavisnosti od mogućnosti softvera postoje različite metode i tehnike kombinacije panhromatskih i multispektralnih snimaka [4].

Softver korišćen u ovom istraživanju je ERDAS Imagine 2016 i on sadrži više različitih tehnika pan-sharpening-a. U radu su analizirane i predstavljene sledeće metode kombinacije:

- Brovey-ova transformacija zasnovana je na spektralnom modelovanju i razvijena je u cilju povećanja vizuelnog kontrasta u visokim i niskim krajevima histograma digitalnih snimaka. Ova transformacija koristi metodu koja množi svaki rekonponovan piksel multispektralnog snimka sa odnosom odgovarajućeg inteziteta panhromatskog piksela i sume inteziteta svih multispektralnih kanala. Podrazumeva se da spektralni prostor koji sadrži panhromatski snimak je isti kao i spektralni prostor pokriven multispektralnim kanalima. Brovey-ova transformacija, generalno koristi crveni, zeleni i plavi kanal multispektralnog snimka (RGB) i panhromatski snimak kao ulazne parametre, dok izlazni raster takođe sadrži crveni, zeleni i plavi kanal [5]. Brovey-ova transformacija se definiše pomoću sledećih formula [5]:

$$Red_{out} = \frac{Red_{in}}{[(Blue_{in} + Green_{in} + Red_{in}) \times Pan]} \quad (1)$$

U slučaju da koristimo težine i bliski infra-crveni kanal, gore navedena formula se može izraziti kao:

$$DNF = \frac{(P - IW \times I)}{(RW \times R + GW \times G + BW \times B)} \quad (2)$$

$$Red_{out} = R \times DNF \quad (3)$$

$$Green_{out} = G \times DNF \quad (4)$$

$$Blue_{out} = B \times DNF \quad (5)$$

$$Infrared_{out} = I \times DNF \quad (6)$$

gde su ulazni podaci:

P - panhromatski snimak

R - crveni kanal multispektralnog snimka

G - zeleni kanal multispektralnog snimka

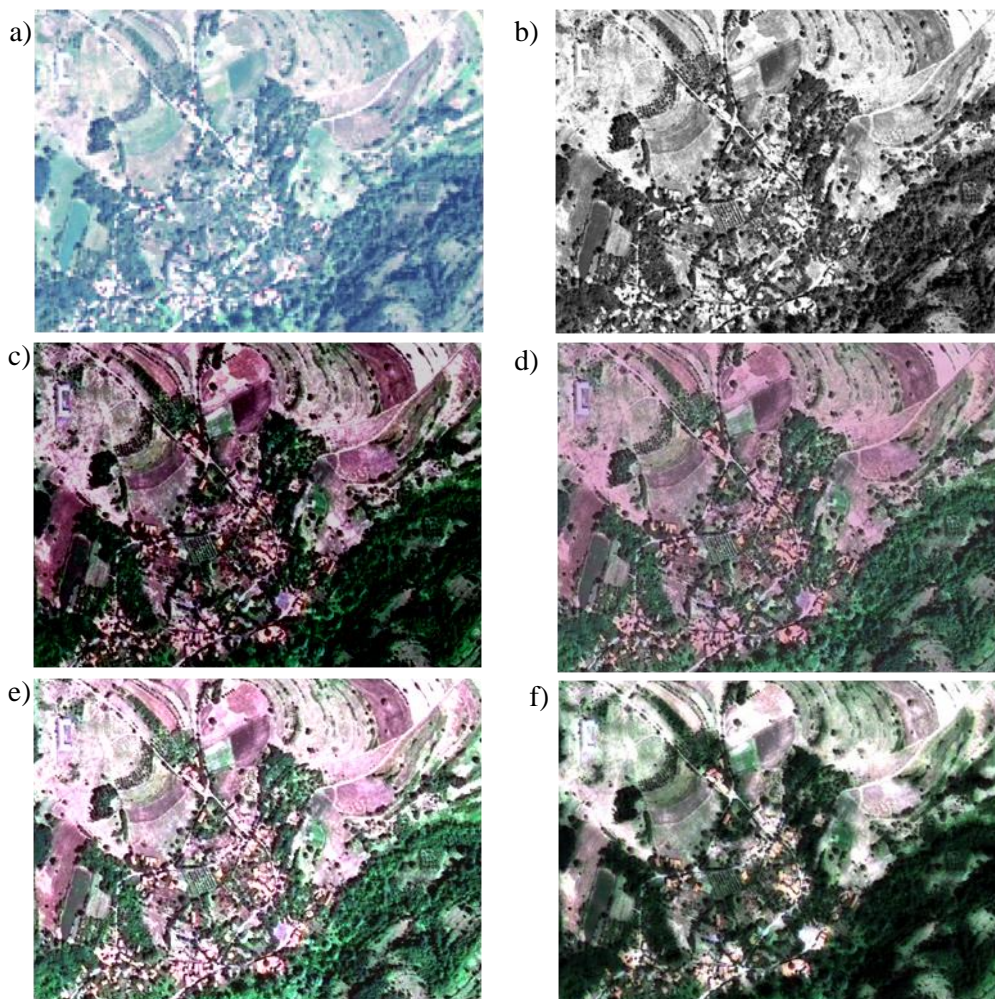


B - plavi kanal multispektralnog snimka
I - blisko infra-crveni kanal multispektralnog snimka
W - težine

- IHS transformacija kao metoda pan-sharpeninga konvertuje klasični multispektralni RGB snimak u IHS sistem (I - intezitet svetline, H - ton boje, S - zasićenost). Pri ovoj transformaciji intezitet svetline satelitskog snimka niske prostorne rezolucije se zamenjuje panhromatskim snimkom visoke prostorne rezolucije. U slučaju da multispektralni snimak poseduje infracrveni kanal i on se uzima u razmatranje oduzimanjem od panhromatskog kanala iz korišćenje faktora težine. Ovaj postupak se može izraziti sledećom jednačinom [5]:

$$Intesity = P - I \times IW \quad (7)$$

- PCA transformacija zasniva se na računanju glavnih komponenti snimaka. Tokom postupka transformacije prvo je pretvori slika visoke prostorne rezolucije u opseg podataka prve glavne komponente multispektralnog snimka. Zatim se primenjuje transformacija inverznom analizom glavnih komponenti [6]. PCA transformacija se najčešće koristi kada je potrebno da izlazna slika ima što približniju radiometriju (balas boja) kao i ulazni multispektralni snimak. Pošto ova tehnika skalira podatke snimka visoke prostorne rezolucije sa prvom glavnom komponentom multispektralnog snimka, pre izračunavanja inverzne analize glavnih komponenti, histogrami izlazne slike veoma liče na histograme ulazne multispektralne slike. Zbog toga je ova tehnika računski najzahtevnija i najsporija [7].
- Multiplikativna transformacija primenjuje jednostavan multiplikativni algoritam koji integriše dve rasterske slike [8]. Multiplikaciona tehnika je najjednostavnija od navedenih tehnika transformacije, računski je jednostavna i zbog toga najbrža metoda koja zahteva najmanje računarske resurse. Međutim, dobijena kombinovana slika ne zadržava radiometrijsku rezoluciju ulazne multispektralne slike. Umesto toga, komponenta inteziteta se povećava ili smanjuje, što može prouzrokovati lošiji vizuelni kvalitet izlazne slike [7].



Slika 3. Ulazni i izlazni podaci tehnike pan-sharpeninga: a) Sentinel-2A satelitski snimak; b) panchromatski aerofotogrametrijski snimak; c) IHS transformacija pan-sharpening tehnike; d) PCA transformacija pan-sharpening tehnike; e) Brovey-ova transformacija pan-sharpening tehnike; f) Multiplikativna transformacija pan-sharpening tehnike

6. ZAKLJUČAK

Postupak kombinacije snimaka loše prostorne rezolucije sa snimcima visoke rezolucije najčešće se vrši za potrebe poboljšanja vizuelnog kvaliteta u cilju isticanja delova snimka sa određenim svojstvima. U radu su analizirane i predstavljene različite metode kombinacije kao što su: Brovey-ova transformacija, IHS transformacija, PCA transformacija i multiplikativna transformacija (slika 3). Od navedenih metoda kombinacije najbolji vizuelni kvalitet izlaznog snimka daje tehnika Brovey-ove transformacije, a najlošiji vizuelni kvalitet ima multiplikativna transformacija. Najkomplikovanija i računski najduža tehnika je PCA transformacija, dok je najjednostavnija i najbrža multiplikativna transformacija.

LITERATURA

- [1] Alparone, L., Baronti, S., Aiazzi, B., & Garzelli, A. (2016). Spatial methods for multispectral pansharpening: Multiresolution analysis demystified. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(5), 2563-2576.
- [2] Grochala, A., & Kedzierski, M. (2017). A method of panchromatic image modification for satellite imagery data fusion. *Remote Sensing*, 9(6), 639.



- [3] Pavlović, R., Čupković, T., & Marković, M. (2004). Daljinska detekcija. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.
- [4] Fonseca, L., Namikawa, L., Castejon, E., Carvalho, L., Pinho, C., & Pagamisse, A. (2011). Image fusion for remote sensing applications. In Image fusion and its applications. InTech.
- [5] Stathaki, T. (2011). Image fusion: algorithms and applications. Elsevier.
- [6] Dong, L., Yang, Q., Wu, H., Xiao, H., & Xu, M. (2015). High quality multi-spectral and panchromatic image fusion technologies based on Curvelet transform. *Neurocomputing*, 159, 268-274.
- [7] Yang, J., Zhang, J., & Huang, G. (2014). A parallel computing paradigm for pan-sharpening algorithms of remotely sensed images on a multi-core computer. *Remote Sensing*, 6(7), 6039-6063.



PRAĆENJE DEGRADACIJE ŠUMA POMOĆU DALJINSKIH SNIMAKA

MONITORING FOREST DEGRADATION USING REMOTE SENSING IMAGES

NENAD GALJAK¹, MIODRAG REGODIĆ², STANOJKA SIMIĆ³, STEFAN MIJODRAGOVIĆ⁴

¹ Univerzitet odbrane, Vojna akademija Beograd, galjaknenad@gmail.com

² Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, mregodic62@gmail.com

³ Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, stanojkasimic94@gmail.com

⁴ Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, stefangeo93@hotmail.com

Rezime: Snimci mnogih daljinskih senzora koriste se za analizu fizičkih procesa na površini Zemlje. Informacije o trenutnom stanju i promjenama u šumskom ekosistemu su važna osnova za donošenje pravilnih odluka iz ekonomije, zaštite životne sredine i šumarstva. Da bi se daljinski snimci uspješno koristili za analizu stanja šuma, neophodno je sprovesti postupke poboljšanje kvaliteta snimaka. U radu je predstavljen postupak podešavanja kontrasta RGB snimaka u okviru radiometrijskog poboljšanja kvaliteta daljinskih digitalnih snimaka. Obradivani su kvalitetani digitalni snimci visoke prostorne rezolucije, što je omogućilo uspješnu primjenu programskog paketa Matlab i dobijeni su vrlo jasni, precizni i izražajni slikovni prikazi.

Cljučne riječi: Stanje šuma, Snimak, Kontrast, Matlab.

Abstract: Images of numerous remote sensors are used for the analysis of physical processes on the Earth's surface. Information about the current state and changes in forest ecosystems are an important basis for making decisions in economics, environmental science, and forestry. In order to successfully use remote sensing images for analysis of current state of forests, it is necessary to perform the procedures for image quality enhancement first. In the paper, we present the procedure for setting the contrast of RGB images, as a mean of radiometric enhancement of the remote digital images' quality. Further, the processed digital images are of a high spatial resolution, which helped us to successfully apply the Matlab software package, and as a result, we ended up with very clear, precise and descriptive images.

Keywords: State of Forests, Image, Contrast, Matlab

1. UVOD

Važnost šuma i šumskog pokrivača za ljude je ogromna. Između ostalog, šumski pokrivač smanjuje jačinu poplave u zahvaćenim područjima, poboljšava kvalitet vazduha, smanjuje udio štetnih gasova u atmosferi, sprečava eroziju i povoljno utiče na temperaturu vazduha.

Iako predstavljaju značajan resurs, šume su suočene sa sve jačom degradacijom širom planete.

S obzirom da se ljudski uticaj smatra najznačajnijim faktorom degradacije šumskog pokrivača, kako smanjiti ljudski uticaj postalo je važno pitanje u globalnim, državnim i regionalnim politikama zaštite životne sredine.

U posljednjoj deceniji zdravlje drveća u Evropi je ozbiljno ugroženo. Najgore stanje listopadnih šuma zabilježeno je u Češkoj, Slovačkoj, Poljskoj, Rumuniji i Bjelorusiji, odnosno u zemljama sa velikim brojem termo centrala. Četinari su najugroženiji na jugu Francuske i sjeveru Španije, najverovatnije zbog sušnih sezona koji su se produžile posljednjih godina zbog klimatskih promjena koje postaju sve češće.

Krčenjem šuma utiče se i na dodatno ubrzanje klimatskih promjena. Smanjivanjem šumskog pokrivača dovodi se do pada kvaliteta vazduha, što dodatno utiče na zdravlje stanovništva i povećava rizik od bolesti.

Takvi postupci mogu dovesti do velike ekološke katastrofe u svijetu, s obzirom na značaj uloge šumskih ekosistema i koliko su važni za biosferu planete.

2. DALJINSKO SNIMANJE I PRAĆENJE VEGETACIJE

Informacije o trenutnom stanju i promjenama u šumskom ekosistemu su važna osnova za donošenje preciznije odluke iz ekonomije, zaštite životne sredine i šumarstva. Analizirajući velike količine interdisciplinarnih prostornih podataka u dužem vremenskom periodu, dostupne su nove informacije koje olakšavaju nadzor nad šumskim pokrivačima na većem području i daje konačnu sliku promjena u šumskim ekosistemima [1].

Snimci mnogih satelitskih senzora koriste se za analizu fizičkih procesa na površini Zemlje, bez obzira da li je površina vegetacija ili urbano područje. Takođe, jedan od primarnih interesa sistema za posmatranje Zemlje jeste proučavanje uloge vegetacije u procesima globalnog razmjera u cilju razumjevanja načina funkcionisanja Zemlje kao sistema [2].

Prostorno praćenje promjena na površini Zemlje je od najveće važnosti za razumjevanje odnosa između ljudskih i prirodnih pojava. Daljinsko istraživanje omogućava prikupljanje i analizu velikih količina prostornih podataka tokom dužeg vremenskog perioda, pružajući dragocjene informacije. Zbog toga je poboljšanim praćenjem šumskog pokrivača i omogućeno otkrivanje ekosistemskih promjena, što omogućava blagovremeno i efikasno donošenje odluka [7].

Vegetacijski indeksi izračunati iz multispektralnih satelitskih snimaka, zasnovani na spektralnim karakteristikama vegetacije u različitim spektralnim kanalima, konzistentno pružaju prostorno-vremenske informacije o vegetacijskom pokrivaču.

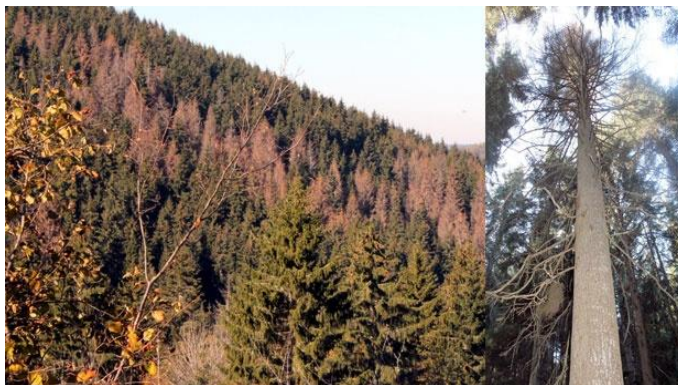
Vegetacijski indeksi su podaci koji se računaju iz različitih kanala multispektralnih snimaka na osnovu apsorpcije, prenosa i odraza energije vegetacije u različitim spektralnim kanalima. Oni prvenstveno služe kao grafički indikator procjene aktivnosti vegetacije u posmatranoj oblasti. Vegetacijski indeksi na području vegetacije pokazuju veće vrijednosti piksela nego u područjima bez vegetacije [6].

Zahvaljujući karakterističnom spektralnom popisu biljaka, moguće je dobiti indeks vegetacije kombinovanjem slika iz nekoliko različitih spektralnih opsega. Hlorofil u biljkama u velikoj mjeri apsorbuje talasne dužine u crvenom i plavom djelu spektra a odbija zeleno svjetlo. Vegetacijski indeksi predstavljaju nedimenzionalnu radiometrijsku mjeru, koja se dobija kombinacijom informacija iz različitih kanala, pri čemu se uglavnom koristi crveni i bliskoinfracrveni (Near Infrared - NIR) dio elektromagnetnog spektra [4].

Na formiranje bilo kog vegetacionog indeksa utiču sljedeći parametri: mjerenja elektromagnetnog zračenja vegetacije, količina zelenih listova, količina hlorofila u biljci, količina biomase, apsorpcija fotosintetičkog aktivnog zračenja (Absorbed Photosynthetic Active Radiation – APAR), zračenje indeksa lista.

Promjene klime, koje su nastale kao rezultat poremećaja ravnoteže uzajamne povezanosti čovjeka i prirode, značajno utiču na zdravlje i opstanak šuma.

Smanjivanje vitalnosti šuma i njihovo postepeno propadanje, uglavnom dolazi iz sljedećih razloga: smanjene vlažnosti zemljišta, pojave klimatskih ekstrema, sniženog perioda vegetacije, poremećaja reprodukcije, smanjene otpornosti na štetne biotičke faktore, patogene epidemije, najezde štetnih insekta. Na slici 1 prikazan je izgled četinara.



Slika 1: Sušenje četinara [8]

Na teritoriji Republike Srpske, problem sušenja šuma je najizraženiji u područjima Javora - Romanije i Doboja. Na području Javor - Romanije sušenje četinarskih šuma (posebno smrče), a na području Doboja hrasta, u velikoj mjeri je posljedica djelovanja insekata potkornjaka i žutotrbe. Sušenje smrče na Romaniji prikazano je na sledećoj slici.



Slika 2: Sušenje smrče na Romaniji [9]

Nakon utvrđivanja dijagnoze, postoji niz mjera koje se mogu primijeniti, napominjući da je prilikom sanacija oštećenih područja u kojem je bila gola sječa pošumljavanje rizično, jer je pitanje kako će se mlade biljke ponašati.

Postoji nekoliko faktora koji izazivaju sušenje, kao što su:

- izuzetno suvi periodi u poslednjih 10 godina, ali i izuzetno niske zimske temperature,
- smanjena vlaga u zemljištu,
- pojava klimatskih ekstrema,
- smanjenost vegetacijskog perioda,
- otežana reprodukcija,
- smanjena otpornosti na štetne biotičke faktore,
- povećanje prosječne temperature vazduha,
- smanjena količina padavina tokom ljeta,
- razne ljudske aktivnosti.

Kompleksno djelovanje visokih temperatura i suše odražavaju se i na zemljište i na vegetaciju. Usljed zagrijavanja, sadržaj vlage u zemljištu se smanjuje, što utiče na okolnu vegetaciju.

Pojava sušenja šume nije uzrokovana samo sušom, već ona stvara povoljne uslove za pojavu parazitskih organizama.

3. RADIOMETRIJSKO POBOLJŠANJE KVALITETA DALJINSKIH SNIMAKA

Registrovan snimak, bez ikakve obrade je za geodetske svrhe praktično neupotrebljiv. Postoji više postupaka digitalne obrade snimaka, kojima se dobija novi snimak, prikladniji za korišćenje u bilo kojoj oblasti. Svaki snimak prije nego što postane upotrebljiv za naučne i tehničke svrhe mora proći kroz sljedeće faze obrade [5]:

- prethodna obrada,
- poboljšanje kvaliteta snimka,
- transformacija snimka,
- klasifikacija i
- analiza snimka.

Predmet ovog zadatka je digitalna obrade snimka – poboljšanje kvaliteta snimka. Poboljšanje kvaliteta snimka može biti prostorno, radiometrijsko i spektralno.

U programskom paketu MATLAB je izvršeno radiometrijsko poboljšanje snimka sušenja šuma dobijenog satelitskim sistemom Landsat (slika 3).



Slika 3: Snimak sušenje šuma

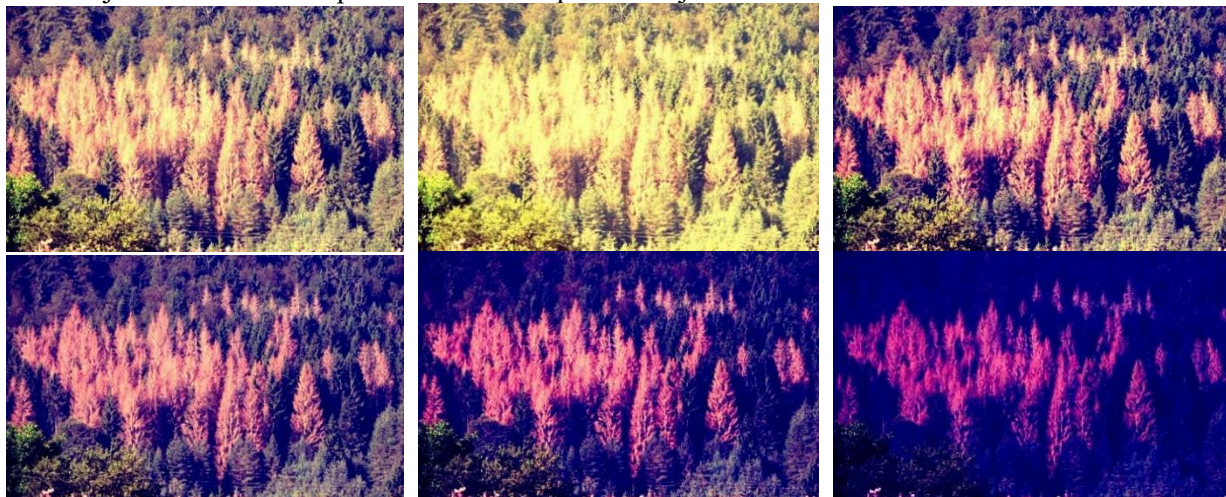
Pod radiometrijskim poboljšanjem kvaliteta snimka podrazumijeva se poboljšanje tonskih vrijednosti svakog piksela snimka bez uzimanja u obzir piksela u okruženju. Poboljšanje kontrasta je najčešći vid poboljšanja vizuelnog izgleda snimka, koji se ostvaruje povećanjem ili smanjenjem razlike tonskih vrijednosti piksela. U okviru radiometrijskog poboljšanja slike u programu Matlab su obrađeni prevođenje intenziteta piksela i prikaz histograma kao i ujednačavanje histograma i poboljšanje kontrasta na RGB snimcima [3].

3.1. Podešavanje kontrasta na RGB snimcima

Podešavanje kontrasta se može vršiti i na RGB snimcima, pomoću funkcije `imadjust`, zadavanjem intervala prema komponentama snimka:

```
a1=imadjust(a,[0.2 0.3 0; 0.6 0.7 1],[]);  
a2=imadjust(a,[0.1 0.2 0; 0.5 0.6 1],[]);  
a3=imadjust(a,[0.3 0.4 0; 0.6 0.7 1],[]);  
a4=imadjust(a,[0.3 0.4 0; 0.7 0.8 1],[]);  
a5=imadjust(a,[0.4 0.5 0; 0.7 0.8 1],[]);  
a6=imadjust(a,[0.5 0.6 0; 0.8 0.9 1],[]);
```

Na sljedećim slikama su prikazani rezultati podešavanja kontrasta za navedene intervale.



Slika 4: Prikaz kontrasta slike podešenog `imadjust` (komponente boja) funkcijom

Za poboljšanje kontrasta se koristi i parametarska funkcija `stretchlim`. Ukoliko se ne zadaju vrijednosti opsega, ova funkcija sama određuje te vrijednosti koje se kreću u intervalu `[0.01 0.99]`. Sintaksa za poboljšanje kontrasta je:

```
stretch=imadjust(a,stretchlim(a),[]); odnosno:  
stretch1=imadjust(a,stretchlim(a),[0 1]);  
stretch2=imadjust(a,stretchlim(a),[0.2 0.8]);  
stretch3=imadjust(a,stretchlim(a),[0.4 0.6]);  
stretch4=imadjust(a,stretchlim(a),[0.2 0.6]);
```



```
stretch5=imadjust(a,stretchlim(a),[0.4 0.8]);
```

```
stretch6=imadjust(a,stretchlim(a),[1 0]);
```

Na sljedećim slikama su prikazani rezultati podešavanja kontrasta za navedene intervale.



Slika 5: Prikaz kontrasta slike podešenog imadjust (stretchlim) funkcijom

4. ZAKLJUČAK

Informacije o trenutnom stanju i promjenama u šumskom ekosistemu su važna osnova za donošenje preciznije odluke iz ekonomije, zaštite životne sredine i šumarstva. Analizirajući velike količine interdisciplinarnih prostornih podataka u dužem vremenskom periodu, dostupne su nove informacije koje olakšavaju nadzor nad šumskim pokrivačima na većem području i daje konačnu sliku promjena u šumskim ekosistemima.

Za preciznu klasifikaciju šuma i praćenje urbanih područja preporučuje se korišćenje snimaka senzora sa visokom prostornom rezolucijom i manjim zahvatom područja. Treba napomenuti da su snimci sistema Landsat 5, 7, 8 besplatni i mogu se skinuti sa usgs.gov kao proizvod nivoa obrade jedan (GeoTIFF podaci, georeferencirani u VGS 84 koordinatnom sistemu bez atmosferskih korekcija i sa svim dostupnim kanalima).

Takođe, ciklus ponavljanja, odnosno ponovnog snimanja istog područja je 16 dana. Zbog toga su podaci daljinskog istraživanja veoma ažurni. Ovdje je predstavljen jednostavan princip klasifikacije vegetacijskog područja, prvenstveno šuma, korištenjem vegetacijskih indeksa i snimaka srednje rezolucije. Jednostavno, jer je računanje indeksa kombinacija jednostavnih aritmetičkih operacija i potrebnih kanala. Takođe, ovakvom kombinacijom više indeksa mogu se smanjiti nedostaci pojedinih indeksa, kao što su pozadina i uticaji atmosfere.

Da bi se zaustavila dalja degradacija šuma, trebalo bi početi sa stalnim i planskim obnovama šume, suočiti se sa paletom primarnih štetočina, šumu i stabla treba nadgledati, šumom upravljati.

U programskom paketu MATLAB moguće je uspješno izvršiti prostorno, radiometrijsko i spektralno poboljšanje kvalitete daljinskih digitalnih snimka i tako stvoriti uslove za kvalitetnu analizu i interpretaciju snimaka.

LITERATURA

- [1] Coppin, P. R., Bauer, M. E. (1996). Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. *Remote Sensing Reviews*, 13(3–4), 207–234.
- [2] Jensen, J. R. (1996). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*, Second edition, Prentice Hall., New Jersey, 197–253.
- [3] Jaćimović S., Regodić, M., Gigović, Lj. (2016). Obrada satelitskih snimaka u programskom paketu Matlab. XLIII Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2016), Tara, Srbija, 181-184.
- [4] Maeda, E. E., Moura, Y. M., Wagner, F., Hilker, T., Lyapustin, A. I., Wang, Y., Chave, J., Mörtus, M., Aragão, L. E. O. C., Shimabukuro, Y. (2016). Consistency of vegetation index seasonality across



- the Amazon rainforest, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 42–53.
- [5] Regodić, M., Amović, M., Avramović, B., Đurić, M. (2016). Pобољшanje radiometrijskog kvaliteta digitalnih snimaka. Zbornik radova sa 32. Međunarodnog savetovanja (ENERGETIKA 2016), Zlatibor, Srbija, 44-49.
- [6] She, X., Zhang, L., Cen, Y., Wu, T., Huang, C., Baig, M. H. A. (2015). Comparison of the Continuity of Vegetation Indices Derived from Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM+ Data among Different Vegetation Types, *Remote Sensing*, 7(10), 13485–13506.
- [7] Treitz, P. M., Howarth, P. J. (1999). Hyperspectral remote sensing for estimating biophysical parameters of forest ecosystems, *Progress in Physical Geography*, 23(3), 359–390.
- [8] <http://kvdanas.com/index.php/vijesti/3829/istrazivanje-uzroka-susenja-suma-na-podrucju-republike-srpske>
- [9] https://www.glassrpske.com/novosti/vijesti_dana/Zaraza-pustosi-sumu-na-Romaniji/lat/219601.html



PRIMENA AERO-FOTO SNIMAKA U IZRADI GIS

AERIAL PHOTO-IMAGES APPLICATION IN CREATING GIS

NENAD GALJAK¹, MIODRAG REGODIĆ², BORISLAV GUZIJAN², RAJKA MIJATOVIĆ²

¹ Univerzitet odbrane, Vojna akademija Beograd, galjaknenad@gmail.com

² Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, mregodic62@gmail.com, bguzijan@gmail.com, mijatovicrajka@gmail.com

Rezime: Veliki potencijal geoinformacionih sistema potiče od njihove sposobnosti da integrišu veliku količinu informacija o geoprostoru. U geoinformacione sisteme integrisana je velika količina znanja iz različitih naučnih oblasti. U radu je predstavljena obrada aero-foto snimka za potrebe izrade GIS. Podatke prikupljene i klasifikovane raznim metodama i softverima moguće je dalje obrađivati u QGIS softverskom okruženju prema definisanim tehnološkim procedurama. Na taj način biće kompletiran digitalno tehnološki proces za razvoj GIS i stvorena osnova za digitalnu kartografsku produkciju.

Ključne riječi: GIS, Digitalna fotogrametrija, Snimak, QGIS.

Abstract: The great potential of geoinformation systems comes from their ability to integrate a large amount of information about geospace. A lot of knowledge from various sciences is integrated in geographic information systems. In the paper, we present processing of aerial photogrammetry images needed in creating GIS. The data collected and classified using various methods can be further processed in QGIS software environment by using defined technological procedures. That way, we finalize the digital-technology process for developing GIS and create a foundation for digital cartography production.

Keywords: GIS, Digital Photogrammetry, Image, QGIS

1. UVOD

Geografski informacioni sistem - GIS (Geographic Information System), predstavlja računarski bazirani sistem podrške planiranju i projektovanju koji integriše u baze podataka pored ostalih i prostorno referencirane podatke (spatially referenced data). Ovakvi sistemi su u stanju da prikupljaju, arhiviraju, pronalaze u bazi podataka prethodno arhiviranih, analiziraju i vizuelno prikazuju ovakve podatke. Sa GIS stanovišta informacija predstavlja "obavještenje koje je rezultat sakupljanja, analize ili sumiranja podataka u smislenom obliku", dok termin „geografska informacija“ označava fenomen direktno ili indirektno vezan za lokaciju na Zemljinoj površini.

U najužem smislu to je sistem koji je sposoban za integrisanje, čuvanje, uređivanje, analiziranje i prikazivanje prostornih informacija koje omogućavaju donošenje važnih odluka.

U planiranju i projektovanju IS, pošlo se od pretpostavke da IS predstavlja formalizovani dio komunikacionog dijela određene organizacione jedinice, odnosno da je sinteza četiri komponente:

- hardver (hardware) - predstavlja materijalnu osnovu informacionog sistema i čine ga personalni računar, ulazno-izlazne komponente i medij za skladištenje podataka,
- softver (software) - obuhvata nematerijalne elemente: programe, metode i rutine vezane za organizaciju, upravljanje, obradu i korišćenje rezultata obrade podataka i informacija,
- kadrovi (lifeware) - timovi stručnjaka: organizatori elektronske obrade podataka, sistemski analitičari, programeri, operatori kao i korisnici informacionog sistema (users) i
- orgver (orgware) - organizacioni postupci, metode i način usklađivanja i povezivanja prethodnih komponenata u skladu sa funkcionalnom, ekonomičnom i djelotvornom cjelinom.

Prednost geoinformacionih sistema u poređenju sa papirnim mapama je u njihovoj sposobnosti da omoguće izbor informacija koje je neophodno prikazati u zavisnosti od cilja kojeg je potrebno postići.



2. METODE PRIKUPLJANJA GEOPROSTORNIH PODATAKA

Prikupljanje podataka je jedna od najbitnijih faza u naučnim istraživanjima. U današnjem svijetu informacije su lako dostupne i do njih se može doći na mnogo više načina, za razliku od ranijih godina. Da bi se ti podaci što kvalitetnije prikupili postoje brojne metode za prikupljanje podataka.

Geografski informacioni sistem (GIS) je kompjuterizovan sistem za prikupljanje, analizu i upravljanje geoprostornim podacima. Najvažnija komponenta geoinformacionog sistema su podaci o prostoru na koji se GIS odnosi [7].

Geometrijske informacije o prostoru, georeferencirane na prostor za koji se GIS gradi, smještaju se u bazu podataka kao različiti tematski slojevi [8].

Prikupljanje geoinformacija o prostoru može se izvoditi geodetskim merenjima po terenu na osnovu kojih se izrađuju karte i planovi, ali i savremenim geodetskim metodama, kao što su: skeniranje prostora iz aviona, bliskopredmetno 3D-skeniranje i fotogrametrijska metoda.

S obzirom da se pri izgradnji nekog geoinformacionog sistema radi o ogromnom broju geoinformacija i geopodataka, koji se nalaze na prostoru za koji se GIS gradi, fotogrametrijska metoda je najbrži i najekonomičniji način masovnog prikupljanja podataka za njegovu izgradnju.

Ova metoda se bazira na mjerenju i analizi satelitskih, aero i radarskih snimaka, ali i snimaka snimljenih sa bliskog rastojanja sa zemlje i iz vazduha. Satelitski i aerosnimci prikazuju velike površine terena čijim merenjem se omogućava akvizicija ogromnog broja geoinformacija o snimljenom prostoru. Tako merenjem ovakvih snimaka (nekada analognih a danas uglavnom digitalnih) dolazi se do velikog broja geometrijskih podataka, a na osnovu njih i do različitih karata i planova snimljene površine terena.

Mjereni podaci sa snimaka moraju se prvo georeferencirati na prostorni koordinatni sistem budućeg geoinformacionog sistema. Zbog toga je neophodno poznavati prostorne koordinate određenog broja tačaka terena, čije se slikovne koordinate mjere na snimku. Određivanje prostornih koordinata ovakvih tačaka nekada se izvodilo isključivo geodetskim merenjima - direktno na terenu, dok danas postoje poluautomatski i automatski postupci i metode bazirane na GPS tehnologiji pozicioniranja kamere u toku snimanja i automatskog "on-line" određivanju prostornih rotacija svakog snimka (K , Φ , Ω).

Danas se mjerenje (prikupljanje) geoinformacija sa digitalnih snimka dijela Zemljine površine za koji se gradi neki GIS odvija poluautomatski ili automatski, a procesom upravlja operator – restitutor [4].

Pri poluautomatskom prikupljanju geoinformacija restitutor mono ili stereoskopski poentira detalje na snimcima i automatski ih transformiše u prostorni koordinatni sistem geoinformacionog sistema.

Pri izradi nekog geografskog informacionog sistema najvažniji njegov dio su baze podataka o prostoru na koji se taj GIS odnosi. Masovno prikupljanje geoinformacija najbrže i najekonomičnije se izvodi mjerenjem i analizom digitalnih satelitskih, aero i terestričkih snimaka Zemljine površine.

Digitalna fotogrametrija razvija poluautomatske i automatske metode i odgovarajuće softvere za ekstrakciju geoprostornih podataka, njihovu analizu i interpretaciju [5].

2. IZRADA GIS METODAMA DIGITALNE FOTOGRAMETRIJE

Daljinsko istraživanje (engleski remote sensing, njemački Fernerkundung, francuski télédétection) je metoda prikupljanja i interpretacije informacija o udaljenim objektima bez fizičkog kontakta s objektom.

Avioni, sateliti i svemirske sonde su uobičajene platforme za opažanja u daljinskim istraživanjima. Termin daljinsko istraživanje je obično ograničen na metode koje upotrebljavaju elektromagnetnu energiju kao sredstvo za otkrivanje i mjerenje karakteristika objekata. Takva definicija daljinskog istraživanja isključuje električna, magnetna i gravitaciona mjerenja kojima se mjeri snaga polja, a ne elektromagnetno zračenje.

Daljinska istraživanja uopšte obuhvataju upotrebu različitih vrsta snimaka: fotografskih, termalnih, radarskih itd.

Daljinskom detekcijom nazivamo daljinsko istraživanje u užem smislu, tj. prikupljanje informacija o Zemljinoj površini s uređajima smještenim u satelitima i interpretaciju tako dobijenih informacija.

Za razliku od karte, aerosnimak je slika određenog područja. Na toj je slici vidljiv sav sadržaj prikazan svojim oblikom i dimenzijama pomoću tonskih razlika (kod fotografija u boji u tonovima boja).

Satelitski snimci jasno pokazuju makrooblike očišćene od nejasnoća prouzrokovanih viškom mikrodetalja. Na taj način vrlo su pogodni izvori za izradu karata sitnih razmjera na kojima i treba, prvenstveno, prikazati makrooblike.

Danas kad se satelitski snimci mogu upotrebljavati i za usavršavanje i izradu topografskih karata, potreba njihove primjene u kartografiji još je izraženija.

Prema tome, snimci sadrže mnoštvo informacija kojih s kartografskog gledišta ima i suviše mnogo da bi se mogli kartografski prikazati. S druge strane, snimak neće sadržati neke važne informacije koje sadrže karte. To su na prvom mjestu nazivi, koordinatni sistem i razmjera.

Dalje, snimci su snimljeni u centralnoj projekciji, a karte se izrađuju u raznim drugim projekcijama. Na pojedinačnim snimcima visinska predstava je slaba i do nje se dolazi indirektno (po sjeni, oblicima komunikacija, obliku i smjeru pružanja čestica ili potpornih zidova, po kulturama itd.), dok se stereoskopskim posmatranjem parova snimaka dobija vjernija i jasnija predstava o reljefu. Prema tome karte i snimci se pri pružanju informacija međusobno ne isključuju, već se dopunjavaju, što je i dovelo do izrade fotokarata.

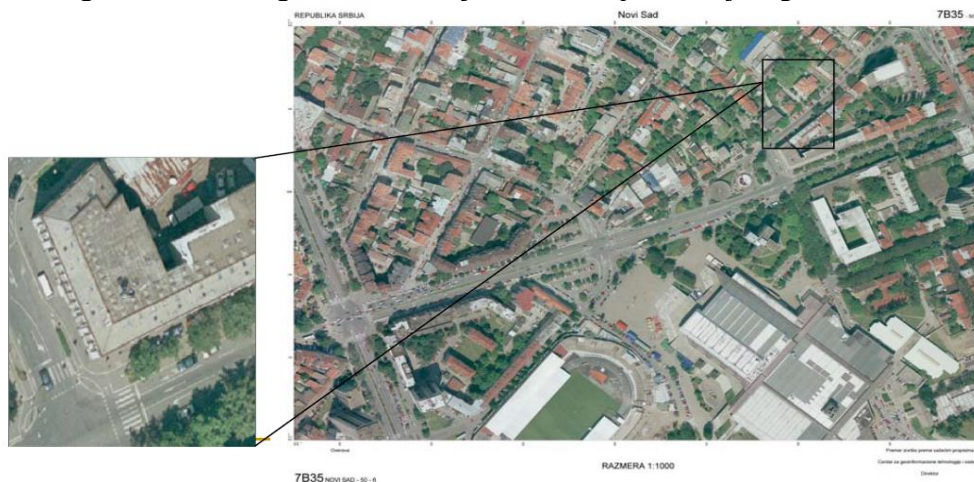
Danas kad se satelitski snimci mogu upotrebljavati i za usavršavanje i izradu topografskih karata, potreba njihove primjene u kartografiji još je izraženija.

Razvijeni su i sistemi za automatsku aktuelizaciju i verifikaciju geoinformacija koje ulaze u GIS baze podataka. Suština postupka je automatsko upoređivanje postojeće baze geoinformacija sa aktuelnim digitalnim ortofotom (slika 1) odnosno terena, dobijenim iz aero i satelitskih snimaka visoke rezolucije.



Slika 1: Primjer automatske aktuelizacije podataka uz pomoć ortofotoa [3]

Vizualizacija je transformacija podataka iz simboličke predstave u geometrijsku, interaktivna manipulacija podacima i prikaz, grafički rendering, kao i animacija. Na slici 2 prikazan je digitalni ortofoto snimak terena.



Slika 2: Digitalni ortofoto [9]

Iz perspektive GIS sistema vizuelizacija je mogućnost da se prostorni podaci prikažu na način kojim je ljudski percipioni sistem u mogućnosti da identifikuje prostorne obrasce u procesu rješavanja prostornih problema ili donošenju odluka [1].

3. PRAKTIČNI DIO RADA

U ovom dijelu rada prikazano je šta je GIS u praktičnom smislu, tj. kako izgleda prikupljanje i obrada podataka i sa kojim informacijama raspolažu krajnji korisnici GIS baze podataka. GIS nudi mogućnost postavljanja upita na GIS bazu podataka kako bi se pronašli željeni podaci, a to je ujedno i suštinski dio većine GIS projekata. Upiti nude metodu pronalazjenja podataka i mogu biti izvedeni na podacima koji su dio GIS baze podataka ili na novim podacima koji su rezultat analize podataka. Upiti su korisni na svim nivoima GIS analize podataka za provjeru kvaliteta podataka i dobijenih rezultata. Najveći broj GIS paketa nudi brojne metode analize i dobijanje odgovora na zadati upit bazama prostornih i neprostornih podataka. GIS softver spaja rezultate analize i upita u vizuelni prikaz, i tako formira jednu tematsku, odnosno topografsku kartu [2].

Podatke prikupljene i klasifikovane raznim metodama i softverima, moguće je dalje obrađivati i u QGIS softverskom okruženju prema definisanim tehnološkim procedurama. Na taj način biće zaokružena digitalna tehnološka linija za razvoj GIS-a i stvorena osnova za digitalnu kartografsku produkciju topografskih karata [6].

Dalje će biti predstavljen prikaz podataka prikupljenih metodom fotogrametrijskog snimka (ortofoto snimak Banjaluka – Ramići, snimljen 2012. godine) i rad na ortofoto snimku tj. iscrtavanje ulice, mjerenje novonastale ulice u Ramićima i dodavanje kućnog broja u Kuljanima.



Slika 3: Ortofoto snimak Banjaluka – Ramići (lijevo), ucrtana novonastala ulica (desno)



Slika 4: Dodjeljivanje naziva novonastaloj ulici (na slici lijevo), mjerenje dužine novonastale ulice (na slici u sredini) i dodjeljivanje kućnog broja (na slici desno)



4. ZAKLJUČAK

Veliki potencijal geoinformacionih sistema potiče od njihove sposobnosti da integrišu velike količine informacija o geoprostoru, te da obezbijedi snažan repertoar analitičkih alata za istraživanje ovih podataka. U geoinformacionim sistemima je integrisan veliki broj znanja iz različitih naučnih disciplina.

Na osnovu satelitskih snimaka korisnik može da izvede zaključak o korišćenju zemljišta, obradivim površinama, površinama pod šumom, tipovima vegetacije, nivou vlažnosti i temperaturi zemljišta, itd. a sve je to moguće upotrebom GIS tehnologije. Fotografije iz vazduha su posebno korisne pri osmatranju promjena kroz vrijeme, budući da je jednostavno uzastopno fotografisanje jedne iste oblasti.

Na primjer, na taj način je moguće pratiti rast gradova i izgradnju objekata (kuća, stambenih zona, industrijskih zona, ulica i parkova). Izvjesna obrada podataka je neophodna da bi se optimizovao obim podata, podesila rezolucija ili izmijenila projekcija podataka i provjerio kvalitet podataka.

Komercijalni satelitski sistemi proizvode sve kvalitetnije snimke čija prostorna rezolucija postiže vrijednosti ispod jednog metra. Institucije koje kontrolišu satelitske sisteme i vrše prodaju i distribuciju kosmičkih snimaka obavljaju sve veći stepen njihove obrade i na tržištu se pojavljuju ne samo sa snimcima već i sa gotovim podacima u nekom od javnih formata i u nekom od široko rasprostranjenih koordinatnih sistema.

Podatke prikupljene i klasifikovane primjenom digitalnih restitucionih fotogrametrijskih sistema, moguće je dalje obrađivati i u QGis, ArcGIS ili sličnim softverskim okruženjima prema definisanim tehnološkim procedurama. Na taj način je zaokružena digitalna tehnološka linija za razvoj GIS i stvorena osnova za digitalnu kartografsku produkciju topografskih karata.

LITERATURA

- [1] Drobnyak, S., Sekulović, D., Amović, M., Gigović, Lj., Regodić, M. (2016). Central geospatial database analysis of the quality of road infrastructure data, Geodetski vestnik Vol. 60, No. 2, Slovenija, 269-284
- [2] Gigović, LJ., Regodić, M. (2013) Primena metode višekriterijumskog odlučivanja u GIS-u, XL Simpozijum o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2013), Zlatibor, Srbija, 197-201
- [3] Marčeta, M. (2014). Prikupljanje informacija za izradu GIS-a metodama automatske digitalne fotogrametrije, (SINTEZA 2014), Beograd, 821-825
- [4] Pavlović, R., Čupković T., Marković M. (2001). Daljinska detekcija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- [5] Oluić, M. (2001). Snimanje i istraživanje Zemlje iz svemira, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Geosat, Zagreb.
- [6] Regodić, M. (2010). Primena satelitskih snimaka za dopunu sadržaja topografskih karata, Vojnotehnički glasnik br. 4, 63-85, Beograd.
- [7] <http://www.scribd.com/doc/112204030/41/VEKTORSKI-ILI-RASTERSKI-MODELI>
- [8] <https://www.scribd.com/document/256466467/Geografski-informacioni-sistemi>
- [9] <http://www.scribd.com/doc/47534392/Daljinska-Detekcija-RAD>



GIS- AHP KONCEPT ODLUČIVANJA NA PRIMERU PROCENE POGODNOSTI ZEMLJIŠTA ZA IZGRADNJU SAOBRAĆAJNOG KORIDORA

GIS-AHP CONCEPT OF DECISION ON AN EXAMPLE FOR LAND USE FOR BUILDING A TRAFFIC CORRIDOR

LJUBOMIR GIGOVIĆ¹, SINIŠA DROBNJAK², DRAGOLJUB SEKULOVIĆ³

¹ Vojna akademija, Univerzitet odbrane Beograd, gigoviclj@gmail.com

² Vojnogeografski institut, Beograd, sdrobnjak81@gmail.com

³ Fakultet za poslovne studije i pravo, Univerzitet Union-Nikola Tesla, Beograd, sekulovicdr@yahoo.co.uk

Rezime: U radu je prikazan koncept kombinovanja GIS-a i višekriterijumske tehnike za podršku u odlučivanju u cilju određivanja optimalne trase saobraćajnog koridora. Definisanje optimalne putanje podrazumeva rešavanje višekriterijumskog optimizacionog problema. Izabrani kriterijumi (reljef, namena zemljišta, blizina naselja itd.), koji utiču kao faktori na proces odabira optimalne trase, mogu se implementacijom, analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) u GIS-u, reprezentovati diskretnim vrednostima mrežnih ćelija raslojenim prema odabranim kriterijima, za koje se određuju težinski koeficijenti. Množenjem težinskog koeficijenta kriterijuma i odgovarajuće karte pogodnosti za taj kriterijum dobija se na rasterskom nivou "karta pogodnosti" za svaki kriterijum, da bi se na kraju objedinjavanjem svih karata došlo do konačne karte pogodnosti. Ovakve analize omogućavaju planerima i donosiocima odluka na lokalnom, regionalnom i državnom nivou lakše donošenje odluka o prostoru gde je optimalno trasirati saobraćajnicu.

Cljučne reči: GIS, višekriterijumska analiza, AHP, koridor.

Abstract: The paper presents the concept of combining GIS and multi-criteria decision support techniques in order to determine the optimal route of the corridor. Defining an optimal path involves solving a multi-criteria optimization problem. The selected criteria (relief, land use, proximity to settlements, etc.), which influence the process of choosing an optimal route, can be represented by the implementation of the analytical hierarchical process (AHP) in GIS in the discrete values of network cells stratified according to the selected criteria which determine the weight coefficients. By multiplying the weight coefficient of the criteria and the corresponding benefits map for this criterion, a "map of benefits" for each criterion is obtained at the raster level, in order to eventually bring together the final card of benefits. Such analyzes enable planners and decision makers at local, regional and national levels to make easier decisions about the area where it is optimal to route the traffic.

Keywords: GIS, multi-criteria analysis, AHP, corridor

1. UVOD

Zahvaljujući unapređenju metodoloških i tehnoloških postupaka, danas je moguće sa visokim stepenom izvesnosti predvideti pozitivne i negativne efekte realizacije i projektovanja saobraćajnica i doneti pravovremene i optimalne odluke u pogledu izbora koridora, bezbednosti, ekoloških posledica, potrebnih finansijskih sredstava i drugog, na način da one osiguraju dobro povezivanje, ali istovremeno i da što manje ugrožavaju vrednosti prostora.

GIS snažan alat za rukovanje prostornim podacima, koji nudi velike mogućnosti za njihovo prikazivanje i analizu. Međutim, uočeno je da primena samo GIS-a nije dovoljna da obuhvati kompleksnost problema procene pogodnosti zemljišta za određivanje optimalne trase koridora. Ovo je moguće postići razvojem modela za valorizaciju pogodnosti zemljišta kombinovanjem GIS-a i nekih od višekriterijumskih alata za individualnu i grupnu primenu [1]. U kombinaciji sa GIS-om, od višekriterijumskih alata, u velikom broju slučajeva, koristi se Analitički hijerarhijski proces (AHP).

Analitički hijerarhijski proces (AHP) predstavlja jedan od najčešće korišćenih metoda višekriterijumske analize. Autor ideje i matematičke postavke AHP-a je Thomas Saaty [2]. AHP je do sada primenjivan raznim oblastima strateškog menadžmenta gde odluke imaju dalekosežan značaj i gde donosioci odluka rado biraju kvalitetnog i pouzdanog savetnika u fazi razmatranja uzročnih faktora i utvrđivanja njihovih efekata u odnosu



na postavljene ciljeve. Metodologija kombinovanja GIS-a i AHP-a [3-6] iskorišćena je u ovom radu za određivanje optimalne trase putne saobraćajnice na konkretnom test primeru, uzimajući u obzir reljef, ekspoziciju terena, visinsku dostupnost, fizički i biološki pokrivač zemljine površine i blizinu naselja. Kao rezultat ove metodologije dobijena je mapa "pogodnosti" koja uzima u obzir ograničenja koja se odnose na postavljene i vrednovane kriterijume i ciljeve.

2. METODOLOGIJA RADA

Metodološko model u ovom radu zasnovan je na prostornoj GIS-AHP strukturi. Sa metodološke tačke gledišta, predloženi GIS-AHP model obuhvata sledeće korake:

1. Definisavanje cilja/problema i arhitekture modela
 - identifikacija glavnog cilja
 - definisanje mrežne strukture modela
2. Identifikacija kriterijuma
3. Prikupljanje podataka i izgradnja GIS prostorne baze kriterijuma
4. GIS-AHP evaluacija
 - Individualno vrednovanje kriterijuma i unos u GIS
 - Standardizacija kriterijuma
 - Formiranje matrice odlučivanja i relativna procena težine kriterijuma (AHP)
 - Rezultati agregacije (WLC)
5. GIS vizuelizacija konačnog rešenja i preporuke

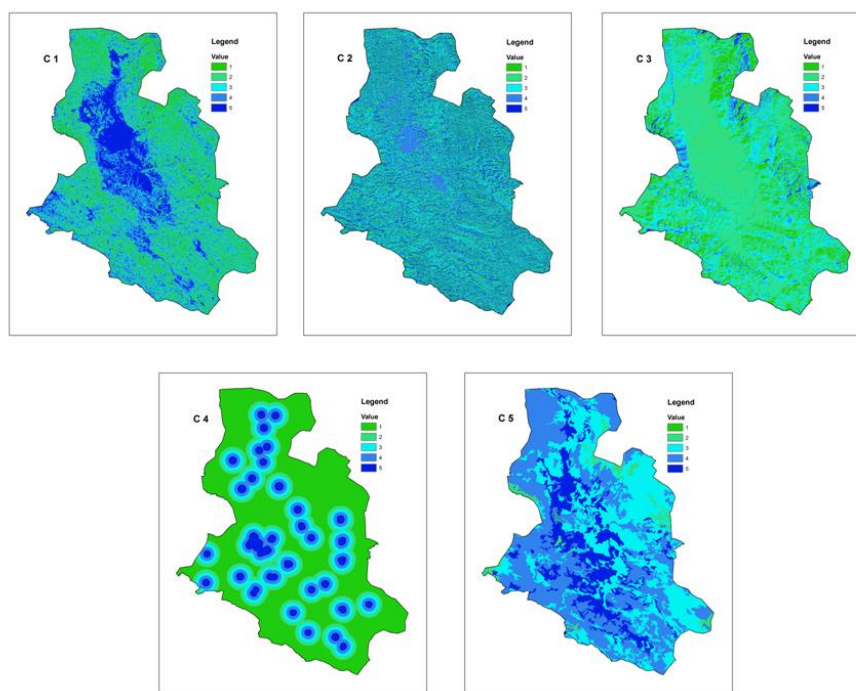
2.1. GIS-AHP

Nakon identifikacije problema - izgradnje trase saobraćajnog koridora, kao pogodan metod određen je AHP u kombinaciji sa GIS-om. Vezu AHP-a i GIS-a omogućila je ESRI aplikacija ArcGis desktop 9.3.1 sa skriptom Visual Basic makro extahp.dll [7]. U istraživačkom primeru identifikovano je pet geofaktora, koji utiču za proces izbora saobraćajnog koridora (Tabela 1).

Tabela 1: Osnovni faktori i njihova standardizacija

Kriterijum		Klasifikacija	Ocena	Izvor podataka
C1	Nagib ili pad terena	vrlo strmo zemljište preko 30%	1	Digitalni model terena (DTM).
		strmo zemljište od 10-30%	2	
		zemljište umerenog nagiba od 5-10%	3	
		zemljište malog nagiba od 2-5%,	4	
		ravno zemljište od 0-2%	5	
C2	Ekspozicije terena	Horizontal (veoma povoljno za poljoprivredu)	1	Digitalni model terena (DTM).
		Jug (povoljno za poljoprivredu)	2	
		Istok (slabije povoljno za poljoprivredu)	3	
		Zapad (slabije povoljno za poljoprivredu)	4	
		Sever (nepovoljno za poljoprivredu)	5	
C3	Visinska dostupnost	planinska zona (preko 700 m.n.v.)	1	Digitalni model terena (DTM).
		brdska zona (300 – 700 m.n.v.)	3	
		ravničarska zona (0 – 300 m.n.v.)	5	
C4	Prostorna dostupnost terena	veoma daleko od naselja, do 30 km	1	Buffer raster
		daleko od naselja, do 20 km	2	
		prihvatljivo daleko naselja, do 20km	3	
		blizu naselja, do 10 km	4	
		veoma blizu naselja, do 5 km	5	
C5	Pokrivač zemljine površine	močvare i vodne površine	1	CORINE Land Cover 2006
		poljoprivredne površine	2	
		šumska područja	3	
		polu prirodna i travnata područja	4	
		veštačke površine	5	

Ulazni podaci korišćeni u AHP analizi predstavljaju vrednosti odgovarajućih klasa terena prema utvrđenim kriterijima datim u Tabeli 1. Za podatke o tipovima korišćenja zemljišta upotrebljena je CORINE Land Cover 2012. Ostale mape (nagib, ekspozicije i visinska dostupnost) dobijeni su iz digitalnog modela terena (DTM) [8]. Sve vektorske mape povezane sa odabranim kriterijumima konvertovane su u rasterske mape rezolucije 30x30m. Raster je potom konvertovan u reklasifikovani raster za svaki kriterijum i definisanim klasama dodeljeni su skorovi (ocene) ν_k . Reklasiranje rasterskih mapa vršeno je se softverskim alatom *Reclass* u okviru ArcGIS-a aplikacije, gde su se rasterske ćelije klasifikovale i grupisale prema unapred zadatim vrednostima klase iz Tabele 1. Usvojena skala ocenjivanja od 1 do 5 je arbitrarna i nije ni u kakvoj vezi sa Satijevom skalom. Dobijene reklasifikovane mape na ovaj način su pretvorene u operativnu rastersku podlogu za primenu AHP-a (Slika 1).



Slika 1: Mape standardizovanih kriterijuma

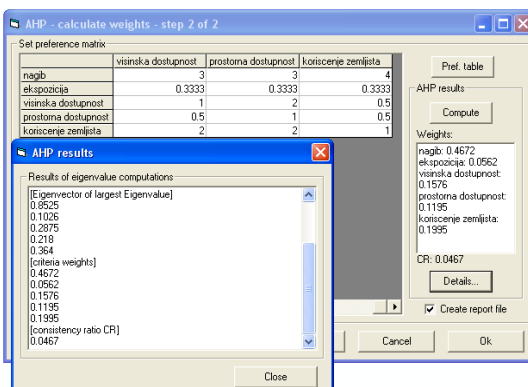
Formiranje matrice odlučivanja i evaluacija prostornih kriterijuma izvršena je implementacijom makro *extahp.dll* (AHP) u softverski paket Arc GIS 9.3.1. Pokretanje AHP modula formira se matrica poređenja kriterijuma. Ovu matricu popunjava ekspert međusobnim poređenjem kriterijuma u parovima u AHP smislu, korišćenjem Satijeve skale [2]. Vrednovanje kriterijuma je u radu izvršeno nakon konsenzusa autora rada. Matrice poređenja i težinske vrednosti elemenata korišćene u datom primeru prikazane su na Tabeli 2.

Tabela 2: Poređenje kriterijuma (C_1 - C_5) u odnosu na cilj

	C1	C2	C3	C4	C5	w
C1	1	6	3	3	4	0.4672
C2	0.1667	1	0.333	0.3333	0.3333	0.0562
C3	0.3333	3	1	2	0.5	0.1576
C4	0.3333	3	0.5	1	0.5	0.1195
C5	0.25	3	2	2	1	0.1995

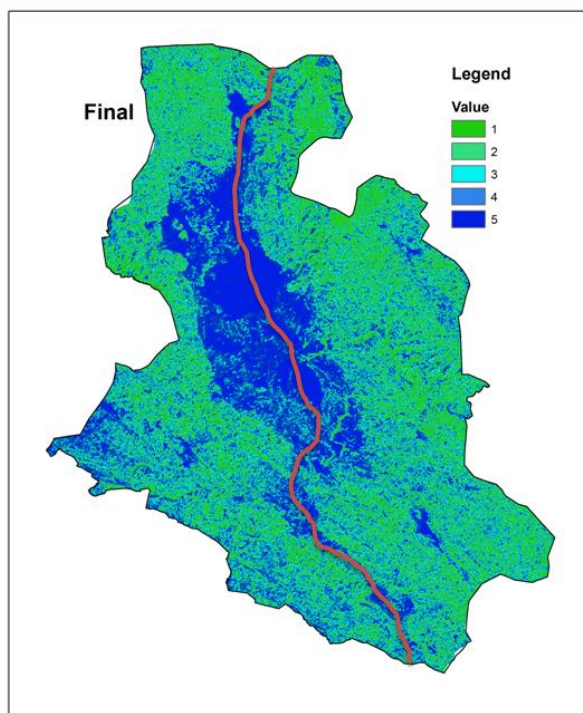
Posle unošenja vrednosti iz Satijeve skale u matricu poređenja, izračunavaju se težinske vrednosti kriterijuma. Modul izračunava i konzistentnost. Ovde je $CR=0,0467$, što znači da je konzistentnost zadovoljena

(preporučeno $CR < 0,1$) [2]. Dobijene vrednosti težine kriterijuma i konzistentnosti, u primeru, pomoću modula AHP date su na Slici 2.



Slika 2: Modul AHP u okviru ArcGIS aplikacije

Na bazi usvojenih kriterijuma (pad, ekspozicije terena, visinska dostupnost terena, prostorna dostupnost terena, fizički i biološki pokrivač zemljine površine), dobijena je konačna mapa koja je dalje reklasifikovana u 5 klasa, Slika 3. Plavom bojom (označena u Legendi brojem 5) je obeleženo zemljište koje je najpogodnije za trasiranje koridora, a zelenom (oznaka 1), ono koje je najmanje pogodno. Boje između plave i zelene predstavljaju zemljište čija je pogodnost između najbolje i najgore.



Slika 3: Konačna mapa pogodnosti sa predloženim koridorom

Iz analize konačne mape potencijalne trase saobraćajnice, jasno se uočava da bi se optimalna trasa saobraćajnice, prvacem sever-jug, prostirala centralnim delom test područja (Slika 3).



3. ZAKLJUČAK

U radu je u cilju određivanja saobraćajnog koridora primenjena kombinacija višekriterijumskog metoda AHP i softvera za upravljanje prostornim podacima, ArcGIS 9.3.1. Veza ova dva alata omogućena je preko makroa extahp.dll, napisanog u Visual Basic-u. Primena kombinacije GIS-a i AHP-a, izvedena na test području, pokazala se uspešnom i opravdanom, jer je geografski definisala zemljište koje je najpogodnije za izgradnju koridora na bazi pet datih kriterijuma: pad, ekspozicije terena, visinska dostupnost terena, prostorna dostupnost terena, fizički i biološki pokrivač zemljine površine. Kao rezultat istraživanja, proizveden kombinovanjem reklasifikovane AHP-GIS mape pogodnosti, dobijena je finalna mapa pogodnosti za izgradnju optimalne trase koridora na test području.

Autori rada smatraju da je prikazana metodologija, neophodna, ali ne i potpuna da bi doneta odluka o konačnom definisanju saobraćajnice bila primenljiva u realnim uslovima. Konačna odluka zahteva sagledavanje i dodatnih, pre svega, društvenih i tehnoeekonomskih faktora. Stoga u cilju konačnog opredeljenja donosioca odluka, neophodno je izvršiti identifikacija vlasničkog statusa predloženih lokaliteta, utvrditi korisnike prostora koji mogu biti pogođeni izgradnjom putne trase (u pozitivnom ili negativnom smislu), utvrditi cenu zemljišta, zakonom zaštićene prostore, itd. Svi ovi faktori, imajuće dodatnu ulogu u izboru najpogodnijeg rešenja.

Izbor optimalne trase putne saobraćajnice, primenom GIS-AHP predstavlja model koji je moguće primeniti i u drugim oblastima sa sličnim prirodnim karakteristikama. Preporuka je da sa AHP metodologijom treba nastaviti.

LITERATURA

- [1] Malczewski, J. T. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature, *International Journal of Geographical Information Science*, Volume 20 (7), 703-726.
- [2] T.L. Saaty. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, 287.
- [3] Siddayao, G.P., Valdez, S.E., Fernandez, P.L. (2014). Analytic hierarchy process (AHP) in spatial modeling for flood plain risk assessment. *Int. J. Mach. Learn. Comput.* 4 (5), 450.
- [4] Dai, F. C., Lee, C. F., Zhang, X. H. (2011). GIS- based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study, *Engineering Geology*, Volume 61 (4), 257-271.
- [5] Chakraborty, A. Joshi, P. K. (2014). Mapping disaster vulnerability in India using analytical hierarchy process. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7, 20, 308-325.
- [6] M. Ghamgosar, M. Haghyghy, F. Mehrdoust and N. Arshad (2011). Multicriteria, Decision Making Based on Analytical Hierarchy Process (AHP) in GIS for Tourism. *Middle-East Journal of Scientific Research* 10 (4): 501-507.
- [7] Marinoni, O. (2004). Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS, *Computers and Geosciences*, Volume 30 (6), 637-646.
- [8] Gigović, LJ. (2010). Digitalni modeli visina i njihova primena u vojnoj analizi terena, *Vojnotehnički glasnik br.2*, 165-177.



DIGITALNI MODELI TERENA KAO PODLOGA ZA GEOMORFOMETRIJSKU ANALIZU U GIS OKRUŽENJU

GIS BASED DIGITAL TERRAIN MODELS AS A BASIS FOR GEOMORPHOMETRIC ANALYSIS

STANISLAVA BOSIOČIĆ¹, NEBOJŠA BOSIOČIĆ², MIODRAG KOSTIĆ³

¹ Geodetska tehnička škola, Beograd, stanislava98@gmail.com

² Ministarstvo odbrane, Beograd, nebojsa057@gmail.com

³ Vojska Srbije, Beograd, kmiodrag@ikomline.net

Rezime: Geomorfometrijska analiza u GIS okruženju je danas često korišćena analiza reljefnih formi područja od interesa. Ona se bazira na digitalnom modelu terena (DMT) i geomorfološkim parametrima koji se mogu izvesti iz matematičkog modela površi. U ovom radu opisana je metoda puluautomatske klasifikacije zemljišnih oblika (superevised landform classification). Za primenu metode osim DMT u radu su korišćeni parametri: nagib zemljišta i topografski pozicioni indeks (TPI) sa modelima susedstva. Rezultati su pokazali da se na području od interesa nalaze različite morfografske kategorije reljefa. Rezultati analize rađeni za područje dela opštine Novi Pazar potvrđuju da se metoda može koristiti u postupku klasifikacije reljefa.

Ključne reči: Geografski informacioni sistemi (GIS), DMT, geomorfometrijski parametri.

Abstract: GIS based geomorphometric analysis is often used today to analyze the relief forms of the area of interest. It is based on the digital terrain model (DMT) and geomorphological parameters that can be derived from the mathematical model of the surface. In this paper we describe the method of superevised landform classification. For the application of the method other than DMT, the parameters are used: the slope and the Topographic Position Index (TPI) with neighborhood models. The results showed that there are different morphographic categories of relief in the area of interest. The results of the analysis performed for the area of the Novi Pazar municipality confirm that the method can be used in the method of classification of the relief.

Keywords: Geographical Information Systems (GIS), DMT, geomorphometric parameters.

1. UVOD

Zadatak Geografskih informacionih sistema (GIS) je analiza prostornih podataka sa ciljem dobijanja novih informacija i podataka iz već dostupnih podataka terenskih merenja. Danas, razvojem daljinske detekcije i uspostavljanjem web-gis portala kojim državne institucije omogućavaju korisnicima dostupnost informacija o prostoru, mogućnosti gis analiza su se povećale. Osim mogućnosti povećala se i potreba ovakvih gis analiza, pa su tako analize postale neophodni korak u praćenju i planiranju radova kao što su: praćenje potencijalnih rizika od prirodnih hazarda (poplave, suše, oluje), procena geoloških hazarda (zemljotresi, vulkanske erupcije, geomorfološki procesi - klizišta, odroni, erozija površinskih voda), prostorno planiranje razvoja gradova, projekti za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora (mini hidroelektrane, vetroparkovi, solarne ćelije), praćenje promene načina korišćenja zemljišta, ekološke analize, pedološke analize, virtualne simulacije vojnih operacija, praćenje klimatskih promena i drugo.

Iz digitalnog modela terena (DMT), kao matematičkog modela stvarne površi terena (reljefa terena) mogu se izvesti primarni i sekundarni morfometrijski parametri. S obzirom da su parametri izvedeni rezultati iz DMT potrebno je voditi računa da sami ulazni podaci tj. DMT bude potrebne tačnosti. Na tačnost samog DMT utiču podaci merenja i odabrana metoda interpolacije. Podaci o tačkama koje reprezentuju reljef, sakupljaju se na terenu različitim geodetskim metodama. Podaci o prikupljenim visinama tačaka služe za matematičko modeliranje i imaju specifičnu tačnost i raspodelu. Primenom interpolacionih metoda dobijaju se podaci o DMT i samim tim i kvantitativni podaci o reljefu (visine, nagibi, ekspozicije itd.).

Geomorfometrijski podaci predstavljaju rezultat kvantitativne geomorfološke analize reljefa. Veliki je broj parametara, koji definišu neko svojstvo geomorfoloških procesa i oblika reljefa. Broj mogućnosti njihove obrade i interpretacije je takođe velik (Marković *et al.* 2003). Za računanje pojedinih parametara različiti autori

predlažu različite matematičke formule. Tako da izbor parametara zavisi od specifičnosti potrebne prostorne analize (geomorfološka, hidrološka, pedološka i drugo). Za geomorfološku analizu obično se koriste sledeći parametri: nagib padine, ekspozicija padine, planarna i profilna zakrivljenost, energija reljefa, gustina drenaže, analiza erozionog materijala, analiza hidrauličkog gradijenta i drugo. Takođe u postupku definisanja izgleda reljefa u prostornim analizama različite namene, mogu se koristiti i sledeći indeksi: The Stream Power Index (SPI), Topographic Position Index (TPI), Topographic wetness Index (TWI).

Proces kvantitativne analize reljefa poznat je i pod nazivom digitalna geomorfometrija, digitalna analiza reljefa - digital terrain analysis ili digitalno modeliranje reljefa - digital terrain modeling (Li *et al.* 2005). Digitalno modeliranje reljefa se definiše kao postupak izrade i analize digitalnog modela reljefa u čijoj je osnovi proces matematičkog modeliranja. Kvantitativne geomorfološke analize reljefa koristi znanja nekoliko naučnih disciplina: geonauka, primenjenih inženjerskih nauka, matematike, statistike, računarske tehnike i dr.

2. GEOMORFOMETRIJSKA ANALIZA

Pod geomorfometrijskom analizom podrazumeva se postupak izbora, računanja, analize i vizuelne prezentacije geomorfometrijskih parametara koji će omogućiti prostornu analizu i dobijanje potrebnih informacija o reljefu. Različiti autori predlažu različite postupke analize i definišu različite parametre.

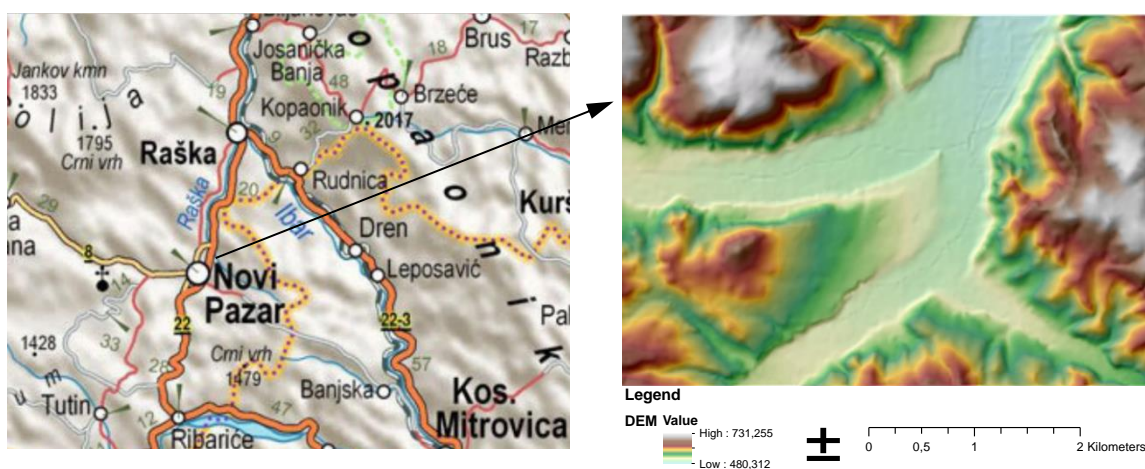
Prostorna analiza terena sa stanovišta izdvajanja morfometrijskih kategorija reljefa spada u grupu često korišćenih metoda morfometrijske analize i za tu svrhu postoji veći broj metoda. Nastanak ovih metoda prostorne analize je prevashodno omogućen razvojem daljinske detekcije i ostalih savremenih geodetskih metoda koje obezbeđuju dobijanje visinskih podataka o prostoru u digitalnoj formi. Zatim, sa napretkom kompjuterske tehnologije, geostatistike, razvili su se metode koje potenciraju razvoj kompjuterskih algoritama za računanje (izdvajanje) različitih geomorfoloških svojstava reljefa.

Sve geomorfometrijske analize počinju sa kreiranjem digitalnog modela terena (DMT). U zavisnosti od tačnosti ulaznih podataka i odabrane metode interpolacije dobija se DMT određene veličine piksela. Pritom DMT predstavlja matematičku funkciju koja aproksimira reljef, a geomorfometrijski parametri se primenom određenih matematičkih formula izračunavaju na osnovu DMT (predstavljaju izvedene veličine iz DMT).

U ovom radu u svrhu geomorfometrijske analize i izdvajanja morfografskih kategorija reljefa na proučavanom području, biće obrađena dva parametra: nagib reljefa i topografski pozicioni indeks, na osnovu kojih će posle biti sproveden postupak poluautomatske klasifikacije zemljišnih oblika.

3. EKSPERIMENT

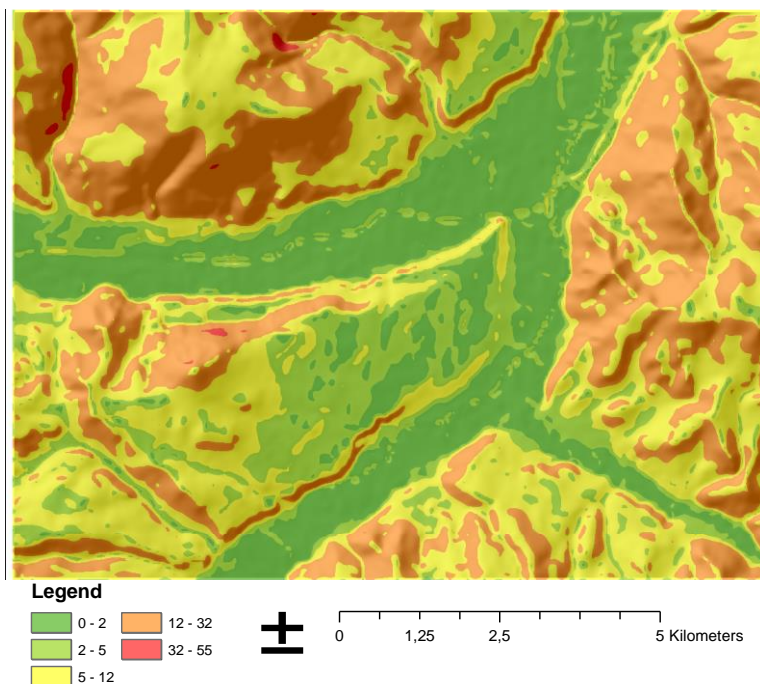
U ovom radu za test područje su bili na raspolaganju podaci za deo opštine Novi Pazar (samo naselje Novi Pazar) u oblasti doline reke Raške, veličine 5,125km x 3,525km. Izabrani prostor poseduje raznolike morfometrijske karakteristike zemljišta (niskoplaninski, brdski i ravničarski reljef sa dolinom reke Raške).



Slika 1: Novi Pazar položaj na karti Srbije i DMT naselja Novi Pazar

Ako se područje posmatra u visinskom smislu, može se reći da se ono sastoji od ravnih delova terena i strmijih oblasti tj. područje je umerene složenosti geomorfometrijskih formi terena. Prosečni nagib je 16%, prosečna nadmorska visina je 573 metara (Bosiočić, 2016).

Od ulaznih podataka u formi grida i primenom metode interpolacije kriging, u programu ArcGIS 10 kreiran je DMT veličine piksela 14,1m. Centralni deo područja zauzima velika dolina nadmorske visine oko 480 metara koja je okružena sa četiri veća uzvišenja do 730 metara nadmorske visine (Slika 1).



Broj	Ugao nagiba (°)	Površina (km ²)	Udeo u ukupnoj površini (%)	Kategorija nagiba reljefa
1	0-2	3,27	18	zaravnjen teren
2	2-5	2,76	15	blago nagnut teren
3	5-12	6,07	33	nagnut teren
4	12-32	5,50	30	znatno nagnut teren
5	32-55	0,50	3	veoma strme padine
6	>55	0,05	0	litice
UKUPNO		18,16	100	

Slika 2: Vrednosti pojedinih kategorija uglova nagiba reljefa proučavanog prostora

Nagib zemljišta

Na proučavanom području, prilikom analize vrednosti uglova nagiba terena, izdvojeno je šest kategorija. (Slika 2). Na istraživanom području nagibi su zastupljeni u 5 osnovnih kategorija reljefa: 0-2°, 2-5°, 5-12°, 12-32°, 32-55°. Reljef nagiba višeg od 55° nije zastupljen. Nagibi proučavanog područja u velikoj meri oslikavaju morfostrukturne osobine reljefa. Najveći deo područja nalazi se pod nagibom kategorija 3 i 4, tj nagnut i znatno nagnut teren.

Topografski pozicioni indeks

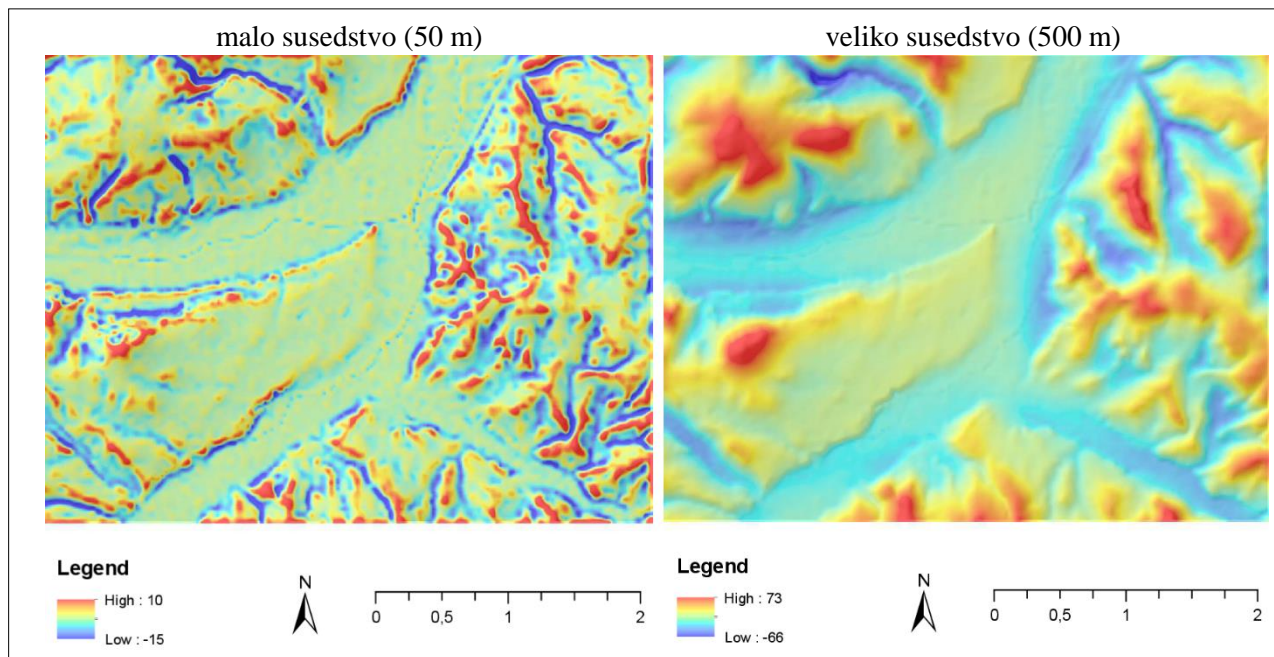
Korišćenje topografskog pozicionog indeksa (TPI) za izdvajanje morfografskih kategorija reljefa razvijeno je kao metod od strane Endrju Vejsa (Weiss, 2001), a kasnije je metod dopunjen u vidu računarske ekstenzije za ArcGIS od strane Džefa Dženesa (Jenness, 2013). Poluautomatska metoda klasifikacije zemljišnih oblika, koja koristi TPI parametare zajedno sa parametrom nagiba, pruža jednostavno sredstvo za klasifikaciju prostora u različite morfografske klase.

Topografski pozicioni indeks predstavlja razliku između nadmorske visine ćelije (piksela) i prosečne nadmorske visine ćelija u posmatranoj okolini (susedstvu). Pozitivne vrednosti indeksa ukazuju na to da je ćelija viša u odnosu na susedne ćelije, a negativne vrednosti ukazuju da je ćelija niža u odnosu na susedne ćelije. TPI vrednosti blizu nule označavaju ćeliju na ravnoj površini ili na padini srednje vrednosti nagiba terena. U zavisnosti od veličine TPI mogu se izdvojiti osnovni zemljišni oblici: doline, vrhovi, terase, jaruge, zaravni, grebeni, padine i dr.

Za dobijanje relevantnih rezultata analize od ključnog je značaja izbor veličine i oblik susedstva, koji treba da su srazmerni veličini reljefnog oblika koji se analizira. Najčešće korišćeni oblik susedstva je kružni oblik, mada se mogu koristiti i kvadratni, pravougaoni, prstenasti i oblik kružnog isečka. Za klasifikaciju malih

oblika, kao što su mali vodotoci ili mala uzvišenja, koristi se malo kružno susedstvo, a za klasifikaciju većih kanjona, dolina i planinskih visoravni koristi se veliko kružno susedstvo. Izbor veličine „ispravnog“ susedstva je proces u kome se isprobava nekoliko opcija dok se ne odabere najkorisnija veličina (Golijanin, 2015).

U ovom radu u postupku klasifikacije zemljišnih oblika, sračunati su TPI parametri za susedstva od 50m i 500m. Ovim postupkom mogu se izdvojiti jednostavniji zemljišni oblici: doline, planinski vrhovi i srednji nagibi (Slika 3). Na slici na kojoj je prikazano malo susedstvo (50m), jasno se uočavaju manji morfometrijski elementi reljefa. Pa tako područja sa niskim TPI indeksom – tamno plave boje, predstavljaju manje udoline, jaruge, potoke, a tamno crvenom bojom su predstavljeni planinski vrhovi i visoki grebeni. Na slici na kojoj je predstavljeno veliko susedstvo (500m) se uočavaju velike doline predstavljene svetlom i tamno plavom bojom (područja male vrednosti TPI) i veliki planinski lanci (predstavljene tamno crvenom bojom (područja velike vrednosti TPI).



Slika 3: TPI grid proučavanog područja za malo susedstvo (radijus 50m) i veliko susedstvo (radijus 500m)

4. ANALIZA REZULTATA

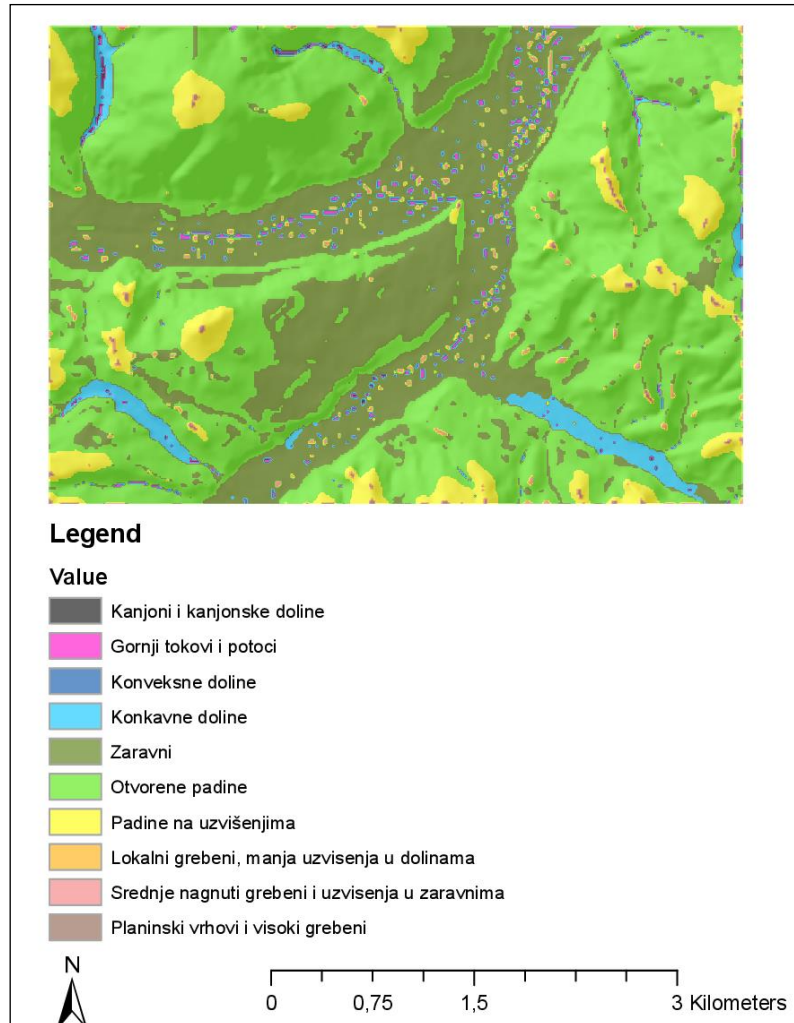
Za klasifikaciju zemljišnih formi i izdvajanje morfografskih oblika reljefa, u predloženoj metodi koristi se kombinacija TPI parametra malog susedstva, velikog susedstva i nagiba (tabela 1). Time se omogućava da se tačkama koje u jednom susedstvu imaju negativnu vrednost, a u drugom pozitivnu dodeli adekvatna zemljišna forma.

Tako na primer tačka sa pozitivnom vrednošću TPI u malom susedstvu i negativnom vrednošću TPI u velikom susedstvu verovatno predstavlja malo brdo ili greben u većoj dolini. Nasuprot tome tačka sa negativnom vrednošću TPI u malom susedstvu i pozitivnom vrednošću TPI u velikom susedstvu verovatno predstavlja malu dolinu (zaravan) na većem vrhu uzvišenja (Tagil and Jenness 2008).

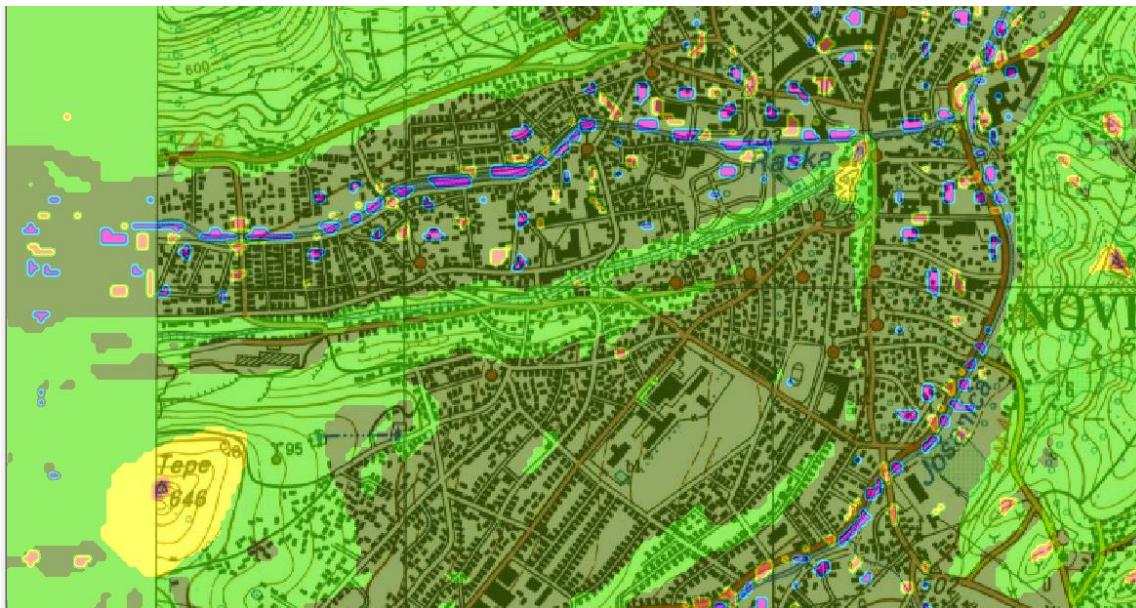
Tabela 1: Opis reljefnih klasa (Weiss, 2001).

Klasifikacija morfografskih oblika	TPI - malo susedstvo (50 m)	TPI -veliko susedstvo (500 m)	ugao nagiba
Kanjoni i kanjonske doline	$TPI \leq -1$ st. dev.	$TPI \leq -1$ st. dev.	
Gornji tokovi, brazde i potoci	$TPI \leq -1$ st. dev.	-1 st. dev. < $TPI < 1$ st. dev.	
Konveksne doline (V forma)	$TPI \leq -1$ st. dev.	$TPI \geq 1$ st. dev.	
Konkavne doline (U forma)	-1 st. dev. < $TPI < 1$ st. dev.	$TPI \leq -1$ st. dev.	
Zaravni	-1 st. dev. < $TPI < 1$ st. dev.	-1 st. dev. < $TPI < 1$ st. dev.	< 6°

Otvorene padine	-1 st. dev. < TPI < 1 st. dev.	-1 st. dev. < TPI < 1 st. dev.	$\geq 6^\circ$
Padine na uzvišenjima	-1 st. dev. < TPI < 1 st. dev.	TPI ≥ 1 st. dev.	
Lokalni grebeni, manja uzvišenja u dolinama	TPI ≥ 1 st. dev.	TPI ≤ -1 st. dev.	
Grebeni srednjeg nagiba i uzvišenja u zaravnima	TPI ≥ 1 st. dev.	-1 st. dev. < TPI < 1 st. dev.	
Planinski vrhovi i grebeni	TPI ≥ 1 st. dev.	TPI ≥ 1 st. dev.	



Slika 4: Rezultat klasifikacije zemljišnih formi



Slika 5: Poređenje rezultata klasifikacije zemljišnih formi naselja Novi Pazar sa georeferenciranom topografskom kartom 1:25000

Kao rezultat klasifikacije na slici 4 se može uočiti u središnjem delu oblasti velika zaravan, koja se račva na dva dela i na kojoj se uočavaju dva vodena toka. Zaravan je okružena, otvorenim padinama i padinama sa uzvišenjima. Uočavaju se planinski vrhovi i visoki grebeni.

Kao kontrola klasifikacije zemljišnih formi, izvršeno je poređenje dobijenih rezultati sa zemljišnim oblicima koji se mogu uočiti na georeferenciranoj topografskoj karti 1:25000 (Slika 5).

5. ZAKLJUČAK

Nameće se zaključak da je poluautomatskom metodom klasifikacije moguće izdvojiti osnovne reljefne oblike, što pokazuje analiza poređenja rezultata klasifikacije sa georeferenciranom topografskom kartom. S obzirom da metoda nije uspeła da prepozna sve reljefne oblike u potpunosti (rečni tok je dobijen kao isprekidana linija), predlog je da se pokuša poboljšanje klasifikacija tako što će se koristiti druge vrednosti malog i velikog susedstva ili da se u analizu uključe još neki geomorfometrijski parametri, na primer horizontalna i vertikalna zakrivljenost. Takođe, veća rezolucija DMT bi doprinela poboljšanju rezultata klasifikacije. Rezultati dobijeni ovim istraživanjem su primenljivi i mogu se koristiti u funkciji planiranja objektivnih mogućnosti za razvoj poljoprivrede, šumarstva, turističkih kapaciteta zasnovanih na prirodnim potencijalima i drugo.

LITERATURA

- [1] Bosiočić, S. (2016). Primena interpolacije Čebiševljevim polinomima u obradi digitalnih podataka visinske predstave terena. Magistarski rad, Građevinski fakultet, Univerziteta u Beogradu.
- [2] Golijanin, J. (2015). Geoekološka evaluacija prirodnih potencijala ravne planine i paljanske kotline u funkciji održivog razvoja. Doktorska disertacija, Geografski fakultet, Univerziteta u Beogradu.
- [3] Jenness, J., Brost, B., & Beier, P. (2013). MANUAL: Land Facet Corridor Designer. corridor-design.org.
- [4] Li, Z., Qing, Z., Gold, C. (2005): Digital Terrain Modeling Principles and Methodology, CRC Press.
- [5] Marković, M., Pavlović, R., Čupković, T.(2003). Geomorfologija. Beograd: Rudarsko-geološki fakultet.
- [6] Tagil, S., Jenness, J., 2008: GIS-Based Automated Landform Classification and Topographic, Land Cover and Geologic Attributes of Landforms Around the Yazoren Polje – Turkey. Asian Network for Scientific Information, Journal of Applied Sciences 8 (6), pp 910-921.



- [7] Weiss, A. (2001). Topographic position and landforms analysis, in: Poster Presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA. pp. 227–245. doi:http://www.jennessent.com/downloads/TPI-poster-TNC_18x22.pdf.



PODRŠKA GIS U PROCENI VREDNOSTI NEPOKRETNOSTI

ASSISTANCE OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM IN REAL ESTATE APPRASIAL

ALEKSANDAR ILIĆ¹, ZORAN STOJANOVIĆ², ZORAN SRDIĆ³

¹ Ministarstvo odbrane, Beograd, aleksandar.ilic@mod.gov.rs

² Republički geodetski zavod, Beograd, stojke034@vgmail.com

³ Vojska Srbije, Beograd, zoran.srdic@vs.rs

Rezime: Upravljanje i promet nepokretnostima je veoma značajan resurs svake države u ekonomskom i socijalnom smislu. Geografski informacioni sistemi omogućavaju vizuelizaciju, analizu i izvođenje zaključaka o nepokretnostima u geoprostornom kontekstu. Prostorna komponenta podataka omogućuje obučenom analitičaru ili čak običnom posmatraču da uoči važne odnose između različitih tipova podataka koji su inače manje vidljivi i da donese relevantnu odluku. Podrška GIS u kombinaciji sa standardizovanim metodama i statističkim testiranjem doprinosi kvalitetnijoj masovnoj i pojedinačnoj proceni vrednosti nepokretnosti.

Ključne reči: Geografski informacioni sistemi (GIS), nepokretnosti, procena vrednosti nepokretnosti.

Abstract: Management and real estate transactions is a very important resource of every state in the economic and social sense. Geographic information systems enable the visualization, analysis and execution of real estate conclusions in a geospatial context. A spatial data component allows a trained analyst or even an ordinary observer to notice important relationships between different types of data that are otherwise less visible and to make a relevant decision. GIS support in combination with standardized methods and statistical testing contributes to more quality mass and individual assessment of the value of the real estate.

Keywords: Geographical Information Systems (GIS), real estate, valuation of real estate.

1. UVOD

Nepokretnost je fizički pojam i čini ga zemljište sa svim što je prirodni deo tog zemljišta i sve što je izgrađeno na tom istom zemljištu. Razlog leži i činjenici da je svaka nepokretnost vrednost za sebe, vrlo teško je utvrditi sve faktore koji utiču na vrednost nepokretnosti, još teže odrediti težinu svakog faktora, pri čemu treba imati u vidu vremensku epohu na koju se procena odnosi. Procena vrednosti nepokretnosti je i nauka i veština, a procenitelj mora posedovati znanje, veštinu, iskustvo, psihološku stabilnost, informacije, sposobnost anticipacije, percepcije i intuicije. Procena vrednosti nepokretnosti je složen i nikada do kraja definisan proces koji se koristi za potrebe prometa, oporezivanja, osiguranja, sudskih sporova, uspostavljanja hipoteke, finansijskog izveštavanja, i sl.

Tržišna vrednost je ključni pojam u procesu procene vrednosti i predstavlja očekivanu informaciju o ceni koja uspostavlja obligacioni odnos između prodavca i kupca. To je najbolja cena koju prodavac u razumnim uslovima može dostići i najpovoljnija razumna cena koju kupac može dobiti. Prema međunarodnim standardima za procenu vrednosti tržišna vrednost je „procenjeni iznos za koji se imovina može razmeniti na dan procene vrednosti, između voljnog kupca i voljnog prodavca, među nepovezanim i nezavisnim stranama, posle odgovarajućeg marketinga, pri čemu obe strane poseduju dovoljno informacija, znanja i deluju obazrivo i bez prinude“. „Procenjeni iznos“ predstavlja cenu koja je izražena u novcu a koji je plativ za nepokretnost u poštenoj, dobrovoljnoj i tržišnoj transakciji. „Dan procene“ opisuje datum na koji je vrednost procenjena, „voljni kupac“ i „voljni prodavac“ predstavljaju hipotetičkog kupca i hipotetičkog prodavca koji su motivisani na transakciju po trenutnim tržišnim uslovima. Tržišna vrednost je ključni pojam u procesu procene vrednosti i predstavlja očekivanu informaciju o ceni koja uspostavlja obligacioni odnos između prodavca i kupca.

Savremeni pristup u proceni vrednosti nepokretnosti podrazumeva primenu analitičkih tehnika u proceni baziranih na uslovno rečeno proizvodnom kapacitetu nepokretnosti. Proces procene vrednosti sprovodi se transparentno u uslovima potpuno informisanih zainteresovanih strana, uz racionalno ponašanje svih aktera

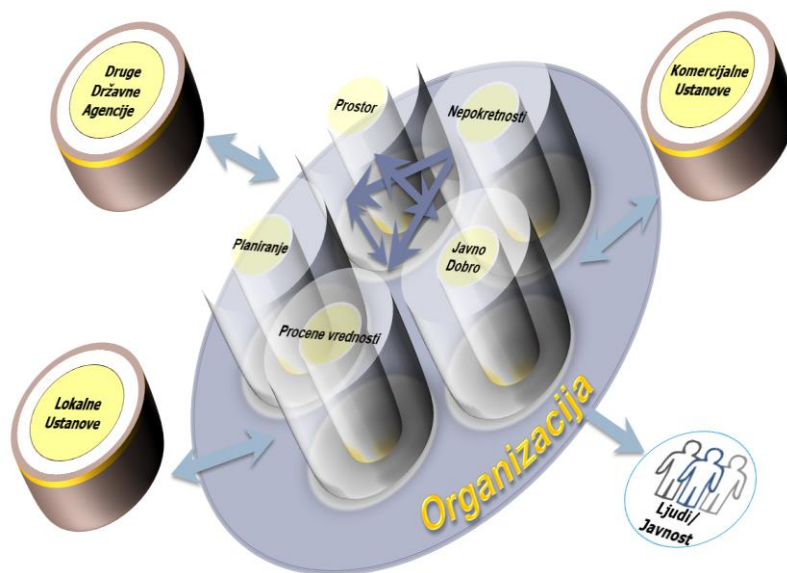
procene i prometa nepokretnosti. Primena geografskog informacionog sistema (GIS) u proceni vrednosti nepokretnosti čini taj proces efikasnijim, ekonomičnijim, efektivnijim i transparentnijim.

2. PRIMENA GIS-A U PROCENI VREDNOSTI NEPOKRETNOSTI

Pri izradi procene vrednosti nepokretnosti ključna aktivnost je prikupljanje validnih i relevantnih podataka u razumnom vremenskom roku. Prilikom izrade procene vrednosti nepokretnosti potrebno je uočiti i analizirati dva osnovna tipa podataka i to: prostorne i alfanumeričke podatke. Ovi podaci se nalaze u različitim izvorima podataka, te se javlja potreba za GIS-om kao ključnim sistemom za integraciju pomenutih podataka u jednu celinu. Organizacioni model podrške GIS u proceni vrednosti nepokretnosti prikazan je na Slici 1.

Prilikom izrade procene, potrebno je obezbediti, odnosno prikupljati podatke iz više izvora:

1. Podaci iz zvaničnih izvora – podaci iz evidencija o nepokretnostima, podaci o prometu nepokretnosti i određivanju poreza, statistički podaci, podaci Narodne banke Srbije, podaci Nacionalne korporacije za osiguranje depozita,
2. Podaci iz ličnih baza podataka procenitelja i akreditovanih udruženja,
3. Prostorni podaci sa Interneta - Geografski informacioni sistem (GIS), Geo Srbija, Katastar nepokretnosti,
4. Podaci iz Direkcija za građevinsko zemljište – GIS Beograda i cene postignute na javnim konkursima, zaključeni sporazumi u postupcima eksproprijacije, troškovi pripremanja i opremanja lokacija, ranije urađene studije, investicioni programi i analize, bilansi lokacija,
5. Nacionalna infrastruktura geoprostornih podataka - Projekat NIGP
6. Katastar nepokretnosti preko Interneta – KnWeb,
7. GPS sistem globalnog pozicioniranja preko satelita.



Slika 1: Organizacioni model kod procene vrednosti nepokretnosti



3. IMPLEMENTACIJA PROCESA PROCENE VREDNOSTI NEPOKRETNOSTI KROZ GIS SOFTVER

Konkretno idejno rešenje implementacije procesa procene vrednosti nepokretnosti kroz GIS softver podrazumeva korišćenje softvera koji komunicira sa prostornom bazom podataka. Prednosti navedenog pristupa su sledeće: GIS softver podržava veliki broj formata podataka, omogućava kompleksne analize geopodataka, omogućava manipulaciju veoma velike količine podataka, poseduje veliki broj alata za editovanje i vizualizaciju vektorskih i rasterskih podataka, omogućava konverzije između različitih formata podataka i još mnogo toga.

Prilikom kreiranja projekta procene vrednosti kroz GIS neophodno je formulisati okvir podataka koji je univerzalan za većinu GIS primena. U osnovni set podataka spadaju sledeći podaci:

1. Podaci katastarsa nepokretnosti,
2. Registar prostornih jedinica,
3. Adresni registar,
4. Registar stambenih zajednica,
5. Planska dokumentacija (prostorni i urbanistički planovi),
6. Registar ostvarenih prometa,
7. Podaci Narodne banke Srbije,
8. Podaci Google maps, Open street maps, Google Earth,
9. Drugi relevantni podaci (georeferencirani rasteri, planovi i sl.).

Nakon formiranja osnovnog seta podataka neophodno je pristupiti formiranju setova podataka "promet" i "procena". Setovi podataka "promet" i "procena" se odnose na parcele, objekte i posebne delove objekata koji su predmet procene. Izlazni podaci na osnovu pomenutih setova podataka dobijaju se u obliku izveštaja, analiza i studija u zavisnosti od kompleksnosti konkretnog slučaja.

U Tabeli 1 prikazani su rezultati analize komparativa za građevinsko zemljište u naselju Barič, opština Obrenovac, prikupljeni uz podršku GIS-a i korišćeni za izračunavanje procenjene tržišne vrednosti predmetne nepokretnosti.

Tabela 1: Matrica komparativa

STAVKA	Komparativni podaci		
	C 1	C 2	C 3
Lokacija (katastarske parcele)	k.p. 2668/3, k.p. 2670/2, KO Barič, Obrenovac	k.p.256/1, k.p 256/2, k.p.256/6, k.p. 256/9, KO Barič, Obrenovac	k.p. 260/1, k.p. 260/2, k.p.260/6, KO Barič, Obrenovac
Ukupna površina (ar)	7,75	134,95	38,36
Kupoprodajna cena (eur)	10.850	120.000	38.360
Konačna jedinična cena (eur)	100% 10.850	100% 120.000	100% 38.360
Jedinična cena (eur/ar)	1.400,00	889,22	1.000,00



U Tabeli 2 prikazana je kalkulacija vrednosti dobijenih za podatke iz matrice komparativa.

Tabela 2: Kalkulacija vrednosti

Procentualno učešće		C 1		C 2		C 3	
Lokacija	40	Bolja	110%	Ista	100%	Ista	100%
Površina	40	Lošija	90%	Bolja	110%	Bolja	110%
Geometrija parcele	20	Ista	100%	Ista	100%	Lošiji	90%
Procentualno upoređenje		100,00%		104,00%		102,00%	
Jedinična cena nakon poređenja		1.400,00		924,79		1.020,00	

Konačni rezultat procenjene tržišne vrednosti građevinske parcele u Bariču, dobijen kao srednja vrednost izabranih komparativa prikazan je u Tabeli 3.

Tabela 3: Procenjena tržišna vrednost

Izračunata jedinična cena (eur/ar)	1.115
Ukupna površina (ar)	28,31
	31.565,65
Tržišna vrednost predmetne nepokretnosti (eur)	≈ 31.500 evra

5. ZAKLJUČAK

Prilikom procene tržišnih vrednosti nepokretnosti neophodan je visok senzibilitet za tržište i teren na kome se vrši promet nepokretnosti, vremenski momenat i vrste nepokretnosti. Ključ za efikasno i efektivno donošenja odluka je integracija: povezivanje tehnologije, podataka i strategije donošenja odluka. GIS objedinjava tehnike prostornih analiza i digitalnih prostornih podataka sa računarskom tehnologijom i predstavlja efikasan alat u proceni vrednosti nepokretnosti. Korektivni faktori koji mogu da utiču na tržišnu vrednost nepokretnosti, po potrebi se koriguju u skladu sa uslovima procene i iskustvom procenitelja. Podrška GIS-a u proceni vrednosti nepokretnosti podrazumeva analizu, izveštavanje, kartiranje i modelovanje jedne lokacije, kao i poređenje jedne lokacije sa drugom.

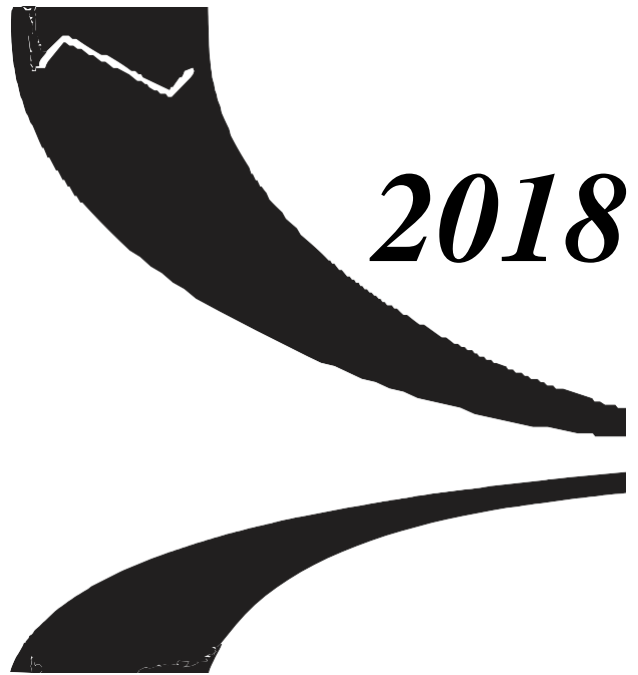
GIS omogućava pristup podacima i informacijama neophodnim za procenu tržišne vrednosti nepokretnosti što vodi ka objektivnoj analizi, donošenju preciznih zaključaka i na kraju pouzdanoj proceni tržišne vrednosti nepokretnosti. Geografski informacioni sistem pronalazi i prikazuje neophodne podatke za procenu vrednosti nepokretnosti u prostornom kontekstu, omogućava detaljnu analizu i vizuelizaciju podataka o nepokretnostima.

LITERATURA

- [1] Abbott D.(2000). Encyclopaedia of Real Estate terms. Delta Alpha Publishing, London-Washington.
- [2] Andrea Podor (2010). GIS Application in Real Estate Investment, Scientific Journal of Riga Technical University.
- [3] ESRI Brings The Geographic Advantage™ to Real Estate (Online), (Accessed 10/07/2010), Available: <http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/esri-real-estate.pdf>
- [4] Ru Qian (2011). The Application of GIS in the Real Estate Management, China University of Geosciences, Beijing, China.



- [5] Tagil, S., Jenness, J., (2008). GIS-Based Automated Landform Classification and Topographic, Land Cover and Geologic Attributes of Landforms Around the Yazoren Polje – Turkey. Asian Network for Scientific Information, Journal of Applied Sciences.
- [6] Kevin H. Donlon (2015). Using GIS to Improve the Services of a Real Estate Company, Department of Resource Analysis, Saint Mary's University of Minnesota, Winonay.



2018

GRAFOVI I MREŽE



OPEN-LOCATING-DOMINATING NUMBER OF GENERALIZED PETERSEN GRAPHS

ZORAN MAKSIMOVIĆ¹, MILENA BOGDANOVIĆ², JOZEF KRATICA³, ALEKSANDAR SAVIĆ⁴

¹ Military Academy, University of Defence, Belgrade, Serbia, zoran.maksimovic@gmail.com

² Pedagogical Faculty, University of Niš, Vranje, Serbia, mb2001969@beotel.net

³ Mathematical Institute, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Serbia, jkratica@mi.sanu.ac.rs

⁴ Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Belgrade, Serbia, aleks3rd@gmail.com

Abstract: In this paper, open-locating-dominating number of generalized Petersen graphs $GP(n,k)$ is considered. We presented the exact value for this number which is equal to n , with proof of the statement.

Keywords: Generalized Petersen graphs, locating-dominating set, open-locating-dominating number.

1. INTRODUCTION

Dominating sets and domination numbers are very popular research topics of graph theory in last few decades. Problem of finding *locating-dominating number* in graphs was introduced by (Slater 1983, 1987, 1988). Very similar, but slightly different, concept of identifying code was introduced by (Karpovsky *et al.* 1998). Presentation and bibliography of all significant research in this field is out of scope of this paper, but recent and comprehensive bibliography can be found in (Lobstein 2016).

The motivation for introduction of locating-dominating sets and their applications, arose from security and protecting concerns. Graph can be widely used in order to represent different properties of networks facilities, computer networks, router's network, etc. Aim of identifying and locating any „intruder“ or fault in network are important practical problems which should be accurately resolved by network administrators on daily basis. Detecting devices usually have limited abilities to detect intruder in their current and all neighboring network locations.

The open-locating-dominating (*OLD*) number on graphs was formally introduced in (Seo and Slater 2010). It generalizes on general graphs work of (Honkala *et al.* 2002), which previously found that number for k -cubes Q_k under different name. Motivation for OLD number is case when using a detection device which can detect an intruder only in neighborhood but not in its current location.

Now, the mathematical definition of problem is given as follows:

Let $G = (V, E)$ be an arbitrary graph and for any $v \in V$ let us denote $N(v)$ as an open neighborhood of v . The *open-locating-dominating set* S of a graph $G = (V, E)$ is a set of vertices such that for any $x, y \in V$ holds $\emptyset \neq N(x) \cap S \neq N(y) \cap S \neq \emptyset$. The set S will be denoted as *OLD-set* of G . The cardinality of minimal such set S will be called *open-locating-dominating number* and denoted as $\gamma_{old}(G)$.

In the sequel it will be presented some theoretical considerations of *OLD* sets.

If two vertices $x, y \in V(G)$ such that $N(x) = N(y)$ exist, it follows that $N(x) \cap S = N(y) \cap S$ for any $S \subset V$ and G could not have an *OLD* set. This is proposed in

Proposition 1.1. (Seo and Slater 2010) A graph G has an *OLD* set if and only if G has no isolated vertex and $N(x) \neq N(y)$ for all pairs x, y of distinct vertices.

For a tree, there is more detailed characterization presented in the following proposition.

Proposition 1.2. (Chellali *et al.* 2014, Seo and Slater 2011) For a tree T of order $n \geq 3$, T has an *OLD* set if and only if T does not contain a strong support vertex, where strong support vertex is a vertex which has two vertices of degree 1 as neighbors.

Some other connections between values $\gamma_{old}(G)$ and order of G are given in (Chellali *et al.* 2014).

Proposition 1.3. Assume $k \geq 2$, and suppose $k + 1 \leq n \leq 2^k - 1$, then there exists a connected graph G of order n with $\gamma_{old}(G) = k$.

In the special case where graph G is a tree, there are following results.



Proposition 1.4. (Seo and Slater 2011) If tree T of order $n \geq 5$ has an *OLD* set, then $\lceil n/2 \rceil + 1 \leq \gamma_{old}(T) \leq n - 1$.

Proposition 1.5. (Seo and Slater 2013) For $n \geq 5$ and fixed j , subject to $\lceil n/2 \rceil + 1 \leq j \leq n - 1$, there exists a tree T of order n such that $\gamma_{old}(T) = j$.

In the paper (Chellali *et al.* 2014), authors characterize graph G of order n with $OLD(G) = 2, 3$ or n . Also, they present characterization of a graph with a minimum degree $\delta(G) \geq 2$ that is C_4 -free (graph without cycle of length 4) with $\gamma_{old}(G) = n - 1$.

For finite graphs G , there are theoretical results concerning bounds of $\gamma_{old}(G)$ in some cases.

Proposition 1.6. (Chellali *et al.* 2014) Let G be a connected graph with minimum degree $\delta(G) \geq 3$, and C_4 -free. Then $\gamma_{old}(G) \leq n - \rho(G)$, where $\rho(G)$ is the maximum number of vertices which are pairwise at distance at least 3.

Proposition 1.7. (Chellali *et al.* 2014, Seo and Slater 2010) For a graph G of order n and maximum degree $\Delta(G)$, if G has an *OLD* set, then $\gamma_{old}(G) \geq \frac{2n}{1 + \Delta}$.

Corollary 1.8. (Seo and Slater 2010) If G is a regular graph of order n and degree r , then $\gamma_{old}(G) \geq \left\lceil \frac{2 \cdot n}{r + 1} \right\rceil$.

In the case of infinite graphs, theoretical results mostly concern infinite grids with starting results presented in (Seo and Slater 2010) and more recent in (Kincaid *et al.* 2015). The results present various values of open-locating-dominating number or upper and lower bound for different infinite graphs.

Problem of finding open-locating-dominating number is NP-hard in a general case (Seo and Slater 2010).

Algorithmic aspects of solving *OLD* problem are considered in (Panda and Pandey, 2017), They are considering problem of deciding whether a graph has *OLD* set or not. That this problem is NP-complete for general graphs known from the literature, but they have shown that it is also for specific classes of graphs, namely bipartite graphs, planar graphs, split graphs and doubly chordal graphs. Also, they presented linear time algorithm for finding *OLD* number for trees and some other approximation algorithms.

In (Sweigart *et al.* 2014) authors proposed an integer linear program (ILP) for the identification of open-locating-dominating sets (*OLD*) of minimum cardinality and presents several results of the ILP on various graphs. They defined constants: A_{ij} as the element of adjacency matrix, χ is the set of pairs of vertices which have at least one common neighbor, i.e. $\chi = \{k \mid k = (u, v), d(u, v) \leq 2\}$, $B_{kj} = |A_{uj} - A_{vj}|$ for each $k = (u, v) \in \chi$. Decision variable x_j is equal to 1 if j is in *OLD* set and 0 otherwise. Then ILP formulation is as follows

$$\min \sum_{j \in V} x_j \tag{1}$$

subject to

$$\sum_{j \in V} A_{ij} x_j \geq 1, \text{ for each } i \in V \tag{2}$$

$$\sum_{j \in V} B_{kj} x_j \geq 1, \text{ for each } k \in \chi \tag{3}$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \text{ for each } j \in V \tag{4}$$

This paper considers the open-locating-dominating number of a special class of graphs, so called generalized Petersen graphs.

2. GENERALIZED PETERSEN GRAPHS

Generalized Petersen graphs were introduced in (Coxeter 1950). Topological properties of generalized Petersen graphs have been proposed and investigated in (Ohring and Das 1996). Various properties of $GP(n, k)$

have been recently theoretically investigated in the following areas: strong metric dimension (Kratika *et al.* 2017), component connectivity (Ferrero and Hanusch 2014), decycling number (Gao *et al.* 2015), etc.

Definition 2.1. For $n \geq 3$ and $1 \leq k < n/2$, the *generalized Petersen graph* $GP(n,k)$ is a graph with the vertex set $V = \{u_i, v_i \mid 0 \leq i \leq n-1\}$ and the edge set $E = \{u_i u_{i+1}, u_i v_i, v_i v_{i+k} \mid 0 \leq i \leq n-1\}$, where vertex indices are taken modulo n . It should be noted that $GP(n,k)$ is a 3-regular graph and contains $2n$ vertices and $3n$ edges. In Figure 1 are shown Petersen graph, denoted $GP(5,2)$ and generalized Petersen graph $GP(6,1)$.

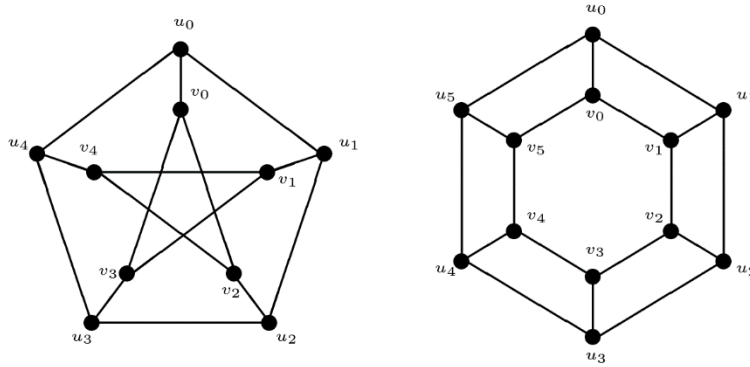


Figure 1. Petersen graph and $GP(6,1)$

Example. For Petersen graph on Figure 1, $\gamma_{old}(GP(5,2)) = 5$ with *OLD* set $S = \{v_0, v_1, v_2, v_3, v_4\}$ which was obtained by a total enumeration. In similar way, $\gamma_{old}(GP(6,1)) = 6$ with *OLD* set $S = \{v_0, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$. From the results of this example, it can be anticipated statement which will be expressed and proved in the following section.

3. OLD NUMBER FOR GENERALIZED PETERSEN GRAPHS

In the next theorem, we have proven that the minimum cardinality of the *OLD* set of generalized Petersen graph $GP(n,k)$ is equal to the parameter n .

Theorem 3.1. $\gamma_{old}(GP(n,k)) = n$.

Proof: *Step 1:* $\gamma_{old}(GP(n,k)) \leq n$

Let $S = \{v_i \mid i = 0, \dots, n-1\}$. Since $N(u_i) = \{u_{i-1}, u_{i+1}, v_i\}$ and $N(v_i) = \{u_i, v_{i-k}, v_{i+k}\}$ then $S \cap N(u_i) = \{v_i\}$ and $S \cap N(v_i) = \{v_{i-k}, v_{i+k}\}$, for each $i = 0, \dots, n-1$. It is easy to see that S is a dominating set, i.e. $(\forall w \in V) S \cap N(w) \neq \emptyset$. Let us prove that *OLD* set, i.e. $(\forall w_1, w_2 \in V) S \cap N(w_1) \neq S \cap N(w_2)$. For each i, j , $0 \leq i, j \leq n-1$ it is obvious $S \cap N(u_i) \neq S \cap N(v_j)$ since left side has cardinality equal to 1 while the right side has cardinality equal to 2. Next, for $i \neq j$, $\{v_i\} = S \cap N(u_i) \neq S \cap N(u_j) = \{v_j\}$ holds.

For $i \neq j$, $\{v_{i-k}, v_{i+k}\} = S \cap N(v_i) \neq S \cap N(v_j) = \{v_{j-k}, v_{j+k}\}$ holds, since $i-k \neq j-k$ and $i+k \neq j+k \pmod{n}$ because $n > 2k$.

Therefore, S is an open-locating-dominating set of $GP(n,k)$, so consequently $\gamma_{old}(GP(n,k)) \leq n$.

Step 2: $\gamma_{old}(GP(n,k)) \geq n$

It is easy to see that $GP(n,k)$ is a regular graph of degree 3, with $2n$ vertices. Then, by Corollary 1.8. it holds

$$\gamma_{old}(GP(n,k)) \geq \left\lceil \frac{2 \cdot 2 \cdot n}{1+3} \right\rceil = n.$$



This proves that $\gamma_{old}(GP(n,k)) = n$ holds for the generalized Petersen graph $GP(n,k)$. \square

Although the proof of Theorem 3.1. is relatively simple, theorem has considerable theoretical significance, since it holds for all generalized Petersen graphs. Theorems for similar graph invariants usually include only cases where k is relatively small ($k \in \{1,2,3\}$).

4. CONCLUSIONS

Open-locating-dominating number for generalized Petersen graphs was subject of this paper. The exact value of the open-locating-dominating number of all generalized Petersen graphs was obtained. Future work could go in two directions: first, to determine the value of the open-locating-dominating number for some other challenging classes of graphs, and secondly, to determine some of the other graph invariants for generalized Petersen graphs.

REFERENCES

- [1] Chellali, M., Rad, N.J., Seo, S.J., Slater, P.J. (2014). On open neighborhood locating-dominating in graphs. *Electronic Journal of Graph Combinatorics*, 30, 909-932.
- [2] Coxeter, H.S.M., (1950). Self-dual configurations and regular graphs. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 56, 413-455.
- [3] Ferrero, D., Hanusch, S. (2014). Component connectivity of generalized Petersen graphs. *International Journal of Computations and Mathematics*, 91, 1940-1963.
- [4] Gao, L., Xu, X., Wang, J., Zhu, D., Yang, Y. (2015). The decycling number of generalized Petersen graphs. *Discrete Applied Mathematics*, 181, 297-300.
- [5] Honkala, I., Laihonen, T., Ranto, S. (2002). On strongly identifying codes. *Discrete Mathematics*, 254 (13), 191-205.
- [6] Karpovsky, M.G., Chakrabarty, K., Levitin, L.B. (1998). On a new class of codes for identifying vertices in graphs. *IEEE Transactions on Information Theory* IT-44, 599-611.
- [7] Kincaid, R., Oldham, A., Yu, G. (2015). Optimal open-locating-dominating sets in infinite triangular grids, *Discrete Applied Mathematics* 193, 139-144.
- [8] Kratica, J., Kovačević-Vučjić, V., Čangalović, M. (2017). The strong metric dimension of some generalized Petersen graphs. *Applicable Analysis and Discrete Mathematics*, 11, 1-10.
- [9] Lobstein, A. (2016). Watching systems, identifying, locating-dominating and discriminating codes in graphs. <http://www.infres.enst.fr/lobstein/debutBIBidetlocdom.pdf>
- [10] Ohring, S., Das, S.K. (1996). Folded Petersen cube networks: New competitors for the hypercubes. *IEEE Transaction on Parallel Distribution Systems*, 7, 151-168.
- [11] Panda, B.S., Pandey, A. (2017) Algorithmic aspects of open neighborhood location-domination in graphs, *Discrete Applied Mathematics*, 216, 290-306.
- [12] Seo, S.J., Slater, P.J. (2010). Open neighborhood locating-dominating sets. *Australasian Journal of Combinatorics*, 46, 109-119.
- [13] Seo, S.J., Slater, P.J. (2011). Open neighborhood locating-dominating in trees. *Discrete Applied Mathematics*, 159 (6), 484-489.
- [14] Seo, S.J., Slater, P.J. (2013). Open Locating-Dominating interpolation for Trees. *Congressus Numerantium*, 215, 145-152.
- [15] Slater, P.J. (1983). Domination and location in graphs. National University of Singapore, Research Report No. 93.
- [16] Slater, P.J. (1987). Dominating and location in acyclic graphs. *Networks*, 17, 55-64.
- [17] Slater, P.J. (1988). Dominating and reference sets in graphs. *Journal of Mathematical and Physical Sciences*, 22, 445-455.
- [18] Sweigart, D. B., Presnell, J., Kincaid R. (2014) An integer program for open locating dominating sets and its results on the hexagon-triangle infinite grid and other graphs. *Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), 2014*. IEEE, 2014.



2018

***INFORMACIONI SISTEMI I
TEHNOLOGIJE***



PRIMENA TEŽINSKE METODE NAJMANJIH KVADRATA (WLMS) PRI PROCENI RASTA BROJA TWITTER PRATILACA U KOMUNIKACIJI SA CENTRALNIM BANKAMA

AN APPLICATION OF WEIGHTED LEAST SQUARE METHOD (WLMS) IN CENTRAL BANK TWITTER FOLLOWERS GREW PREDICTION

GORAN BJELOBABA¹, ANA SAVIĆ², HANA STEFANOVIĆ³

¹ Narodna banka Srbije, Beograd, goran.bjelobaba@nbs.rs

² Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd, ana.savic@viser.edu.rs

³ Visoka škola strukovnih studija za IT, Beograd, hana.stefanovic@its.edu.rs

Rezime: Stalan porast zahteva u oblasti savremenog bankarskog poslovanja, kao što su online bankarstvo, mobilno bankarstvo i globalna povezanost korisnika, implicira povećanje broja banaka koje imaju zvanične naloge na društvenim mrežama. U ovom radu je, na osnovu dostupnih podataka o broju Twitter pratilaca u direktnoj komunikaciji sa centralnim bankama, tokom tekuće i prethodnih godina, napravljena predikcija daljeg trenda rasta tog broja, primenom metode najmanjih kvadrata, uključujući i dodatnu optimizaciju težinskim funkcijama. Proračuni i estimacija rađeni su u MATLAB programskom okruženju

Cljučne reči: Metod najmanjih kvadrata sa težinskim funkcijama, centralna banka, društvene mreže, nalozi i pratioci preko Twitter mreže.

Abstract: This paper presents some advantages of using social media and social networks as an efficient way of Central Banks communication with target audience. The statistics given in this paper presents some leading banks based on number of followers on Twitter in 2018, showing its grew. In this paper some prediction of number of Twitter followers in Central Banks communication is also contributed, based on Weighted Least Square method. MATLAB software environment is used to demonstrate proposed method, while some simulation results are also included.

Keywords: Weighted Least Square method, Central Bank, Social networks, Twitter accounts/followers.

1. UVOD

Društvene mreže predstavljaju značajan medij direktne komunikacije sa korisnicima različitih vrsta usluga i servisa (Safko 2010). Imajući u vidu ulogu koju društvene mreže imaju u savremenom poslovanju, velik broj banaka ima otvorene naloge na Facebook-u i/ili Twitter-u, sa ciljem unapređenja komunikacije sa korisnicima, medijima i stručnom javnošću (Radenkovic *et al.* 2015). Narodna banka Srbije (NBS) takođe, na svojim nalogima na društvenim mrežama, a u skladu sa primerima dobre prakse drugih centralnih banaka, objavljuje najvažnije sadržaje i informacije koje su u vezi sa poslovanjem i funkcijama koje NBS obavlja (<http://www.nbs.rs/internet/latinica/scripts/showContent.html?id=10002&konverzija=no>).

Imajući u vidu ulogu koju Internet ima u društvenoj interakciji i međusobnoj komunikaciji u modernom informatičkom društvu, svakako da su društvene mreže izuzetno važan deo direktnog marketinga današnjice, odnosno predstavljaju jedan od ključnih elemenata u postupku stvaranja uspešnog odnosa sa korisnicima različitih proizvoda i usluga (Qualman 2012). Putem društvenih mreža uspostavlja se interaktivna komunikacija, kao i transfer informacija na korisniku najbrži, najrazumljiviji i najefikasniji način. Interaktivne sposobnosti novih medija dovode do većeg interesovanja auditorijuma, što svakako podrazumeva aktivnu participaciju i uključenost korisnika u proces komunikacije.

S obzirom na stalni porast broja otvorenih naloga banaka na društvenim mrežama i porast broja pratilaca, u ovom radu je na osnovu prikupljenih podataka, urađena analiza i procena daljeg trenda rasta, primenom metode najmanjih kvadrata (Least Mean Square method – LMS), koja je dodatno optimizovana upotrebom težinskih funkcija (Weighted Least Mean Square method – WLMS) (Wolberg J.R. and Wolberg 2006).



Osnovni princip metode najmanjih kvadrata oslanja se na princip da je od svih pravaca regresije najverovatniji onaj za koji je suma kvadrata odstupanja u odnosu na izmerene (opažene) podatke najmanja. Svakako da stvarni podaci često ne zadovoljavaju u potpunosti pretpostavke linearne regresije, što se može korigovati uvođenjem određenih težinskih koeficijenata ili funkcija, sa ciljem da se kvantizuje mera značajnosti konkretnog merenja (podatka) u proračunu. Najjednostavniji slučaj podrazumeva da težinski koeficijenti imaju binarne vrednosti, čime se obezbeđuje da konkretan podatak iz skupa merenja učestvuje ili ne učestvuje u proračunu, ali se dosta bolji rezultati dobijaju ako se uvedu težinske funkcije koje bi imale ulogu da podatke skaliraju određenom vrednošću. U ovom radu korišćena je eksponencijalna težinska funkcija, a rezultati simulacije dobijeni u MATLAB programskom okruženju, prikazani su za slučaj više različitih vrednosti parametara te eksponencijalne funkcije.

U drugom poglavlju rada dati su podaci koji se odnose praćenje trenda rasta broja otvorenih zvaničnih naloga centralnih banaka na društvenim mrežama, uz prikaz broja pratilaca. U trećem poglavlju dati su rezultati estimacije dobijeni težinskom metodom najmanjih kvadrata, primenjenom nad tim podacima, dok su u četvrtom izložena zaključna razmatranja.

2. KOMUNIKACIJA CENTRALNIH BANAKA PREKO ZVANIČNIH NALOGA NA DRUŠTVENIM MREŽAMA

Komunikacija ostvarena pisanjem blogova, komentara, upotrebom mobilnog telefona, e-maila, ili naloga na društvenim mrežama, uz mogućnost međusobnog deljenja teksta, fotografija i audio/video zapisa, je jedna od pogodnosti koje primena novih tehnologija omogućava. Komunikacija putem društvenih mreža ima mnogo veće mogućnosti interakcije, ali i individualizacije, u poređenju sa drugim kanalima direktne komunikacije. Društveni mediji su takođe i vrlo transparentni, jer je objavljeni sadržaj javan i pristupačan svim korisnicima. Evidentan je stalni porast posećenosti sajtova društvenih mreža, kao što su Facebook, Twitter, YouTube, LinkedIn i druge (Westerman *et al.* 2012). Korisnici putem društvenih mreža dele svoja mišljenja o različitim proizvodima i uslugama, što ima uticaj i na povećanje popularnosti brenda i povećanje broja fanova, što zapravo implicira da društvene mreže imaju potencijal viralnog marketinga, šireći informacije velikom brzinom kroz mrežu klijenata (Edigar *et al.* 2010). Finansijske institucije, kao što su centralne banke, depozitne banke, štedne i kreditne asocijacije, kreditne unije, penzioni fondovi i različite investicione kompanije, takođe kroz komunikaciju putem zvaničnih naloga na društvenim mrežama čine da bankarski proizvodi i usluge vezane za kreditne i fiskalne poslove, budu transparentniji, da se izgradi poverenje, da se povećaju preporuke i lojalnost potrošača, kao i da se razviju dugoročni odnosi sa korisnicima.

Društvene mreže svakako utiču na poboljšanje poslovanja u bankarstvu, s tim da postoje određene specifičnosti primene društvenih mreža u ovoj oblasti, zbog same prirode poslovanja banaka, a u skladu sa poslovnom politikom i procedurama same banke. Centralne banke putem zvaničnih naloga na društvenim mrežama mogu informisati širu i užestručnu javnost o aktivnostima iz sfere nadležnosti same centralne banke, kao i dostavljati podatke koji su predmet interesovanja medija i korisnika. Velik broj centralnih banaka ima otvorene naloge na Facebook-u i/ili Twitter-u, sa ciljem unapređenja komunikacije sa korisnicima, medijima i stručnom javnošću. Stranica NBS na Facebook-u namenjena je informisanju javnosti o programima finansijske edukacije i društvene odgovornosti (<http://www.novaenergija.net/narodna-banka-srbije-na-twitteru-i-facebooku/>). Na ovoj stranici takođe su predstavljeni i edukativni programi koje organizuje Centar za zaštitu i edukaciju korisnika finansijskih usluga, društveno odgovorne aktivnosti, kao i aktivnosti Centra za posetioce i izložbene aktivnosti galerije NBS na Slaviji. Na zvaničnom nalogu NBS na Twitter-u omogućeno je informisanje o aktivnostima iz nadležnosti banke koje su predmet interesovanja medija, stručne i šire javnosti, uz mogućnost interakcije sa pratiocima. Nastupom na društvenim mrežama NBS nastavlja s primenom strategije komunikacije koja doprinosi razvoju poverenja i kredibilnog dijaloga sa svim zainteresovanim stranama, ostvarujući svoje zakonom definisane ciljeve.

Podaci prikazani u Tabeli 1. ukazuju na značajan porast broja pratilaca centralnih banaka preko društvene mreže Twitter, za 2018. godinu, u odnosu na prethodni petogodišnji period. Početkom tekuće godine, najveći broj pratilaca preko Twitter-a beleži Central Bank of Indonesia, sa preko 640.000 (640 K) pratilaca, zatim Mexico Central Bank sa preko 595 K pratilaca, U.S. Central Bank sa preko 460 K, zatim Evropska centralna banka (European Central Bank – ECB) sa preko 430 K i Central Bank of India sa preko 320 K pratilaca, a analizom su obuhvaćene i neke druge centralne banke (<https://twitter.com/search?q=%23centralbank>, <https://www.statista.com/>, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-03-11/bank-indonesia-boasts->



[more-twitter-followers-than-the-fed-or-ecb](#)). ECB kao finansijsko telo EU operativno deluje nakon uvođenja evra kao zajedničke valute, a ima za cilj kreiranje i sprovođenje zajedničke monetarne politike, upravljanje platnim prometom EU, upravljanje deviznim rezervama država članica, kao i održavanje stabilnosti cena na unutrašnjem tržištu, a broj pratilaca preko društvenih mreža je tokom prethodnog perioda značajno povećan.

Tabela 1: Broj Twitter pratilaca u komunikaciji sa centralnim bankama (CB)

CB naziv	CB Twitter nalog	Br. Twitter pratilaca 2012.g.	Br. Twitter pratilaca 2018.g.
European Central Bank	@ecb	<300 K	430 K
WSJ Central Banks	@WSJCentralBanks	<60 K	95 K
Federal Reserve	@federalreserve	<300 K	465 K
Central Bank of India	@centralbank_in	<200 K	320 K
Central Bank of Kenya	@CBKKenya	<80 K	130 K
Danmarks National Bank	@nationalbanken	<2 K	5 K
Swiss National Bank	@SNB_BNS_en	<2 K	4 K
Central Bank of Nigeria	@cenbank	< 80 K	142 K
Central Bank of Indonesia	@bank_indonesia	< 300 K	640 K
Sveriges riskbank	@riskbanken	< 6 K	10 K
Deutsche Bundesbank	@bundesbank	<15 K	25 K
Latvijas Banka	@LatvijasBanka	<5 K	8 K
Ufficio Stampa della Banca d'Italia	@UfficioStampaBI	<10 K	18 K
Finland Central Bank	@SuomenPankki	<5 K	8 K
Bank of Japan	@Bank_of_Japan_e	<15 K	22 K
South African Reserve Bank	@SAReserveBank	<15 K	32 K
Banco de Mexico	@Banxico	<300 K	595 K

3. PRIMENA TEŽINSKE METODE NAJMANJIH KVADRATA U PROCESU ESTIMACIJE BROJA PRATILACA PREKO TWITTER-A

Ukoliko se podaci koji se odnose na analizu broja pratilaca preko Twitter-a u komunikaciji sa CB, predstavljaju klasičnim linearnim regresionim modelom:

$$h_{\theta}(x) = \theta_0 x_0 + \theta_1 x_1 + \dots = \sum_{i=0}^{n-1} \theta_i x_i = \theta^T x \quad (1)$$

cilj je na osnovu izmerenih (opaženih) podataka proceniti vektor nepoznatih parametara, pri čemu m predstavlja veličinu uzorka za testiranje, x je ulazni vektor predstavljen nezavisnim ili regresorskim promenljivim, y je izlazni vektor predstavljen zavisnim promenljivim ili regresandima, n je broj parametara (koji ima vrednost 2 u analiziranom slučaju), dok se j -tom podatku (x^j, y^j) primenom težinske metode najmanjih kvadrata dodeljuje w^j težinski koeficijent ili težinska funkcija. U analizi izloženoj u ovom radu korišćena je eksponencijalna težinska funkcija.

Na osnovu podataka potrebno je proceniti vektor nepoznatih parametara θ , tako da minimizira sumu kvadrata grešaka (reziduala) između estimirane vrednosti $h_{\theta}(x)$ i stvarne izlazne vrednosti razmatranog trening skupa, za svako j , respektujući skaliranje težinskim koeficijentom ili težinskom funkcijom, ukoliko je reč o WLMS metodi (Wolberg):

$$\min \sum_{j=0}^m w^j \left[h_{\theta}(x^j) - y^j \right]^2 \quad (2)$$



Na osnovu toga, koristeći matričnu algebru (Golub and Loan 1996), dobija se:

$$\sum_{j=0}^m w^j [h_{\theta}(x^j) - y^j]^2 = (X\theta - Y)^T W (X\theta - Y) \quad (3)$$

gde W predstavlja dijagonalnu matricu dimenzija $[m \times m]$:

$$W = \begin{bmatrix} w^1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & w^m \end{bmatrix} \quad (4)$$

X je ulazna matrica dimenzija $[m \times n]$:

$$X = \begin{bmatrix} x_0^1 & x_1^1 \\ x_0^2 & x_1^2 \\ \vdots & \vdots \\ x_0^m & x_1^m \end{bmatrix} \quad (5)$$

Y je izlazna matrica (matrica izmerenih – opaženih vrednosti) dimenzija $[m \times 1]$:

$$Y = \begin{bmatrix} y^1 \\ y^2 \\ \vdots \\ y^m \end{bmatrix} \quad (6)$$

dok je θ vektor parametara dimenzija $[n \times 1]$:

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Ukoliko se definiše kriterijumska funkcija $J(\theta)$:

$$J(\theta) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m w^j [h_{\theta}(x^j) - y^j]^2 = \frac{1}{2} (X\theta - Y)^T W (X\theta - Y) \quad (8)$$

vrednost θ koja minimizira funkciju $J(\theta)$ može se dobiti diferenciranjem po θ i izjednačavanjem dobijenog rezultata sa nulom:

$$\frac{\partial}{\partial \theta} J(\theta) = 0 \Leftrightarrow (X^T W X \theta - X^T W Y) = 0 \quad (9)$$

Na osnovu (9) dobija se:

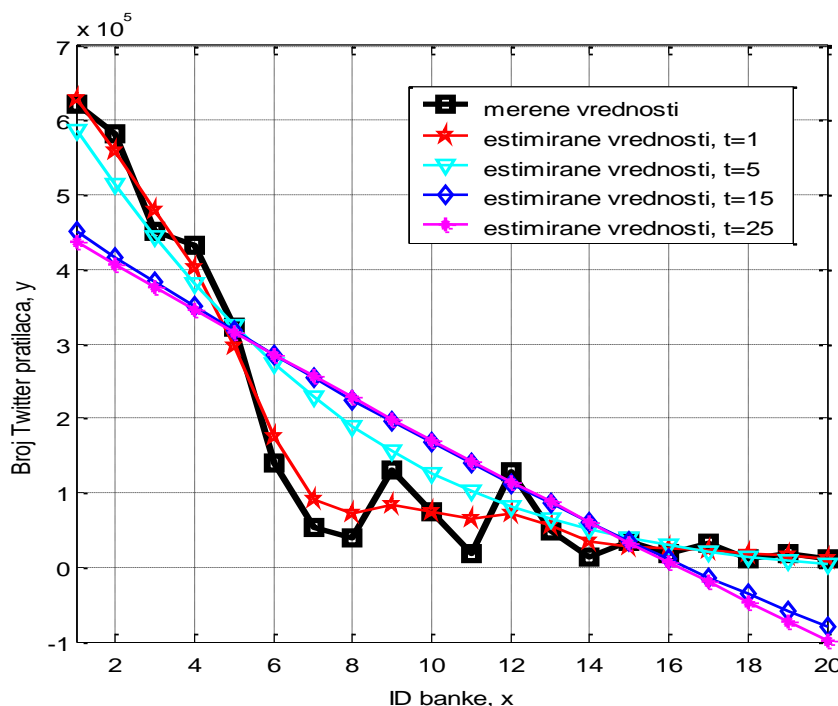
$$\theta = (X^T W X)^{-1} X^T W Y \quad (10)$$

Najjednostavniji slučaj podrazumeva da težinski koeficijenti w^j imaju binarne vrednosti, 0 ili 1, čime se obezbeđuje da konkretan podatak iz skupa merenja učestvuje ili ne učestvuje u proračunu, ali se dosta bolji rezultati dobijaju ako se uvedu težinske funkcije koje bi imale ulogu da podatke skaliraju određenom vrednošću, a ne da ih jednostavno uključuju ili isključuju iz proračuna. U ovom radu korišćena je eksponencijalna težinska funkcija sa parametrom τ čija je vrednost varirana u procesu estimacije:

$$w^j = \exp\left(-\frac{(x^j - x)^2}{2\tau^2}\right) \quad (11)$$

Na Slici 1. prikazani su rezultati poređenja izmerenih (opaženih) vrednosti i procenjenih vrednosti broja pratilaca preko društvene mreže Twitter, u komunikaciji sa centralnim bankama, za različite vrednosti parametra τ . Proračun i estimacija u skladu sa (10) rađeni su u MATLAB programskom okruženju, oslanjajući se na podatke iz Tabele 1. Najjednostavniji slučaj podrazumeva da težinski koeficijenti w^j imaju binarne vrednosti, čime se obezbeđuje da konkretan podatak iz skupa merenja učestvuje ili ne učestvuje u proračunu, ali se bolji rezultati dobijaju korišćenjem eksponencijalne težinske funkcije sa parametrom τ čija je vrednost varirana u procesu estimacije, u opsegu $\tau=1$ do $\tau=25$, kao što je prikazano na Slici 1.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se za veće vrednosti parametra τ ($\tau=25$) dobijaju lošiji rezultati, u smislu manjeg poklapanja izmerenih (opaženih) vrednosti i vrednosti estimiranih na osnovu predloženog modela, za dati skup podataka. Za vrednosti τ u opsegu od 15 do 25 nije uočena značajna razlika u izgledu krive, kao što je prikazano na Slici 1. Dalje smanjenje vrednosti parametra τ i to ispod vrednosti $\tau=10$ rezultuje boljim poklapanjem merenih i estimiranih vrednosti, a najbolji rezultati dobijeni su za slučaj $\tau=1$. Velike vrednosti parametra τ odgovaraju slučaju primene klasične metode najmanjih kvadrata, bez upotrebe težinskih koeficijenata ili težinskih funkcija.



Slika 1: Procena broja Twitter pratilaca u komunikacija sa CB, za različite vrednosti parametra τ

Od značaja za dalja istraživanja bi bila i analiza poslednjih 100 ili poslednjih 1000 tweet-ova, ili tweet-ova koji u sebi sadrže zadatu ključnu reč, zatim broj retweet-ova i slično, što su svakako podaci koji bi bili od interesa za instituciju, kompaniju ili banku koja ima nalog na Twitter društvenoj mreži. Pomoću različitih upita u Twitter aplikaciji (<https://apps.twitter.com/>) moguće je selektovati tweet-ove po određenom kriterijumu i na osnovu njih vršiti dalju analizu (Bjelobaba *et al.* 2017, Popovic and Milosavljevic 2016). Na osnovu upita



kreira se fajl sa ekstenzijom .json, pri čemu ovaj format ima dosta prednosti u odnosu na XML (Extensible Markup Language). JSON (JavaScript Object Notation) predstavlja jednostavan tekstualni otvoreni standard dizajniran za čitljivu razmenu podataka, a na osnovu njega se po potrebi mogu kreirati i drugi fajlovi potrebni za analizu. Takođe je moguće tražiti upite za tweet-ove sa određenih lokacija, tweet-ove pisane na određenom jeziku, ili one koji su najpopularniji i slično, što bi moglo unaprediti dalju komunikaciju institucije, kompanije ili banke sa korisnicima. Moguće je dalje sortiranje tweet-ova prema korisnicima koji imaju najveći broj pratilaca ili prema nekom drugom kriterijumu koji bi bio od interesa, što bi moglo doprineti poboljšanju kvaliteta i komunikacije i samog poslovanja.

4. ZAKLJUČAK

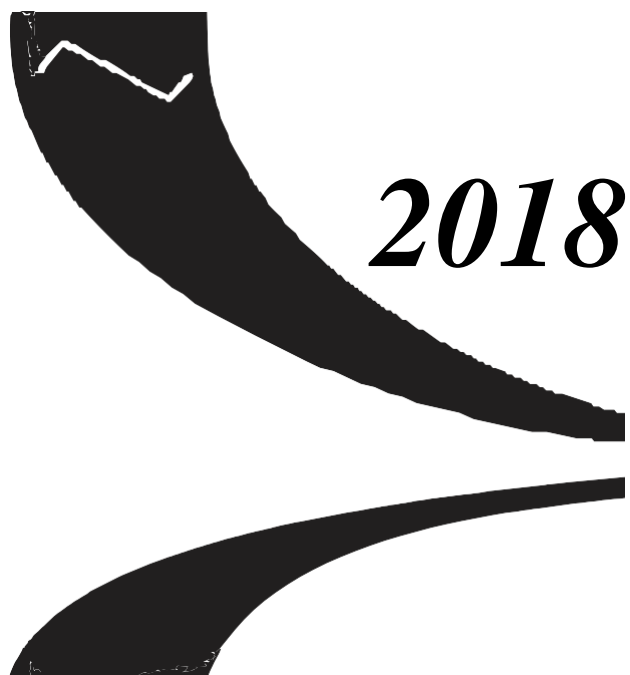
Kompanije različitih grana poslovanja, a takođe i banke kao finansijske institucije, u skladu sa zahtevima korisnika koji se odnose na kvalitet, transparentnost, interakciju i podršku, kroz komunikaciju putem društvenih mreža ostvaruju sve navedene zahteve, i to sa većim dometom i uticajem nego u slučaju upotrebe tradicionalnih medija. U okviru ovog rada, predikcija trenda povećanja broja pratilaca preko društvenih mreža u komunikaciji sa centralnim bankama, urađena je primenom težinske metode najmanjih kvadrata, za različite vrednosti težinskih koeficijenata. Svakako da bi pravci budućih istraživanja podrazumevali dalje poboljšanje kvaliteta predloženog estimacionog modela, na osnovu različitih podataka (demografskih, klimo-geografskih, političkih, uključujući i nivo stepena informatičke pismenosti u određenom regionu/državi, kao i prosečnu starost populacije i slično), što bi doprinelo kvalitetnijem izboru parametara težinske funkcije prilikom vršenja estimacionog postupka.

LITERATURA

- [1] Safko, L. (2010). *The Social Media Bible: Tactics, Tools, and Strategies for Business Success*, NJ: John Wiley & Sons.
- [2] Radenkovic, B., Despotovic-Zrakic, M., Bogdanovic, Z., Barac, D., & Labus, A. (2015). *Elektronsko poslovanje*. Beograd: Fakultet organizacionih nauka.
- [3] <http://www.novaenergija.net/narodna-banka-srbije-na-twitteru-i-facebooku/>
- [4] Qualman, E. (2012). *Socialnomics: How social media transforms the way we live and do business* (2nd ed.). NJ: John Wiley & Sons.
- [5] Wolberg, J.R., & Wolberg, J. (2006). *Data Analysis Using the Method of Least Squares: Extracting the Most Information from Experiments*, Berlin, Germany: Springer.
- [6] Westerman, D., Spence, P. R., & Van Der Heide, B. (2012). A social network as information: The effect of system generated reports of connectedness on credibility on Twitter. *Computers in Human Behavior*, 28(1), 199-206.
- [7] Ediger, D., Jiang, K., Riedy, J., Bader, D. A., & Corley, C. (2010). Massive social network analysis: Mining Twitter for social good. In 39th International Conference on Parallel Processing (ICPP 2010), San Diego, CA, 583-593.
- [8] <http://www.nbs.rs/internet/latinica/scripts/showContent.html?id=10002&konverzija=no>
- [9] <https://twitter.com/search?q=%23centralbank>
- [10] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-03-11/bank-indonesia-boasts-more-twitter-followers-than-the-fed-or-ecb>
- [11] <https://www.statista.com/>
- [12] Golub, G.H., & Loan, C.F. (1996). *Matrix Computations* (3rd ed.). Baltimore and London: John Hopkins University Press
- [13] <https://apps.twitter.com/>
- [14] Bjelobaba, G., Savic, A., & Stefanovic, H. (2017). Analysis of central banks platforms on social networks. In *International Conference on Computer Science and Communication Engineering Book of Abstracts (UBT 6th Annual Int. Conf.)*, Durres, Albania, 130.



- [15] Popovic, M., & Milosavljevic, M. (2016). Twitter data analytics in education using IBM Infosphere Biginsights. In International Scientific Conference on ICT and E-Business Related Research (SINTEZA 2016), Belgrade, Serbia, 74-80.



2018

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ



SITUACIONA ANALIZA ZA UPRAVLJANJE I&R PROJEKTIMA U SRBIJI

SITUATION ANALYSIS FOR MANAGING R&D PROJECTS IN SERBIA

IVA VUKSANOVIĆ HERCEG¹, VELJKO M. MIJUŠKOVIĆ², BOJAN RISTIĆ³

¹ Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu, ivav@ekof.bg.ac.rs

² Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu, mijuskovic@ekof.bg.ac.rs

³ Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu, bristic@ekof.bg.ac.rs

Rezime: Nakon dve decenije tranzicije, Republika Srbija se i dalje nalazi u procesu kreiranja funkcionalne tržišne ekonomije. Važnu ulogu u tom procesu igraju istraživačko-razvojni projekti (I&R projekti). Uprkos relativno visokom broju akademskih organizacija i naučnih institucija u odnosu na veličinu zemlje, efekti primene I&R projekata i dalje nisu na zavidnom nivou. Predmet analize u ovom radu je stoga upravo razmatranje ključnih situacionih okolnosti u srpskim nacionalnim okvirima vezanih za I&R projekte, dok rezultat tog razmatranja treba da bude dodatno apostrofiranje značaja ovih projekata i davanje smernica kako da oni postignu svoj pun željeni potencijal.

Ključne reči: I&R projekti, upravljanje projektima, Srbija.

Abstract: After two decades of transition, the Republic of Serbia is still in the process of creating a functional market economy. An important role in that process is played by the research and development projects (R&D projects). Despite the great number of academic organizations and scientific institutions compared to the country size, the effects of using the R&D projects are still not on an enviable level. The subject of analysis within this paper is therefore exactly the consideration of the key situation circumstances in Serbian national grounds regarding the I&R projects, while the result of that consideration should be the additional expression of importance of these projects and giving guidelines in order for them to achieve the full desired potential.

Keywords: R&D projects, project management, Serbia.

1. UVOD

Srpskim istraživačkim miljeom dominiraju akademske organizacije i državni naučni instituti. Postoji ukupno 10 državnih univerziteta sa 86 fakulteta i 10 privatnih univerziteta sa 39 fakulteta u okviru njih u Srbiji, akreditovanih od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja za školsku 2017/2018 godinu. Takođe, postoji 49 javnih i 16 privatnih fakulteta iz različitih oblasti primenjenih nauka. Od ukupno 198 registrovanih naučno-istraživačkih institucija koje postoje u Srbiji, 119 pripada oblasti visokog obrazovanja. Takođe, postoje i: a) Srpska akademija nauka i umetnosti, sa svojih deset naučnih instituta; b) 7 inovacionih centara, kao i 20 ostalih istraživačkih centara; c) 47 razvojnih agencija i d) 11 različitih potpornih organizacija, kao što su naučno-tehnološki parkovi i poslovno-tehnološki inkubatori (Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, 2018)

Uprkos relativno velikom broju akademskih organizacija i naučnih institucija poredeći u odnosu na njenu veličinu, Srbiju odlikuje loša povezanost univerziteta i privrede, tj. teorije i prakse, te usled toga efekti primene I&R projekata i dalje nisu na zavidnom nivou. Zato je neophodno izvršiti temeljnu analizu ključnih situacionih okolnosti u srpskom nacionalnom miljeu u pogledu I&R projekata. Takva analiza sledi u nastavku.

2. I&R STRATEGIJE I POLITIKE U REPUBLICI SRBIJI

U Srbiji je investiranje u I&R projekte značajno manje u odnosu na ostale relevantne privrede. Srbija investira manje od 1% svog BDP-a u sve javne i privatne I&R projekte, što je uglavnom ispod proseka zemalja OECD-a od 2.4% i značajno ispod proseka lidera u ovoj oblasti, kao što su Izrael, Južna Koreja, Japan i Finska, koje izdvajaju preko 3% svog BDP-a u ovu svrhu. Struktura investicija je takođe neadekvatna. Finansiranje I&R poduhvata za univerzitete i naučne institute putem sredstava Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja skoncentrisano je na istraživače, umesto na projekte. Ako fokus na projekte ipak postoji, u pitanju su



oni koji se nalaze u ranoj fazi istraživanja ili što je još češće u oblastima koje se odnose na tzv. "meke" discipline (socijalne inovacije i kreativnu industriju, npr.) (*OECD publications*, 2018).

Strateški dokument koji sadrži elemente najpribližnije inovacionoj strategiji Srbije jeste Strategija naučnog i tehnološkog razvoja Republike Srbije za period od 2016. do 2020. godine, koja je formalno usvojena krajem 2015. godine. Pre toga, nije postojala zvanično odobrena strategija/politika od strane Vlade, bilo kog ministarstva ili parlamenta koja je bila blisko vezana za oblast inovacija. Od 2000. godine postojala su dva pokušaja da se kreira objedinjen dokument, ali su oba pokušaja propala. Slična stvar se dogodila sa jednim projektom finansiranim od strane EU fondova, tj. od Evropske agencije za rekonstrukciju i razvoj u Srbiji koja je bila usmerena da usvoji nacionalnu inovacionu strategiju za Srbiju, ali je ostala samo na nivou nacrtu. Tokom poslednje dve decenije, inovacione politike uglavnom su razmatrane kao deo šire nacionalne strategije za razvoj industrije, obrazovanja ili u poslednje vreme informacionih tehnologija. Time su nastali ozbiljni problemi u oblasti, budući da brzo-promenljivo okruženje predstavlja specifičan izazov za legislativu, koja mu se ne može brzo prilagoditi (Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, 2018).

Jedan od problema jeste taj što nijedan od postojećih zakona nije regulisao uspostavljanje tzv. "spin-off" preduzeća, koja su formirali zaposleni u naučno-obrazovnim organizacijama. Vlada je prepoznala ove probleme tokom poslednjih godina, tako da je u toku revidiranje zakona vezanih za inovacije i visoko obrazovanje. Mali je broj tekućih nacionalnih strategija i politika koje targetiraju elemente inovacionog procesa. Na primer:

- Strategija razvoja & Akcioni plan za MSP sektor usvojena 2015. godine;
- Strategija za razvoj informatičkog društva u Republici Srbiji do 2020. godine;
- Strategija razvoja intelektualnog vlasništva za period od 2011. godine do 2015. godine;
- Strategija razvoja obrazovanja u Srbiji do 2020. godine, kao i Preduzetništva i konkurentnosti za period od 2015. godine do 2020. godine.

Takođe, tokom 2016. godine, Ministarski savet je radio na razvoju IT i inovativnog preduzetništva. Do sada, ostvareni rezultati na ovom polju obuhvataju: mapiranje svih relevantnih nacionalnih strategija i akcionih planova kako bi se unapredila koordinacija politika, kao i mapiranje svih inovativnih biznisa, kao i ostalih ključnih strateških interesnih grupa u okviru srpskog inovacionog sistema. Na bazi lekcija savladanih tokom implementacionog perioda i ostalih povezanih programa, nova Strategija za period od 2016. do 2020. godine usvojena je od strane Vlade Republike Srbije početkom 2016. godine (Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, 2018).

Rezultati sprovedene analize bili su veoma kritički nastrojani. Istaknuti su ključni izazovi vezani za srpski inovacioni sistem, identifikovana su glavna uska grla potencijalnih unapređenja i apostrofirane aktivnosti koje treba preduzeti kako bi se generisale neophodne promene u sistemu. Primarni strateški cilj jeste uspostavljanje efektivnog nacionalnog istraživačkog i inovacionog sistema, integrisanog u evropski istraživački ambijent, učenje na bazi nacionalnih i međunarodnih partnerstava i doprinošenje ekonomskom rastu, socijalnom i kulturnom napretku, kao i porastu životnog standarda i opšteg kvaliteta života.

Suštinska novina ove Strategije jeste da "istraživanje vezano za inovacije" za ekonomski i socijalni razvoj jedne zemlje jeste u njenoj osnovi. Prema podacima iznesenim u ovom dokumentu, glavni preduslovi za kreiranje društva baziranog na inovativnom znanju jesu izuzetnost i relevantnost naučnog i istraživačkog rezultata. Izuzetnost je mera kvaliteta i međunarodne vidljivosti naučnih i istraživačkih rezultata, dok relevantnost predstavlja uticaj istraživačkih rezultata na privredu i društvo.

Strategija naučnog i tehnološkog razvoja Republike Srbije za period od 2016. do 2020. godine pripremljena je koristeći utvrđeni pristup "odozgo na dole" sa doprinosima vezanim za neformalne panele iz odabranih područja društvenih i tehnoloških inovacija. Ciljevi i prioritetne oblasti istaknute u okviru Strategije adekvatno postavljaju stvari; pitanje je da li će Akcioni plan (koji trenutno priprema Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja) biti dovoljno praktičan, kao i da li će dovoljno resursa biti alocirano za njegovu implementaciju. Ovaj proces može trajati određeno vreme, kao što je slučaj sa Strategijom razvoja industrije informacione tehnologije za period od 2017. godine do 2020. godine, koja je prilično povezana uzimajući u obzir njene ciljeve i instrumente (Pravno-Informacioni sistem Republike Srbije, 2018).

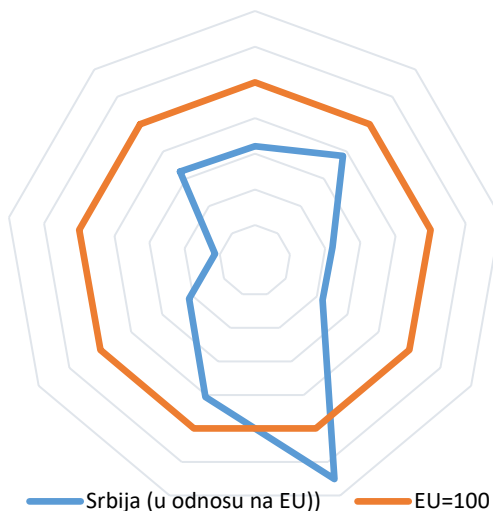
Ova Strategija usvojena je u novembru 2016. godine, a Akcioni plan sa detaljnim ciljevima, instrumentima, indikatorima i odobrenim fondovima sredinom januara 2018. godine. Na bazi ovog Akcionog plana, Srbija će

iz budžeta za 2018. godinu, kao i IPA fondova, finansirati više aktivnosti: podršku preduzetničkog razvoja, razvoj konkurentnosti malih i srednjih preduzeća, sufinansiranje inovacionih poduhvata, razvoj IT klastera, *hub* centre za *start-up* preduzeća, kao i tehnološke inkubatore. Ukupni izdaci za ove i ostale aktivnosti u 2018. godini su nešto oko 16 miliona Eura (Vlada Republike Srbije, 2018).

3. APSORPCIONI KAPACITETI ZA I&R PROJEKTE U SRBIJI

Prema dostupnim nacionalnim i međunarodnim istraživačko-razvojnim programima koji se dešavaju u Srbiji tokom poslednjih par godina, čini se da postoje određene praznine u okviru apsorpcionih kapaciteta za inovacije, što se uočava kao blago rastući trend. Centralna uloga daljih unapređenja u toj oblasti može biti bazirana na aktivnom i koherentnom nacionalnom inovacionom sistemu. Ovaj sistem ima svrhu da koordinira aktivnosti sa svim nacionalnim institucijama, kao i sa javnim sektorom i celim obrazovnim sistemom (sa naročitim fokusom na visoko obrazovanje i ozbiljne naučne autpute). Kao rezultat, sistem će biti u prilici da podrži preduzetništvo kao proizvodni faktor, okvir razvoja neophodnih ljudskih resursa, kao i osnovu za obezbeđivanje većih iznosa sredstava za finansiranje malih i srednjih preduzeća. Kao što je već istaknuto, od 2016. godine Srbija je započela rad na formiranju nečega što se može podvesti pod termin "srpski inovacioni sistem". Međutim, sistem se još uvek nalazi u ranim fazama razvoja, trenutno orijentisan ka iznalaženju modaliteta efektivnog funkcionisanja. Utvrđivanje koherentnih veza između elemenata sistema biće prerogativ perioda koji predstoji.

Izveštaj Evropske komisije vezan za Usklađenu listu evropskih inovacija klasifikovao je Srbiju kao umerenog inovatora, što je sličan slučaj kao i sa susednom Hrvatskom.¹⁰ Prema metodologiji ove liste i kompozitnom sumarnom indeksu inovacija (KSII), koji je njen sastavni deo, Srbija ima bolji rang od nekih zemalja članica EU, poput Rumunije i Bugarske, koje potpadaju u okvir grupe skromnih inovatora (*European comission*, 2018). Pozicija Srbije prikazana je preko sledeće Usklađene liste:



Slika 1: Pozicija Srbije prema Izveštaju Evropske komisije vezanom za Usklađenu listu evropskih inovacija (*European comission*, 2018)

U skladu sa KSII komponentama, inovacione performanse Srbije unapređene su u periodu od 2010. godine do 2016. godine. Od 2010. godine, prema podacima navedene Usklađene liste, ovakav napredak je postignut zahvaljujući bližoj saradnji između malih i srednjih preduzeća, kao i naporima različitih kategorija inovatora. Srbija ostvaruje veoma dobre performanse u pogledu obrazovanja mladih, od nivoa srednjeg obrazovanja pa

¹⁰ Postoje četiri grupe identifikovane u okviru metodologije (odzgo na dole): 1. inovacioni lideri, 2. jaki inovatori, 3. umereni inovatori i 4. skromni inovatori. Ove grupe formiraju KSII rezultat za svaku zemlju, poredeći ga sa prosekom svih navedenih zemalja.



naviše, sa porastom mogućnosti za zaposlenje u sektorima koji su znanjem intenzivni. Takođe, Srbija ostvaruje ozbiljan rang u pogledu izdataka za istraživačko-razvojne inovacije. S druge strane, ona ima relativno slabu poziciju u pogledu istraživačkog dizajna, istraživačkog brendiranja i poslovnih izdataka za istraživanje i razvoj. Postoji stabilan rast izdataka u javnoj potrošnji vezanoj za istraživanje i razvoj, nasuprot padu izvoza u oblasti znanjem intenzivnih usluga, kao i broja ne-EU studenata doktorskih studija u Srbiji (*European commission*, 2018).

4. ZAKLJUČAK

Ključni strukturni izazovi u Srbiji koji utiču na apsorpcione kapacitete za inovacije, a na koje se nacionalni inovacioni sistem mora prilagoditi, te koje mora unaprediti u bliskoj budućnosti, su:

- Odsustvo koherentne i koordinirane uprave i finansiranja;
- linerano razumevanje svih entiteta Vlade vezano za inovacioni proces, što rezultuje u visoko fragmentisanom inovacionom sistemu. Ovo predstavlja glavnu prepreku za umrežavanje I&R sektora sa ostatkom privrede i društva u celini;
- konstantan "odliv mozgova" visoko obrazovanih pojedinaca (Izveštaj o Globalnoj konkurentnosti Svetskog ekonomskog foruma pokazuje nepovoljnu poziciju u pogledu pod-indikatora vezanih za kapacitete zemlje da zadrži i privuče talente) (*World economic forum*, 2018);
- inovacioni sistem koji je nedovoljno atraktivan za privatne investicije. Vlada mora da rekonstruiše javni sistem I&R, kao i da integriše privatni sektor u nacionalni inovacioni sistem;
- nedostatak kulture vezane za tehnološko preduzetništvo na univerzitetima i u okviru vladinog sektora;
- odsustvo jasne evaluacione kulture vezane za I&R;
- sistem koji favorizuje stranu ponude vezane za I&R, u odnosu na stranu tražnje.

Na bazi celokupno sprovedene analize vezane za trenutno stanje srpskih inovacionih kapaciteta postavljene iz različitih perspektiva, a naročito se fokusirajući na nedostatke i izazove za budućnost, evidentno je da Srbiji predstoji još dosta napora da bi svoje I&R kapacitete uskladila sa očekivanim evropskim standardima, kao i da bi ovaj segment privrede mogao da postane značajniji motor ekonomskog napretka, konkurentnosti i međunarodne afirmacije zemlje.

LITERATURA

- [1] European Commission, European Innovation Scoreboard 2017, dostupno na: <https://ec.europa.eu/growth/sites/growth/files/infographic-innovation-scoreboard-2017-map-full-size.png>, pristupljeno 20/6/2018 godine.
- [2] Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Sektor visokog obrazovanja, dostupno na: <http://www.mpn.gov.rs/prosveta/visoko-obrazovanje/>, pristupljeno 20/6/2018 godine.
- [3] Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Strategija naučnog i tehnološkog razvoja Republike Srbije za period od 2016. do 2020. godine, dostupno na: <http://www.mpn.gov.rs/wp-content/uploads/2015/08/STRATEGIJA-naucnog-i-tehnoloskog-razvoja-RS-za-period-2016-2020..pdf>, pristupljeno 10/6/2018 godine.
- [4] Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Vodič kroz strategiju Evropa 2020, dostupno na: <http://www.mpn.gov.rs/wp-content/uploads/2015/08/EU-2020.pdf>, pristupljeno 21/6/2018 godine.
- [5] OECD publications, A taxonomy of digital intensive sectors, dostupno na: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/f404736a-en.pdf?expires=1529576802&id=id&accname=guest&checksum=DDFBE294155EE4AB5D0502C6B23F1935>, pristupljeno 17/6/2018 godine.
- [6] Pravno-Informacioni sistem Republike Srbije, Strategija razvoja industrije informacione tehnologije za period od 2017. godine do 2020. godine, dostupno na: <http://www.pravno-informacioni->



sistem.rs/SIGlasnikPortal/reg/viewAct/2db39af8-90b2-4754-b64c-cd3bbc8101f3,
21/6/2018 godine.

pristupljeno

- [7] Vlada Republike Srbije, Akcioni plan za sprovođenje Strategije razvoja industrije informacione tehnologije za period od 2017. godine do 2020. godine, dostupno na: http://www.srbija.gov.rs/vesti/dokumenti_sekcija.php?pf=1&id=45678Strategija&url=%2Fvesti%2Fdokumenti_sekcija.php%3Fpf%3D1%26id%3D45678Strategija, pristupljeno 17/6/2018 godine.
- [8] World Economic Forum, Global Competitiveness Report 2017-2018, dostupno na: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2017-2018>, pristupljeno 21/6/2018 godine.



TIHA TRANZICIJA – STRUKTURNE PROMENE NAUČNOISTRAŽIVAČKOG SISTEMA U SRBIJI

SILENT TRANSITION – STRUCTURAL CHANGES IN SCIENCE AND RESEARCH SYSTEM IN SERBIA

ĐURO KUTLAČA¹, DUŠICA SEMENČENKO²

¹ Univerzitet u Beogradu, Institut Mihajlo Pupin, djuro.kutlaca@pupin.rs

² Univerzitet u Beogradu, Institut Mihajlo Pupin, dusica.semencenko@pupin.rs

Rezime: Početkom osamdesetih godina XX veka u Srbiji započinje dugotrajna tranzicija naučnoistraživačkog (NI) sistema u čijoj je osnovi restrukturiranje sistema koje se odvijalo bez odlučne primene naučnotehnoških politika i strategija i uz odsustvo dugoročne vizije razvoja. Ovakav odnos države vodio je ka tranziciji koju iz tih razloga možemo nazvati i tihom tranzicijom. Jedna od pojava karakterističnih za ovaj fenomen poslednjih godina je i promenjen odnos broja zaposlenih prema naučnim oblastima u NI sistemu. Uzroke i posledice ove strukturne promene analizirali smo u ovom radu.

Ključne reči: Naučnoistraživački sistem, tranzicija, restrukturiranje, zaposleni, oblasti nauke.

Abstract: In the early 1980s, a long-term transition of the science and research (S&R) system began in Serbia, where the restructuring of the system took place without the decisive implementation of the science and technology policies and/or strategies, and with the absence of a long-term vision of development. This attitude of the government led to a transition which, for these reasons, can also be called a quiet transition. One of the characteristic of this phenomenon in recent years, among others, is changed ratio of the number of employees by the scientific fields in S&R system. In this paper we analyze the causes and consequences of this structural changes.

Keywords: Science & research system, transition, restructuring, employees, scientific fields.

1. UVOD

Do početka devedesetih godina XX veka naučnoistraživački sistem (NIS) u Srbiji, kao i u drugim delovima bivše Jugoslavije, bio je vođen polusamoupravnom - poludržavnom naučnotehnoškom (NT) politikom koja je neuspešno počela da se primenjuje sredinom osamdesetih, a bila je aktuelna do sredine devedesetih.

Ovaj period označio je i započinjanje duge i tihe tranzicije NI sistema prouzrokovane promenama u društvenom, političkom i ekonomskom sistemu. Pokušaji i naponi da se definiše nova, moderna naučnotehnoško-inovaciona politika zasnovana na preporukama Strategije tehnološkog razvoja SFR Jugoslavije do početka XXI veka (Matejić, 1989), propali su 1992. godine.

Zakon o NI delatnosti (ZNID) iz 1993. nije stimulisao razvoj u poslovnom sektoru, već razvoj za poslovni sektor. To je i ključno objašnjenje za mali doprinos istraživačko-razvojnog (IR) sektora razvoju ekonomije (Kutlača and Semenčenko, 2015). Organizacije NI sektora su, u teškim uslovima poslovanja od početka devedesetih godina prošlog veka, sa sve manjim mogućnostima države da im pomogne budžetskim sredstvima, morale da se preorijentišu na druge aktivnosti (od rentiranja poslovnog prostora, do konsultantskih, proizvodnih i drugih, neistraživačkih aktivnosti), od kojih su obezbeđivale, uglavnom, egzistenciju i preživljavanje, bez mogućnosti značajnijeg razvoja. Koncentracija istraživača uglavnom u sektoru visokog obrazovanja i donekle u tzv. nezavisnim/državnim institutima, uz opominjuće sudbine NI organizacija u poslovnom sektoru tokom tranzicionog perioda posledica je delovanja zakona iz 1993. u kombinaciji sa neblagovremenim donošenjem adekvatne pravne regulative i politike države prema NI organizacijama u poslovnom sektoru tokom tranzicionih promena.

Nedostatak vizije i dugoročnih ciljeva tehnološkog razvoja Srbije uslovio je spontanost događanja i promena u NI sistemu koje iz tih razloga nazivamo maglovitom, tihom tranzicijom (Kutlača, 2004). Potonja politika a zatim i strategija NT razvoja kao i zakoni iz 2005. godine nisu značajno tj. odlučno doprinele usmeravanju tranzicije NI sistema u Srbiji.

Zakoni iz 2005. godine, ZNID i Zakon o inovacionoj delatnosti (ZID) praktično ignorišu tranzicione mehanizme. Ovim zakonima i dalje se insistira na formalnim uslovima za registraciju organizacija koje se bave IR i inovacionim aktivnostima, što ima za posledicu da se značajan broj preduzeća nije akreditovao, i time ne samo da nema pravo na korišćenje sredstava iz budžeta za IR i inovacionu delatnost, što je značajna pomoć u periodu tranzicije i krize u poslovanju ekonomije; nego je, uglavnom, i izostavljen iz aktivnosti na definisanju razvojnih prioriteta i kreiranju razvojnih programa.

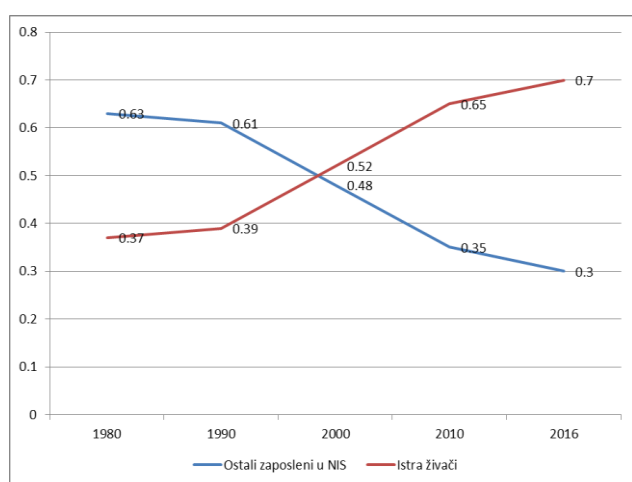
Sve ove promene dovele su do potpuno drugačije strukture i NI sistema, u kojem sada dominiraju oblasti u kojima se uglavnom realizuju osnovna istraživanja, uz potiskivanje primenjenih istraživanja i tehnološkog razvoja, što još više produbljuje jaz između i NI sektora i ekonomije Srbije (Kutlača and Semenčenko, 2015).

2. PROMENE U STRUKTURI ZAPOSLENIH U IR SEKTORU

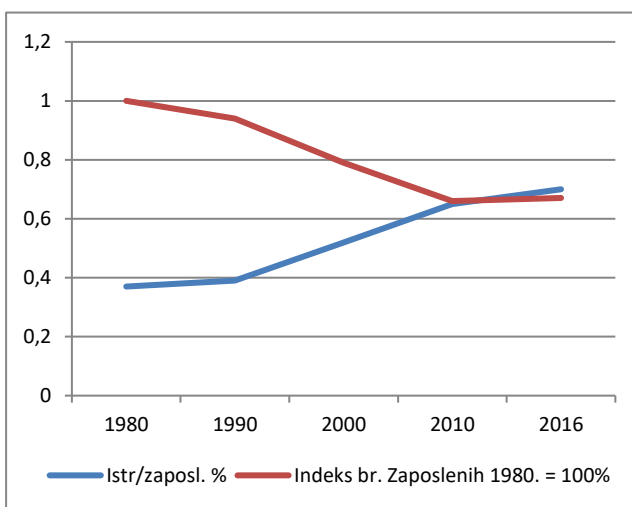
Početni period tranzicije 1980-1998, bio je obeležen strukturnim promenama NI sistema, smanjenjem ukupnog broja naučnoistraživačkih organizacija – od 390 u 1981. godini do 210 organizacija 1998. Trend smanjenja broja NIO prisutan je do početka XXI veka, međutim prosečna veličina organizacija je udvostručena, izuzev u istraživačko-razvojnim jedinicama preduzeća gde već dolazi do smanjenja broja zaposlenih.

Jedna od osnovnih posledica strukturne transformacije proistekla je iz promena nastalih u vezi sa ljudskim resursima. Ukupan broj zaposlenih u NIS kao i broj istraživača rastao je tokom osamedesetih godina da bi dostigao maksimum 1988. – 35.973 ukupno zaposlenih. U istom periodu broj istraživača je takođe rastao od 9.522 do 13.220 u 1997. godini od kada je opet u padu, a rast se primećuje u prvim godinama XXI veka, da bi 2016. u sistemu bilo zaposleno 16.592 istraživača.

Druga strukturna promena se zapaža u odnosu broja ukupno zaposlenih i istraživača. Na slici 1. grafik prikazuje početak perioda i udaljenost broja ukupno zaposlenih od broja istraživača, u korist broja ukupno zaposlenih. Sredinom perioda dolazi do izjednačavanja broja zaposlenih na obe strane, a zatim se makaze otvaraju zbog značajnog porasta broja istraživača u odnosu na broj ostalih zaposlenih u NIS.



Slika 1: Kretanje procentualnog odnosa broja istraživača i ostalih zaposlenih u IR sektoru u Srbiji u %



Slika 2: Kretanje procentualnog odnosa ukupno zaposlenih i istraživača na 1000 zaposlenih u Srbiji

Do ovakvih posledica tranzicije neminovno je došlo sa promenama tehnologije koje su uticale na rad i u NIO u Srbiji. Veliki broj ostalih zaposlenih činili su saradnici sa srednjom sručnom spremom, visokokvalifikovani i drugi radnici. Nagli razvoj informacionih i administrativnih tehnologija značajno je smanjio potrebu za vrstom rada koju je obavljao deo zaposlenih koji se nije direktno bavio istraživanjima i/ili inženjerskim aktivnostima. Tranzicija se dešava i u ekonomskom sistemu: u istom periodu smanjuje se broj zaposlenog stanovništva u Srbiji za oko 900.000 hiljada ljudi tako da je povećanjem ukupnog broja



istraživača došlo i do procentualnog povećanja broja istraživača kao procenta ukupno zaposlenog stanovništva (tabela 1. i slika 2).

Tabela 1 nas uvodi u sledeći, centralni aspekt analize prikazane u ovom radu. U tabeli je dat pregled procentualne zastupljenosti istraživača po oblastima nauke (OECD, 2015)¹¹ u Srbiji i državama za koje su nam podaci bili dostupni za 2015. ili najbližu toj godini. Prvo zapažanje je da je zastupljenost istraživača najmanja u biotehničkim i humanističkim naukama, zatim slede medicinske nauke, a procentualno je približna u gotovo svim državama iz pregleda pa i u Srbiji. Najveći je broj zaposlenih u tehničko-tehnološkim naukama, kako u Srbiji tako i u većini zemalja EU.

Tabela 1: Istraživači po oblastima nauka, izabrane države EU i ZB, 2015.g.

Istraživači po oblastima nauka	PMN	TTN	MN	BTN	DN	HN	Broj istraživača kao % broja zaposlenih
Država / Godina	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015
EU	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>	<i>n.a.</i>	1.3259
Bugarska (2014.g.)	21.49	30.65	16.65	6.91	15.25	9.04	0.650
Češka Republika (2014.g.)	29.57	37.92	12.00	4.35	10.23	5.95	1.1472
Hrvatska (2014.g.)	15.91	29.55	20.53	8.16	16.95	8.89	0.7113
Kipar (2014.g.)	26.94	23.94	6.42	2.82	25.14	13.03	0.6054
Mađarska (2014.g.)	28.45	33.87	11.44	3.93	11.76	10.55	0.9200
Malta (2014.g.)	24.61	27.35	15.34	1.78	18.90	10.60	0.7758
Holandija (2014.g.)	19.55	45.83	14.75	7.05	9.86	2.95	0.7494
Poljska (2010.g.)	17.39	35.60	14.24	5.32	15.64	11.81	0.7494
Portugal (2010.g.)	19.78	31.29	16.34	2.70	17.71	12.17	1.8799
Rumunija (2010.g.)	14.64	46.86	9.94	9.17	15.27	4.12	0.3309
Slovenija (2013.g.)	25.00	41.35	14.69	3.42	9.99	5.54	1.2537
Slovačka R. (2014.g.)	16.56	32.04	11.85	5.17	18.63	15.75	1.0144
BJR Makedonija	10.23	16.25	25.40	6.34	26.48	15.30	0.5412
Srbija	24.70	26.40	14.62	7.14	18.50	8.64	0.8186
Turska (2013.g.)	9.41	35.12	23.62	4.31	18.36	9.17	0.7370
Bosna i Hercegovina (2013.g.)	9.61	27.03	3.22	9.01	45.28	5.84	<i>n.a.</i>
Ruska Federacija	22.86	61.10	4.17	2.98	5.50	3.40	<i>n.a.</i>
Japan	18.60	47.67	14.59	4.19	5.83	3.31	<i>n.a.</i>
Južna Koreja	12.79	68.00	5.31	2.44	6.17	5.29	<i>n.a.</i>

Izvor: Eurostat

Broj zaposlenih u društvenim naukama u Srbiji je 18,5 %, a i u većini zemalja iz tabelarnog prikaza je preko 15%, dok je u nekim bivšim državama Jugoslavije kao i južne Evrope ekstremno visok procenat od 25-45%. Primetan je reciprocitet odnosa tehničko-tehnoloških i društvenih nauka: tamo gde je veći procenat zaposlenih u TT naukama vidljivo je manje učešće istraživača u društvenim naukama. Najviše istraživača u tehničko-tehnološkim naukama je u Južnoj Koreji – čak 68%, Ruskoj Federaciji 61%, a zatim u Japanu i većini država EU za koje imamo podatke u ovom pregledu. Izrazito mali procenat istraživača u prve tri države je u biotehničkim naukama, a zatim u humanističkim i društvenim.

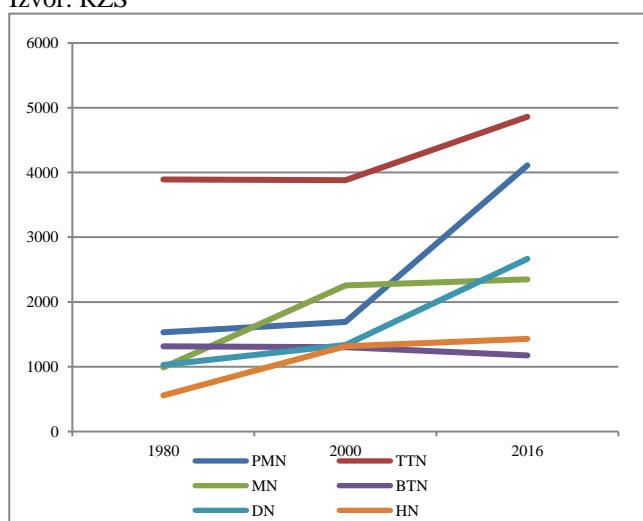
Diskusija potkrepljena ovim podacima može nas voditi ka poređenjima vezanim za ekonomske performanse država i njihove politke u oblasti nauke, tehnologije i inovacija. Budući da je naša hipoteza u vezi sa tokom i trenutnim rezultatima tranzicije IR Sistema u Srbiji na primeru zastupljenosti istraživača prema oblastima nauke, dali smo tabelarni i grafički pregled (tabela 2, slika 3) zastupljenosti istraživača u svih 6 naučnih oblasti od početka perioda tranzicije, 1980. godine, početkom XXI veka i trenutno stanje sa podacima za 2016. godinu. [Napomena: Izvor podataka za Srbiju je Republički zavod za statistiku (RZS)].

¹¹ Prema Frascati priručniku osnovne oblasti nauke su: *natural sciences* (prirodno-matematičke nauke), *engineering and technology* (tehničko-tehnološke), *medical and health science* (medicinske nauke), *agricultural and veterinary sciences* (biotehnološke nauke), *social sciences* (društvene nauke) i *humanities and the arts* (humanističke nauke) (OECD, 2015).

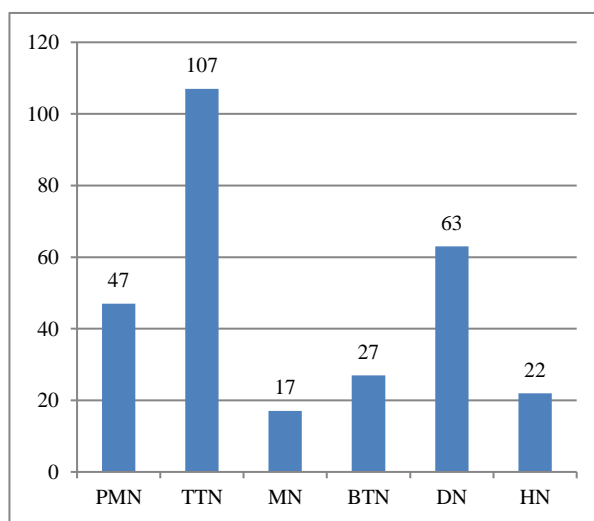
Tabela 2: Ukupan broj istraživača u NI sistemu Srbije, distribucija po oblastima nauka, 1980-2016.

Godina	Broj istraživača	PMN	TTN	MN	BTN	DN	HN
1980.	9316	1532	3891	990	1316	1029	558
2000.	11969	1693	3881	2258	1301	1336	1319
2016.	16592	4110	4860	2350	1175	2666	1431
Godina	Broj istraživača	PMN	TTN	MN	BTN	DN	HN
2000/1980.	128.48%	110.51%	99.74%	228.08%	98.86%	129.83%	236.38%
2016/2000.	138.62%	242.76%	125.23%	104.07%	90.32%	199.55%	108.49%
2016/1980.	178.10%	268.28%	124.90%	237.37%	89.29%	259.09%	256.45%

Izvor: RZS


Slika 3: Broj istraživača u NI sistemu Srbije, distribucija po oblastima nauka, 1980-2016.

Izvor: RZS


Slika 4: Broj NIO po oblastima nauke, 2016.

Izvor: RZS

U početnih dvadeset godina tranzicije uočljiva je relativna stabilnost broja zaposlenih u svim oblastima izuzev u medicinskim i humanističkim naukama u kojima je došlo do rasta zaposlenih, što se može tumačiti i reorganizacijama vezanim za transformacije institucija i/ili promene osnovnih delatnosti naučnoistraživačkih organizacija. Od 2000. godine dolazi do vidljivog i ubrzanog rasta broja zaposlenih naročito u prirodno-matematičkim i društvenim naukama, dok medicinske i humanističke nauke beleže veoma mali rast.

Društvenim naukama obuhvaćene su sledeće oblasti: 1. psihologija i sazajne nauke, 2. ekonomija i biznis, 3. obrazovanje, 4. sociologija, 5. prava, 6. političke nauke, 7. društvena i ekonomska geografija, 8. mediji i komunikacije, 9. druge društvene nauke.

U jednoj od prvih aktivnosti koje prethode izradi strategije pametne specijalizacije u Srbiji, kao deo mapiranja ekonomskog, inovacionog i naučnog potencijala (JRC and IWB 2017; Kroll et al. 2017) vidljiv je veliki porast broja zaposlenih u regionu Beograda u oblasti istraživanja i razvoja naročito u društvenim i humanističkim naukama (NACE¹² 72.2), 1314% u period 2011-2016.

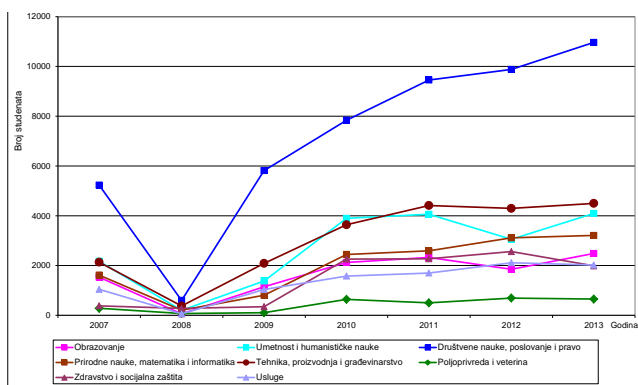
Pored očiglednog porasta broja zaposlenih u nekim za državu kapitalnim sektorima (avio-kompanija, lutrija i sl) i nekim specijalizovanim sektorima koji se javljaju kao tehnički artefakti zbog lokacija sedišta firmi (iskopavanje lignita npr), sledeće oblasti su relevantne za specijalizaciju regiona Beograda sa aspekta zapošljavanja: Računarsko programiranje i IKT; NI i IR rad i Tehnički konsalting; Kreativna ekonomija; Finansijsko posredovanje.

¹² National Classification of Economic Activities

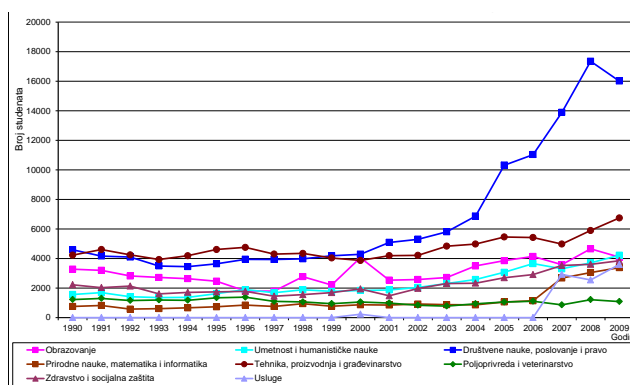
2.1 Trendovi u visokoškolskom obrazovanju relevantni za NIS

Za aktuelnu raspodelu broja zaposlenih u IR sektoru prema oblastima nauke relevantan je i odnos za iste oblasti upisanih i diplomiranih studenata u prethodnom periodu tranzicije (1990-2013). Kao što bi se moglo očekivati procentualno najveći broj je diplomirao na fakultetima u oblasti društvenih nauka, međutim na drugom mestu su tehnika, proizvodnja i građevinarstvo (slika 5). Slična distribucija diplomiranih studenata je i na nivou Evropske unije. Daleko najviše studenata diplomira u oblasti društvenih nauka dok diplomirani u tehničkim naukama čine 41% prve grupe u Srbij tj. 42% u EU. Poljoprivredne nauke su u oba uzorka najmanje zastupljene.

Uzimajući kao indikator broj upisanih studenata na visokoškolske ustanove u Srbiji u 2007. ili 2008, nalazimo sličnosti sa prosekom EU-27 u 2007, u orijentaciji mladih prema određenim oblastima obrazovanja. Procenat upisanih na fakultete društvenih nauka, menadžement i pravo je sličan ili približno isti, što važi i za orijentaciju ka tehničkim, proizvodnim naukama i građevinarstvu. Sličan trend se nastavlja i u period 2009-2016. sa jedva nešto većim interesovanjem za studije tehničkih nauka. Od 2006. najveći rast upisanih studenata se primećuje u oblasti usluga.

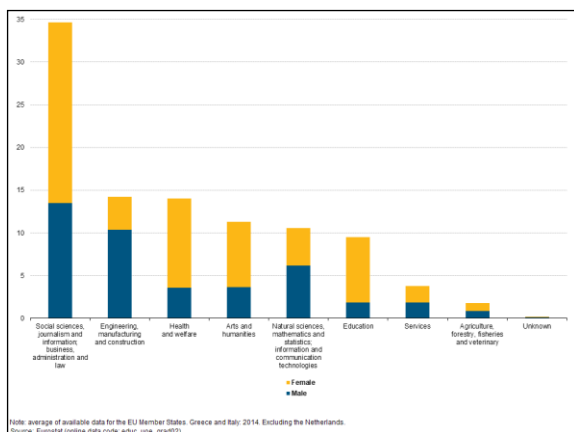


Slika 5: Diplomirani studenti po oblasti studija 2007-2013. godina
 Izvor: RZS

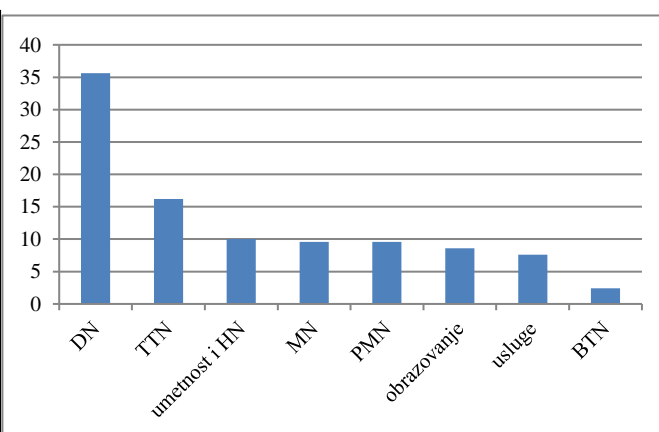


Slika 6: Diplomirani studenti po oblasti studija 1990-2009. godina
 Izvor: RZS

Ovaj trend se nastavlja i sledećih godina na gotovo isti način i u Srbiji i u zemljama Evropske unije (slike 7. i 8.).



Slika 7: Diplomirani studenti po oblasti i polu, EU-28, 2015 u procentima
 Izvor: Eurostat (educ_uoe_grad02)



Slika 8: Diplomirani studenti u Srbiji po oblastima, 2015. u procentima
 Izvor: Statistički godišnjak Srbije, 2016. RZS



Glavni izvor za regrutovanje novih istraživača i naučnika su studenti koji su tek završili posle diplomanske studije (specijalizacije, master i doktorske studije). 2012. godine Srbija je dobila 750 novih doktora nauka/umetnosti, od toga 52,3% u društvenim/humanističkim, i medicinskim naukama. Dokaz o promenama u orijentaciji ljudskih resursa je udeo mastera i doktora nauka u društvenim i humanističkim naukama koji je porastao na više od polovine u ukupnom broju mastera (57,1%) i više od jedne trećine doktora (37,5%).

Analizom broja studenata i diplomiranih studenata u periodu 1990 - 2010. godina, identifikovali smo sledeće trendove upisivanja /studiranja/ diplomiranja:

- Očigledna je orijentacija studenata ka društvenim naukama, menadžmentu i pravu, da bi ove oblasti u 2006. bile zastupljene sa 40% od ukupnog broja studenata, sa manjim trendom opadanja diplomiranih u narednom periodu;
- Studiranje tehničko-tehnoloških i inženjerskih nauka je gotovo prepolovljeno, broj studenata u ovim oblastima je opao sa 24,8% u 2000. na 14,2% u 2009, sa manjim porastom, kao što je rečeno u sledećem periodu;
- Studije u oblastima vezanim za poljoprivredu (poljoprivreda i veterina), koje su deklarativno proglašene nacionalnim prioritetima, studentima su neprivačne: u period 2000-2013. broj studenata koji je izabrao ove oblasti varira između 3% i 5,2%;
- Veliki rast interesovanja za studiranje desio se u prethodnoj deceniji u oblasti usluga, gde je rast bio od skromnih 0,9% u 2000, do 8,4% u 2009;
- Nešto manji rast je zabeležen je i u prirodnim naukama, matematici i informatici od 5,3% u 2000. na 9,2% u 2009. i lagano je nastavio da raste;
- Na suprot tome, manji pad interesovanja zabeležen je u analiziranom periodu u oblasti obrazovanja, umetnosti i humanističkih nauka, a trend stagnacije je još izrazitiji u oblasti zdravstva i socijalne zaštite.

3. ZAKLJUČAK

U zaključku ovog rada možemo tvrditi da evolucija – tiha tranzicija naučnoistraživačkog sistema u Srbiji krajem dvadesetog i početkom dvadeset prvog veka nije učinila dovoljno za odgovornije upravljanje samim NI sistemom.

Naučnoistraživački sistem je ušao u period tranzicije osamdesetih godina XX veka opterećen nasleđem iz vremena svog formiranja – početkom druge polovine XX veka. Najpre je država sa svojim institucijama preduzela napore za formiranje celog sistema odjednom kao što je i učinjeno. Usmeravanje većine sredstava u razvoj ljudskih resursa i infrastrukture napravilo je sistem koji pe svega nije pravilno povezan sa industrijom kao glavnim pokretačem ekonomskog razvoja. Naravno, treba imati u vidu i odsustvo privatne inicijative i kapitala, socijalistički sistem je drugačije funkcionisao od sistema u zapadnoevropskim državama. U narednim periodima, dolazilo je do različitih vrsta decentralizacije državne uprave pa time i finansiranja NI sistema.

Na kraju perioda, ceo sistem počinje da se nosi sa izazovima koji ih dovode u dugotrajnu spontanu, zamućenu i tihu tranziciju koja je, kao što smo pokazali u slučaju zaposlenih istraživača prema naučnim oblastima, na neki način dovela do približno iste preraspodele kao i u većini zemalja EU, što je još potvrđeno i procentualnom raspodelom diplomiranih studenata u Srbiji i EU.

Zapaža se manji broj zaposlenih u tehničko-tehnološkim naukama što ukazuje na niži ekonomski nivo razvoja tj. na niži nivo inovacionih performansi Srbije u odnosu na većinu država EU.

LITERATURA

- [1] JRC and IWB (2017). Smart Specialisation & Organisational Development: Roadmap 2017-2018 for the pilot project with Serbia. Internal working document
- [2] Kroll, H., Schnabl, E. & Horvat, Dj. (2017). Mapping of economic, innovative and scientific potential in Serbia. Fraunhofer ISI, Report commissioned by the JRC, European Commission
- [3] Kutlača, Đ. & Semenčenko, D. (2015). Nacionalni inovacioni sistem u Srbiji: Prošlost, sadašnjost, budućnost, Institut Mihajlo Pupin – Centar za istraživanje razvoja nauke i tehnologije, ISBN 979-86-82183-14-3, <http://www.pupin.rs/cirnt/wp-content/uploads/2012/12/NIS2-P1-color.pdf>



- [4] Kutlača, Đ. (2004). *Federal Republic of Yugoslavia: restructuring the S&T system - indicators of transformation*, chapter in the book "From system transformation to European integration: Science and Technology in Central and Eastern Europe at the beginning of the 21st century", Werner Meske (Ed.), Lit Verlag Münster, pp. 307-336, ISBN 3-8258-7290-4, 2004.
- [5] Matejić V. (1989). *Strategija tehnološkog razvoja Jugoslavije do početka 21. veka*, završni izveštaj projekta, knjiga 1, SITJ, Belgrade,
- [6] OECD (2015), *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*, OECD Publishing, Paris. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239012-en>

Zahvalnost

U radu su saopšteni rezultati istraživanja na projektu: „Istraživanje i razvoj platforme za naučnu podršku u odlučivanju i upravljanju naučnim i tehnološkim razvojem u Srbiji, koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke u periodu 2011-2018, evb. III47005.



POVEZANOST KLJUČNIH INSTITUCIJA U OBLASTI OPERACIONIH ISTRAŽIVANJA I NJIHOV UTICAJ NA TRANSFER ZNANJA - PRIMENA METODE MREŽNE ANALIZE

CONNECTIONS OF KEY INSTITUTIONS IN THE FIELD OF OPERATIONAL RESEARCH AND THEIR IMPACT ON KNOWLEDGE TRANSFER - APPLICATION OF THE NETWORK ANALYSIS

LAZAR ŽIVKOVIĆ¹, ĐURO KUTLAČA²

¹ Institut Mihajlo Pupin, lazar.zivkovic@pupin.rs

² Institut Mihajlo Pupin, djuro.kutlaca@pupin.rs

Rezime: U ovom radu je analizirana saradnja glavnih institucija u Srbiji u oblasti operacionih istraživanja (OI) sa posebnim fokusom na analizu strukture mreže kao i povezanost i međusobne odnose između institucija u mreži. Primenom metode mrežne analize ko-autorstva u radovima indeksiranim u bibliografskoj bazi Web of Science u periodu 1997-2017, kreirana je mreža istraživačkih institucija, prikazan je stepen povezanosti institucija u mreži, značaj svake institucije u mreži kao i uticaj svake institucije pojedinačno na transfer znanja. Najveći uticaj na ostale aktere mreže u oblasti OI imaju Saobraćajni fakultet u Beogradu, Matematički fakultet i Matematički Institut SANU, dok najveći značaj u funkciji transfera znanja ima Saobraćajni fakultet u Beogradu.

Ključne reči: Mrežna analiza, Transfer znanja, Operaciona istraživanja.

Abstract: In this paper we analyzed the cooperation of the main institutions in Serbia in the field of operational research with a special focus on the analysis of the structure of networks as well as connections and relationships between institutions. Applying the method of network analysis of the co-authorship of the papers indexed in bibliographic database Web of Science in the period 1997-2017, a network of research institutions was visualised; the degree of connectivity between the institutions in the network is shown; the importance of each institution in the network as well as the impact of each individual institution to transfer knowledge is analysed. The largest influence on other actors in the field of operational research has Faculty of Transport and Traffic Engineering, Faculty of Mathematics and the Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, while the Faculty of Transport and Traffic Engineering has greatest importance in the function of knowledge transfer.

Keywords: The network analysis, Knowledge transfer Operational Research.

1. UVOD

Glavni cilj mrežne analize je otkrivanje i tumačenje obrazaca društvenih veza među akterima koji su predmet istraživanja (Wassermann and Faust, 1994). Fokusirajući se na ispitivanje saradnje u oblasti istraživanja sa strukturnog aspekta, mrežna analiza je postala važan alat u cilju razumevanja nekoliko bitnih pitanja kao što su: prelivanje znanja, inovacije kroz saradnju, partnerstva u oblasti inovacija i istraživanja (Innovation and Research, I&R), međusektorska i unutarsektorska saradnja, međunarodna saradnja i dr. U tom kontekstu, relacije mreže su definisane topološkim vezama ukazujući na to kako akteri u mreži komuniciraju jedni sa drugima. U mrežnoj analizi, topologija mreže može se definisati kao struktura mreže ili povezanost između različitih elemenata mreže (čvorova, veza, itd) (Wassermann and Faust, 1994). Prema tome, sadašnja literatura o mrežnoj analizi pokušava da analizira strukturne karakteristike čvorova, veza i međusobnih odnosa u mreži.

Sa teoretskog aspekta, saradnja između privrede, istraživačkih institucija i javnog sektora se može manifestovati u nekoliko oblika. Studije čija je tema transfer znanja između univerziteta i privrede su istraživale pitanja kao što su generisanje tehnološkog znanja na univerzitetima, formiranje naučnih i tehnoloških parkova, tehnološka veza između preduzeća i javnih istraživačko-razvojnih organizacija, ugovori o zajedničkom istraživanju (Bayona-Sáez et al. 2002), određene vrste interakcija, kao što su mobilnost



doktoranata ka privatnim preduzećima (Cruz-Castro and Sanz-Menéndez 2005) i analiza citiranosti patenata (Acosta and Coronado 2003; Plaza et al. 2006). Transfer znanja uključuje širok opseg formalnih i neformalnih tipova interakcije kao što su veze koje proizilaze iz ličnih kontakata, zajednička izrada nastavnih planova i programa, osnivanje univerziteta, zapošljavanje diplomiranih studenata i post-doktoranata i sl.

Posebno interesantan vid transfera znanja koji će biti tema istraživanja u ovom radu je međuinstitucionalni transfer znanja proistekao iz ko-autorstva u objavljenim naučnim radovima. Ovaj tip interakcije nastaje kada na jednom naučnom radu postoje minimum dva ko-autora iz dve različite institucije. Ova vrsta interakcije podrazumeva tacitni prenos informacija i znanja, kao rezultat ličnih kontakata između autora, čak i kada je proces striktno formalizovan. To je opipljiv odraz jednog aspekta prenosa znanja, najviša formalna manifestacija intelektualnog partnerstva u naučnim istraživanjima i postao je standardni indikator za istraživanje naučne saradnje.

Metoda mrežne analize omogućava uvid u strukturne karakteristike mreže, identifikaciju ključnih aktera, utvrđivanje položaja i karakteristika svakog aktera u mreži, evoluciju odnosa glavnih institucionalnih aktera kao i razumevanje dinamike saradnje. Metodom vizuelizacije moguće je grafički predstaviti ključne aktere u mreži, ali i izvršiti klasterizaciju na osnovu koje se mogu identifikovati istraživačke grupe.

U poslednjih 10 godina u Srbiji se beleži značajan rast broja objavljenih radova u međunarodnim časopisima (Živković et al. 2012; Štrbac et al. 2012), međutim u isto vreme i pad kvaliteta objavljenih radova (Kutlača et al. 2015)]. U prethodnom istraživanju autora (Živković and Kutlača, 2016), primenom bibliometrijskih indikatora naučne produktivnosti i mrežne analize ko-autorstva u radovima indeksiranim u bibliografskoj bazi Web of Science, analizirana je naučna produktivnost i identifikovane su najvažnijih istraživačke institucije iz oblasti operacionih istraživanja u Srbiji u periodu 1996-2015. U ovom radu, koji predstavlja nastavak navedenog istraživanja, kroz indikatore centralizovanosti mreže, analiziran je uticaj koji pojedine institucije imaju na ostale učesnike u mreži, zatim je prikazan i stepen značajnosti pojedinih institucija u mrežnoj strukturi u procesu prenošenja informacija.

U drugom poglavlju su prikazani istorijski razvoj i osnovni teorijski modeli mrežne analize. U trećem poglavlju je prikazan primer primene mrežne analize u definisanju i analizi strukture institucionalnih veza koje postoje u oblasti operacionih istraživanja i u poglavlju 4 su data zaključna razmatranja istraživanja.

2. MREŽNA ANALIZA: KONCEPT I ISTORIJSKI RAZVOJ ANALIZE DRUŠTVENIH MREŽA

Analiza društvenih mreža je interdisciplinarna metodologija razvijena najpre od strane istraživača iz oblasti sociologije, društvene psihologije i antropologije, zatim dalje razvijana i unapređivana u saradnji sa istraživačima iz drugih oblasti kao što su matematika, statistika i računarske nauke, što je dovelo do ubrzanog razvoja formalnih tehnika koje su postale atraktivne za korišćenje u više disciplina kao što su ekonomija, marketing, industrijski inženjering i dr. Koncept mrežne analize predstavlja spoj društvene teorije i primene koja uključuje matematičku, statističku i računarsku metodologiju. Smatra se da je termin „društvena mreža“ prvi put uveo Barnes (1954).

Počeci analize društvenih mreža vezuju se za izum metodološke tehnike koja je nazvana Sociogram 1930. godine od strane Morena (Moreno, 1953). Ova metodološka tehnika koju su razvili Moreno i Jennings označila je početak sociometrije čime je razvijen sistem za merenje interpersonalnih odnosa u malim grupama. Sociogram predstavlja sliku u kojoj su glavni akteri predstavljeni kao tačke u dvodimenzionalnom prostoru a veze između aktera su predstavljene linijama. Vremenom su primene mrežne analize proširene i na velike grupe, što je vodilo novim teorijskim i metodološkim problemima. Prepoznavanje sociograma kao korisnog alata za istraživanje društvenih struktura različitih grupa dovela je do ubrzanog razvoja analitičkih tehnika. Mnogi od trenutnih formalnih koncepata mrežne analize kao što su: centralizacija (Leavit 1951; Bavelas 1948; Smith 1950), gustina (Bott 1957), opseg (Thurman 1980), povezanost, klasterabilnost, multipleksnost (Kapferer 1969), su bili uvedeni tokom 50-tih i 60-ih godina u cilju istraživanja karakteristika društvenih struktura.

Analiza društvenih mreža je zasnovana na pretpostavci o značaju odnosa između društvenih jedinica (bilo da je reč o pojedincima, grupama, organizacijama), koji su u međusobnoj interakciji i uključuju razmene različitih resursa (materijalnih, usluga, informacija, vrednosti, shvatanja, normi i sl.) i koji poseduju određenu strukturu. Odnosi koji su definisani vezama između aktera u mreži su osnovna komponenta teorije mreže (Wassermann and Faust, 1994).



Strukturna i društvena analiza mreža je zasnovana na teoriji grafova, koja je prošla značajan razvoj u poslednjih nekoliko decenija, pre svega u sociologiji i proučavanju organizacionih oblika (Wasserman, i Faust 1994; Rodrigez 1995) i informatike (Haithornthvaite 1996; Ote i Ruso 2002). Upotreba ove metodologije još uvek nije široko proširena na proučavanju mreža naučne saradnje koja uključuje univerzitete, javni sektor i privatna preduzeća, ali je primenjena u drugim studijama naučne saradnje koje se zasnivaju na ko-autorstvu kao što je identifikacija međuinstitucionalne mreže elitnih istraživačkih centara (Nagpaul 2002), međunarodna mreža ko-autorstva (Li - Chun et al . 2006) ili mreža istraživačke saradnje između biofarmaceutskih kompanija (Calero i sar . 2007).

Konstrukcija podataka je bitan deo procesa koji prethodi primeni analize mreže. To podrazumeva pretvaranje podataka na raspolaganju u relacioni format. Osnovni elementi koji definišu mrežu su: akteri koji uspostavljaju međusobne odnose (na primeru ovog istraživanja to su: univerziteti, privatne kompanije ili institucije javnog sektora) i sami odnosi (kao što je među-institucionalno ko-autorstvo, ko-patentiranje, međunarodna institucionalna saradnja, saradnja u oblasti inovacija i sl.). Strukturna i mrežna analiza zasniva se, praktično, na kreiranju matrice međusobnih veza i izgradnji odgovarajućeg grafikona (Olmeda-Gómez, C et al. 2008).

Postoji nekoliko modela mrežne analize koje je Bart (1982) sistematizovao u ukupno 6 modela, koje je moguće zasebno analizirati ali i istovremeno. U radu Babovic (2006) su sumirani najčešći modeli mrežne analize prema Bart (1982):

1. Model ego-mreže;
2. Model položaja u mreži;
3. Model klika u mreži;
4. Model zajedničkog položaja u mreži;
5. Relacioni modeli gustine mreže i tranzitivnosti;
6. Model društvene stratifikacije.

Model ego-mreže polazi od pojedinačnog aktera u sistemu. Ovom metodom otkrivaju se svi akteri sa kojima polazni akter ima direktne odnose, kao i odnosi između tih aktera. Ovaj model se često primenjuje u analizi mreža socijalne podrške, ili ispitivanja odnosa aktera sa okruženjem (Babovic, 2006).

Model položaja u mreži definiše položaj pojedinačnog aktera u skladu sa njegovim odnosima sa svim drugim akterima u sistemu. Razlikuje se od ego-mreže po tome što jednako ispituje odsustvo interakcija kao i prisustvo interakcija između polaznog aktera i ostalih aktera u sistemu (Babovic, 2006).

Model klika u mreži usmerava se na pronalaženje skupa aktera koji su međusobno povezani jakim odnosima. Kriterijum za definisanje skupa aktera kao klika najčešće se određuje prema graf teoriji kao skup aktera koji su međusobno povezani uzajamnim odnosima maksimalne jačine u koji se ne može uključiti ni jedan dodatni član a da se ne izgubi navedena karakteristika snažnih uzajamnih veza (Babovic, 2006).

Model zajedničkog položaja u mreži polazi od skupa strukturno ekvivalentnih aktera. Strukturna ekvivalentnost podrazumeva da akteri istog skupa imaju slične odnose sa akterima svih drugih položaja u sistemu (Babovic, 2006).

Relacioni modeli gustine mreže i tranzitivnosti primenjuju se na relativno visokim nivoima agregacije aktera i obično su usmereni na dve ključne dimenzije strukture: u kojoj meri su akteri u sistemu međusobno povezani (density), i koji akteri, odnosno položaji u mreži predstavljaju komunikacione čvorove, «mostove», preko kojih se povezuju delovi strukture i odvijaju intenzivnije interakcije (transitivity) (Babovic, 2006).

Model društvene stratifikacije teži da eksplicitno opiše opštu strukturu mreže. Ovi modeli su izrasli iz pozicionih modela i nastoje ne samo da opišu intenzitet odnosa između aktera, već opšte obrasce odnosa koji povezuju aktere unutar i između podgrupa (Babovic, 2006).

3. PRIMER PRIMENE MREŽNE ANALIZE U MAPIRANJU ISTRAŽIVAČKIH INSTITUCIJA U OBLASTI OPERACIONIH ISTRAŽIVANJA U REPUBLICI SRBIJI

U ovom poglavlju je prikazan primer primene mrežne analize u identifikaciji ključnih institucionalnih aktera istraživanja u oblasti operacionih istraživanja u Srbiji u periodu 1997-2017 kao i analiza međusobnih veza i uticaja u mreži. Kao izvor podataka, korišćeni su radovi koji su indeksirani u bibliografskoj bazi Web of Science (WOS). U cilju izdvajanja radova za analizu u radu, korišćene su sledeći kriterijumi za pretragu: adresa autora: Srbija ili Jugoslavija; godina objavljivanja rada: 1997-2017; oblast: Operations research management

science. Prema navedenom kriterijumu pretrage, identifikovano je 367 objavljenih radova autora iz Srbije i Jugoslavije iz oblasti operacionih istraživanja. Preuzeti radovi su dalje analizirani korišćenjem javno dostupnog softverskog programa *Pajek*.

Na slikama 1 i 2 su prikazani mrežni dijagrami saradnje autora iz različitih institucija Srbije u objavljivanju radova na SCI listi iz oblasti operacionih istraživanja. Čvorovi (engl. *vertex*) u dijagramu predstavljaju institucije autora a pored svakog čvora je prikazan naziv institucije autora i vrednost stepena centralizacije. Veličina čvora ukazuje na vrednost centralizacije konkretne institucije što je prikazano vizuelno. Linije koje povezuju čvorove i vrednosti koje se nalaze na linijama pokazuju stepen saradnje koja je ostvarena u koautorstvu između autora iz različitih institucija. Debljina linije određuje intenzitet saradnje između dve institucije.

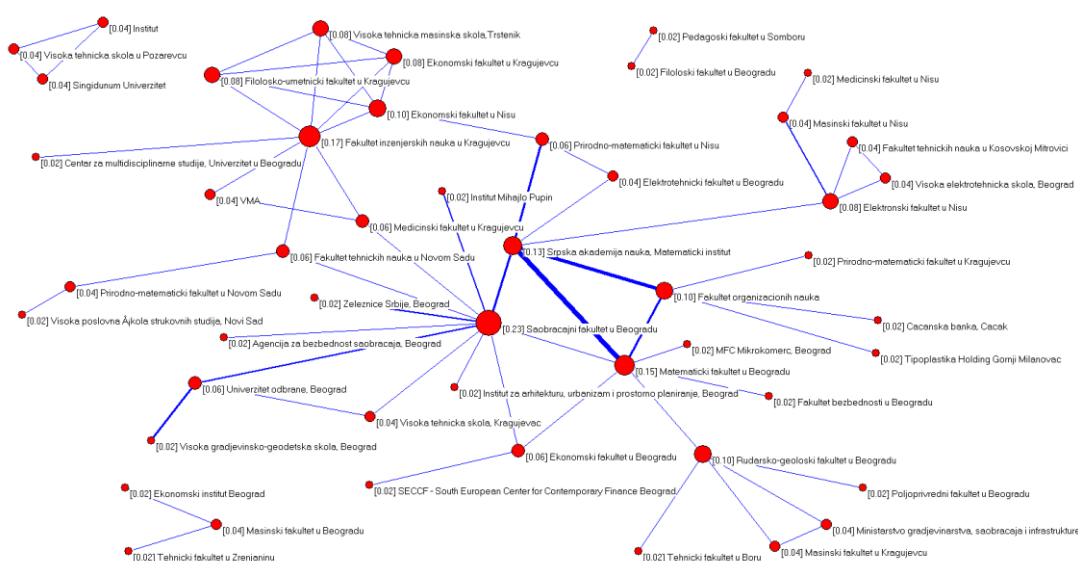
Analizirana su tri indikatora mreže:

- Centralizovanost mrežne strukture (engl. *degree centrality*)
- Stepennost centralizacije pojedinačnog čvora (engl. *degree centrality of vertex*)
- Broj čvorova između koji se čvor nalazi (engl. *betweenness centrality*)

Vrednost indeksa centralizovanost mrežne strukture se kreće od 0 do 1. Vrednost 1 označava da je jedan čvor povezan sa svim ostalim čvorovima a svi ostali su povezani sa samo tim jednim čvorom, što označava mrežu sa oblikom zvezde. Vrednost 0 označava da svi čvorovi imaju isti stepen centraliteta što daje mrežu sa kružnim oblikom. Visoka vrednost ovog indikatora bi ukazivala na to je mrežna struktura visoko zavisna od jednog aktera u mreži što bi u ovom konkretnom primeru značilo da je jedna institucija ima najveći broj objavljenih radova dok su ostali akteri u mreži zavisni od saradnje i povezanosti sa glavnom institucijom.

Vrednost ovog indikatora za oblast operacionih istraživanja na našem primeru je 0.18 što ukazuje da mreža ima nizak stepen centralizovanosti, što znači da se naučnoistraživačka produktivnost u ovoj oblasti izvršava u više institucija i da nisu zavisne jedna od druge.

Pored indeksa centralizacije mreže, na slici 1 je prikazana mrežna struktura sa vrednostima čvorova koji pokazuju vrednost centralizacije za svakog aktera u mreži. Ova vrednost ukazuje na stepen uticaja jednog čvora na ostale aktere u mreži. Što je veća vrednost čvora to je njegov uticaj veći. U našem primeru, najveći stepen centralizacije ima Saobraćajni fakultet u Beogradu (0.23), zatim Matematički fakultet (0.15) i Matematički Institut SANU (0.13), što ukazuje na to da ove tri institucije imaju najveći uticaj na ostale aktere mreže u oblasti operacionih istraživanja. Fakultet organizacionih nauka (FON) ima najviše objavljenih radova u ovoj oblasti, međutim vrednost stepena centralizacije za FON je samo 0.10 što pokazuje da iako FON ima visoku naučnu produktivnost, uticaj FON-a na ostale aktere u mrežnoj strukturi nije visok.



Slika 1: Prikaz vrednosti čvorova (stepen centralizacije institucija) u naučnoistraživačkoj saradnji u oblasti Operacionih istraživanja



je neophodno uzorkovanje kojim bi se utvrdilo uključivanje relevantnih jedinica u sistem. Mrežne studije često prikazuju stanje mreže onako kako je zatečeno u vremenskom preseku tokom istraživanja. Potrebno je, međutim, razviti i uvide u dinamiku, odnosno procese razvijanja, pa i propadanja mreža.

Međutim, metode mrežne analize poseduju i značajne prednosti u istraživanju specifičnih socioloških problema. Onda kada skup aktera nije unapred poznat, odnosno kada tek treba ustanoviti aktere uključene u neki sistem odnosa, kada je značajno ispitati vrste interakcija unutar ili između društvenih grupa, kada je potrebno detaljnije analizirati položaj pojedinačnog aktera u širem sistemu, ili kada je potrebno uočiti način na koji se akteri povezuju i pokreću akciju, mrežni pristupi nude pogodne instrumente analize, kojima je navedene pojave moguće adekvatno opisati i razumeti.

Glavni doprinos metode mrežne analize je upravo u mogućnosti da se u različitim oblastima ekonomskih aktivnosti sagledaju relevantni institucionalni akteri, načini njihovog povezivanja i oblikovanje samih ekonomskih procesa.

LITERATURA

- [1] Acosta, M. & Coronado, D. (2003). Science technology flows in Spanish regions. An analysis of scientific citations in patents *Research Policy*, 32(10), 1783-1803.
- [2] Babovic M. (2006) Socijalne mreže - povezivanje društvenih aktera u sferi ekonomskih aktivnosti, *Sociologija*, 4, 351-370
- [3] Barnes, J.A (1954). Class and committees in a Norwegian island parish. *Human Relations*, 7, pp. 39-58.
- [4] Bavelas, A. (1948). A mathematical model for group structure. *Human Organizations*. 7, 16-30.
- [5] Bayona Saez, C., García Marco, T. & Huerta Arribas, E. (2002). Collaboration in R&D with universities and research centres: an empirical study of spanish firms. *R & D Management*, 32(4), 321-341.
- [6] Bott, E. (1957). *Family and Social Network*. London: Tavistock.
- [7] Burt, R. S., (1982) *Toward a Structural Theory of Action: Network Models of Social Structure, Perception, and Action*. New York: Academic Press
- [8] Chang Hoon Yang, and Jungeun Heo (2014). Network analysis to evaluate cross-disciplinary research collaborations: The Human Sensing Research Center Korea, *Science and Public Policy* 41 (2014) pp. 734–749
- [9] Cruz Castro L. & Sanz Menéndez L. (2005). *The employment of PhDs in firms: trajectories, mobility and innovation*. Madrid: Spanish Policy Research in Innovation and Technology, Training and Education.
- [10] Kapferer, B. (1969). Norms and the manipulation of relationships in a work context. In Mitchell, J.e. (ed.), *Social Networks in Urban Settings*, pages 181-244. Manchester, England : Manchester University Press.
- [11] Kutlača, Đ., Babić, D., Živković, L. & Štrbac D (2015) Analysis of quantitative and qualitative indicators of SEE countries scientific output, *Scientometrics*, 102(1), (2015) 247-265
- [12] Leavitt, H.J. (1951). Some effects of communication patterns on group performance. *Journal of Abnormal and Social Psychology*. 46, 38-50.
- [13] Moreno JL (1953), *Who Shall Survive?*, Royal Publishing Company, Virginia
- [14] Nooy, d. W., Mrvar, A., & Btagelj, V. (2005). *Exploratory social network analysis with Pajek*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [15] Olmeda-Gómez, C, A Perianes-Rodríguez and MA Ovalle-Perandones (2008). Comparative analysis of university-government-enterprise co-authorship networks in three scientific domains in the region of Madrid. *Information Research*, 13(3), paper 352.



- [16]Štrbac, D., Živković, L., Kutlača, Đ. & Babić D (2012) Produktivnost srpskih naučnika od 2005-2010. godine, XXXIX Simpozijum o operacionim istraživanjima- SYM-OP-IS, Zbornik radova, 285-289.
- [17]Thurman, B. (1980). In the office: Networks and coalitions. *Social Networks*. 2, 47-63.
- [18]Wasserman, S., Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [19]Živković, L. & Kutlača, Dj. (2016) Mapiranje ključnih istraživačkih institucija iz oblasti operacionih istraživanja i njihova saradnja sa drugim institucijama u Srbiji u periodu od 1996-2015, XLIII Simpozijum o operacionim istraživanjima - SYM-OP-IS 2016, Tara, Srbija
- [20]Živković, L., Štrbac, D., Babić, D., & Kutlača, Đ (2012) Analiza naučne produktivnosti Srbije prema naučnim oblastima, XXXIX Simpozijum o operacionim istraživanjima-SYM-OP-IS, Zbornik radova, 289-293

Zahvalnost

U radu su saopšteni rezultati istraživanja na projektu: „Istraživanje i razvoj platforme za naučnu podršku u odlučivanju i upravljanju naučnim i tehnološkim razvojem u Srbiji, koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke u periodu 2011-2018, evb. III47005.



(SAOPŠTENJE)

MEĐUZAVISNOST POSLOVNE STRATEGIJE I STRUKTURE FINANSIRANJA

THE INTERDEPENDENCE OF BUSINESS STRATEGY AND FINANCIAL STRUCTURE

DR VUKAŠIN KUČ¹

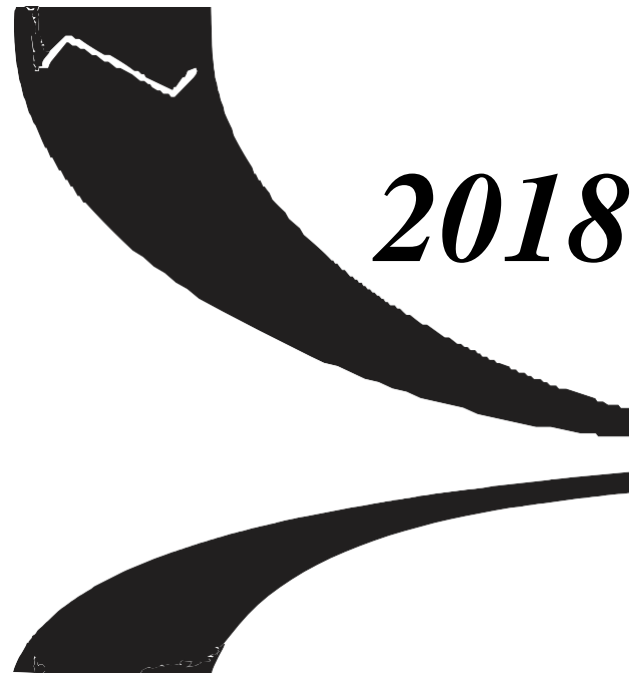
¹ Ekonomski fakultet Univerziteta u Beogradu, vukasin@ekof.bg.ac.rs

Rezime: Poslovnu strategiju i strukturu finansiranja odlikuje veoma kompleksan dvosmeran odnos. S jedne strane, poslovna strategija utiče na izbor odgovarajuće strukture finansiranja, dok sa druge strane, struktura finansiranja ima povratan uticaj na izabranu poslovnu strategiju. Kompleksnost ovog odnosa proizilazi iz širokog spektra uticaja koji generiše struktura finansiranja ali i ogromnog broja faktora koji istovremeno utiču na izbor određene strategije i njene efekte. Cilj ovog rada je da objasni finansijsku i strategijsku (nefinansijsku) perspektivu međuzavisnosti između poslovne strategije i strukture finansiranja.

Ključne reči: poslovna strategija, struktura finansiranja, interesne grupe

Abstract: There is a very complex two-way relationship between the financial structure and the business strategy. On one hand, the business strategy influences the choice of the financial structure, while on the other hand, the financial structure has a direct repercussion on the chosen business strategy. The complexity of this relationship stems from a wide spectrum of influences generated by the financial structure. Additionally there is a substantial number of factors that simultaneously influence the choice of a particular strategy and its effects. The aim of this paper is to explain the financial and strategic (non-financial) perspectives on the interdependence between business strategies and financial structures.

Keywords: business strategy, financial structure, stakeholders



2018

***KOMBINATORNA
OPTIMIZACIJA***



REŠAVANJE PROBLEMA PAKOVANJA PAKETA U KONTEJNERE UZ OGRANIČENJA MASE I ZAPREMINE METODOM VNS SOLVING THE PROBLEM OF PACKING PACKAGES IN THE CONTAINERS WITH THE LIMITATION OF THE MASS AND THE VOLUME BY VNS METHOD

DORDE STAKIĆ¹, MIODRAG ŽIVKOVIĆ², ANA ANOKIĆ³, RADOSLAV RAJKOVIĆ⁴

¹ Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, djordjes@ekof.bg.ac.rs

² Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, ezivkovm@matf.bg.ac.rs

³ dr matematike, nezavisni istraživač, anokicana@gmail.com

⁴ Inovacioni centar, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, rrajkovic@mas.bg.ac.rs

Abstract: In this paper, we consider NP-hard problem of packing of packages in several types of containers. Packages are characterized by their weight and volume. It is necessary to pack all packages into containers, respecting the limits of total mass and volume by type of container, so that the total transportation cost is as low as possible. A solution approach based on the Variable Neighborhood Search (VNS) is proposed and tested on several instances. VNS solutions are compared to those obtained by the exact CPLEX solver using the mathematical formulation of the problem in the form of a Integer Linear Program (ILP).

Rezime: U ovom radu razmatran je NP težak problem pakovanja paketa u više tipova kontejnera. Paketi su opisani masom i zapreminom. Potrebno je spakovati sve pakete u kontejnere poštujući ograničenja ukupne mase i zapremine po tipu kontejnera, tako da ukupna cena prevoza bude što manja. Predložena je varijanta rešenja pomoću metode promenljivih okolina (engl. Variable Neighborhood Search - VNS), koja je testirana na više instanci. Rešenja su upoređena sa onim koje je dobio egzaktni rešavač CPLEX koristeći matematičku formulaciju problema u vidu celobrojnog linearnog programa (engl. Integer Linear Program - ILP).

Keywords: vector bin packing, container transport, VNS.

Ključne reči: vektorsko pakovanje, kontejnerski transport, VNS.

1. UVOD

Kontejnerski transport podrazumeva prevoz robe u kontejnerima standardizovane veličine, često na velika rastojanja. Ovom vrstom pevoza godišnje se preveze više desetina miliona kontejnera, tako da oni predstavljaju značajan faktor u saobraćaju, trgovini, pa i ekonomiji. Ukoliko se u kontejner pakuje više paketa, onda je reč o zbirnom kontejnerskom transportu.

U ovom radu razmatran je problem pakovanja u kojem je skup paketa zadat svojim masama i zapreminama. Kako ima više tipova kontejnera, za svaki od njih su poznata ograničenja mase i zapremine. Pretpostavljeno je da za svaki tip kontejnera postoji odgovarajuća cena transporta i potrebno je da svi paketi budu spakovani i potom prevezeni, pri čemu ukupna cena transporta treba da bude minimalna.

Za ovako definisan problem formulisan je odgovarajući matematički model celobrojnog linearnog programiranja (engl. Integer Linear Program). Prema klasifikaciji problema pakovanja, on se ubraja u heterogeno vektorsko pakovanje. Dokaz da je ovo NP težak problem poznat je od 1979. godine iz rada Garey and Johnson (1979). Model je testiran korišćenjem rešavača CPLEX 12.6.2, koji za manji skup paketa uspeva da nađe optimalno rešenje. Za primere sa više od 50 paketa CPLEX ne uspeva da pronađe optimalno rešenje ako se vreme rešavanja ograniči na nekoliko sati. Zbog toga je u radu predloženo rešenje zasnovano na metodi promenljivih okolina (engl. Variable Neighborhood Search - VNS). Implementacija predložene VNS metode na programskom jeziku C testirana je na istom skupu slučajno generisanih instanci. Primenom VNS metode dostignuta su optimalna rešenja dobijena korišćenjem rešavača CPLEX na manjim test primerima. Kod većih instanci, gde CPLEX nije mogao da dobije optimalno rešenje, predloženo metaheurističko rešenje se pokazalo kao dovoljno dobro.

1.1. Tipovi kontejnera

Standardni tipovi kontejnera koji se koriste u saobraćaju definisani su standardom ISO 668:1995, opisanom u ISO (2005). Tu su definisane njihove dimenzije: dužina, širina i visina, kao i dozvoljena nosivost mase i zapremine. Standard propisuje tri tipa kontejnera. Sva tri tipa imaju jednake širine, dok postoje odstupanja u dužini, pa se razlikuju 20-stopni i 40-stopni kontejneri. Njihove propisane dužine su redom 6,058 i 12,192



metara, što odgovara meri od 20 i 40 stopa po čemu su dobili naziv. U pogledu visine, 40-stopni kontejneri mogu biti visoki 2,591 i 2,896 metara (8,5 i 9,5 stopa), dok svi 20-stopni kontejneri imaju visinu 2,591m (8,5 stopa). Dakle, razmatrano je ukupno tri različita tipa kontejnera.

Standardom su definisane unutrašnja zapremina, masa praznog kontejnera i neto nosivost. Za potrebe ovog rada od značaja su unutrašnja zapremina i neto nosivost, jer one utiču na kapacitet koji je raspoloživ za pakovanje paketa. Zbog toga što se ne razmatraju tačni geometrijski oblici paketa, ograničenja za zbir masa, odnosno zapremina paketa razmatrana u ovom radu su nešto manja od standardnog maksimuma i predstavljena su u tabeli 1:

Tabela 1: Korišćeni limiti masa i zapremina

	20' kont.	40' kont.	40' visoki kont.
zapremina	$30m^3$	$60m^3$	$70m^3$
masa	25,8t	24,5t	24,5t

2. MATEMATIČKI MODEL

Problem pakovanja zadatih paketa u zadati skup kontejnera, tako da se dobije minimalna cena prevoza, opisan je matematičkim modelom u nastavku.

Ulazni podaci su:

nt - broj tipova kontejnera

np - broj paketa

C_t - cena prevoza po tipu kontejnera, gde je $t \in \{1, \dots, nt\}$ redni broj tipa kontejnera

LV_t - limit zapremine tipa kontejnera, gde je $t \in \{1, \dots, nt\}$ redni broj tipa kontejnera

Lm_t - limit mase tipa kontejnera, gde je $t \in \{1, \dots, nt\}$ redni broj tipa kontejnera

V_i - zapremine paketa, gde je $i \in \{1, \dots, np\}$ redni broj paketa

m_i - mase paketa, gde je $i \in \{1, \dots, np\}$ redni broj paketa

Ln_t - limit broja kontejnera po tipu, gde je $t \in \{1, \dots, nt\}$ redni broj tipa kontejnera

Promenljive odlučivanja (engl. decision variables) korišćene u modelu:

p_{ijt} - binarna promenljiva koja određuje da li se u kontejneru nalazi paket, gde je $i \in \{1, \dots, np\}$ redni broj paketa, $t \in \{1, \dots, nt\}$ redni broj tipa kontejnera, $j \in \{1, \dots, Ln_t\}$ redni broj kontejnera tipa t

k_{jt} - binarna promenljiva koja određuje da li je kontejner uzet u obzir, gde je $t \in \{1, \dots, nt\}$ redni broj tipa kontejnera, $j \in \{1, \dots, Ln_t\}$ redni broj kontejnera tipa t

Ograničenja u modelu su:

$$\sum_{t=1}^{nt} \sum_{j=1}^{Ln_t} p_{ijt} = 1, \quad \forall i \in \{1, \dots, np\} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{np} p_{ijt} \cdot V_i \leq k_{jt} \cdot LV_t, \quad \forall t \in \{1, \dots, nt\}, \forall j \in \{1, \dots, Ln_t\} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{np} p_{ijt} \cdot m_i \leq k_{jt} \cdot Lm_t, \quad \forall t \in \{1, \dots, nt\}, \forall j \in \{1, \dots, Ln_t\} \quad (3)$$

$$p_{ijt} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in \{1, \dots, np\}, \forall t \in \{1, \dots, nt\}, \forall j \in \{1, \dots, Ln_t\} \quad (4)$$

$$k_{jt} \in \{0, 1\}, \quad \forall t \in \{1, \dots, nt\}, \forall j \in \{1, \dots, Ln_t\} \quad (5)$$

Funkcija cilja kojom se izražava ukupna cena transporta je:

$$C = \sum_{t=1}^{nt} \sum_{j=1}^{Ln_t} k_{jt} \cdot C_t \quad (6)$$



Ograničenje (1) odnosi se na uslov da se svaki paket može i mora prevesti u tačno jednom kontejneru. Limiti zapremina i masa korišćenih kontejnera zadovoljeni su, redom, ograničenjima (2) i (3). Ograničenja (4) i (5) definišu tip promenljivih koje su korišćene u modelu. Funkcija cilja (6) definiše ukupnu cenu transporta koju treba minimizovati.

3. KLASIFIKACIJA PROBLEMA

Problem opisan modelom je varijanta problema pakovanja u kutije (engl. *bin packing problem*, skraćena BPP).

U svom osnovnom obliku ovaj problem podrazumeva da su sve kutije (kao ovde kontejneri) jednodimenzionalne i iste veličine i da se razmatraju samo ograničenja vezana za jednu dimenziju - dužinu. Stavke koje se pakuju (predmeti, kao ovde paketi) opisani su takođe samo jednom dimenzijom - dužinom. To je osnovni, homogeni problem. Međutim, ako postoje kutije različitih tipova (dužina), problem je heterogen. U literaturi je znatno više razmatran homogeni problem pakovanja. Sledeće uopštenje se odnosi na dodavanje ograničenja čime se povećava dimenzija problema. Jedan način za to je vektorsko pakovanje kutija gde postoji više numeričkih osobina i ukupan zbir po stavkama za svaku od njih mora da bude u zadatim granicama. Drugi način uopštenja osnovnog BPP, pri prelasku na više dimenzija, je geometrijsko pakovanje kutija. Tu je svaka stavka zadata svojim geometrijskim (prostornim) dimenzijama, kao što su zadate i kutije. Cilj je da se stavke prostorno spakuju tako da se dobije najmanja ukupna vrednost, a u homogenom slučaju to se svodi na minimizaciju broja kutija.

Razmatrani problem u ovom radu pripada heterogenom vektorskom pakovanju kutija sa dva tipa ograničenja, koja se odnose na masu i zapreminu paketa i kontejnera. Ovakav tip problema pakovanja prvi put je uveden i razmatran u radu Han et al. (1994). U tom radu su implementirana tri načina rešavanja ovog problema: jednostavna gramziva heuristika nazvana First Fit by Ordered Deviation (FFOD), simulirano kaljenje (SA) i generisanje kolona (CG). Sledeći rad koji se bavio ovakvom vrstom pakovanja kutija je Gabay and Zaourar (2013). Isti autori su 2016. objavili njegovu dorađenu verziju, Gabay and Zaourar (2016), razmatrajući uopštenje problema u kojem svaka kutija ima svoje dimenzije. Korišćeno je više gramzivih metoda zasnovanih na Best Fit Decreasing (BFD) i Bin balancing heuristikama, uključujući razne njihove varijante, što je rezultovalo sa ukupno 34 dizajnirane heuristike. Do sada, koliko je autorima poznato, u literaturi nije razmatran pristup pomoću VNS metode za rešavanje ove vrste problema.

4. REŠAVANJE MODELA POMOĆU CPLEX

U cilju testiranja opisanog modela generisano je više instanci sa sledećim brojem paketa: 10, 11, 12, 13, 15, 20, 50, 70, 100, 120, 150, 200 i 500. Za svaki paket su slučajno generisane mase kao realni brojevi iz intervala 1-15 tona i zapremine iz intervala 1-25 m^3 . Ove vrednosti su tako izabrane da svaki paket može da stane u svaki tip kontejnera. Pri rešavanju su korišćena tri standardna tipa kontejnera i ograničenja mase i zapremine data u tabeli 1. Za cene prevoza jednog kontejnera uzete su vrednosti: 1594 EUR, 2470 EUR i 2483 EUR, redom za tri razmatrana tipa. Ove cene odgovaraju prevozu na relaciji Šangaj - Beograd i dobijene su iz realnih ulaznih podataka u radu Rajković et al. (2015).

Za rešavanje modela je korišćen egzaktni rešavač CPLEX, verzija 12.6.2. Izvršavan je na operativnom sistemu Linux na računaru sa procesorom Intel Core i7-2600, na 3,40 GHz, sa 12GB RAM memorije. Kako je CPLEX pogodan za paralelno izvršavanje, korišćeno je svih 8 raspoloživih jezgara navedenih karakteristika. Za instance do 20 paketa CPLEX je za kratko vreme, do najviše nekoliko sekundi, pronalazio optimalno rešenje. Za veće instance, od 50 i više paketa, pri rešavanju modela postavljeno je vremensko ograničenje od 600 sekundi, a potom 3600 sekundi. Zbog korišćenja do 8 niti pri paralelnom rešavanju na više procesora, ukupno procesorsko vreme je veće i do 8 puta. U tabelama 2. i 3. je kao vreme navedeno ukupno procesorsko vreme. Vreme je izraženo u sekundama, a cene u evrima. U tabeli 3. sa većim instancama u drugoj i trećoj koloni predstavljene su vrednosti funkcije cilja najboljeg pronađenog dopustivog rešenja za vreme izvršavanja od 600s i 3600s, redom, dok je u četvrtoj koloni navedeno ukupno procesorsko vreme potrošeno u okviru postavljene granice od 3600 sekundi. U petoj koloni se navodi ubrzanje kao odnos ukupnog procesorskog vremena (četvrte kolone) i 3600s, dok je u šestoj koloni odnos dobijenih cena za 3600s i 600s, izražen u procentima.

Na osnovu rezultata predstavljenih u tabeli 3. vidi se da CPLEX zahteva mnogo više vremena za rešavanje većih instanci, što znači da dobijena rešenja nisu garantovano optimalna. Ovo je očekivan ishod jer je problem NP težak, pa se za velike ulazne podatke ne može pronaći optimalno rešenje za ograničeno vreme. Posebno, kod jako velikih instanci kao što je npr. 500 paketa, CPLEX postaje vrlo spor pa je razlika dobijenih rešenja za 600 i 3600 sekundi dosta veća nego kod manjih instanci. Ova činjenica, između ostalih, opravdava upotrebu metaheurističkih metoda za rešavanje ovakvog tipa problema.

**Tabela 2:** Optimalna rešenja dobijena pomoću CPLEX na skupu manjih instanci

br. paketa	opt. cena (EUR)	vreme (s)
10	6534	0,31
11	7252	0,40
12	8846	0,36
13	9722	0,74
15	12047	1,02
20	13786	3,90

Tabela 3: Rešenja dobijena pomoću CPLEX na skupu većih instanci

br. paketa	cena (600s)	cena (3600s)	vreme (za 3600s)	ubrzanje	cena (3600s)/cena (600s)*100 (%)
50	31543	31530	22223,05	6,17	99,96
70	47133	47107	26792,28	7,44	99,94
100	65911	65911	26417,89	7,34	100,00
120	68389	67500	26769,05	7,44	98,70
150	88958	87364	26744,32	7,43	98,21
200	125099	122800	25014,80	6,95	98,16
500	437608	323921	7421,14	2,06	74,02

5. PRIMENA VNS METODE

Metoda promenljivih okolina (VNS) uvedena je 1997. godine u radu Mladenović and Hansen (1997). Tokom prethodne dve decenije ovaj rad je citiran preko 3200 puta.¹ Ova metaheuristička metoda primenjivana je na mnoge klase problema optimizacije. Njen mehanizam rada sastoji se u sledećem: prvo se generiše inicijalno rešenje, a potom se primenjuje iterativni postupak sa dve osnovne faze. Prva je faza razmrđavanja (engl. shaking) u kojoj se do tada najbolje rešenje malo modifikuje na slučajan način, ostajući pri tome u nekoj od definisanih okolina tog rešenja. Dobijeno rešenje prosleđuje se drugoj fazi, fazi lokalne pretrage, gde se detaljnije pretražuje okolina i u njoj traži lokalni optimum. U fazi razmrđavanja, kao i u fazi lokalne pretrage, može se koristiti više struktura okolina koje su definisane različitim potezima. Variranjem tipova okolina i poteza, kao i načina lokalne pretrage, dobijaju se različite varijante VNS metode. Lokalna pretraga može da se završi nalaženjem prvog poboljšanja (engl. first improvement) ili nalaženjem najboljeg rešenja u toj okolini (engl. best improvement). Po završenoj lokalnoj pretrazi upoređuje se dobijeno rešenje sa do tada najboljim i zadržava bolje od njih. Postupak se iterativno nastavlja do zadovoljenja kriterijuma zaustavljanja, koji najčešće, kao i ovde, predstavlja dostignut limit vremena izvršavanja.

Za rešavanje problema pakovanja paketa u kontejnere prema opisanom modelu ovde su razvijane dve varijante VNS metode. Na manjim instancama obe metode za kratko vreme pronalaze optimalna rešenja. To je opravdalo njihovu primenu na većim instancama. Da bi se mogle proceniti statistike primenjenih metoda, obe metode su izvršavane po 30 puta na svakoj instanci. Vreme izvršavanja na svakoj instanci je 600s. Ovde nije korišćena paralelizacija, pa je to istovremeno i ukupno procesorsko vreme.

Predložene VNS-1 i VNS-2 metode koriste istu reprezentaciju rešenja, istu strategiju za generisanje inicijalnog rešenja, kao i isti način računanja vrednosti funkcije cilja. Osnovna razlika u implementaciji VNS-1 i VNS-2 metode ogleda se u izboru strategije u fazi lokalne pretrage. Naime, VNS-1 koristi strategiju najboljeg (engl. best improvement), a VNS-2 strategiju prvog poboljšanja (engl. best improvement) pri pretraživanju okolina. Osim toga među njima postoji još jedna razlika u fazi razmrđavanja, što je u nastavku opisano.

Rešenje je predstavljeno matricom celih nenegativnih brojeva dimenzija $n \times n$ i pomoćnim nizom dužine n . Vrste matrice odgovaraju kontejnerima, u svakoj vrsti navode se redni brojevi paketa koji su tu smešteni. U pomoćnom nizu za svaki kontejner se beleži njegov tip. Redni brojevi paketa počinju od 1, a 0 se koristi za preostale pozicije u matrici po formiranju rešenja.

Inicijalno rešenje se formira tako što se postavi da su svi kontejneri prvog tipa (20-stopni). Paketi se sortiraju opadajuće po masi i redom se pakuju u kontejnere, poštujući ograničenja ukupne mase i zapremine. Sledeći paket se pokušava smestiti u već postojeće kontejnere, i tek kada to nije moguće počinje da se koristi novi kontejner. Za generisanu matricu inicijalnog, ili bilo kog drugog dopustivog rešenja, vrednost funkcije cilja se jednostavno računa sabiranjem odgovarajućih cena prevoza kontejnera koji učestvuju u transportu u skladu sa

¹ Podaci sa sajta Google Scholar od juna 2018. godine



izrazom (6).

U fazi razmrđavanja koristi se okolina definisana pomoću tri vrste poteza tj. tri načina modifikacije rešenja. Prvi potez se odnosi na promenu tipa kontejnera. Na slučajan način se bira kontejner i slučajno se bira njegov novi tip. Promena se dozvoljava samo ukoliko tekući sadržaj kontejnera zadovoljava ograničenja novog tipa kontejnera. Drugi potez se odnosi na zamenu paketa u kontejnerima. Slučajno se biraju dva različita kontejnera i dva njihova paketa koji zamenjuju mesta ukoliko je novi raspored u skladu sa ograničenjima. Kod ovog poteza je moguće dodati novi kontejner sa jednakom verovatnoćom kao što je verovatnoća izbora svakog postojećeg kontejnera. Takođe, omogućeno je da se prilikom izbora paketa osim postojećih uzme i 0. U tom slučaju razmatrani kontejner ne daje paket nego samo dobija paket koji se prebacuje iz drugog kontejnera. Verovatnoća izbora "praznog" paketa se razlikuje kod VNS-1 i VNS-2. Kod VNS-1 ta verovatnoća je obrnuto srazmerna broju paketa u izabranom kontejneru. Npr. ako ih ima br , onda je $1/(br + 1)$ verovatnoća da se izabere "prazan" paket. Kod VNS-2 je verovatnoća izbora praznog paketa fiksirana na 20%, a ostali paketi ravnomerno dele preostalih 80% verovatnoće. Ova dva poteza se ponavljaju određen broj puta. Parametar koji određuje broj ponavljanja ova dva poteza je red . Posle njih se ponavlja i treći potez isti broj puta. Treći potez podrazumeva slučajan izbor kontejnera i pokušaj njegovog pražnjenja tako što se svi paketi prebacuju u ostale kontejnere. Ukoliko se pri tome dođe do paketa koji ne može da se prebaci u postojeće kontejnere, postupak za taj kontejner staje, on ostaje eventualno delimično prebačen. red , kao broj izvršavanja poteza u fazi razmrđavanja raste od 1 do granice $rmax$. Ovde je korišćeno $rmax = n/2 + 1$. Povećavanje parametra red se nastavlja kad god se u lokalnoj pretrazi ne dobije bolje rešenje od do tada najboljeg. Ukoliko se u lokalnoj pretrazi dobije bolje rešenje, onda red ponovo kreće od 1. Ukoliko red dostigne $rmax$ bez poboljšanja, onda on ponovo kreće od 1.

Faza lokalne pretrage koristi okolinu koja je opisana samo trećim potezom pomenutim u fazi razmrđavanja, uz određene izmene, jer se kontejner za prebacivanje ne bira slučajno. Kontejneri se sortiraju rastuće po broju paketa, a ukoliko je broj paketa isti onda rastuće po masi. U svakom kontejneru se paketi sortiraju rastuće po masi. Iz takvog niza kontejnera pokušavaju se redom isprazniti kontejneri počev od prvog, po paketima idući od svog poslednjeg paketa prema prvom. Prilikom prebacivanja svakog pojedinačnog paketa, pri biranju gde se prebacuje kreće se od poslednjeg u sortiranom nizu kontejnera. Delimična prebacivanja kontejnera se takođe prihvataju, kao i u fazi razmrđavanja. Na osnovu računanja funkcije cilja poboljšanje nastaje kada se bar jedan kontejner u potpunosti isprazni. Kod VNS-2 se kod prvog takvog poboljšanja završava lokalna pretraga, dok se kod VNS-1 lokalna pretraga nastavlja sve dok se sadržaj ni jednog kontejnera ne može u potpunosti prebaciti u ostale kontejnere. Na kraju lokalne pretrage dobijeno rešenje se dodatno poboljšava pokušajem da se svakom kontejneru promeni tip, odnosno da se zameni kontejnerom manjeg limita mase i zapremine, a time i manje cene.

Tabela 4: Rešenja dobijena pomoću VNS-1 metode za veće instance

br. paketa	cena (600s)	agap (%)	σ (%)	pr. vreme do najb.	cena (600s)/CPLEX cena (3600s)*100 (%)
50	31517	1,08	1,69	269,14	99,96
70	47094	1,15	1,43	177,90	99,97
100	65022	1,18	1,31	319,60	98,65
120	67474	1,46	1,57	248,44	99,96
150	87991	1,26	1,39	338,34	100,72
200	123520	1,12	1,25	388,04	100,59
500	310208	0,71	0,77	459,32	95,77

Tabela 5: Rešenja dobijena pomoću VNS-2 metode za veće instance

br. paketa	cena (600s)	agap (%)	σ (%)	pr. vr. do najb.	VNS-2/CPLEX (%)	VNS-2/VNS-1 (%)
50	31517	1,09	1,70	203,91	99,96	100,00
70	47107	1,66	1,72	135,57	100,00	100,03
100	65859	0,22	0,52	274,52	99,92	101,29
120	68311	0,59	0,86	262,99	101,20	101,24
150	87991	1,45	1,60	345,95	100,72	100,00
200	123507	1,12	1,26	410,04	100,58	99,99
500	310366	0,73	0,79	452,94	95,82	100,05

U tabelama 4. i 5. se nalaze rezultati dobijeni pomoću obe varijante VNS na skupu instanci sa 50 i više paketa. U trećoj koloni je navedeno prosečno odstupanje rešenja od najboljeg (engl. average gap), a u četvrtoj standardna devijacija u odnosu na najbolje pronađeno rešenje. Obe veličine su izražene u procentima. U petoj



koloni je navedeno prosečno vreme potrebno da se dođe do najboljeg rešenja. U tabeli 4. u poslednjoj, šestoj, koloni navodi se odnos rešenja dobijenog VNS-1 metodom i rešenja dobijenog pomoću CPLEX, izražen je u procentima. U tabeli 5. u šestoj koloni na isti način navodi se odnos rešenja VNS-2 (600s) i CPLEX (3600s) u procentima, dok je u sedmoj koloni odnos rešenja VNS-2 i VNS-1, takođe u procentima.

Na osnovu predstavljenih rezultata može se zapaziti da je VNS-1 nešto bolja od VNS-2 u pogledu kvaliteta dobijenih rešenja, tj. vrednosti funkcije cilja. Sa druge strane, VNS-2 metoda je brža i stabilnija od VNS-1, s obzirom da je pronašla najbolja rešenja za prosečno kraće vreme i sa manjim odstupanjem od najboljeg rešenja. To je očekivano zbog načina rada njihove njihove lokalne pretrage koja nalazi najbolje poboljšanje kod VNS-1 i prvo poboljšanje kod VNS-2.

6. ZAKLJUČAK

U radu je razmatran problem pakovanja zadatih paketa u tri tipa kontejnera sa ograničenjima mase i zapremine u cilju prevoza svih paketa, pri čemu je cilj minimizacija ukupnih troškova. Predstavljena je matematička formulacija koja je korišćena u okviru rešavača CPLEX, pri čemu su optimalna rešenja dobijena samo za test primere sa do 50 paketa. Za rešavanje većih instanci dizajnirane su dve metode zasnovane na metodi promenljivih okolina. Rezultati su pokazali da su obe VNS metode dostigle optimalna rešenja na skupu instanci manjih dimenzija i obezbedile rešenja zadovoljavajućeg kvaliteta na većim test primerima za relativno kratko vreme izvršavanja. Razlika između ove dve varijante VNS metode je najveća u fazi lokalne pretrage koja se kod jedne od njih zaustavlja kada nađe najbolje poboljšanje, a kod druge kada nađe prvo poboljšanje, pa se to projektovalo i na dobijena rešenja.

Projekat

Ovo istraživanje je delimično podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekta broj 174021 i tehnološkog projekta broj 36027.

LITERATURA

- Gabay, M. and Zaourar, S. (2013). Variable size vector bin packing heuristics-application to the machine reassignment problem.
- Gabay, M. and Zaourar, S. (2016). Vector bin packing with heterogeneous bins: application to the machine reassignment problem. *Annals of Operations Research*, 242(1):161–194.
- Garey, M. R. and Johnson, D. S. (1979). *Computers and intractability: a guide to NP-completeness*. WH Freeman and Company, San Francisco.
- Han, B. T., Diehr, G., and Cook, J. S. (1994). Multiple-type, two-dimensional bin packing problems: Applications and algorithms. *Annals of Operations Research*, 50(1):239–261.
- ISO (2005). ISO 668:1995 Series 1 freight containers – Classification, dimensions and ratings – AMENDMENT 2: 45' containers. Technical report, International Organization for Standardization (ISO).
- Mladenović, N. and Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. *Comput. Oper. Res.*, 24(11):1097–1100.
- Rajković, R., Zrnić, N., Stakić, D., Sedmak, A., and Kirin, S. (2015). An approach to determine optimal number of containers for cargo stacking in function of transportation cost. In *Proceedings - 6th International Symposium on Industrial Engineering - SIE 2015, 24th-25th September 2015, Belgrade, Serbia*, pages 300–303.



THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM: SPECTRAL MOMENTS AND THE LENGTH OF AN OPTIMAL TOUR

DRAGOŠ CVETKOVIĆ¹, ZORICA DRAŽIĆ², VERA KOVAČEVIĆ-VUJČIĆ³, MIRJANA ČANGALOVIĆ⁴

¹Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade and Mathematical Institute SANU, Belgrade, ecvetkod@kondor.etf.rs

²Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Belgrade, zdrazic@matf.bg.ac.rs

³Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade and Mathematical Institute SANU, Belgrade, verakov@fon.bg.ac.rs

⁴Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade, Belgrade, canga@fon.bg.ac.rs

Abstract: We consider the symmetric traveling salesman problem (TSP) with instances represented by complete graphs G with distances between cities as edge weights. Computational experiments with instances on 50 and 100 vertices with the uniform distribution of integer edge weights in the interval $[1, 100]$ show that there exists a correlation between the sequences of spectral moments of the distance matrix and the lengths of optimal tours obtained by the well known TSP solver Concorde. In this paper we give a partial theoretical explanation of this correlation.

Keywords: Traveling Salesman Problem, Spectra of Graphs, Spectral Moments, Concorde TSP Solver

1. INTRODUCTION

The traveling salesman problem (TSP) is one of the best-known NP-hard combinatorial optimization problems. There is an extensive literature on both theoretical and practical aspects of the TSP (see e.g. Lawler *et al.* 1985, Cvetković *et al.* 1992, Cvetković *et al.* 1996, Gutin and Punnen 2002, Applegate *et al.* 2006). The symmetric traveling salesman problem, which will be considered in this paper, consists of finding a Hamiltonian cycle of the minimal length in a weighted complete undirected graph G .

One of challenging questions is what features of a TSP instance I make a particular algorithm behave well or poorly. We have addressed this problem using the notion of a complexity index which is defined as an invariant of I by which the execution time of an exact TSP algorithm for I can be predicted. In recent papers (Cvetković *et al.* 2016, Cvetković *et al.* 2017, Cvetković *et al.* 2017) we have proposed several complexity indices based on short edge subgraphs of G . Experiments with randomly generated instances with 50 vertices have shown that there exists a notable correlation between the sequences of selected invariants and the sequence of execution times of the well known TSP solver Concorde.

In this paper we extend our previous work on estimating the length of an optimal solution of the TSP using spectral moments of the distance matrix. Namely, in some numerical experiments with TSPs with up to 14 vertices which were carried out in 1987, it has been noted that there exists a strong correlation between spectral moments M_3, M_4, M_5 and M_6 of the distance matrix and the length of an optimal solution of the TSP, with values of correlation coefficients between 0.8 and 0.9 (see Cvetković 1987). A partial theoretical explanation of these empirical results has been given in Cvetković and Dimitrijević 1994. Numerical experiments which will be reported in this paper were performed on the same sets of TSP instances with 50 vertices which were used in Cvetković *et al.* 2016, Cvetković *et al.* 2017, Cvetković *et al.* 2017, as well as on new sets of randomly generated instances with 100 vertices.

It is well known that for estimating the length of an optimal TSP tour there exist polynomial procedures (e.g. the Held-Karp lower bound, which is obtained as the solution to the linear programming relaxation of the integer programming formulation of the TSP, and Lin–Kernighan heuristic give an interval which contains the length of an optimal tour). Having this in mind, estimation of the length of an optimal TSP tour is not of a practical interest. Nevertheless, the connection between the spectral moments and the length of an optimal TSP



tour is interesting from the theoretical point of view. The original strong correlation between spectral moments and the length of an optimal tour looked very promising for estimation of the later. This was a motivation to undertake numerical experiments with instances of higher dimension. The experiments have shown that the correlation has been reduced from strong to moderate (about 0.5) for dimension 50 and that it stays in the same range for dimension 100. We have used standard tools from mathematical statistics which are appropriate when studying hidden complex connections between apparently non-related quantities.

The paper is organized as follows. In Section 2 we present the results of our numerical experiments. Section 3 contains some logical explanations of the phenomena that occurred. The conclusions are summarized in Section 4.

2. NUMERICAL EXPERIMENTS

For numerical experiments we have used the computer package the Concorde TSP Solver, a program for solving the symmetric [traveling salesman problem](#). It was written by David Applegate, Robert E. Bixby, [Vášek Chvátal](#) and [William J. Cook](#), in [ANSI C](#), and is freely available for academic use (see Applegate *et al.* 2006). Concorde is widely regarded as the fastest TSP solver currently in existence.

For the dimension $n=50$ we have generated randomly two sets $S(1)$ and $S(2)$, each consisting of hundred TSP instances with integer edge weights uniformly distributed in interval $[1,100]$. The second set is used in our experiments as a control set. We considered also sets $S(3)$ and $S(4)$, each with hundred randomly generated instances of dimension $n=100$ with weights uniformly distributed in the same interval. The distance matrix which has edge weights as entries will be denoted by D .

The Frobenius norm of a square matrix is the square root of the sum of squares of all entries of the matrix. When dividing a matrix by its Frobenius norm, the sum of squares of all entries becomes equal to 1. We shall say that the matrix transformed in this way is normalized and we shall assume that the distance matrices of the considered TSP instances have been normalized. A matrix is called *non-negative (positive)* if all its entries are non-negative (positive).

The distance matrix D of a TSP instance is a symmetric positive matrix. The Perron-Frobenius theory of non-negative matrices can be applied to matrix D similarly as it is applied to the theory of graph spectra (Cvetković *et al.* 1995). Let $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ be the eigenvalues of the normalized distance matrix D . The k -th spectral moment M_k is defined by the expression $M_k = \lambda_1^k + \dots + \lambda_n^k$. Eigenvalues $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ are reals. The largest eigenvalue λ_1 is called the *spectral radius* or the *index* of D . The whole spectrum lies in the interval $(-\lambda_1, \lambda_1]$. In the theory of graph spectra eigenvalue $-\lambda_1$ appears only in the case when the dominant component of the underlying graph of the matrix D is bipartite (Cvetković *et al.* 1995, p. 87).

The coefficient C_{BC} of linear correlation for two sequences of length s is defined by

$$C_{BC} = \frac{1}{\sqrt{v_B v_C}} \sum_{i=1}^s (b_i - m_B)(c_i - m_C) ,$$

where $b_i, c_i, m_B, m_C, v_B, v_C$ are values, mean values and variances of the corresponding sequences B and C , respectively. In our numerical experiments we have computed the correlation coefficients between spectral moments M_k and the length of an optimal tour d for the sets of instances $S(1)$ and $S(2)$ for $k=3-5, 10, 30, 35, 40, 45, 50$ and for sets $S(3)$ and $S(4)$ for $k=3-5, 10, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100$. The values of the



correlation coefficients vary between 0.4154 and 0.5201. In particular, we have for sets $S(1)$, $S(2)$, $S(3)$ and $S(4)$ and for selected values of k , the following data tables with our results:

Table 1: Correlation coefficients between M_k and d for $k \leq 40$

k	3	4	5	10	30	35	40
$S(1)$	0.5170	0.5201	0.5190	0.5181	0.5112	0.5087	0.5060
$S(2)$	0.4154	0.4166	0.4164	0.4172	0.4201	0.4207	0.4213
$S(3)$	0.4189	0.4195	0.4197	0.4207	0.4242	0.4251	0.4258
$S(4)$	0.4726	0.4908	0.4903	0.4909	0.4921	0.4923	0.4926

Table 2: Correlation coefficients between M_k and d for $45 \leq k \leq 100$

k	45	50	60	70	80	90	100
$S(1)$	0.5031	0.4998					
$S(2)$	0.4218	0.4223					
$S(3)$	0.4266	0.4273	0.4287	0.4300	0.4311	0.4322	0.4331
$S(4)$	0.4928	0.4930	0.4933	0.4935	0.4937	0.3938	0.4938

The data in Tables 1 and 2 show that the correlation coefficients have gone down to a value 0.5 when compared to the old results for instances up to 14 vertices (Cvetković 1987). It is remarkable that the values of the correlation coefficients are more or less the same for instances of dimension 50 and 100 and it is a challenging question does that hold for higher dimensions.

3. LOGICAL EXPLANATIONS

The values in Tables 1 and 2 are almost constant within a set of instances and vary to some extent between the sets. We shall explain these data first by analyzing the value domains of several relevant quantitative characterizations of randomly generated sets $S(1)$ - $S(4)$.

The Frobenius norm of the distance matrix varies

- for the set $S(1)$ in the interval [2800.4775 , 2950.9178],
- for the set $S(2)$ in the interval [2773.2238 , 2955.8643],
- for the set $S(3)$ in the interval [5685.1920 , 5863.9294],
- for the set $S(4)$ in the interval [5699.4554 , 5886.6838].

Since the randomly generated distance matrices have been normalized, we get very small values of the TSP optimal tour lengths, which vary

- for the set $S(1)$ in the interval [0.0583 , 0.0957],
- for the set $S(2)$ in the interval [0.0600 , 0.1031],
- for the set $S(3)$ in the interval [0.0377 , 0.0531],
- for the set $S(4)$ in the interval [0.0352 , 0.0540].

Normalization also produces matrices with small eigenvalues. The largest eigenvalue λ_1 of the distance matrix varies

- for the set $S(1)$ in the interval [0.8506 , 0.8745],
- for the set $S(2)$ in the interval [0.8567 , 0.8722],
- for the set $S(3)$ in the interval [0.8610 , 0.8714],
- for the set $S(4)$ in the interval [0.8618 , 0.8716].



Let μ be the maximal modulus of other eigenvalues of the distance matrix. We have $\mu < \lambda_1$ and the quantity μ varies

- for the set $S(1)$ in the interval $[0.1334, 0.1673]$,
- for the set $S(2)$ in the interval $[0.1339, 0.1608]$,
- for the set $S(3)$ in the interval $[0.0986, 0.1104]$,
- for the set $S(4)$ in the interval $[0.0969, 0.1129]$.

The fact that μ is much smaller than λ_1 is a bit unexpected and will be theoretically investigated in our future papers.

Let $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ be the eigenvalues of the normalized weight matrix D . Having in view the interval of variation of eigenvalue λ_1 and of the quantity μ , the term λ_1^k is dominant in the expression for spectral moments $M_k = \lambda_1^k + \dots + \lambda_n^k$. Actually, this means that we can assume $M_k \approx \lambda_1^k$ already for very small values of k (say $k \geq 3$). The fact that the correlation coefficient between M_k and the length of an optimal tour is independent of k is explained by a very small interval to which λ_1 belongs.

4. CONCLUSION

The paper investigates the connection between spectral moments of the distance matrix and the length of an optimal TSP tour. Computational experiments with randomly generated TSP instances on 50 and 100 vertices show that there exists a moderate, but for our purpose significant correlation between sequences of spectral moments and the sequence of the optimal tour lengths. More precisely, in spite of obtaining a moderate correlation, the discovery that such apparently quite disconnected quantities are in some connection, is significant. Analysis of the obtained results leads to the conclusion that a really important parameter is the largest eigenvalue λ_1 of the distance matrix. It is well-known that the largest eigenvalue (also known as the spectral radius) plays an important role in the theory of graph spectra (see Cvetković *et al.* 1995, Stevanović 2014). This paper gives a numerical evidence that the spectral radius is also relevant in the theory of the travelling salesman problem. Further details will be given in a forthcoming paper.

Acknowledgement

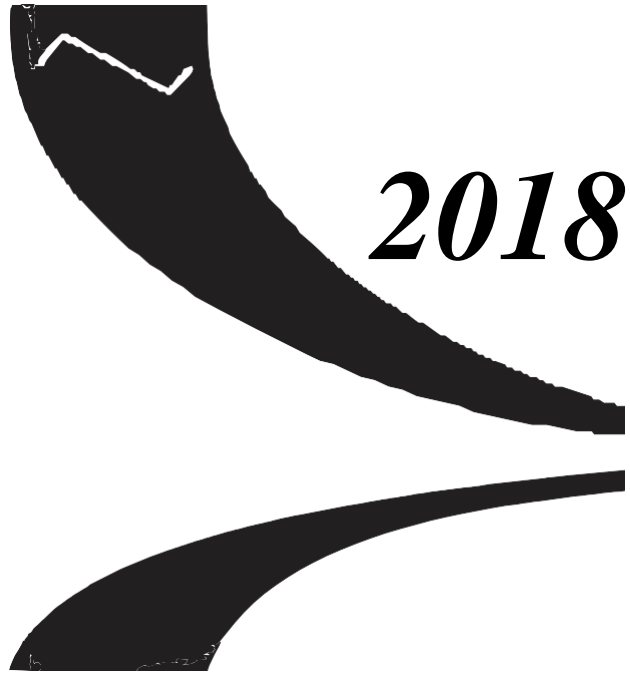
Support for this research has been obtained from the scientific projects ON174033, ON174010 and F-159 of the Ministry for Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

REFERENCES

- [1] Applegate, D., Bixby, R. E., [Chvátal](#), V., & Cook, W. J. (2006), *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*, Princeton University Press.
- [2] Cvetković, D. (1987), *Adaptive solving of the traveling salesman problem*, (Serbo-Croatian), unpublished report, Faculty of Electrical Engineering, Belgrade, 1-48.
- [3] Cvetković, D., Čangalović, M., Dražić, Z., & Kovačević-Vujčić, V. (2016), Some new complexity indices for the traveling salesman problem, *Proceedings of XLIII Symposium on Operational Research SYM-OP-IS 2016*, 283-286.
- [4] Cvetković, D., Čangalović, M., Dražić, Z., & Kovačević-Vujčić, V. (2017), Composite complexity indices for the traveling salesman problem, *Proceedings of XLIV Symposium on Operational Research SYM-OP-IS 2017*, 241-246.
- [5] Cvetković, D., Čangalović, M., Dražić, Z., & Kovačević-Vujčić, V. (2017), Complexity indices for the traveling salesman problem based on short edge subgraphs, *Central European Journal of Operations Research*, <https://doi.org/10.1007/s10100-017-0513-8>.



- [6] Cvetković, D., & Dimitrijević, V. (1994), Spectral moments of the distance matrix and the length of an optimal solution of the traveling salesman problem, Proceedings of XXI Symposium on Operational Research SYM-OP-IS 1994, 341-343.
- [7] Cvetković, D., Dimitrijević, V., & Milosavljević, M. (1992), A survey of some non-standard traveling salesman problems, Yugoslav Journal of Operations Research, 2 (2), 163-185.
- [8] Cvetković, D., Dimitrijević, V., & Milosavljević, M. (1996), Variations on the Travelling Salesman Theme, Libra produkt, Beograd.
- [9] Cvetković, D., Doob, M., & Sachs, H. (1995), Spectra of Graphs - Theory and Applications, III revised and enlarged edition, Johann Ambrosius Barth Verlag, Heidelberg - Leipzig.
- [10] Gutin, G., & Punnen, A. (Eds.) (2002), The Traveling Salesman Problem and Its Variations, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [11] Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnoy Kan, A.H.G., & Shmoys, D.B. (Eds.) (1985), The Traveling Salesman Problem, John Wiley and Sons, Chichester - New York - Brisbane - Toronto - Singapore.
- [12] Stevanović, D. (2014), Spectral Radius of Graphs, Academic Press (imprint of Elsevier), Waltham



***KVANTITATIVNI MODELI U
FINANSIJAMA***



OGRANIČAVAJUĆI FAKTORI RAZVOJA OSIGURANJA NEKRETNINA U CRNOJ GORI - DECISION TREE ANALIZA

LIMITING FACTORS OF REAL ESTATE INSURANCE DEVELOPMENT IN MONTENEGRO - DECISION TREE ANALYSIS

MILIJANA NOVOVIĆ BURIĆ¹, VLADIMIR KAŠĆELAN², LJILJANA KAŠĆELAN³

¹ Univerzitet Crne Gore, Ekonomski fakultet, mnovovic@ac.me

² Univerzitet Crne Gore, Ekonomski fakultet, v.kascelan@t-com.me

³ Univerzitet Crne Gore, Ekonomski fakultet, ljljak@ac.me

Rezime: Osiguranje nekretnina nije dovoljno razvijeno na tržištu Crne Gore, te je cilj rada da ukaže na faktore koji ograničavaju potražnju za ovom vrstom osiguranja, kao i na mogućnosti njegovog razvoja u zavisnosti od sociološkog i demografskog profila potencijalnih osiguranika. U radu je korišćena Decision tree analiza koja identifikuje interaktivni uticaj posmatranih faktora (ekonomskih, demografskih i dr.) na potražnju za osiguranjem nekretnina, te definiše profil građana koji ograničavaju razvoj ove vrste osiguranja u Crnoj Gori, kao i njihove mogućnosti potencijalnih ulaganja.

Ključne reči: osiguranje nekretnina, Decision tree analiza, tržište osiguranja, Crna Gora

Abstract: Real estate insurance is not sufficiently developed in Montenegrin market, so the aim of this paper is to investigate factors that limit the demand for this type of insurance product, as well as to point to the possibilities for its development depending on sociological and demographic profile of potential policyholders. For this purpose, the Decision tree analysis is used. This analysis identifies the interactive impact of the observed factors (economic, demographic, etc.) on the demand for real estate insurance, and defines the profile of citizens who limiting the development of this type of insurance in Montenegro, as well as their potential investment opportunities.

Keywords: real estate insurance, Decision tree analysis, insurance market, Montenegro

1. UVOD

Osiguranje je naučna disciplina od posebnog društvenog značaja jer omogućava smanjenje potencijalnih gubitaka, te obezbeđuje materijalnu sigurnosti građana, što je svakako osnova napretka i razvoja zdravog društva. Usled niskog životnog standarda stanovništva, nedovoljne razvijenosti i nestabilnosti finansijskog tržišta, kao i uticaja mnogih drugih faktora, tržište osiguranja Crne Gore karakteriše dominantna zastupljenost neživotnih osiguranja, ali i dominacija obaveznih osiguranja u ukupnom tržišnom portfelju.

Mnogi autori bavili su se istraživanjem uticaja pojedinih faktora na trendove tržišta osiguranja, odnosno trendove njegovih osnovnih segmenata, životnog i neživotnog osiguranja. Faktori koji utiču na razvoj osiguranja zavise od zemlje u kojoj se izučavaju, a objavljeno je preko 20 empirijskih akademskih studija koja istražuju uticaj ključnih faktora na tražnju za osiguranjem i to demografskih, makroekonomskih, socioloških i psiholoških, institucionalnih kao i onih koji zavise od samih osiguravača (Zietz, 2003). Makroekonomski faktori predodređuju poslovanje svih finansijskih institucija, pa tako i osiguravajućih kompanija. Demografski i socijalni faktori naglašavaju značaj strukture stanovništva, dok su institucionalni uglavnom vezani za regulativu koja bi trebala da omogući nesmetano poslovanje osiguravajućih kompanija (Anđelinović i drugi, 2016).

Dragos (2014) procenjuje da na razvoj kako životnog, tako i neživotnog osiguranja, značajan uticaj ima dohodak stanovništva i njegova distribucija. Beck i Webb (2003), Ward i Zurbruegg (2000) ukazuju na pozitivan odnos u industrijalizovanim zemljama između nacionalnog dohotka i troškova neživotnog osiguranja. Feyen i drugi (2011) naglašavaju da veličina populacije određuje veličinu tržišta neživotnog osiguranja, tačnije da je odnos gustine stanovništva i potrošnje na tržištu neživotnog osiguranja pozitivan. Park i Lemaire (2011) posmatrajući 82 zemlje u periodu od 10 godina, zaključili su da obrazovanje i urbanizacija



pozitivno utiču na potražnju za neživotnim osiguranjima, dok je Treerattanapun (2011) dokazao da urbanizacija nema značajnog uticaja na sektor neživotnog osiguranja. Rezultati istraživanja Petkovskog i Kjosevskog (2014), pokazali su da se zemlje centralne i jugoistočne Evrope smatraju regionom sa dinamičnim i brzo rastućim tržištem osiguranja, odnosno da povećanje sektora neživotnih osiguranja treba posmatrati kao neizbježni dio stabilnog ekonomskog razvoja.

Empirijska istraživanja koja se vezuju za ovu problematiku mogu se klasifikovati kao mikroekonometrijska i makroekonometrijska istraživanja. Makroekonometrijska istraživanja podrazumijevaju analizu agregatnih makroekonomskih vremenskih serija i omogućavaju komparaciju zemalja. Mikroekonometrijskim istraživanjima se objašnjava proces donošenja odluke o kupovini pojedinih proizvoda osiguranja, uglavnom koristeći podatke iz anketa. Dalje, za analizu anketnih podataka sve više se primjenjuju klasifikacione "data mining" metode, posebno Decision tree (DT) metoda (De Ona J., De Ona R. & Calvo, 2012, Rondović i drugi, 2018; Ansari & Riasi, 2016; Jovanović i drugi, 2017).

Osiguravajuće kompanije u Crnoj Gori nude različite oblike osiguravajućeg pokriva imovine, tj. nekretnina, od osnovnih do dopunskih rizika, pri čemu svaka ponuda ima svoje prednosti i specifičnosti koje zavise od finansijskih mogućnosti i potreba osiguranika. Osiguranje rizika od požara smatra se osnovnim rizikom u imovinskom osiguranju. Zaključenje drugih vrsta osiguranja često je uslovljeno prethodnim zaključenjem osiguranja od požara i nekih drugih opasnosti, kao osnovnim osiguranjem. Osiguranje od zemljotresa ugovara se kao dodatno osiguranje uz požar i druge opasnosti. Visina premije, zavisi od vrijednosti i starosti predmeta osiguranja, kao i od zone izloženosti zemljotresu u kojoj se nalazi osigurana nekretnina. Osiguranjem od provalne krađe i razbojništva pokriva se šteta koja podrazumijeva uništenje ili krađu osiguranih stvari prilikom provale ili pokušaja provale, kao i šteta koja može nastati na zgradama tj. nekretninama, ili unutar njih, a koja nastaje kao posljedica provale. Pored navedenih rizika, osiguranjem nekretnina mogu se pokriti i rizici loma stakla na prozorima, vratima, instalacijama, izivanje vode iz kanizacionih i vodovodnih cijevi, zla namjera trećih lica i sl.

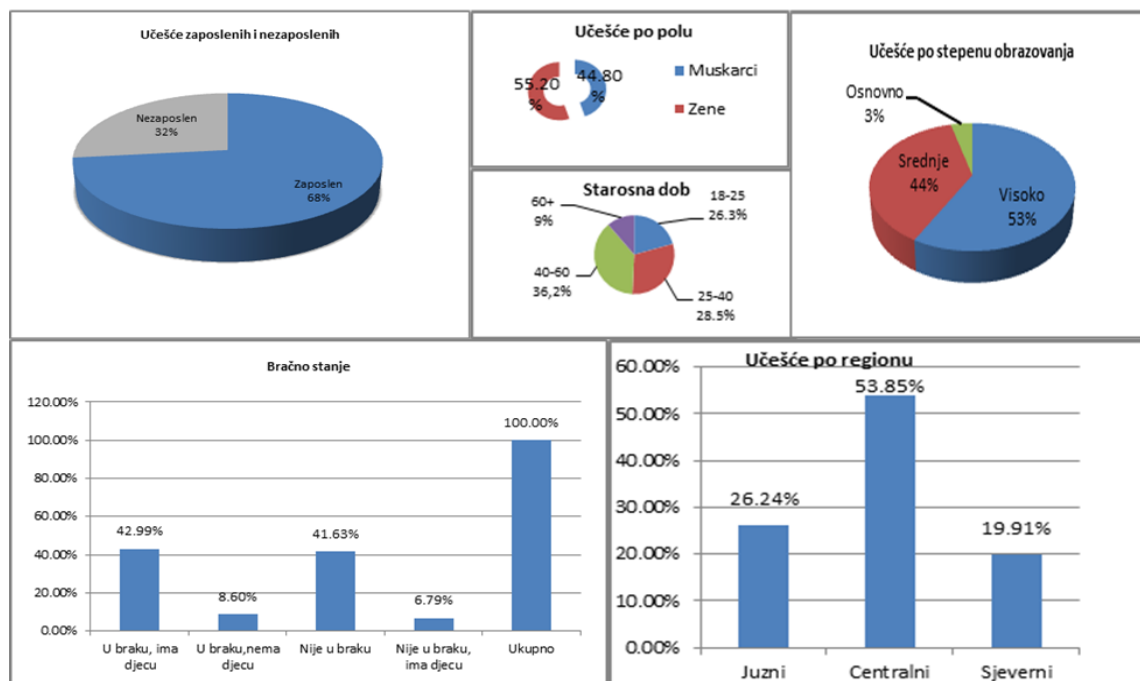
Na tržištu osiguranja Crne Gore neživotnim osiguranjem u 2016. godini bavilo se pet kompanija. Svih pet kompanija su u svojoj ponudi imale proizvode koji se odnose na osiguranje nekretnina (osiguranje stana, stvari u stanu, ukučana, osiguranje od požara i drugih opasnosti itd). Ukupna naplaćena premija od osiguranja požara i drugih opasnosti na crnogorskom tržištu iznosila je približno 4 miliona € u 2016. godini, dok su ostala osiguranja koja se vezuju za osiguranje nekretnina, dala premiju u iznosu od skoro 6 miliona € (vidjeti ANO, 2016).

Cilj ovog rada je da se kroz analizu anketnih podataka i stabla odlučivanja (DT analizu) ukaže na ključne faktore zbog kojih građani različitog sociološkog i demografskog profila ne zaključuju ugovore o osiguranju nekretnina, te time ograničavaju i razvoj ukupnog tržišta neživotnog osiguranja. Takođe, radom će se pokazati i potencijalna mogućnost razvoja tržišta osiguranja nekretnina, analizirajući finansijske mogućnosti građana koji bi se u budućnosti mogli naći u ulozi osiguranika.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA I OPIS PODATAKA

Istraživanje o prihvatanju osiguranja nekretnina od strane građana Crne Gore urađeno je njihovim anketiranjem u maju 2018. godine. Ispitano je ukupno 220 građana različitih starosnih grupa, regija, stepena obrazovanja, bračnog statusa i sl., koji do sada nisu osigurali svoju nekretninu. Anketa je koncipirana na način da se u prvom dijelu vrši segmentacija ispitanika prema demografskim i sociološkim faktorima, dok se drugim dijelom ankete ispituju razlozi zbog kojih građani nemaju ugovor o osiguranju nekretnina, odnosno njihova potencijalna novčana izdvajanja za ovu vrstu osiguranja u budućnosti.

Analizirajući demografske i sociološke karakteristike ispitanika (grafikon br.1), najveći broj anketiranih lica je zaposleno (68,32%), iz centralnog dijela Crne Gore (53,85%), starosne dobi od 40-60 godina (36,2%), ženskog pola (55%), sa visokim obrazovanjem (53%). Učešće ispitanika koji su u braku i imaju djecu u ukupnom uzorku iznosi oko 43%, dok je 42% onih koji nisu u braku. Anketa je pokazala i da je najveći broj ispitanika naveo da su nedovoljna lična primanja ključni razlog zbog kojih ne posjeduju polisu osiguranja imovine, kao i da bi potencijalno, ukoliko bi se odlučili da osiguraju svoju nekretninu, mogli da izdvajaju od 50 do 100 € godišnje za premiju osiguranja.



Grafikon br. 1: Demografsko –sociološke karakteristike ispitanika

Za dalju analizu anketnih podataka korišćena je DT metoda kojom se traže veze između zavisnih i nezavisnih varijabli preko takozvane strukture drveta, odnosno čvorova, grana i lišća. Svaki čvor u stablu je povezan sa jednom od nezavisnih varijabli, a svaka grana stabla sa podskupom vrijednosti odgovarajuće nezavisne varijable. Ako je ciljna varijabla diskretna (ima ograničen broj vrijednosti), onda se drvo smatra klasifikacionim stablom, a svaki list predstavlja jednu vrijednost ciljne varijable (jedna klasa). DT algoritam generiše i relativne frekvencije za svaki list, tj. vjerovatnoću pripadanja klasi koju ovaj list predstavlja.

Proces indukcije stabla rekurzivno raspodjeljuje početni skup podataka u podskupove. Cilj svake iteracije je da se dobije najbolja moguća podjela. Metod razdvajanja može se razlikovati u zavisnosti od samog DT algoritma koji definiše varijablu koja će biti dodijeljena čvoru u stablu. Svaka grana drveta koja izlazi iz tog čvora odgovara jednoj od dobijenih podgrupa. U ovom radu podjela je zasnovana na teoriji informacija (entropija), a „čistoća“ skupa se mjeri rastojanjem između raspodjele vjerovatnoća - Gini Indeks (Breiman i dr. 1984, Quinlan, 1993). Kada se stablo generiše na cijelom skupu podataka sa kategoričkom ciljnom varijablom, onda model omogućava klasifikaciju jer se početni skup podataka dijeli u klase (koje su definisane vrijednostima ciljne varijable), a svakoj klasi je dodijeljeno odgovarajuće pravilo klasifikacije, koje se čita iz stabla.

U ovom radu nezavisne varijable su socio-demografski faktori, dok su zavisne ograničavajući faktori zaključivanja ugovora o osiguranju i potencijalne mogućnosti izdvajanja novčanih sredstava za posmatrani vid osiguranja. Za obje zavisne varijable generiše se po jedan DT model koji klasifikuje podatke prema vrijednostima te varijable. Svaka klasa je opisana „if-then“ pravilima kroz socio-demografske faktore. Na ovaj način, moguće je analizirati socio-demografske karakteristike ispitanika prema faktorima koji negativno utiču na stav građana o osiguranju nekretnina, kao i prema finansijskim mogućnostima zaključivanja ove vrste ugovora o osiguranju u budućnosti.

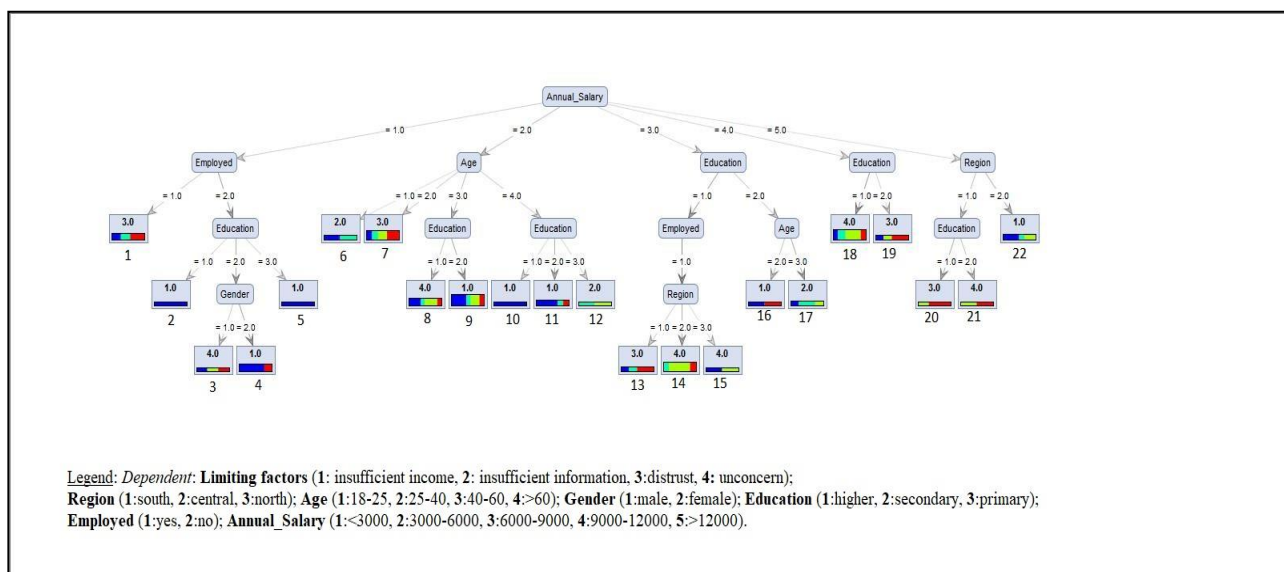
3. EMPIRIJSKI REZULTATI I DISKUSIJA

U cilju analiziranja rezultata i donošenja konkretnih zaključaka generisana su dva DT modela. Pravila se čitaju od korijena ka listovima. Svakom listu odgovara jedno „if-then“ pravilo. Listovi predstavljaju vrijednosti zavisne varijable, tj. razloge zbog kojih građani ne zaključuju ugovor o osiguranju nekretnina (kod prvog

modela, grafikon br. 2), odnosno potencijalna finansijska izdvajanja za premije osiguranja nekretnina (kod drugog modela, grafikon br. 3).

Najznačajniji su oni listovi koji u dnu imaju deblji pravougaonik, što znači da se pravila koja im odgovaraju odnose na veći broj podataka, ali je važna i tzv. “margina pobjede”. Margina pobjede kod nekog pravila je veća ako u pravougaoniku na dnu lista boja koja odgovara listu preovlađuje, pri čemu se svakom listu (zavisnoj varijabli) dodjeljuje odgovarajuća boja. Svakako, nemoguće je očekivati idealnu klasifikaciju gdje bi u svakom listu bila jedna i to odgovarajuća boja. Shodno tome, svaka tačnost veća od 50% u listovima je prihvatljiva, ali su značajnija ona pravila kojima odgovaraju listovi sa većom tačnošću, pa na njih treba obratiti pažnju tokom analize DT modela (deblji pravougaonik i veća zastupljenost odgovarajuće boje u listu).

U nastavku je dat grafikon koji pokazuje DT model za ograničavajuće faktore zaključivanja ugovora u osiguranju (ukupna tačnost DT modela je 64.03%).



Grafikon br.2: DT model –ograničavajući faktori

Iz Grafikona br.2 se vidi da je debljina listova najizraženija kod devetog, četrnaestog i osamnaestog lista, što znači da se pravilo koje im odgovara odnosi na veći broj podataka, tj. da je primjenjen veći broj podataka iz uzorka. U ovom modelu, vrijednost 1 je označena plavom bojom i odnosi se na nedovoljna lična primanja građana. Nedovoljna informisanost o osiguranju nekretnina označena je brojem 2 i dodjeljena joj je zelena boja, dok se vrijednost 3, koja je označena crvenom bojom, odnosi na nepovjerenje u osiguravajuće kompanije. Žuta boja dodijeljena je za vrijednost 4 i predstavlja zavisnu varijablu-nezainteresovanost za osiguranjem nekretnina. Shodno tačnošću primjene pravila sa vjerovatnoćom većom od 50%, neophodno je izdvojiti listove broj 2, 4, 5, 10 i 11, kod kojih je najveća tačnost primjene pravila i koji se odnose na nedovoljna primanja građana, kao i listove broj 6 i 17 (koji se odnose na nedovoljnu informisanost građana). Takođe, prihvatljiv je i list broj 13, koji objašnjava nepovjerenje građana, kao i listovi broj 14 i 15 i 18, koji objašnjavaju nezainteresovanost za osiguranjem nekretnina.

Dakle, grafikon upućuje na sljedeće zaključke, do kojih se dolazi tumačenjem pravila koja se odnose na pomenute listove.

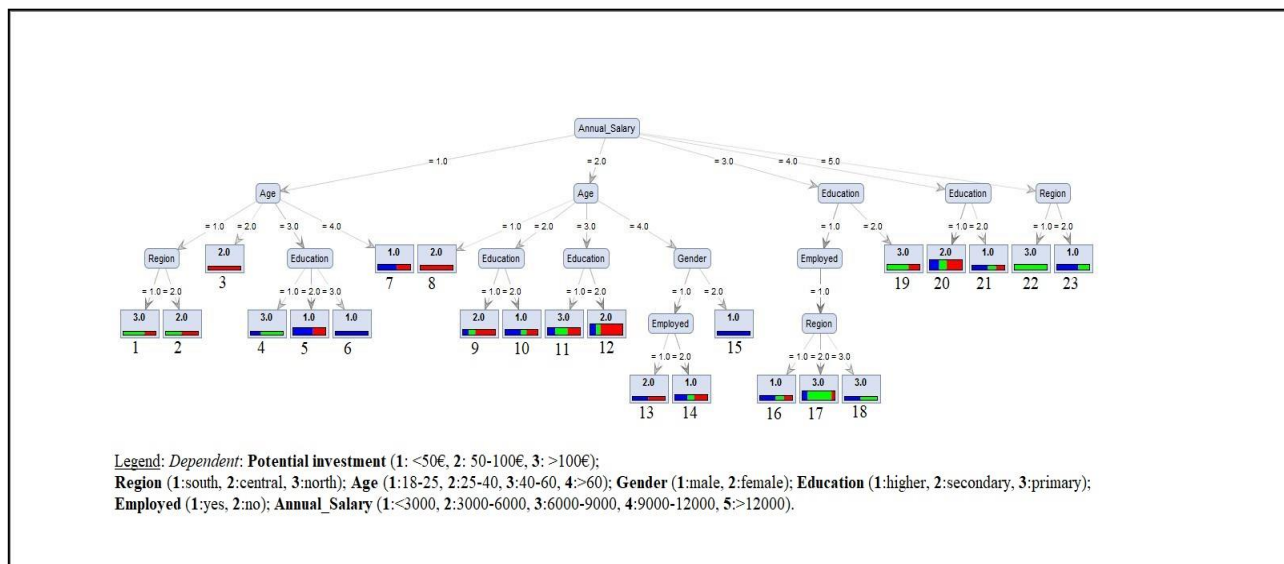
Nedovoljna lična primanja su ključni razlog neposjedovanja polise osiguranja nekretnina građana starosne dobi od 40 do 60 godina, srednjeg obrazovanja, čija su godišnja primanja od 3000 do 6000€ (list 9), kao i populacije starije od 60 godina, sa visokim ili srednjim obrazovanjem a sa istim godišnjim primanjima (list 10 i 11). Lica koja nisu zaposlena, te imaju minimalna godišnja primanja (manja od 3000€), sa visokim ili osnovnim obrazovanjem, ne osiguravaju svoju imovinu upravo zbog nedovoljnih ličnih primanja (list 2 i 5). Lična primanja su takodje ključan ograničavajući faktor i za nezaposlene žene, srednjeg obrazovanja sa minimalnim primanjima (list 4). Dakle, građani čija su primanja do 6000€ godišnje (oko 500€ mjesečno i manje), bez obzira na nivo obrazovanja i zaposlenje, nisu u mogućnosti da izdvajaju finansijska sredstva za

pokriće šteta od određenih rizika koji mogu zadesiti njihovu nekretninu. Ako uzmemo podatak da je npr. minimalna potrošačka korpa za četvoročlanu porodicu, za mart 2018.godine iznosila 631,9€ (vidjeti MONSTAT, 2018) , od čega su samo izdaci za hranu i bezalkoholna pića iznosili 258,4€, onda je potuno logično da ovakav profil građana nije u mogućnosti da osigurava svoje nekretnine.

Zaposleno i visokoobrazovano stanovništvo iz centralnog i sjevernog dijela Crne Gore, čija su godišnja primanja od 6000 do 9000€ nije zainteresovano za ovaj vid osiguranja (list 14 i 15), kao ni visokoobrazovana lica čija su primanja od 9000 do 12000€ godišnje (list 18). Ovakav rezultat nas navodi na sljedeće konstatacije. S obzirom na to da ispitanici sa visokim obrazovanjem nisu zainteresovani za ovaj vid osiguranja, postavlja se pitanje koliko je sami koncept rizika i osiguranja dovoljno i kvalitetno zastupljen i obrađen u sistemu obrazovanja Crne Gore? Drugo, jug Crne Gore je prepoznat kao značajna turistička destinacija, pa je imovina građana (kuće, stanovi, apartmani, privatni hoteli i sl) izložena većem broju rizika (pored osnovnih rizika, učestaniji su rizici provale, krađe, zle namjere trećih lica i sl.), zbog čega građani iz južnog regiona nisu nezainteresovanost naveli kao ključan faktor neposjedovanja polise osiguranja nekretnina.

Sa druge strane, zaposleni i obrazovani građani iz južne regije, čija su godišnja primanja od 9000 do 12000€, nemaju dovoljno povjerenja u rad osiguravajućih kompanija (list 13), što se u vidu pretpostavke može obrazložiti lošim iskustvom koje su imali njihovi sugrađani sa osiguravajućim kompanijama kod kojih su osiguravali svoje nekretnine, ili ličnim negativnim iskustvom koje su imali sa kompanijama kod kojih su zaključivali neki drugi vid osiguranja, a koji su mogli obezbijediti s obzirom na godišnja primanja iznad prosječnih u Crnoj Gori.

Najmlađa populacija, od 18 do 25 godina, čija su primanja na nivou prosjeka u Crnoj Gori (od 3000 do 6000€ godišnje), izjasnila se da je nedovoljna informisanost ključni ograničavajući faktor za zaključenje ugovora osiguranju nekretnina (list 6). Isti razlog naveli su i ispitanici srednje dobi i srednjeg obrazovanja sa primanjima od 6000 do 9000€ godišnje (list 17). Ovakav rezultat navodi na zaključak da osiguranje treba bolje promovisati, prije svega medijski, kako bi mlađa populacija i građani srednje starosne dobi mogli da shodno svojim finansijskim mogućnostima izaberu odgovarajući paket, tj. proizvod imovinskog osiguranja, ali i kroz sistem obrazovanja i to prvenstveno zbog mlađe populacije.



Grafikon br.3: DT model –mogućnost uplate doprinosa budućih osiguranika

Iz Grafikona br.3 (ukupna tačnost DT modela je 63%) se vidi da pravila kojima odgovaraju listovi sa većom tačnošću jesu listovi broj 5, 12, 17 i 20 (sa aspekta debljine pravougaonika), odnosno sa aspekta boje, tj. vjerovatnoće tačnosti primjene pravila, svi listovi osim broja 2, 10, 11, 14 i 16 kod kojih je ova vjerovatnoća jednaka ili manja od 50%. U ovom modelu vrijednost 1 odnosi se na zavisnu promjenjivu koja predstavlja godišnje izdatke za osiguranje nekretnina manje od 50€ i označena je plavom bojom, dok su izdaci od 50 do



100€ označeni brojem 2 i crvenom bojom. Zelena boja se odnosi na vrijednost 3 koja ukazuje na godišnja izdvajanja za osiguranje nekretnina veća od 100€ godišnje.

Ispitanici srednjih godina, od 40 do 60, čija su godišnja primanja ispod 3000€, u perspektivi ne bi mogli izdvojiti više od 50€ godišnje za premiju osiguranja nekretnina, bez obzira da li imaju srednje ili osnovno obrazovanje (list 5 i 6), kao i ispitanici stariji od 60 godina sa istim primanjima (list 7), što je slučaj i sa ženama starijim od 60 godina, sa primanjima od 3000 do 6000€ bez obzira na nivo obrazovanja (list 15). Ovakav rezultat je potpuno opravdan zbog minimalnih prihoda koje starija populacija godišnje ostvaruje, kao i zbog nemogućnosti, tj. ograničenja sticanja dodatnih novčanih sredstava u periodu kada već jeste, ili će biti manje radno aktivna i sposobna.

Građani sa primanjima od 9000 do 12000€ srednjeg obrazovanja (list 21), kao i građani sa primanjima većim od 12000€ iz centralnog regiona (list 23), takođe bi potencijalno izdvajali minimalnu premiju za osiguranje svojih nekretnina, dok bi sa druge strane visokoobrazovani i zaposleni građani iz centralnog i sjevernog regiona, sa primanjima od 6000 do 9000€, mogli bi da uplaćuju godišnju premiju veću od 100€ godišnje (list 17 i 18), kao i građani sa srednjom stručnom spremom i istim godišnjim primanjima (list 19). Ovakav rezultat govori o tome da bogatija populacija, a naročito iz centralnog regiona, ne pridaje dovoljan značaj osiguranju. Ovakav rezultat se može obrazložiti neadekvatnim poznavanjem proizvoda osiguranja, ali i stavom građana da bi potencijalne štete mogle biti pokrivena iz sopstvenih izvora i fondova.

Potencijalno, premiju od 50 do 100€ godišnje, mogla bi izdvojiti populacija sa primanjima od 3000 do 6000€ starosne dobi do 25 godina (list 8), od 25 do 40 godina i visokim obrazovanjem (list 9), od 40 do 60 godina srednjeg obrazovanja (list 12), kao i građani od 25 do 40 godina sa minimalnim primanjima (list 3). Isti iznos premije bi mogla da izdvoje lica sa visokim obrazovanjem i primanjima od 9000 do 12000€ (list 20).

DT model je pokazao da bi godišnju premiju u iznosu većem od 100€ mogla da izdvaja najmlađa populacija sa minimalnim primanjima, manjim od 3000€ iz južne regije Crne Gore (list 1), kao i generalno građani sa primorja, čija su primanja veća od 12000€ godišnje (list 22). Ovakav rezultat nas navodi na zaključak da mlada populacija više razmišlja o osiguranju svojih nekretnina, te očekuje da će biti u mogućnosti da izdvaja prihvatljiva novčana sredstva za godišnju premiju, a što se opravdava njihovim očekivanjima o boljim zaradama i zaposlenjima u budućnosti. Najveći iznos premije za osiguranje nekretnina, izdvajali bi platežno sposobniji građani sa primorja, što je i za očekivati s obzirom na nekretnine koje posjeduju, te njihovu upotrebu u turističke svrhe, odnosno na rizike kojima je ta imovina i izložena.

4. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja sprovedenog anketiranjem građana Crne Gore, uz primjenu DT analize, pokazali su da je životni standard stanovništva, odnosno niska godišnja primanja građana, važan faktor nerazvijenosti osiguranja nekretnina u Crnoj Gori. Ovakav odgovor dala je većina ispitanika, ali i sama DT analiza kojom se pokazalo da populacija srednje i starije dobi, sa primanjima jednakim ili ispod prosjeka u Crnoj Gori i bez obzira na zaposlenost i nivo obrazovanja, nije u mogućnosti da osigurava svoju nekretninu upravo iz finansijskih razloga, odnosno da bi potencijalno mogla uplaćivati minimalnu godišnju premiju, ukoliko bi došlo do promjena određenih životnih okolnosti, prije svega finansijskih.

Nezainteresovanost i nedovoljna informisanost građana takođe imaju negativan uticaj na razvoj osiguranja nekretnina u Crnoj Gori. Rezultat DT analize ukazuje da građani sa visokim obrazovanjem, prosječnim primanjima ili čak i većim, naročito iz centralne i sjeverne regije, nisu zainteresovani za posmatrati proizvod osiguranja. Ovakav rezultat upućuje na neadekvatnu informisanost građana o samoj problematiki rizika, potencijalnim gubicima, kao i mogućnostima njihovog rješavanja. Da bi se promijenio stav građana i ublažio navedeni problem, osiguranju treba dati veći značaj kako u medijima, tako i u samom sistemu obrazovanja, naročito zbog mlađe populacije i građana srednje dobi koji smatraju da nisu dovoljno informisani o uslovima osiguranja nekretnina. Znajući da je e-komunikacija ključna kod mlađe populacije, ali i populacije srednje dobi, promociju osiguranja bi trebalo više sprovesti preko Interneta, odnosno društvenih mreža (Facebook, Twiter i sl.) u odnosu na npr. flajere, TV reklame i sl.

Nepovjerenje građana u rad osiguravajućih kompanija izdvojen je takođe kao bitan razlog nezaključivanja ugovora o osiguranju nekretnina i to naročito kod građana južnog dijela regije. Shodno tome, osiguravajuće kompanije bi trebale omogućiti bolju, direktniju i učestaliju komunikaciju sa građanima sa primorja, i to ne samo u dijelu procjene i isplate šteta, već u svim fazama trajanja ugovora o osiguranju.

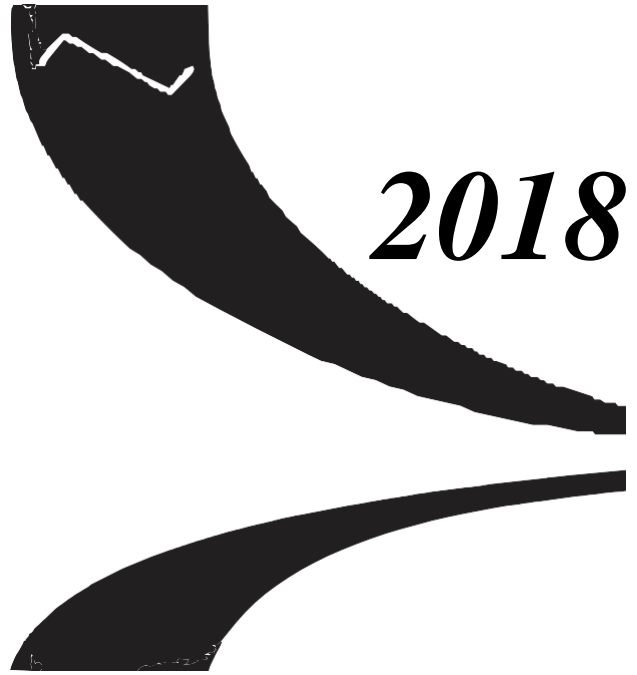


DT model je pokazao i da potencijal za razvoj osiguranja nekretnina leži u mlađoj populaciji, naročito iz južnog regiona, koja bi uz bolju informisanost i veću platežnu sposobnost bila spremna da izdvaja značajnija novčana sredstva za osiguranje nekretnina. Samim tim, osiguravajuće kompanije bi trebale više pažnje posvetiti mlađoj populaciji kao ciljnoj grupi građana za razvoj osiguranja nekretnina u Crnoj Gori.

Sa metodološkog aspekta istraživanje je pokazalo da je DT metod efikasan kod analize anketnih podataka u osiguranju. Otkrivajući interaktivni uticaj više faktora, ovaj metod može pružiti više informacija nego standardne regresione metode koje uglavnom otkrivaju uticaje pojedinačnih faktora. Takođe, ovaj metod nema problema sa multikolinearnošću ulaznih varijabli i ne zahtijeva specifikaciju funkcionalne forme kao regresioni.

LITERATURA

- [1] Agencija za nadzor osiguranja (ANO), Izvještaj o tržištu osiguranja Crne Gore, 2016.
- [2] Anđelinović M., Mišević P.&Pavković A. (2016). Determinants of life insurance demand in new EU member states: panel data analysis. *Notitia - journal for sustainable development* (2), 1-12
- [3] Ansari, A. & Riasi, A. (2016). Modelling and evaluating customer loyalty using neural networks: Evidence from startup insurance companies. *Future Business Journal*, 2(1), 15-30
- [4] Beck, T. & Webb, I. (2003). Determinants of Life Insurance Consumption across Countries. World Bank and International Insurance Foundation. Working paper 2729
- [5] Breiman, L., Friedman, J., & Stone, C.J. (1984). Classification and regression trees, CRC Press, Boca Raton.
- [6] De Ona, J., De Ona, R. & Calvo, F. J. (2012). A classification tree approach to identify key factors of transit service quality, *Expert Systems with Applications* 39(12): 11164–1117
- [7] Dragos, L. S. (2014). Life and non-life insurance demand: the different effects of influence factors in emerging countries from Europe and Asia, *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 27 (1), 169-180
- [8] Feyen, E. Lester, R. & Rocha, R. (2011). What Drives the Development of the Insurance Sector? An Empirical Analysis Based on a Panel of Developed and Developing Countries. Policy Research. Working Paper 5572
- [9] Jovanović, M., Kaščelan, L., Joksimović, M., & Kaščelan, V. (2017). Decision tree analysis of wine consumers' preferences: evidence from an emerging market. *British Food Journal*, 119(6), 1349-1361
- [10] Park, S. C., & Lemaire, J. (2011b). Culture matters: Long-term orientation and the demand for life insurance. Philadelphia, PA: Wharton School, University of Pennsylvania.
- [11] Petkovski M. & Kjosevski J. (2014), An Analysis of Non-Life Insurance Determinants, *Romanian Journal of Economic Forecasting –XVII* (3), 160-178
- [12] Rondović, B., Kaščelan, L., Lazović, V., & Đuričković, T. (2017). Discovering the determinants and predicting the degree of e-business diffusion using the decision tree method: evidence from Montenegro. *Information Technology for Development*, 1-30.
- [13] Treerattanapun, A. (2011). The impact of culture on non-life insurance consumption. Paper presented at Wharton Research Scholars Project, The University of Pennsylvania.
- [14] Ward, D. and Zurbrugg, R., 2000. Does Insurance Promote Economic Growth? Evidence from OECD Countries. *The Journal of Risk and Insurance*, 67(4), pp.489-506.
- [15] Zavod za statistiku Crne Gore (MONSTAT), Saopštenje br.65, 2018.
- [16] Zietz, E. N. (2003). An Examination of the Demand for Life Insurance, *Risk Management and Insurance Review*, 6 (2), 159-191.



2018

LOGISTIKA



ANALYSIS AND COMPARISON OF TRANSPORTATION EFFICIENCY: ELECTRIC-POWERED FLEETS VERSUS COMBUSTION-POWERED FLEETS

HERBERT KOPFER¹ (*KEYNOTE SPEAKER*)

¹University of Bremen, Department of Business Studies and Economics

Abstract: *This contribution analyzes the effects of vehicle routing when deploying homogeneous and heterogeneous vehicle fleets consisting of ICE (Internal Combustion Engine) vehicles and/or BEVs (Battery Electric Vehicles). Additionally to different modes of powering (i.e. combustion engine or electric motor), vehicles with different capacities are taken into consideration. BEVs are more energy-efficient on pendulum tours and on single roundtrips than ICE-vehicles, provided that the range and the capacity of these BEVs are sufficient for fulfilling the tour. In case of entire transportation plans for several vehicles, however, ICE-vehicles have substantial advantages compared to the energy-consumption of BEVs due to their higher range and capacity.*

Results show that when deploying homogeneous fleets there is no significant potential for reducing energy consumption by replacing the objective of energy minimization by the objective of distance or time minimization. By contrast, when deploying a heterogeneous fleet, a significant reduction of energy consumption in the double-digit percentage order can be achieved. On the other hand the total travel distance as well as total travel time increases. Comprehensive computational experiments show that well-configured heterogeneous fleets are by far superior to any homogeneous ICE- or BEV-fleet.



IZBOR RFID SISTEMA U DISTRIBUCIJI PROIZVODA PRIMENOM AHP METODE

SELECTION OF THE RFID SYSTEM IN THE PRODUCT DISTRIBUTION BY USING AHP METHOD

MILORAD KILIBARDA¹, TANJA KAURIN², VLADO POPOVIĆ³, DEJAN DESPIĆ⁴

¹ Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet, m.kilibarda@sf.bg.ac.rs

² Fakultet za pravne i poslovne studije dr Lazar Vrkapić Novi Sad, tanja.kaurin@useens.net

³ NTS Soft d.o.o. Banja Luka, vlado.popovic@yahoo.com

⁴ Dejan Despić, Ministarstvo odbrane Vlade Republike Srbije, dejandespic79@gmail.com

Rezime: U radu je predstavljen postupak i model višekriterijumskog vrednovanja RFID rešenja u procesu distribucije proizvoda, koji se zasniva na AHP (Analytic Hierarchy Process) pristupu. Postupak je razvijen sa ciljem da se što bolje proceni koje RFID rešenje je najpovoljnije sa aspekta određenih kriterijuma. Definisana su tri RFID rešenja, koja se odnose na različite nivoe identifikacije podataka u lancu snabdevanja i to: nivo proizvoda, nivo pakovanja i nivo palete. Navedena rešenja su vrednovana i ocenjivana u odnosu na četiri kriterijuma: investicije, troškovi, vidljivost i zaštita privatnosti učesnika u distribuciji proizvoda. Kroz proces testiranja i primene modela, dobijeni su rezultati koji su predstavljeni u radu.

Ključne reči: RFID sistem, distribucija proizvoda, AHP model

Abstract: In this paper the procedure and model of the multi-criteria evaluation of RFID solutions in the product distribution process is presented, which is based on the AHP (Analytic Hierarchy Process) approach. This procedure was developed in order to better assess which RFID solution is most favorable from the aspect of certain criteria. Three RFID solutions are defined, which are related to different levels of data identification in the supply chain: product level, packing level and pallet level. Defined solutions are evaluated in relation to the four criteria: investments, costs, visibility and privacy protection of the participants in product distribution. Through the process of testing and application of the model, results were obtained and are presented in the paper.

Keywords: RFID system, product distribution, AHP model

1. UVOD

Efikasno upravljanje distribucijom proizvoda zahteva pravovremene, tačne i pouzdane informacije. Informacije je moguće identifikovati, prikupljati i prenositi na različite načine. Jedan od izuzetno značajnih i sve više korišćenih sistema za identifikaciju i prikupljanje podataka je RFID tehnologija. RFID je tehnologija koja omogućava automatsku identifikaciju objekata unutar datog radio-frekventnog opsega kroz radio talase bez ljudske intervencije ili unosa podataka (Muller- Seitz et al., 2009). RFID sistem se sastoji od oznaka, čitača i softvera. Oznaka je obično mikročip sa antenom, koji čuva i prenosi podatke čitaču koji je elektronski uređaj za bežično komuniciranje i prenos informacija sa oznaka u bazu podataka koja se nalazi u pozadini.

U literaturi, ali i praksi, postoji opšti konsenzus da RFID nudi značajne mogućnosti za efikasno upravljanje lancima snabdevanja. Te mogućnosti se ogledaju kroz automatsku identifikaciju proizvoda, inteligentnu komunikaciju i informacije u realnom vremenu (Zeimpekis et al. 2007; Zhang et al., 2012). Ove mogućnosti utiču na sve oblasti lanca snabdevanja, kao što su upravljanje skladištem i transportom, planiranje proizvodnje, upravljanje porudžbinama, upravljanje zalihama i imovinom (Nikoličić i dr. 2015). Specifične operacije u lancu snabdevanja, kao što su praćenje, isporuka, odjava i brojanje postaju sve brže i pouzdanije. RFID tehnologije pružaju tačne i pravovremene podatke za upravljanje tokovima informacija, što zauzvrat vodi ka efikasnijem protoku materijala i upravljanju zalihama (Dai and Tseng, 2012). RFID nudi bogatstvo podataka i informacija vezanih za lanac snabdevanja koje se koriste za poboljšano planiranje i kontrolu operacija lanca snabdevanja (Ngai et al. 2010).



Upkos značajnim prednostima koje se navode u literaturi, u praksi još uvek postoji ograničeno razumevanje pravih vrednosti i prednosti RFID tehnologije (De Marco et al. 2012). Primena ovih tehnologija nije na zadovoljavajućem nivou. Ove činjenice nameću potrebu da se detaljnije istražuju različita RFID rešenja i bolje ocene prednosti i efekti koje ove tehnologije obezbeđuju u lancu snabdevanja. Ovo je bio dovoljan motiv i za ova istraživanja, sa težnjom da se razvije postupak i formira model vrednovanja RFID rešenja u lancu snabdevanja. Ovaj rad ima za cilj da sagleda različita RFID rešenja u procesu distribucije proizvoda i da kroz proces višekriterijumskog vrednovanja odredi koja rešenja daju najbolje rezultate u odnosu na određene kriterijume.

Pored uvodnog i zaključnog dela, rad je organizovan kroz još tri celine. U drugom delu rada definisan je problem istraživanja, gde su predstavljena varijantna RFID rešenja, kao i kriterijumi vrednovanja. U trećem delu rada predstavljen je AHP model vrednovanja varijantnih rešenja, a u četvrtom delu analizirani su i diskutovani dobijeni rezultati.

2. OPIS PROBLEMA

Kada je u pitanju distribucija proizvoda RFID tehnologije je moguće koristiti na različitim nivoima. U suštini identifikaciju i prikupljanje podataka moguće je raditi na nivou proizvoda, pakovanja ili palete (Gaukler et al. 2007, Michael et al., 2005). Svaki od navedenih nivoa ima niz prednosti i nedostataka u odnosu na različite učesnike u lancu snabdevanja. Odluku koje RFID rešenje primeniti neophodno je doneti kroz jedan metodološki osmišljen postupak odlučivanja, na osnovu određenih modela i kriterijuma. Ovaj rad se upravo bavi ovom problematikom, gde su definisana i vrednovana tri varijantna RFID rešenja:

- V1 – Identifikacija na nivou proizvoda. Na kraju procesa proizvodnje proizvođač postavlja RFID tagove na jedinicu proizvoda. Proizvod je označen kroz ceo lanac distribucije, od mesta proizvodnje do mesta prodaje i potrošnje.
- V2 – Identifikacija na nivou pakovanja. RFID tagovi se obično postavljaju unutar pakovanja ili na samo pakovanje. Skeniranje i identifikacija podataka u lancu distribucije realizuju se na nivou jedinice pakovanja.
- V3 – Identifikacija na nivou palete. RFID tagovi se postavljaju na paletu i služe za očitavanje i identifikaciju podataka vezanih za sadržaj palete.

Definisana rešenja imaju čitav niz zajedničkih prednosti i nedostataka, ali se međusobno razlikuju u odnosu na potrebna ulaganja i operativne troškove korišćenja. Isto tako, navedena RFID rešenja obezbeđuju različit stepen vidljivosti i zaštite privatnosti učesnika u lancu distribucije. U procesu donošenja odluke koje rešenje primeniti, ove razlike imaju ključnu ulogu i od njih direktno zavisi izbor RFID rešenja. U skladu sa tim, definisana su četiri kriterijuma za vrednovanje i izbor varijantnog RFID rešenja i to:

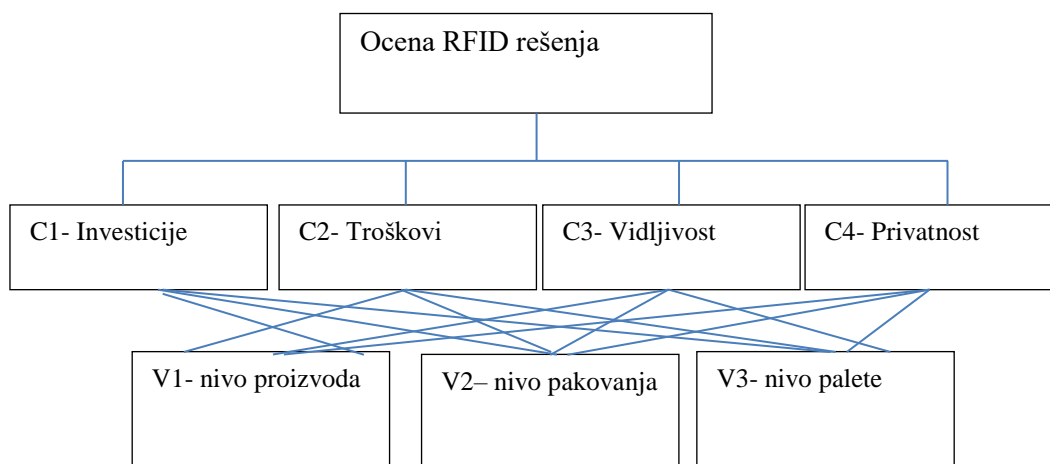
- C1- Investicije neophodne za uvođenje i primenu određenog rešenja. Definisana varijantna rešenja zahtevaju različita ulaganja u RFID tehnologiju, tagove, čitače, softverska rešenja i komunikaciono informacionu infrastrukturu.
- C2 - Troškovi odvijanja logističkih i drugih poslovnih procesa u lancu distribucije pri primeni određenog rešenja. Od izabranog varijantnog rešenja direktno zavise operativni troškovi vezani za angažovanu radnu snagu, nivo zaliha, greške, povrat proizvoda sa tržišta i sl.
- C3 – Vidljivost proizvoda, procesa i resursa u pojedinim fazama lanca snabdevanja. Predložena varijantna rešenja obezbeđuju različit stepen vidljivosti, što direktno utiče na praćenje i lociranje proizvoda, zaliha, resursa, smanjenje gubitaka, veću bezbednost i zaštitu proizvoda od falsifikata (Michael and McCathie, 2005).
- C4 – Privatnost učesnika u distribuciji proizvoda. Varijantna rešenja obezbeđuju različit stepen zaštite privatnosti učesnika u lancu distribucije.

Izbor RFID rešenja u lancima distribucije predstavlja dosta kompleksan proces, koji zahteva primenu različitih metoda i tehnika vrednovanja. Iz tih razloga u naredim delovima ovog rada predstavljeni su i primenjeni modeli višekriterijumskog vrednovanja koji se zasnivaju na AHP metodi.

3. AHP MODEL

AHP kao jedna od tehnika višekriterijumskog vrednovanja, je vrlo pogodna za rešavanje kompleksnih problema koji zahtevaju selekciju optimalnog iz skupa više varijantnih rešenja. Izbor rešenja je omogućen međusobnim poređenjem većeg broja kvantitativnih i kvalitativnih elemenata na osnovu mišljenja eksperata (Badri, 2001, Peng, et al., 2011). AHP je široko korišćen metod odlučivanja i analize nestrukturiranih problema (An-Yuan, Cheng-Jung, 2011). U ovom radu je formiran AHP model, koji konceptijski obuhvata četiri ključna koraka (prema Albayrak & Erensal, 2004):

1. Strukturiranje modela. Kompleksan problem vrednovanja RFID rešenja dekomponuje se na jednostavnije delove i strukturira u hijerarhijsko stablo, koje se sastoji od tri nivoa: opšti cilj problema je na vrhu stabla, u sredini je više različitih kriterijuma odlučivanja, a varijantna rešenja na kraju stabla (slika 1).



Slika 1. Hijerarhijska struktura modela

2. Komparativna procena kriterijuma i varijantnih rešenja. U okviru ovog koraka određuju se relativni prioriteti elemenata na svakom hijerarhijskom nivou. Matrice međusobnog poređenja započinju od drugog nivoa hijerarhije (nivo kriterijuma), a završavaju se sa poslednjim nivoom na kome se nalaze varijantna rešenja. Poređenje se realizuje primenom Saaty-eve skale od 1 do 9. Na svakom hijerarhijskom nivou elementi se porede na osnovu stepena uključenosti u elemente koji su na višem nivou. Donosilac odluke (ekspert) određuje vrednost value a_{ij} , elementa i i j , gde je:

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \quad \forall i, j = 1, \dots, n \quad a_{ij} = 1 \quad \forall i = j$$
3. Definisane prioriteta za svaki element u odnosu na viši nivo hijerarhije – w_{ij} je prioritet alternative i u odnosu na kriterijum j , gde je $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$; m je broj alternative, a n je broj kriterijuma.
4. Sinteza svih vrednosti prioriteta, tako da se dobije prioritet svakog elementa u odnosu na postavljeni cilj. W_i je prioritet varijantnog rešenja i i određuje se kao $W_i = \sum_{j=1}^n c_j w_{ij}$, gde je c_j prioritet kriterijuma j , a w_{ij} je prioritet varijante i u odnosu na kriterijum j .



Kako AHP metoda mora da ispuni uslov konzistentnosti, potrebno je u svakoj fazi poređenja pratiti dva parametra: indeks konzistentnosti (eng. consistency index –CI) i racio konzistentnosti (eng. consistency ratio – CR), koji su definisani sledećim izrazima:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}; \quad CR = \frac{CI}{RI},$$

gde je: λ_{\max} – maksimalna sopstvena vrednost matrice poređenja,
RI - slučajni indeks koji zavisi od broja elemenata koji se porede,
n - broj elemenata poređenja.

Smatra se da je uslov konzistentnosti ispunjen ako je $CR \leq 0.1$ i tada je matrica poređenja prihvatljiva (Saaty 1990).

4. REZULTATI

Predstavljeni model je primenjen tako što su ulazne veličine obezbeđene kroz anketiranje eksperata i vodećih menadžera iz oblasti upravljanja lancem snabdevanja. Eksperti su ocenjivali kriterijume i varijantna rešenja primenom Saaty-eve skale od 1 do 9. U tabeli 2. prikazane su vrednosti matrice poređenja, date od strane eksperata i izračunate vrednosti rezultujućeg vektora prioriteta W. Vektor W pokazuje relativni prioritet svakog kriterijuma. Utvrđen je indeks i racio konzistentnosti, a CR ima vrednost manju od 0.10 %, te se procena vektora prioriteta W može prihvatiti (Saaty 1990).

Tabela 1. Matrica poređenja kriterijuma

	C1	C2	C3	C4	w
C1	1	3	5	7	0.55
C2	1/3	1	3	5	0.34
C3	1/5	1/3	1	3	0.12
C4	1/7	1/5	1	1/3	0.035
$\lambda_{\max} = 4.06; CI=0.019; CR=0.021$					

U sledećem koraku eksperti daju ocenu svakog varijantnog rešenja u odnosu na kriterijume vrednovanja. Na bazi datih ocena izvršeno je poređenje RFID varijantnih rešenja u odnosu na svaki kriterijum i utvrđene su vrednosti parcijalnih prioriteta w, Sve matrice poređenja ispunjavaju uslov konzistentnosti. Na osnovu dobijenih vrednosti parcijalnih prioriteta kriterijuma i varijantnih rešenja izračunavaju se konačni prioriteti za svako varijantno rešenje (tabela 2).

Tabela 2. Finalni poredak prioriteta varijantnih RFID rešenja

Kriterijum →	C1 – Investicije	C2 – Troškovi	C3 – Vidljivost	C4 – Privatnost	Finalni vektor prioriteta W
Varijantno rešenje ↓	0.55	0.34	0.12	0.035	
V1 – nivo proizvoda	0.08	0.63	0.63	0.11	0.34
V2 – nivo pakovanja	0.19	0.26	0.26	0.53	0.24
V3 – nivo palete	0.72	0.11	0.11	0.36	0.46

Finalni vektor prioriteta pokazuje da je optimalno rešenje V3 gde se identifikacija proizvoda i procesa u lancu distribucije, realizuje preko RFID tagova koji se nalaze na paletama. Kada su u pitanju kriterijumi vrednovanja najveći prioritet ima kriterijum C1- investicije sa 55 % uticaja, a najmanji prioritet C4- privatnost sa 3,5 % uticaja na konačno varijantno RFID rešenje.



5. ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati u procesu vrednovanja ukazuju da je najbolje varijantno rešenje identifikacije podataka preko RFID tagova koji su postavljeni na nivou palete, dok su znatno nepovoljnija rešenja kada su RFID oznake postavljene na proizvod ili pakovanje. Ovaj rezultat je pre svega posledica procene eksperata da RFID rešenja na nivou proizvoda i pakovanja zahtevaju značajna ulaganja. Inače investicije predstavljaju kriterijum koji dominantno utiče na izbor RFID rešenja. Taj uticaj se kreće od 44 % do 55 %. Na prvi pogled može se reći da se radi o fiksnim troškovima u tehnologije i opremu koji se ne menjaju sa promenom obima proizvoda kroz lanac snabdevanja. Međutim, troškovi za RFID tagove koji se postavljaju na proizvode, pakovanja ili palete su varijabilnog karaktera i direktno zavise od obima prometa, odnosno količine proizvoda. U budućim istraživanjima profitabilnost pojedinih RFID rešenja potrebno je posmatrati u funkciji obima prometa. To bi moglo dovesti do drugačijih rezultata i poretka razmatranih varijantnih RFID rešenja. Pretpostavka je da bi za veće obime prometa bilo opravdano primenjivati RFID rešenja na nivou proizvoda, a za manje obime i marginalne količine proizvoda to jednostavno nema smisla. Iz tih razloga, kompanije sa manjim obimom posla nerado se opredeljuju za usvajanje RFID rešenja na nivou proizvoda. Problem vezan za relativno visoka ulaganja u RFID rešenja vremenom će se smanjiti, jer se može očekivati da cene RFID tagova i čitača padnu na prihvatljiv nivo. Povratak investicija u RFID rešenja može se značano poboljšati ako se umesto tagova za jednokratnu upotrebu uvedu tagovi koji se mogu koristiti više puta. Sve ovo može značajno uticati na izbor RFID rešenja, što je potrebno detaljnije analizirati kroz buduća istraživanja.

LITERATURA

- [1] Albayrak, Esra, and Yasemin Claire Erensal. (2004). Using analytic hierarchy process (AHP) to improve human performance: An application of multiple criteria decision making problem. *Journal of Intelligent Manufacturing* 15(4), 491-503.
- [2] Badri, Masood A. (2001). A combined AHP–GP model for quality control systems. *International Journal of Production Economics*, 72(1), 27-40.
- [3] Dai, Hongyan, and Mitchell M. Tseng. (2012). The impacts of RFID implementation on reducing inventory inaccuracy in a multi-stage supply chain. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 634-641.
- [4] De Marco, Alberto, et al. (2012). Using System Dynamics to assess the impact of RFID technology on retail operations. *International journal of production economics*, 135(1), 333-344.
- [5] Gaudenzi, Barbara, and Antonio Borghesi. (2006). Managing risks in the supply chain using the AHP method. *The International Journal of Logistics Management*, 17(1), 114-136.
- [6] Gaukler, Gary M., Ralf W. Seifert, and Warren H. Hausman. (2007). Item-level RFID in the retail supply chain. *Production and Operations Management*, 16(1), 65-76.
- [7] Michael, K., & McCathie, L. (2005). The pros and cons of RFID in supply chain management. In *Mobile Business, 2005. ICMB 2005. International Conference on* (pp. 623–629).
- [8] Gaukler, Gary M., Ralf W. Seifert, and Warren H. Hausman. (2007). Item-level RFID in the retail supply chain. *Production and Operations Management*, 16(1), 65-76.
- [9] Müller-Seitz, G., Dautzenberg, K., Creusen, U., & Stromereder, C. (2009). Customer acceptance of RFID technology: Evidence from the German electronic retail sector. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 16(1), 31–39.
- [10] Nikolicic S., Kilibarda M., Atanaskovic P., Dudak Lj., Ivanisevic A., (2015), Impact of RFID Technology on Logistic Process Efficiency in Retail Supply Chains, *Promet Traffic & Transportation*, Vol. 27 br. 2, str. 137-146.
- [11] Saaty, T. L. (1990). Eigenvector and logarithmic least squares. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 156-160.



- [12] Zeimpekis, V., Psarrou, M. Vlachos, I., Minis I. (2008) Towards an RFID based system for real-time fruit management, In: RFID in Operations and Supply Chain Management Ed(s), Blecker, T. and Guang, G., Erich Schmidt Verlag (ESV). Germany: Erich Schmidt Verlag, pp. 195-220.
- [13] Zhang, Y., Jiang, P., Huang, G., Qu, T., Zhou, G., & Hong, J. (2012). RFID-enabled real-time manufacturing information tracking infrastructure for extended enterprises. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(6), 2357–2366.



MODEL ZA IZBOR SOFTVERSKE APLIKACIJE U LOGISTIČKOJ KOMPANIJI

MODEL FOR SELECTING SOFTWARE APPLICATIONS IN A LOGISTICS COMPANY

GORDANA RADIVOJEVIĆ¹, DRAŽEN POPOVIĆ²

¹ Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet i Institut Mihajlo Pupin, g.radivojevic@sf.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, d.popovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Softverski sistemi omogućavaju kompanijama upravljanje informacionim tokovima i podršku realizaciji poslovnih procesa. Primena softverskih aplikacija za sve poslovne procese u kompaniji obezbeđuje kompletnu automatizaciju i informacionu podršku za realizaciju, nadzor, upravljanje i planiranje u svim segmentima rada. Sa druge strane, nabavka i primena softverskih aplikacija su ograničeni brojnim faktorima. Cilj ovoga rada je razvoj modela za izbor softverske aplikacije u logističkoj kompaniji. Model se zasniva na primeni metoda AHP i FAHP i omogućava definisanje prioriteta u nabavci softverskih aplikacija koji odgovaraju zahtevima i potrebama poslovnog sistema.

Ključne reči: Logistika, Softverske aplikacije, AHP, FAHP.

Abstract: Software systems enable companies to manage information flows and support the implementation of business processes. Utilization of software applications for all business processes in the company provides complete automation and information support for realization, monitoring, management and planning in all segments of business processes. On the other hand, the procurement and application of software applications are limited by a number of factors. The aim of this paper is to develop a model for choosing a software application in a logistics company. The model is based on the application of AHP and FAHP methods and allows defining priorities in the procurement of software applications that meet the requirements and needs of the business system.

Keywords: Logistics, Software Applications, AHP, FAHP.

1. UVOD

Savremena, digitalna logistika podrazumeva primenu informacionih i komunikacionih tehnologija i softverskih sistema u svim procesima i aktivnostima. Softverski sistemi omogućavaju kompanijama upravljanje informacionim tokovima i podršku realizaciji poslovnih procesa. U kompanijama se koriste savremeni poslovni informacioni sistemi – ERP sistemi (engl. Enterprise Resource Planning – ERP) koji omogućavaju upravljanje poslovnim resursima. ERP sistemi su softverska rešenja koja se mogu integrisati sa različitim softverskim aplikacijama namenjenim specifičnim poslovnim procesima. Primena softverskih aplikacija za sve poslovne procese u kompaniji obezbeđuje kompletnu automatizaciju i informacionu podršku za realizaciju, nadzor, upravljanje i planiranje u svim segmentima rada. Sa druge strane, nabavka i primena softverskih aplikacija su ograničeni brojnim faktorima: finansijskim, ljudskim, tehnološkim, vremenskim i dr. Iz tih razloga je potrebno odrediti prioritete u nabavci softverskih aplikacija koji odgovaraju zahtevima i potrebama poslovnog sistema. Cilj ovoga rada je razvoj modela za izbor softverske aplikacije koji se može primeniti u logističkim kompanijama.

Rad obuhvata pet celina. U drugom delu je opisan značaj ERP sistema u logistici i problem koji se rešava. Treći deo rada obuhvata opis modela za izbor softverske aplikacije. U četvrtom delu je prikazan numerički primer i analiza izlaznih rezultata. U petom delu su data zaključna razmatranja.

2. ERP SISTEMI U LOGISTICI

ERP sistem su kompleksni integrisani informacioni sistem koji obezbeđuje podršku poslovanju na svim nivoima. To je poslovni aplikativni softver koji je multifunkcionalan po korišćenju, integrisan po prirodi i modularan po strukturi. ERP obuhvata skup funkcionalnih oblasti koje odgovaraju važnim poslovnim procesima u kompaniji: praćenje finansija, ljudski resursi, planiranje proizvodnje, nabavka sirovina, odnosi sa snabdevačima i korisnicima, podrška kupcima, praćenje porudžbina i dr. Moduli su softverske aplikacije koje

su namenjene različitim funkcionalnostima i integrišu se sa ERP sistemom. U ponudi softverskih kuća je veliki skup modula koji se mogu primeniti u svim poslovnim procesima. Kompanije u najvećem broju slučajeva imaju ERP sisteme a najviše implementirani moduli su: finansije, ljudski resursi, proizvodnja i prodaja.

Kompanije u oblasti logistike se bave snabdevanjem, skladištenjem, distribucijom, transportom i drugim pratećim procesima i aktivnostima. Osnovna uloga softverskih aplikacija u logistici je podrška realizaciji logističkih procesa i planiranje i koordinacija (Singh & Ailwadi 2006). Primena softverskih aplikacija u svim logističkim procesima omogućava kompaniji brojne prednosti:

- automatizacija poslovanja i podrška poslovnim procesima,
- bolja saradnja sa poslovnim partnerima, snabdevačima i korisnicima,
- upravljanje sopstvenim procesima i saradnja u okviru lanaca snabdevanja,
- bolje planiranje procesa i definisanje budućih strategija, i dr.

Različiti proizvođači ERP sistema nude veliki skup modula specijalizovanih za upravljanje logističkim procesima i aktivnostima – dokumentima, projektima, porudžbinama, transportom, skladištima, zalihama, kvalitetom, odnosima sa snabdevačima i korisnicima, lancima snabdevanja i dr. Najveći broj kompanija nije u mogućnosti da istovremeno implementira sve potrebne softverske aplikacije. Izbor modula i definisanje prioriteta se radi na osnovu mišljenja i procene eksperata u kompaniji i preporuka softverskih stručnjaka.

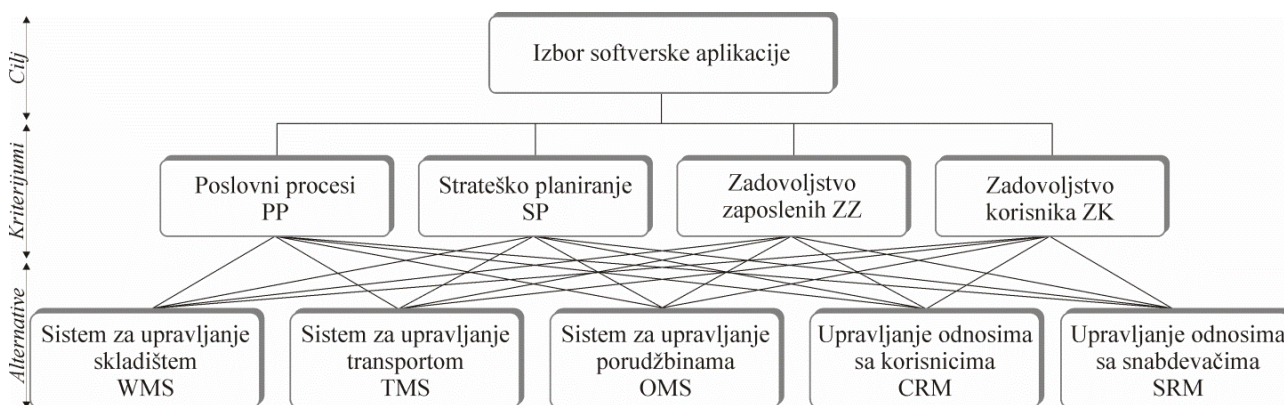
3. MODEL ZA IZBOR SOFTVERSKJE APLIKACIJE

Izbor softverske aplikacije koja će se implementirati u kompaniji zavisi od velikog broja faktora: kompleksnosti poslovnog sistema, prioriteta i značaja poslovnih procesa, povezanosti sa poslovnim partnerima, snabdevačima i korisnicima i dr. U ovom radu se predlaže model za izbor softverske aplikacije koji se zasniva na primeni AHP i FAHP metoda. Primena ovih metoda omogućava odlučivanje na osnovu ekspertske ocene. Model obuhvata tri koraka:

1. Hijerarhijska struktura problema,
2. Primena AHP metode i
3. Primena FAHP metode.

3.1. Hijerarhijska struktura problema

Preduslov za primenu AHP i FAHP metoda je hijerarhijska analiza problema i dekomponovanje problema na skup elemenata koji su organizovani po nivoima. Osnovni elementi su cilj, kriterijumi, podkriterijumi i alternative. Definisanje hijerarhijske strukture problema obuhvata izbor kriterijuma i potencijalnih ishoda odlučivanja koji odgovaraju prirodi ljudskog razmišljanja pri rešavanju problema. U ovom modelu hijerarhijska struktura ima tri nivoa (slika 1).



Slika 1: Hijerarhijska struktura kriterijuma i alternativa

Na prvom nivou je cilj modela – Izbor softverske aplikacije. Na drugom nivou su kriterijumi odlučivanja: podrška realizaciji poslovnih procesa (PP), podrška strateškom planiranju (SP), uticaj na zadovoljstvo zaposlenih (ZZ) i uticaj na zadovoljstvo korisnika (ZK). Treći nivo obuhvata alternative – softverske aplikacije



za: upravljanje skladištem (WMS), upravljanje transportnom (TMS), upravljanje porudžbinama (OMS), upravljanje odnosima sa korisnicima (CRM) i upravljanje odnosima sa snabdevačima (SRM).

3.2. Analitički hijerarhijski proces – AHP

Analitički hijerarhijski proces – AHP je metoda višekriterijumskog rangiranja koju je razvio Saaty (1977, 1980). AHP se zasniva na hijerarhijskoj strukturi problema. Na svakom nivou se radi poređenje i vrednovanje parova elemenata u odnosu na viši nivo. AHP omogućava parcijalno rešavanje na svakom nivou hijerarhije i objedinjavanje parcijalnih rešenja u funkciji dobijanja konačnog rešenja problema. Ova metoda se može primeniti u situacijama kada se rešavaju složeni problemi koji se zasnivaju na ekspertskim ocenama, znanju i iskustvu donosioca odluke.

Saaty je u svojim radovima (1977, 1980) dao detaljan opis i matematičku formulaciju AHP metode. Kada je definisana hijerarhijska struktura problema, postupak primene se može opisati kroz sledeće korake (Vinod and Ganesh 1996):

- Poređenje parova elemenata i i j na svakom nivou hijerarhije u odnosu na elemente na višem nivou, primenom Saaty-eve skale od 1 do 9. Donosilac odluke određuje vrednost a_{ij} gde je $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$, $\forall i, j = 1, \dots, n$ i $a_{ii} = 1, i = j$.
- Određivanje prioriteta svakog elementa u odnosu na viši nivo hijerarhije. Prioritet alternative i u odnosu na kriterijum j je w_{ij} , gde je $i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n, m$ je broj alternativa a n je broj kriterijuma.
- Sinteza svih vrednosti prioriteta tako da se dobije prioritet svakog elementa u odnosu na postavljeni cilj. W_i je prioritet alternative i i određuje se kao $W_i = \sum_{j=1}^n c_j \cdot w_{ij}$ gde je c_j prioritet kriterijuma j , a w_{ij} je prioritet alternative i u odnosu na kriterijum j .

3.3. Fazi analitički hijerarhijski proces – FAHP

FAHP metoda se zasniva na AHP metodi i primeni fazi skupova. FAHP metodu su predložili van Laarhoven i Pedrycz (1983). Fazi skupovi se primenjuju jer u rešavanju određenih problema nije moguće dobiti jasne i precizne ekspertске ocene poređenja elemenata. U nekim situacijama problemi nisu jasno definisani i za rešavanje se koriste neprecizni i nedovoljno pouzdani podaci. Primena fazi brojeva može da poboljša tačnost procene eksperata i kvalitet izlaznih rezultata. Ekspertске ocene poređenja elemenata se zasnivaju na primeni fazi brojeva koji odgovaraju Saaty-evoj skali od 1 do 9. S obzirom da se u ovoj metodi primenjuju fazi brojevi, svi proračuni se rade prema pravilima fazi aritmetike (Wang et al. 2008).

FAHP obuhvata sledeće korake (Wang et al. 2008):

- Poređenje parova elemenata i i j na svakom nivou hijerarhije u odnosu na elemente na višem nivou, primenom fazifikovane Saaty-eve skale od 1 do 9. Donosilac odluke određuje vrednost fazi broja $\tilde{b}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ koji predstavlja poređenje elemenata i i j ($i, j = 1, \dots, n$).
- Određivanje vrednosti RS_i sumiranjem redova matrice $\tilde{B} = (\tilde{b}_{ij})$ prema relaciji $\tilde{RS}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{b}_{ij}$.
Izračunavanje vrednosti \tilde{S}_i normalizacijom \tilde{RS}_i prema relaciji $\tilde{S}_i = \frac{\tilde{RS}_i}{\sum_{j=1}^n \tilde{RS}_j}$.
- Određivanje verovatnoće da je $\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j$ i verovatnoće da je fazi broj \tilde{S}_i veći od drugih fazi brojeva prema relaciji $V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j | j = 1, \dots, n; j \neq i) = \min_{j \in \{1, \dots, n\}} V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j), i = 1, \dots, n$.
- Određivanje vektora prioriteta $W = (w_1, \dots, w_n)$ matrice poređenja \tilde{B} gde je $w_i = \frac{V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j)}{\sum_{k=1}^n V(\tilde{S}_k \geq \tilde{S}_j)}, i = 1, \dots, n$.

4. NUMERIČKI PRIMER

Predloženi model za izbor softverskih aplikacija je testiran na konkretnom primeru koji obuhvata $n = 4$ kriterijuma i $m = 5$ alternativa. Kriterijumi su: PP, SP, ZZ i ZK. Alternative su potencijalne softverske aplikacije koje treba implementirati u kompaniji: WMS, TMS, OMS, CRM i SRM. Za predloženi model je



razvijena softverska aplikacija u MS Excel VBA okruženju. Ulazni podaci – poređenje parova elemenata, su dobijeni anketiranjem eksperata.

4.1. AHP metoda

U tabeli 1 su prikazane vrednosti matrice poređenja kriterijuma i izračunati vektor prioriteta W . Vektor prioriteta je sopstveni vektor matrice i pokazuje relativni prioritet (značaj) svakog kriterijuma i . U tabeli su prikazane vrednosti λ , CI i CR . Vrednost CR je manja od 10% što znači da se može prihvatiti vektor prioriteta W . U tabeli 2 su prikazane vrednosti matrice poređenja alternativa u odnosu na izabrane kriterijume i vrednosti lokalnih prioriteta w za svaki kriterijum. Na osnovu dobijenih vrednosti lokalnih prioriteta izračunavaju se globalni prioriteti za svaku alternativu. U tabeli 3 su prikazani lokalni i globalni prioriteti za svaku softversku aplikaciju. Softverska aplikacija WMS ima najveći prioritet od 30.06%. Najveći uticaj na izbor softverske aplikacije ima kriterijum PP – podrška realizaciji poslovnih procesa sa 54.30% a najmanji uticaj ima ZZ – uticaj na zadovoljstvo zaposlenih sa 7.65%.

Tabela 1: Matrica poređenja i težinski faktori kriterijuma

	PP	SP	ZZ	ZK	W
PP	1	3	5	5	0.5430
SP	1	1	1	3	0.2445
ZZ	1/3	1	1	3	0.0765
ZK	1/5	1/3	1/3	1	0.1360
$\lambda_{max} = 4.2045$		$CI = 0.0682$		$CR = 0.0757$	

Tabela 2: Matrica poređenja i težinski faktori softverskih aplikacija

		WMS	TMS	OMS	CRM	SRM	W
PP	WMS	1	1	1	3	3	0.2656
	TMS	1	1	1/3	3	3	0.2212
	OMS	1	3	1	3	3	0.3362
	CRM	1/3	1/3	1/3	1	1	0.0885
	SRM	1/3	1/3	1/3	1	1	0.0885
$\lambda_{max} = 5.1497$ $CI = 0.0374$ $CR = 0.0334$							
SP	WMS	1	3	1	3	3	0.3372
	TMS	1/3	1	1/3	1	1	0.1124
	OMS	1	3	1	1	3	0.2740
	CRM	1/3	1	1	1	3	0.1851
	SRM	1/3	1	1/3	1/3	1	0.0913
$\lambda_{max} = 5.1985$ $CI = 0.0496$ $CR = 0.0443$							
ZZ	WMS	1	5	1	3	3	0.3676
	TMS	1/5	1	1/3	1	1	0.1011
	OMS	1	3	1	1	3	0.2741
	CRM	1/3	1	1	1	1	0.1468
	SRM	1/3	1	1/3	1	1	0.1104
$\lambda_{max} = 5.1824$ $CI = 0.0456$ $CR = 0.0407$							
ZK	WMS	1	1	3	3	3	0.3372
	TMS	1	1	1	3	3	0.2740
	OMS	1/3	1	1	1	3	0.1851
	CRM	1/3	1/3	1	1	1	0.1124
	SRM	1/3	1/3	1/3	1	1	0.0913
$\lambda_{max} = 5.1985$ $CI = 0.0496$ $CR = 0.0443$							

**Tabla 3:** Lokalni i globalni prioriteti kriterijuma i alternativa – AHP

	PP	SP	ZZ	ZK	
	0.5430	0.2445	0.0765	0.1360	← W ↓
WMS	0.2656	0.3372	0.3676	0.3372	0.3006
TMS	0.2212	0.1124	0.1011	0.2740	0.1926
OMS	0.3362	0.2740	0.2741	0.1851	0.2957
CRM	0.0885	0.1851	0.1468	0.1124	0.1198
SRM	0.0885	0.0913	0.1104	0.0913	0.0913

4.2. FAHP metoda

Ulazni podaci za FAHP metodu su ekspertske ocene izražene fazi brojevima. U tabeli 4 je prikazana matrica poređenja i izračunate vrednosti vektora prioriteta za svaki kriterijum. Najveći prioritet ima kriterijum PP – podrška realizaciji poslovnih procesa od 44.36%. Ekspertska procena međusobnog odnosa softverskih aplikacija u odnosu na sve kriterijume se izražava fazi brojevima. U tabeli 5 su prikazane matrice poređenja softverskih aplikacija i vektori lokalnih prioriteta u odnosu na sve kriterijume. Lokalni i globalni prioriteti softverskih aplikacija su prikazani u tabeli 6. Prema ovim podacima najveći prioritet ima alternativa WMS sa 25.36%.

Tabla 4: Matrica fazi poređenja i težinski faktori kriterijuma

	PP	SP	ZZ	ZK	W
PP	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	(3, 5, 7)	0.4436
SP	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.3179
ZZ	(1/7, 1/5, 1/3)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 1)	(1/5, 1/3, 1)	0.0315
ZK	(1/7, 1/5, 1/3)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	0.2070

Tabla 5: Matrica fazi poređenja i težinski faktori softverskih aplikacija

		WMS	TMS	OMS	CRM	SRM	W
PP	WMS	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.2456
	TMS	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.2390
	OMS	(1/3, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.2456
	CRM	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	0.1349
	SRM	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	0.1349
SP	WMS	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.2579
	TMS	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 3)	(1, 1, 3)	0.1609
	OMS	(1/3, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	0.2390
	CRM	(1/5, 1/3, 1)	(1/3, 1, 1)	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	0.2064
	SRM	(1/5, 1/3, 1)	(1/3, 1, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 1)	0.1358
ZZ	WMS	(1, 1, 1)	(3, 5, 7)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.2926
	TMS	(1/7, 1/5, 1/3)	(1, 1, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1, 1, 3)	(1, 1, 3)	0.1396
	OMS	(1/3, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	0.2463
	CRM	(1/5, 1/3, 1)	(1/3, 1, 1)	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	0.1730
	SRM	(1/5, 1/3, 1)	(1/3, 1, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	0.1485
ZK	WMS	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.2579
	TMS	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.2390
	OMS	(1/5, 1/3, 1)	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	0.2064
	CRM	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	0.1609
	SRM	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1/5, 1/3, 1)	(1/3, 1, 1)	(1, 1, 1)	0.1358

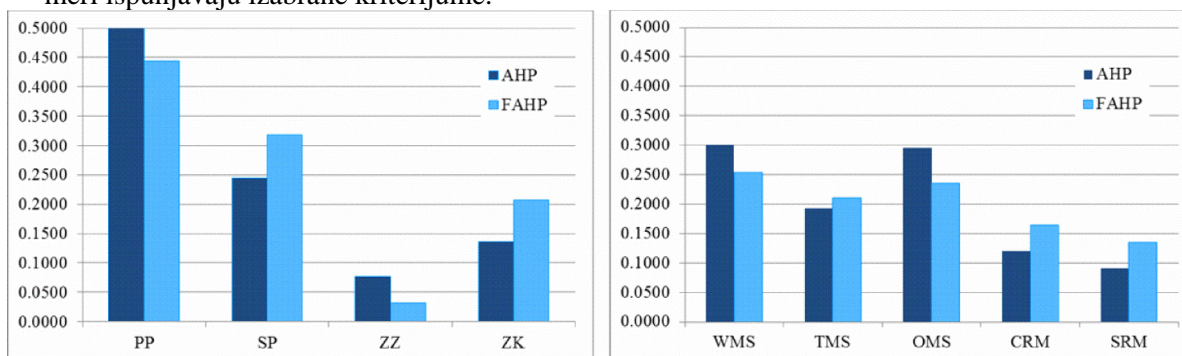
Tabla 6: Lokalni i globalni prioriteti kriterijuma i alternativa – FAHP

	PP	SP	ZZ	ZK	
	0.4436	0.3179	0.0315	0.2070	← W ↓
WMS	0.2456	0.2579	0.2926	0.2579	0.2536
TMS	0.2390	0.1609	0.1396	0.2390	0.2110
OMS	0.2456	0.2390	0.2463	0.2064	0.2354
CRM	0.1349	0.2064	0.1730	0.1609	0.1642
SRM	0.1349	0.1358	0.1485	0.1358	0.1358

4.3. Analiza rezultata

Poređenje rezultata dobijenih AHP i FAHP metodama je prikazano na slici 2 i obuhvata poređenje po (a) kriterijumima i (b) alternativama. Poređenje dobijenih prioriteta ukazuje na veliku sličnost. Odstupanja se mogu smatrati prihvatljivim i posledica su činjenice da FAHP metoda u većoj meri uvažava subjektivnost eksperata pri poređenju kriterijuma i alternativa. Analiza rezultata ukazuje na sledeće zaključke:

- Rangiranje kriterijuma po značaju je PP, SP, ZK i ZZ.
- Kriterijum koji ima najveći značaj je PP – podrška realizaciji poslovnih procesa (54.30%, 44.36%) a najmanji značaj ima ZZ – uticaj na zadovoljstvo zaposlenih (7.65%, 3.15%).
- Rangiranje alternativa po značaju je WMS, OMS, TMS, CRM i SRM.
- Alternative WMS (25.36%, 30.06%) i OMS (23.54%, 29.57%) imaju najveći prioritet tj. u najvećoj meri ispunjavaju izabrane kriterijume.



(a) Poređenje kriterijuma

(b) Poređenje alternativa

Slika 2: Poređenje AHP i FAHP metoda

5. ZAKLJUČAK

Značaj softverskih aplikacija u logističkim kompanijama je veoma veliki jer one utiču na način, brzinu i kvalitet realizacije procesa i aktivnosti. Softverske aplikacije omogućavaju informacione tokove u lancima snabdevanja, bolju povezanost sa partnerima, kvalitetnije planiranje i razvoj novih poslovnih strategija.

U ovom radu je opisan model za izbor softverske aplikacije koji se zasniva na primeni AHP i FAHP metoda. U ovim metodama se koristi subjektivna ocena, znanje i iskustvo eksperata o značaju softverskih aplikacija i kriterijuma odlučivanja. Rezultati dobijeni u numeričkom primeru ukazuju na mogućnost primene modela u logističkoj kompaniji.

U budućim istraživanjima, opisani model može da bude osnova za razvoj sistema za podršku donošenju odluka o prioritetima uvođenja i implementacije novih softverskih sistema. Proširenja modela mogu biti povećanje broja kriterijuma, uvođenje nivoa podkriterijuma, povećanje broja alternativa i formiranje baze znanja ekspertskih ocena o različitim softverskim aplikacijama.

NAPOMENA

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekata TR 36005 i TR 36006 za period 2011-2018.



LITERATURA

- [1] Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15 (3), 234-281.
- [2] Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- [3] van Laarhoven, P.J.M., & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11 (1-3), 229-241.
- [4] Vinod Kumar, N., & Ganesh, L.S. (1996). An empirical analysis of the use of the Analytic Hierarchy Process for estimating membership values in a fuzzy set. *Fuzzy Sets and Systems*, 82 (1), 1-16.
- [5] Wang, Y-M., Luo, Y. & Hua, Z. (2008). On the extent analysis method for fuzzy AHP and its application. *European Journal of Operational Research*, 186 (2) 735-747.



VIŠEKRITERIJUMSKI PRISTUP PROJEKTOVANJU SISTEMA ZA UPRAVLJANJE OPASNIM OTPADOM

MULTIOBJECTIVE APPROACH TO DESIGN DANGEROUS WASTE MANAGEMENT SYSTEMS

BRANISLAVA RATKOVIĆ¹, BRANKA DIMITRIJEVIĆ¹

¹Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, b.ratkovic@sf.bg.ac.rs, b.dimitrijevic@sf.bg.ac.rs

Rezime: U ovom radu je predložen višekriterijumski pristup projektovanju sistema za upravljanje opasnim otpadom, koji podrazumeva određivanje lokacija deponija i transfer stanica, kao i ruta kojima se generisani otpad transportuje od korisnika do ovih objekata. Definisane su tri funkcije cilja kojima se minimiziraju transportni i troškovi uspostavljanja sistema, broj stanovnika izložen negativnom uticaju lociranih objekata, kao i rizik za stanovnike duž ruta kojima se transportuje opasan otpad. Predloženi matematički model je testiran na ilustrativnom problemu manjih dimenzija.

Ključne reči: višekriterijumska optimizacija, opasan otpad, lociranje objekata, rutiranje vozila

Abstract: A multiobjective approach for designing dangerous waste management systems, including determination of landfill and transfer station locations, as well as waste transport routes between users and those facilities, is presented in this paper. Three objective functions which minimize transportation and system establishing costs, number of residents negatively affected by landfills and transfer stations, and risk for the residents along the dangerous waste transport routes. Proposed mathematical model is tested on a small scale illustrative example.

Keywords: multicriteria optimization, dangerous waste, facility location, vehicle routing

1. UVOD

Opasan otpad se definiše kao otpad koji po svom poreklu, sastavu ili koncentraciji opasnih materija može prouzrokovati opasnost po životnu sredinu i zdravlje ljudi i ima najmanje jednu od opasnih karakteristika (eksplozivnost, zapaljivost, sklonost oksidaciji, organski je peroksid, akutna otrovnost, infektivnost, sklonost koroziji, u kontaktu sa vazduhom oslobađa zapaljive gasove, u kontaktu sa vazduhom ili vodom oslobađa otrovne supstance, sadrži toksične supstance sa odloženim hroničnim delovanjem, kao i eko-toksične karakteristike), uključujući i ambalažu u koju je opasan otpad bio ili jeste upakovan (Strategija upravljanja otpadom, 2009). Širok spektar proizvoda i materijala koji spadaju u kategoriju opasnog otpada, koji ispoljavaju brojne i različite fizičko-hemijske karakteristike, uslovljava pažljiv odabir tehnologija tretmana za svaku vrstu opasnog otpada, a naročito imajući u vidu vrste opasnosti, ekološke i ekonomske faktore itd. Drugim rečima, neophodno je projektovati logističku mrežu za opasan otpad koja treba da obezbedi sakupljanje opasnog otpada, transport, sprovođenje neke od opcija tretmana u zavisnosti od karakteristika opasnog otpada i na kraju njegovo odlaganje na deponiju, kao krajnju opciju u hijerarhiji upravljanja otpadom.

Pristupi upravljanju opasnim otpadom su raznovrsni i u literaturi se mogu pronaći brojni primeri modeliranja i rešavanja ovog problema. U nastavku će biti spomenuta istraživanja koja takođe modeliraju sistem za upravljanje opasnim otpadom kao višekriterijumski problem. Samanlioglu (2013) je predložio lokacijski-ruting model koji ima tri funkcije cilja i testirao ga na realnom primeru regiona Marmara u Turskoj. Autor je određivao lokacije objekata za reciklažu, tretman i odlaganje opasnog otpada. Predloženi višekriterijumski lokacijski-ruting model minimizira transportne i investicione troškove, broj krajnjih korisnika koji su ugroženi od strane lociranih objekata kao i rizik za stanovnike na rutama kojima se prevozi sakupljeni opasan otpad. Yilmaz et al. (2017) su predložili višekriterijumski model za sistem upravljanja opasnim otpadom koji u obzir uzima ekonomske i ekološke aspekte. Autori su posmatrali različite klase opasnog otpada i u zavisnosti od vrste opasnog otpada predlagali su i odgovarajuće tehnologije zbrinjavanja opasnog otpada, istovremeno uzimajući u obzir i količine ostataka od otpada koje preostanu nakon sprovođenja određenog postupka tretmana. Predloženi pristup su primenili i testirali na problemu realnih dimenzija. Alatur

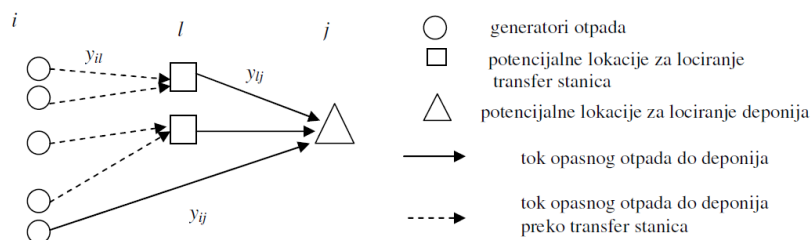
i Kara (2007) su rešavali problem lociranja objekata za tretman i odlaganje opasnog otpada, istovremeno rešavajući i problem određivanja ruta vozila koja transportuju opasan otpad. U predloženom višekriterijumskom modelu, minimiziraju se ukupni troškovi kao i rizik vezan za transport i skladištenje opasnog otpada. Autori su predloženi pristup primenili na problem realnih dimenzija na primeru Turske.

U ovom radu, predložen je višekriterijumski pristup projektovanju sistema za upravljanje opasnim otpadom kroz definisanje tri funkcije cilja kojima se minimiziraju ukupni troškovi sistema (transportni i troškovi uspostavljanja sistema), broj stanovnika izložen negativnom uticaju lociranih objekata (deponija i transfer stanica), kao i rizik za stanovnike duž ruta kojima se transportuje opasan otpad. Predloženi matematički model je originalan i razlikuje se od pristupa pronađenih u dostupnoj literaturi po sagledavanju lokacijskog problema u okviru sistema upravljanja opasnim otpadom kroz vizuru problema nepokrivanja, odnosno problema minimalnog pokrivanja (Murray and Church, 1997; Oded and Rongbing, 2008) u kojima figuriše definisano minimalno prihvatljivo rastojanje između izabranih lokacija.

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 budućeg istraživanja.

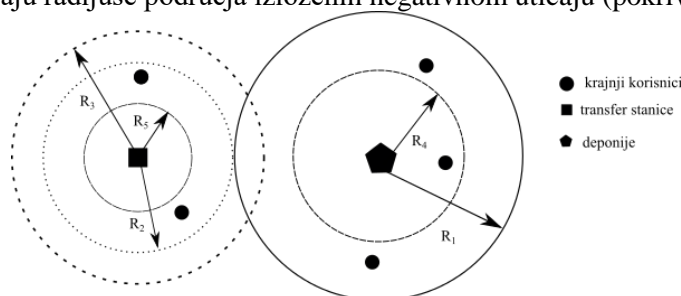
2. OPIS PROBLEMA I MATEMATIČKA FORMULACIJA

Posmatra se problem određivanja lokacija transfer stanica (TS) i deponija (D), kao i ruta kojima se transportuje sakupljeni opasan otpad do pomenutih lokacija (slika 1). Lokacije generatora opasnog otpada su poznate i predstavljene su čvorovima i . Sav generisani opasan otpad od strane krajnjih korisnika (K) potrebno je sakupiti i transportovati do najbliže lokacije TS ili direktno do lokacije na kojoj se nalazi D. Opasan otpad se od K do TS transportuje vozilima manjeg kapaciteta, dok se otpad koji je dopremljen do TS, najčešće redukovano nekim tretmanom, takođe transportuje do D, ali u ovom slučaju vozilima većeg kapaciteta. Postoje situacije kada količine opasnog otpada koje se transportuju od TS do D nisu redukovane u TS. Takva je trenutno situacija u Republici Srbiji.



Slika 1. Modelirana struktura logističke mreže za opasan otpad

Kako bi formulisali segment problem određivanja lokacija D i TS, definisano je pet limitirajućih rastojanja R_1, R_2, R_3, R_4 i R_5 (slika 2). Minimalno prihvatljivo rastojanje između dve D označeno je sa R_1 . Dakle, D se raspoređuju na posmatranom prostoru u skladu sa nekim standardom u vezi međusobne udaljenosti, kako bi njihov zajednički uticaj na K bio minimalan. Isti pristup primenjen je i kod određivanja lokacija TS, definisanjem minimalnog prihvatljivog rastojanja između njih (R_2), kao i između TS i D (R_3). Euklidska rastojanja R_4 i R_5 predstavljaju radijuse područja izloženih negativnom uticaju (pokrivanju) lociranim D i TS.



Slika 2. Predefinisana rastojanja R_1, R_2, R_3, R_4 i R_5



Sledeća notacija je korišćena za formulaciju matematičkog modela:

Skupovi i parametri:

$N=(V,A)$ transportna mreža sa čvorovima u skupu V i granama u skupu A

I skup generatora opasnog 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 opasnog 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 opasnog otpada i i potencijalne lokacije deponije j

d_{il} najkraće rastojanje između generatora opasnog otpada i i potencijalne lokacije transfer stanica l

d_{lj} najkraće rastojanje između potencijalne lokacije transfer stanice l i potencijalne lokacije deponije j

d_{ij}^E Euklidsko rastojanje između generatora opasnog otpada i i potencijalne lokacije deponije j

d_{il}^E Euklidsko rastojanje između generatora opasnog 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

v_{ij} broj stanovnika na linku $(i,j) \in A$

v_{il} broj stanovnika na linku $(i,l) \in A$

v_{lj} broj stanovnika na linku $(l,j) \in A$

q_i količina opasnog otpada generisanog po pojedinačnom korisniku u čvoru i

w_i količina opasnog 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 minimalno prihvatljivo rastojanje između lociranih deponija

R_2 minimalno prihvatljivo rastojanje između lociranih transfer stanica

R_3 minimalno prihvatljivo rastojanje između lociranih deponija i transfer stanica

R_4 radijus kojim je predstavljen negativan uticaj deponije na krajnje korisnike

R_5 radijus kojim je predstavljen negativan uticaj transfer stanice na krajnje korisnike

M dovoljno veliki pozitivan broj

$N_j = \{p \mid d_{jp} < R_1, j \neq p\}, \forall j \in J$ - skup potencijalnih lokacija deponija koje se nalaze na rastojanju manjem od R_1 od potencijalne lokacije j , isključujući posmatranu lokaciju

$N_l = \{k \mid d_{lk} < R_2, l \neq k\}, \forall l \in L$ - skup potencijalnih lokacija transfer stanica koje se nalaze na rastojanju manjem od R_2 od potencijalne lokacije l , isključujući posmatranu lokaciju

$N_j^l = \{l \mid d_{lj} < R_3\}, \forall j \in J$ - skup potencijalnih lokacija transfer stanica, koje su na rastojanju manjem od R_3 od potencijalne lokacije deponije j

$\Pi_i^j = \{j \mid d_{ij}^E < R_4\}, \forall i \in I$ - skup potencijalnih lokacija deponija koje pokrivaju krajnjeg korisnika i unutar radijusa R_4

$\Pi_i^l = \{l \mid d_{il}^E < R_5\}, \forall i \in I$ - skup potencijalnih lokacija transfer stanica koje pokrivaju krajnjeg korisnika i unutar radijusa R_5

*Promenljive:* y_{ij} - količina opasnog otpada transportovana linkom (i,j) y_{il} - količina opasnog otpada transportovana linkom (i,l) y_{lj} - količina opasnog otpada transportovana linkom (l,j) z_i - broj deponija koje pokrivaju čvor i s_i - broj transfer stanica koje pokrivaju čvor i p_j - količina opasnog otpada transportovana na deponiju j p_l - količina opasnog otpada transportovana u transfer stanicu l

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{ako je za deponiju izabrana lokacija } j \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

$$x_l = \begin{cases} 1, & \text{ako je za transfer stanicu izabrana lokacija } l \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

Formulacija problema:

$$\min OF_1 = \sum_{j \in J} f_j x_j + \sum_{l \in L} f_l x_l + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} d_{ij} y_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} c_{il} d_{il} y_{il} + \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} c_{lj} d_{lj} y_{lj} \quad (1)$$

$$\min OF_2 = \sum_{i \in I} v_i (z_i + s_i) \quad (2)$$

$$\min OF_3 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} v_{ij} y_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} v_{il} y_{il} + \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} v_{lj} y_{lj} \quad (3)$$

uz ograničenja:

$$Mx_j + \sum_{p \in N_j} x_p \leq M, \forall j \in J \quad (4)$$

$$Mx_l + \sum_{k \in N_l} x_k \leq M, \forall l \in L \quad (5)$$

$$Mx_j + \sum_{l \in N_j^l} x_l \leq M, \forall j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} + \sum_{l \in L} y_{il} = w_i, \forall i \in I \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} y_{il} - \sum_{j \in J} y_{ij} = 0, \forall l \in L \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} y_{il} \leq Q_l x_l, \forall l \in L \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} + \sum_{l \in L} y_{lj} \leq Q_j x_j, \forall j \in J \quad (10)$$

$$y_{il} \leq Q_l x_l, \forall i \in I, l \in L \quad (11)$$

$$y_{ij} + y_{lj} \leq Q_j x_j, \forall i \in I, j \in J, l \in L \quad (12)$$

$$\sum_{j \in \Pi_i^j} x_j = z_i, \forall i \in I \quad (13)$$

$$\sum_{l \in \Pi_i^l} x_l = s_i, \forall i \in I \quad (14)$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} + \sum_{l \in L} y_{lj} = p_j, \forall j \in J \quad (15)$$

$$\sum_{i \in I} y_{il} = p_l, \forall l \in L \quad (16)$$

$$p_j \geq x_j, \forall j \in J \quad (17)$$

$$p_l \geq x_l, \forall l \in L \quad (18)$$

$$x_j \in \{0,1\}, x_l \in \{0,1\}, y_{ij} \geq 0, y_{il} \geq 0, y_{lj} \geq 0, z_i \in N_0, s_i \in N_0, p_j \geq 0, p_l \geq 0, \forall i \in I, j \in J, l \in L \quad (19)$$



Prvom funkcijom cilja (1) minimiziraju se ukupni troškovi (transportni i investicioni). Druga funkcija cilja (2) minimizira ukupan broj stanovnika koji su izloženi negativnom uticaju lociranih D i TS. Ovako formulirana 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). Treća funkcija cilja (3) minimizira rizik za stanovnike duž ruta kojima se transportuje opasan otpad. Ograničenja (4), (5) i (6) su tzv. ograničenja susedstva koja obezbeđuju da locirane D ne budu na međusobnom rastojanju manjem od propisanog (4), locirane TS ne budu na međusobnom rastojanju manjem od propisanog (5), odnosno locirane D i TS ne budu na međusobnom rastojanju manjem od propisanog (6). Ograničenja (7) i (8) su tzv. ograničenja balansa toka, kojima se obezbeđuje da se generisani opasan otpad od K transportuje bilo do lokacije na kojoj se nalazi TS, bilo do lokacije na kojoj se nalazi D (7), kao i da celokupna generisana količina opasnog otpada na kraju završi na lokaciji na kojoj se nalazi D (8). Ograničenja (9), (10), (11) i (12) su kombinacija kapacitivnih ograničenja lociranih objekata i ograničenja koja obezbeđuju da K budu alocirani samo izabranim lokacijama za TS i D. Ograničenjima (13) i (14) određuje se broj D i TS koje negativno utiču na svakog K. Drugim rečima, ova ograničenja određuju koji K su pokriveni i sa koliko lociranih D (13), odnosno TS (14). Ograničenjima (15) i (16) određuju se količine opasnog otpada transportovanih do lociranih D (15), odnosno TS (16), dok se ograničenjima (17) i (18) obezbeđuje da lokacije namenjene lociranju D i TS ne mogu biti otvorene ukoliko im nije alocirana neka količina opasnog otpada. Ograničenja (19) definišu prirodu promenljivih korišćenih u modelu. Treba napomenuti da ukoliko se rastojanja R_1, R_2, R_3, R_4 i R_5 definišu na sledeći način: $R_1 \geq 2R_4$, $R_2 \geq 2R_5$ i $R_3 \geq R_4 + R_5$, onda promenljive z_i i s_i postaju binarne 1-0 promenljive.

3. ILUSTRATIVNI PRIMER

Predloženi višekriterijumski model za određivanje lokacija D i TS, kao i ruta vozila za transport opasnog otpada do ovih objekata 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 manjeg kapaciteta 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 većeg kapaciteta od 20 t iznose $c_{ij} = 0,0715$ €/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 160 €, dok fiksni troškovi lociranja TS (f_i) iznose 70 €, 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.

Rastojanja između parova čvorova prikazana su u tabeli 1 i to: najkraća rastojanja na mreži d_{ij} , d_{il} , d_{lj} iznad dijagonale, a Euklidska d_{ij}^E , d_{il}^E ispod dijagonale u osenčenim poljima, jer se radi o simetričnim matricama rastojanja. Takođe, u tabeli 1 date su i količine opasnog otpada w_i u odgovarajućim čvorovima. U tabeli 2 dat je broj stanovnika na linkovima v_{ij} , v_{il} , v_{lj} i u čvorovima v_i (na dijagonali).

Tabela 1: Rastojanja i količine opasnog otpada

	1	2	3	4	5	6	7	w_i
1	0	41,50	46,13	58,38	74,93	60,50	87,41	113243,2
2	21,46	0	12,29	46,93	63,50	26,62	53,54	26656,8
3	32,73	11,48	0	57,66	74,22	37,14	64,05	9624,8
4	49,95	40,79	42,63	0	17,00	44,42	38,59	68722,4
5	64,98	53,34	52,56	15,60	0	59,08	41,83	23143,2
6	45,10	23,95	14,66	37,34	43,38	0	29,68	34480,8
7	62,51	43,60	36,89	31,37	28,37	22,90	0	24123,2

Tabela 2: Broj stanovnika

	1	2	3	4	5	6	7
1	141554	178488	176078	186726	186726	182538	196037
2	178488	33321	45352	55230	55230	49402	62901
3	176078	45352	12031	142643	144999	130047	180007
4	186726	55230	142643	85903	117188	138837	124934
5	186726	55230	144999	117188	28929	146014	82132
6	182538	49402	130047	138837	146014	43101	80114
7	196037	62901	180007	124934	82132	80114	30154

Vrednosti definisanih rastojanja su: $R_1 = 70$ km, $R_2 = 30$ km, $R_3 = 25$, $R_4 = 15$ km i $R_5 = 20$ km, dok je $M = 10$. Model je razvijen u Python 2.7 programskom jeziku, a rešen IBM CPLEX 12.6 softverom.



Za rešavanje kompleksnih problema višekriterijumske optimizacije mogu se primeniti brojne metode. Među njima je i leksikografska metoda koja omogućava donosiocu odluke da stav o različitom značaju funkcija cilja izrazi na ordinalnoj skali, tj. da ih rangira po značaju. Njena relaksirana verzija, koja je korišćena i u ovom radu za rešavanje navedenog ilustrativnog primera češće je u upotrebi jer omogućava donosiocu odluke da na račun relaksacije vrednosti funkcija cilja viših po rangu ostvari poboljšanje vrednosti funkcija cilja koje su niže rangirane i uzme u razmatranje tako dobijena rešenja, koja ako su jedinstvena su i Pareto optimalna, a ako nisu svakako su slabo Pareto optimalna rešenja. U ovom primeru indeksi funkcija cilja definišu njihov rang tako da je OF_1 najznačajnija, a OF_3 poslednja u rangu po značaju.

U tabeli 3 su predstavljena 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. Na primer, ukoliko se donosilac odluke opredeli da OF_1 relaksira za 1% u odnosu na idealnu vrednost ($OF_1 = 1.259,76$), optimizirajući OF_2 dobiće se rešenje kojim se ostvaruje njeno poboljšanje za 9,1% ($OF_2 = 301.738$), a koje OF_3 poboljšava za 7% ($OF_3 = 58.538.456,69$). Relaksirajući OF_1 za 7,4% ($OF_1 = 1.339,96$) dobiće se rešenje kojim se ostvaruje poboljšanje OF_2 za 22,8% ($OF_2 = 256.386$), a OF_3 je tada poboljšano za 8,2% ($OF_3 = 57.737.088,21$). I tako redom, relaksacija OF_1 za 46,6% ($OF_1 = 1.828,60$) daje ekstremum OF_2 ($OF_2 = 114.832$), odnosno postiže se njeno poboljšanje za 65,4%. To rešenje poboljšava OF_3 za 35,8% ($OF_3 = 40.407.199,52$). Konačno, ukoliko se idealna vrednost OF_2 relaksira za 39,5% ($OF_2 = 160.184$), optimizirajući OF_3 dobiće se njena ekstremna vrednost ($OF_3 = 38.503.137,46$). U tom slučaju vrednost OF_1 bi se pogoršala za 81,6% u odnosu na idealnu.

Tabela 3: Rešenja dobijena primenom relaksirane leksikografske metode

OF_1	OF_2	OF_3	Lokacije TS	Lokacije D	K izloženi uticaju TS	K izloženi uticaju D	Rute do otvorenih TS i D
1.247,22	331.892	62.914.135,23	TS ₂ , TS ₄ , TS ₇	D ₁	K ₂ , K ₃ , K ₄ , K ₅ , K ₇	K ₁	K ₁ -D ₁ , K ₂ -TS ₂ -D ₁ , K ₃ -TS ₂ -D ₁ , K ₄ -TS ₄ -D ₁ , K ₅ -TS ₄ -D ₁ , K ₆ -TS ₂ -D ₁ , K ₇ -TS ₇ -D ₁
1.259,76	301.738	58.538.456,69	TS ₁ , TS ₂	D ₄	K ₁ , K ₂ , K ₃	K ₄ , K ₅	K ₁ -TS ₁ -D ₄ , K ₂ -TS ₂ -D ₄ , K ₃ -TS ₂ -D ₄ , K ₄ -D ₄ , K ₅ -D ₄ , K ₆ -D ₄ , K ₇ -D ₄
1.339,96	256.386	57.737.088,21	TS ₁	D ₄	K ₁	K ₄ , K ₅	K ₁ -TS ₁ -D ₄ , K ₂ -D ₄ , K ₃ -D ₄ , K ₄ -TS ₁ -D ₄ , K ₅ -D ₄ , K ₆ -D ₄ , K ₇ -D ₄
1.681,07	186.906	55.097.097,44	TS ₂	D ₁	K ₂ , K ₃	K ₁	K ₁ -TS ₂ -D ₁ , K ₂ -TS ₂ -D ₁ , K ₃ -TS ₂ -D ₁ , K ₄ -D ₁ , K ₅ -D ₁ , K ₆ -TS ₂ -D ₁ , K ₇ -TS ₂ -D ₁
1.748,40	160.184	40.529.856,47	TS ₂	D ₄	K ₂ , K ₃	K ₄ , K ₅	K ₁ -D ₄ , K ₂ -TS ₂ -D ₄ , K ₃ -TS ₂ -D ₄ , K ₄ -D ₄ , K ₅ -D ₄ , K ₆ -D ₄ , K ₇ -D ₄
1.828,60	114.832	40.407.199,52	0	D ₄	0	K ₄ , K ₅	K ₁ -D ₄ , K ₂ -D ₄ , K ₃ -D ₄ , K ₄ -D ₄ , K ₅ -D ₄ , K ₆ -D ₄ , K ₇ -D ₄
2.265,47	160.184	38.503.137,46	TS ₂	D ₄	K ₂ , K ₃	K ₄ , K ₅	K ₁ -D ₄ , K ₂ -D ₄ , K ₃ -TS ₂ -D ₄ , K ₄ -D ₄ , K ₅ -TS ₂ -D ₄ , K ₆ -TS ₂ -D ₄ , K ₇ -TS ₂ -D ₄

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je višekriterijumski pristup lociranju objekata u sistemima upravljanja opasnim otpadom i određivanju ruta vozila koja vrše transport opasnog otpada. Definisane su tri funkcije cilja kojima se minimiziraju ukupni troškovi sistema, broj stanovnika izložen negativnom uticaju lociranih objekata, kao i rizik za stanovnike duž ruta kojima se transportuje opasan otpad. Ilustrativni primer malih dimenzija poslužio je za testiranje i validaciju predloženog matematičkog modela korišćenjem relaksirane leksikografske metode za njegovo rešavanje. Dobijena rešenja pružaju uvid u ponašanje sistema sa aspekta definisanih ciljeva i kao takva bila bi od pomoći pri donošenju odluka o strukturi i načinu funkcionisanja sistema za upravljanje opasnim otpadom. Prilikom testiranja predloženog modela uočeno je da je tačnost ulaznih podataka od velikog značaja, a čije određivanje predstavlja poseban izazov i čemu će u daljem istraživanju biti posvećena pažnja. Takođe, jedan od pravaca budućih istraživanja odnosiće se i na testiranje modela na problemima realnih dimenzija, kao i razmatranje drugih pristupa njegovom rešavanju. Model će se razvijati tako da uključi stohastičnost prisutnu u određivanju količina generisanog otpada, kao i stepena uticaja lociranih objekata na korisnike izraženog radijusima pokrivanja.



ZAHVALNICA

Ovaj rad podržava Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja R. Srbije kroz projekat TR 36006.

LITERATURA

- [1] Alumur, S., & Kara, B.Y. (2007). A new model for the hazardous waste location-routing problem. *Computers & Operations Research*, 34, 1406–1423.
- [2] Murray, A.T., & Church, R.L. (1997). Solving the anti-covering location problem using lagrangian relaxation, *Computers & Operations Research*, 24(2), 127-140.
- [3] Oded, B., & Rongbing, H.J. (2008). The minimum weighted covering location problem with distance constraints, *Computers & Operations Research*, 35, 356–372.
- [4] Samanlioglu, F. (2013). A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 226, 332–340.
- [5] Strategija upravljanja otpadom za period 2010-2019, Sl. glasnik RS br. 29/10.
- [6] Yilmaz, O., Kara, B.Y., & Yetis, U. (2017). Hazardous waste management system design under population and environmental impact considerations. *Journal of Environmental Management*, 203, 720-731.



PRIMENA ALGORITAMA NAJBLIŽEG SUSEDA I UŠTEDA ZA REŠAVANJE PROBLEMA DISTRIBUCIJE SA VIŠESTRUKIM OGRANIČENJIMA KAPACITETA VOZILA

APPLICATION OF NEAREST NEIGHBOUR AND CLARKE-WRIGHT ALGORITHM FOR SOLVING MULTI CAPACITATED MVRP

MILOVAN KOVAČ¹, DRAŽEN POPOVIĆ², MILORAD VIDOVIĆ³, NENAD BJELIĆ⁴

¹ Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, kovac.milovan@hotmail.com

² Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, d.popovic@sf.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, m.vidovic@sf.bg.ac.rs

⁴ Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, n.bjelic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Problem rutiranja vozila je jedan od ključnih problema u logistici. Postoje brojni algoritmi koji se bave rešavanjem problema rutiranja vozila. U ovom radu je opisana primena algoritma najbližeg suseda i Clarke-Wright-ovog algoritma „ušteda“, dva algoritma koji imaju veliku primenu za rešavanje problema rutiranja vozila. Na osnovu poslovanja jedne od najvećih kompanija za distribuciju robe široke potrošnje u Srbiji, u radu je posmatran specifičan slučaj homogenog voznog parka u kojem vozila imaju tri kapaciteta rada: nosivost i zapreminu tovarnog prostora, kao i vreme rada vozača. Pored algoritama za konstrukciju osnovnih ruta biće prikazani i efekti primene dva tipa okruženja pretrage (sa intra-route i inter-route pristupom) radi poboljšanja rešenja: Swap (zamena dve lokacije u jednoj i između dve rute) i Reallocate (premeštanje jedne lokacije u okviru jedne rute i između dve rute).

Ključne reči: Algoritam najbližeg suseda, Clarke-Wright-ov algoritam „ušteda“, Rutiranje, MVRP

Abstract: The vehicle routing problem is one of the key problems in logistics. There are numerous algorithms oriented on solving vehicle routing problems. The goal of this paper is to evaluate the application of nearest neighbour algorithm and Clarke-Wright „savings“ algorithm for solving multi capacitated multi vehicle routing problem. According to the case study from one of the largest companies for distribution of consumer goods in Serbia, this paper is focused on a specific case of a homogenous fleet of vehicles with three capacity constraints: load capacity, load volume and driver's working hours. Beside route constructing algorithms, we applied two well-known local search techniques (with intra-route and inter-route approach variants) for routing solution improvement: Swap (interchange of two service nodes in one route and between two routes) and Reallocate (changing the position of one service node in one route and moving a service node from one route to another).

Keywords: Nearest Neighbour algorithm, Clarke-Wright „savings“ algorithm, Routing, MVRP

1. UVOD

Rutiranje vozila je kompleksan problem sa kojim se susreće svaka kompanija koja se bavi distribucijom ili snabdevanjem nekom robom. U praksi se teži ka minimizaciji ukupnog pređenog puta kako bi troškovi distribucije bili što manji. U literaturi se pominje veliki broj algoritama za rešavanje problema rutiranja vozila, pri čemu svaki pristup ima svoje prednosti i nedostatke. Detaljan pregled VRPa je dat u knjizi The Vehicle Routing Problem (Toth i Vigo 2014). Jedan od glavnih problema u domenu rutiranja vozila jeste taj što ne postoji pristup koji daje optimalno rešenje, pa se stoga teži nalaženju što boljeg rešenja za što kraće vreme. U ovom radu je opisana primena algoritma najbližeg suseda i Clarke-Wright-ovog algoritma „ušteda“, odnosno dva algoritma koji imaju veliku primenu za rešavanje problema rutiranja vozila. Tačnije, u radu su prikazani prilagođeni algoritmi za rešavanje problema distribucije robe generalne potrošnje sa homogenim voznim parkom i višestrukim ograničenjima kapaciteta vozila, baziranog na studiji slučaja poslovanja jedne od najvećih kompanija za distribuciju u Srbiji.



U sekciji 2 je dat opis posmatranog problema, a u sekciji 3 su prikazani heuristički algoritmi sa poboljšanjima koji su razvijeni za rešavanje problema distribucije sa višestrukim ograničenjima kapaciteta vozila. Opis testnih instanci sa rezultatima dobijenih primenom razvijenih modela dati su u sekciji 4. Zaključna razmatranja se nalaze u sekciji 5.

2. OPIS PROBLEMA

Problematika kojoj je posvećena pažnja u ovom radu se odnosi na problem rutiranja vozila kako bi se opslužio set lokacija, pri čemu svaka lokacija ima određene zahteve. Donosilac odluke na raspolaganju ima više vozila, odnosno ova klasa problema je u literaturi poznata kao mVRP (engl. multi Vehicle Routing Problem). Zahtevi svake lokacije su definisani količinom robe (izraženom u kilogramima) i brojem paleta robe. Budući da su vozila kojima se vrši distribucija robe ograničenih kapaciteta, pri rutiranju je neophodno voditi računa da se ti kapaciteti ne premaše. Kapaciteti koji predstavljaju ograničenja u rutiranju u ovom radu su nosivost vozila izražena u kilogramima, broj paleta koje mogu stati u vozilo i radno vreme izraženo u minutima. Sva vozila kreću iz depoa i nakon završene opsluge svih čvorova u ruti se vraćaju u isti depo. Vozni park je homogen što znači da su sva vozila istih karakteristika. Osnovni cilj jeste minimizacija ukupnog pređenog puta. Pored ukupnog pređenog puta pažnja će biti posvećena i ukupnom vremenu rada računara za rešavanje algoritama. Često je primena određenih algoritama u praksi ograničena zbog dugog vremena rada računara kako bi se dobilo rešenje, bez obzira na kvalitet rešenja.

3. ALGORITMI ZA REŠAVANJE MVRP

Kako bi rutiranje većih razmera uopšte bilo moguće, u praksi se koriste različiti heuristički algoritmi. Postoji veliki broj različitih algoritama, pri čemu svaki algoritam teži ka tome da se dobije rešenje što bliže optimalnom i naravno, različiti algoritmi daju različita rešenja. U ovom radu će biti korišćen algoritam najbližeg suseda (Rosserkrantz, Stearns, Lewis 1977) kao i dve različite varijante Clarke-Wright algoritma (Clarke i Wright 1964) za rutiranje vozilima. Ako se uzme u obzir da se za neka rešenja dobijena primenom navedenih algoritama za rutiranje može intuitivno naći bolje rešenje, u ovom radu će biti reči i o poboljšanjima koja će se nadovezivati na bazične algoritme kako bi se dobilo što bolje rešenje. U literaturi se sreće veliki broj radova koji se bave primenom poboljšavanja rešenja dobijenih osnovnim algoritmima za konstrukciju ruta (Popović, Vidović i Radivojević 2011; Altinel i Oncan 2004; Doyuran i Catay 2009)

3.1. CW i CW_R

Clarke-Wright-ov algoritam „ušteta“ je prvi algoritam o kojem će biti reči. Osnovna ideja ovog algoritma počiva na tome da je pređeni put za pojedine parove čvorova manji ukoliko se ti čvorovi spoje u ruti u odnosu na pređeni put kada bi se svaki čvor iz depoa posebno opsluživao. Prvi korak koji je neophodno sprovesti korišćenjem ovog algoritma jeste formiranje liste ušteta po svim parovima čvorova koje je neophodno obići. Uštete se računaju prema jednačini $s(i, j) = d(B, i) + d(B, j) - d(i, j)$, gde su: $s(i, j)$ – ušteta između čvora i i čvora j , $d(i, j)$ – rastojanje između čvorova i, j , $d(B, j)$ – rastojanje od depoa B i čvora j . Nakon izračunatih ušteta između svih parova čvorova neophodno je rangirati te uštete u nerastućem poretku. Nakon rangiranja se razmatraju uštete $s(i, j)$ redom od najveće ka najmanjoj. Pri razmatranju uštete $s(i, j)$ se odgovarajuća grana (i, j) uključuje u neku od delimičnih ruta ukoliko je jedan od čvorova te grane spoljašnji čvor neke delimične rute, a da pritom slobodan čvor ne pripada nijednoj drugoj ruti. Dve delimične rute se spajaju ukoliko se jedan čvor grane (i, j) nalazi u jednoj delimičnoj ruti kao spoljašnji čvor a drugi čvor grane (i, j) u drugoj delimičnoj ruti takođe kao spoljašnji čvor. Pri dodavanju grane ruti kao i pri spajanju dveju ruta neophodno je voditi računa da se nijedno ograničenje kapaciteta vozila ne premaši, u suprotnom, spajanje ruta/dodavanje grane ruti nije moguće. Ukoliko se čvorovi iz posmatrane grane (i, j) ne nalaze ni u jednoj od delimičnih ruta, tada se otvara nova delimična ruta (i, j) . Algoritam Clarke-Wright je završen kada nema više raspoloživih ušteta iz liste ušteta.

Razlike između dve varijante Clarke-Wright-ovog algoritma „ušteta“ koje su korišćene u ovom radu je u samom kreiranju liste ušteta. U prvoj varijanti se izračunavaju uštete prema gorepomenutoj formuli i rangiraju u opadajućem poretku (klasičan CW sa apsolutnim vrednostima ušteta), dok se u drugoj varijanti ovog algoritma izračunava odnos uštete i pređenog puta (CW_R sa relativnim vrednostima ušteta) ukoliko bi se čvorovi zasebno opsluživali iz depoa.



3.2. NN

Algoritam najbližeg suseda (engl. Nearest Neighbour) je znatno prostiji algoritam od Clarke-Wright algoritma „ušteda“. Osnovni princip ovog algoritma je da se formiraju rute jedna po jedna. Ruta se formira na takav način da se za čvor koji se uključuje u rutu uzima onaj koji je najbliži poslednjem uključenom čvoru, pri čemu se vodi računa da se ne premaše definisani kapaciteti vozila. Ukoliko se najbliži čvor ne može uključiti u rutu zbog ograničenja kapaciteta, onda se proverava da li se sledeći najbliži čvor može uključiti u rutu. Ovaj korak se ponavlja sve dok nije moguće nijedan čvor dodati u aktuelnu rutu. Nakon što je neki od kapaciteta rute ispunjen, formiraju se nove rute od preostalih čvorova po istom principu.

3.3. Poboljšanja

Kao što je pomenuto, za sva tri navedena algoritma za rutiranje vozilima će biti korišćena određena poboljšanja kako bi se dobila bolja rešenja. Definisana su četiri tipa poboljšanja, dva koja poboljšavaju rešenja u okviru pojedinačnih ruta i dva algoritma poboljšanja koja vrše izmene između neke dve rute. Prvo poboljšanje o kojem će biti reči je *Reallocate* poboljšanje. Cilj ovog algoritma jeste da pokuša promeniti lokaciju određenog čvora u ruti u kojoj se taj čvor nalazi kako bi se eventualno smanjio ukupan pređeni put. Drugo poboljšanje koje se odnosi na pojedinačne rute jeste *Swap* poboljšanje. Algoritam ovog poboljšanja je takav da mu je cilj smanjenje dužine prvobitne rute tako što će zameniti mesta dva čvora u toj ruti.

Preostala dva poboljšanja kombinuju različite rute. Prvo od preostalih poboljšanja je *Reallocate između ruta*. Princip funkcionisanja algoritma ovog poboljšanja je takav da se teži smanjenju ukupnog pređenog puta dveju ruta tako što se čvor iz jedne rute prebacuje u drugu rutu. Nakon prebacivanja čvora iz jedne u drugu rutu se utvrđuje najpogodnije mesto za umetanje čvora kako bi pređeni put bio što manji. Poslednje poboljšanje rešenja bazičnih algoritama u ovom radu jeste *Swap između ruta*. Ovaj algoritam menja mesta dva čvora iz različitih ruta i ispituje da li je tom zamenom ukupan pređeni put vozila u tim rutama smanjen, pri čemu se vodi računa o kapacitetima vozila.

Pored pojedinačne primene algoritama poboljšanja za skraćivanje ukupnog pređenog puta, biće korišćena i varijanta koja kombinuje sva poboljšanja. U ovoj varijanti je redosled poboljšanja takav da se prvo koriste poboljšanja koja traže bolje rešenje u okviru pojedinačnih ruta (*Reallocate* poboljšanje pa potom *Swap* poboljšanje), a potom se primenjuju poboljšanja koja kombinuju dve rute (*Reallocate između ruta* pa potom *Swap između ruta*). Svaki put kada neko poboljšanje nađe bolje rešenje se algoritam resetuje pa se ponovo kreće sa traženjem boljeg rešenja od *Reallocate* poboljšanja. Razlog ovakvom pristupu je mogućnost da neko poboljšanje ponovo nađe bolje rešenje nakon što je neko drugo poboljšanje našlo bolje rešenje i time praktično postavilo podlogu za već primenjene algoritme poboljšanja da generišu još bolje rešenje.

4. TESTNE INSTANCE I REZULTATI

Kako bi se uspešno testirali modeli, neophodno je generisati setove lokacija koje vozila treba da opsluže. Osnovne grupe testnih instanci se razlikuju po broju lokacija za opsluživanje. Postoje tri osnovna skupa instanci i to sa 20, 100 i 500 lokacija za opsluživanje. Za svaki od ovih podskupova je generisano 100 instanci sa potpuno nasumično raspoređenim lokacijama u prostoru kao i 100 instanci sa lokacijama grupisanim u klasterne, pri čemu su klasteri nasumično raspoređeni u prostoru. Suština klastera jeste da oponašaju naseljena mesta u kojima se na malom prostoru nalazi veći broj lokacija koje je neophodno opslužiti. Kao podatke o zahtevima lokacija su uzeti podaci iz realnog sistema jedne od najvećih 3PL kompanija u Srbiji. Takođe, na osnovu iskustava u praksi posmatrana su vozila sledećih karakteristika: nosivost - 9720 kg, maksimalan broj paleta koje staju u vozilo - 20 paleta, radno vreme vozača - 9 časova. Prostor na kojem su raspoređene lokacije je dimenzija 100x100 km. Svaka instanca će biti rešavana sa ukupno 18 varijanti modela: primena samo bazičnih algoritama (CW, CW2 i NN), primena bazičnih algoritama sa svakim poboljšanjem pojedinačno, i primena bazičnih algoritama i svih poboljšanja (*Reallocate*, *Swap*, *Reallocate između ruta* i *Swap između ruta* i to sukcesivno). U tabeli 1 je prikazana jedna instanca sa 20 lokacija koje su slučajno raspoređene u prostoru, a rešenja te instance su prikazana na slici 1 (tri bazična algoritma i tri sa svim poboljšanjima). Dakle, kao predmet analize u ovom radu će se uzimati u obzir 10800 različitih rezultata. Modeli su kreirani u programskom jeziku Python 2.7. na računaru PC Intel® Core™ i5-3470 CPU @ 3.20 GHz sa 8 GB RAM.

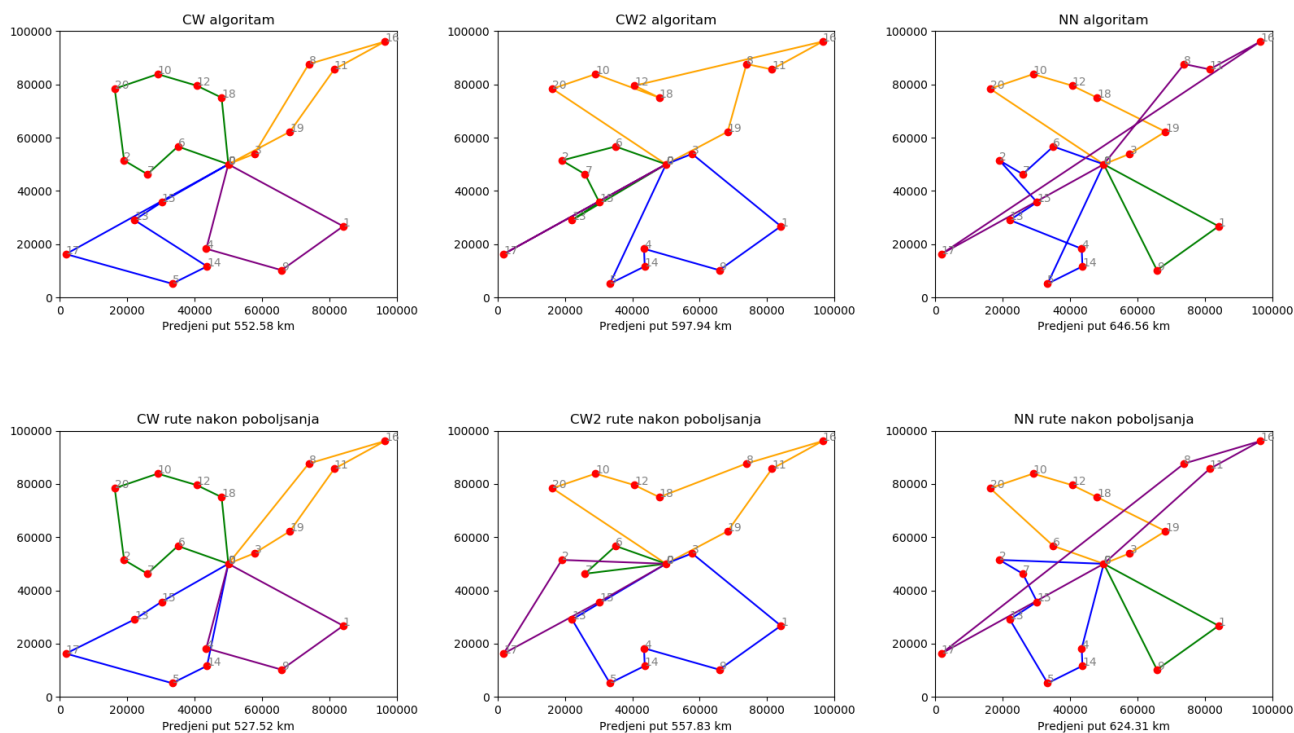
Kao prvi parametar o kvalitetu algoritama za rutiranje o kojem će biti reči jeste vreme rada računara (CPU vreme) za dobijanje rešenja. U tabeli 2 se vidi da sa linearnim porastom dimenzija zadatka (broja lokacija koje



je neophodno opslužiti) vreme rada računara raste eksponencijalno. Naime, ukoliko se sa 20 instanci lokacija pređe na petostruko veći broj instanci, vreme rada računara se poveća 80.8 puta. Nakon sledećeg petostrukog povećavanja veličine problema, vreme rada računara se dodatno poveća 191.6 puta.

Tabela 1: Ulazni podaci za jednu instancu sa 20 lokacija (koordinate lokacija, i zahtevi za isporukom robe izraženi u masi i paletama)

Lokacija	x_koor	y_koor	masa	paleta
0 (depo)	50000	50000	0.00	0.000
1	84123	26729	660.00	1.500
2	19041	51449	750.00	3.000
3	57729	53931	234.80	1.475
4	43457	18283	240.00	4.000
5	33327	5162	606.00	0.818
6	35026	56688	825.00	2.000
7	25952	46272	776.00	3.000
8	73902	87643	765.40	1.000
9	65814	10243	6422.00	9.000
10	29031	83849	229.30	1.209
11	81449	85644	293.00	2.121
12	40635	79533	616.50	5.651
13	22100	29067	961.36	2.000
14	43674	11669	246.59	0.365
15	30192	35741	312.00	1.000
16	96517	96095	250.14	0.340
17	1763	16286	4735.71	15.786
18	48003	75030	435.86	0.649
19	68323	62258	1406.82	6.413
20	16254	78374	242.00	2.306



Slika 1: Rešenja instance date u tabeli 1 (bazični modeli i modeli sa svim poboljšanjima)

Tabela 2: Prikaz vremena rada računara u odnosu na veličinu problema

Broj lokacija	Prosečno vreme dobijanja rešenja (s)	Uvećanje dimenzija problema	Uvećanje vremena
20	0.004	-	-
100	0.318	5 puta	80.8 puta
500	61.005	5 puta	191.6 puta

U tabeli 3 su prikazana prosečna pređena rastojanja za sve algoritme, bez i sa poboljšanjima i to prema različitim veličinama problema. Sa aspekta ukupnog pređenog puta, za sve veličine instanci je u proseku najbolje rešenje davao CW algoritam uz primenu svih poboljšanja navedenih u radu. Takođe je ovaj isti algoritam bio i najbolji sa aspekta prosečnog vremena rada računara u odnosu na varijante sa CW2 i NN algoritmima i poboljšanjima. Bazični algoritmi su veoma brzo dolazili do rešenja međutim, rešenja su sa aspekta ukupnog pređenog puta bila bolja korišćenjem poboljšanja (ne postoji značajna razlika u rezultatima između instanci u kojima su lokacije potpuno slučajno generisane u odnosu na slučaj gde su te lokacije više grupisane u prostoru).

Tabela 3: Poređenje kvaliteta algoritama za kreiranje ruta

Algoritam	20 Lokacija		100 lokacija		500 lokacija	
	Ukupno pređeno rastojanje (km)	CPU vreme (s)	Ukupno pređeno rastojanje (km)	CPU vreme (s)	Ukupno pređeno rastojanje (km)	CPU vreme (s)
CW	447.199	0.00195	1616.073	0.10974	6782.519	34.42644
CW2	459.720	0.00195	1746.209	0.12610	7659.062	40.43921
NN	516.705	0.00016	1932.929	0.01003	8307.808	1.06796
CW i Sva poboljšanja	433.384	0.00917	1575.099	0.49698	6693.281	72.47797
CW2 i Sva poboljšanja	436.066	0.01079	1601.829	0.86528	6843.187	145.25510
NN i Sva poboljšanja	451.384	0.01039	1656.299	0.81331	7122.240	125.24127

U skladu sa prethodno navedenim rezultatima, potrebno je naglasiti da CW model (u varijantama sa i bez poboljšanja) u najvećem broju slučajeva daje bolje rešenje od pristupa koji koriste CW2 i NN algoritme. Kao



šte se vidi u tabelama 4a i 4b, za instance sa 20 lokacija postoji određen broj situacija u kojima su NN i CW2 pristupi dali najbolje rešenje međutim, kako raste veličina problema tako CW algoritam povećava svoju dominantnost sa aspekta kvaliteta rešenja u odnosu na preostala dva pristupa.

Tabela 4: Prikaz broja situacija u kojima su različiti pristupi dali najbolje rešenje

3a)				3b)			
U koliko situacija je model bio najbolji				U koliko situacija je model bio najbolji			
broj lokacija	CW	CW2	NN	broj lokacija	CW i poboljšanja	CW2 i poboljšanja	NN i poboljšanja
20	75 (%)	22 (%)	3 (%)	20	64 (%)	23.5 (%)	12.5 (%)
100	97 (%)	3 (%)	0 (%)	100	70.5 (%)	22 (%)	7.5 (%)
500	100 (%)	0 (%)	0 (%)	500	99.5 (%)	0.5 (%)	0 (%)

Što se tiče samih algoritama poboljšanja, u nastavku će biti prikazano poređenje algoritama prema procentualnoj vrednosti poboljšanja kao i prema prosečnom radu računara. Sa tabele 5 se vidi da je kod svih veličina problema najbolje rešenje davao pristup koji kombinuje sva poboljšanja, međutim sa aspekta vremena rada računara ovaj pristup je bio najlošiji. Ako se uzme u obzir i prethodna tabela i uporede vremena rada računara, vidi se da su poboljšanja zapravo zahtevala duže vreme rada računara od samih algoritama za kreiranje bazičnih ruta.

Tabela 5: Poređenje algoritama poboljšanja za instance u kojima su lokacije grupisane u klastere

Grupisane lokacije	20 tačaka		100 tačaka		500 tačaka	
	Poboljšanje	CPU vreme (s)	Poboljšanje	CPU vreme (s)	Poboljšanje	CPU vreme (s)
Realocate	2.186%	0.0023	1.557%	0.0885	1.064%	25.3204
Swap	2.147%	0.0020	1.537%	0.0874	1.037%	25.3192
Realocate između ruta	5.140%	0.0032	6.881%	0.3655	7.718%	54.9449
Swap između ruta	1.934%	0.0049	2.857%	0.6129	2.656%	124.2833
Sva poboljšanja	6.677%	0.0101	8.162%	0.7559	8.944%	116.7008

Kao i kod grupisanih lokacija, u slučaju potpuno nasumično raspoređenih lokacija u prostoru, najbolje se pokazala varijanta sa svim poboljšanjima. Osnovna razlika u odnosu na instance u kojima su lokacije raspoređene u grupama jeste ta što je samo poboljšanje u odnosu na bazično rešenje veće kod varijante sa potpuno nasumično raspoređenim lokacijama, kako za pojedinačna poboljšanja tako i za sva poboljšanja odjednom. Okruženje u kojem dolazi do najveće razlike između bazičnog i poboljšanog rešenja jesu instance sa 500 potpuno nasumično raspoređenih lokacija za opsluživanje, pri čemu su poboljšanja u toj varijanti oko 9.4 % u proseku, sa CPU vremenom u proseku 112 sekundi.

Tabela 6: Poređenje algoritama poboljšanja za instance u kojima su lokacije nasumično raspoređene

Nasumično raspoređene lokacije	20 tačaka		100 tačaka		500 tačaka	
	Poboljšanje	CPU vreme (s)	Poboljšanje	CPU vreme (s)	Poboljšanje	CPU vreme (s)
Realocate	2.813%	0.0019	2.109%	0.0866	1.259%	25.4560
Swap	2.677%	0.0020	2.046%	0.0860	1.216%	25.4562
Realocate između ruta	6.038%	0.0032	7.640%	0.3401	8.049%	53.6061
Swap između ruta	3.412%	0.0048	3.754%	0.5400	2.910%	118.3959
Sva poboljšanja	7.629%	0.0102	9.208%	0.6945	9.432%	111.9488

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazani različiti pristupi za rešavanje problema rutiranja vozila sa višestrukim ograničenjima kapaciteta. Kao što je i očekivano za klasu problema rutiranja vozila, rezultati istraživanja pokazuju da se sa linearnim povećavanjem dimenzija problema CPU vreme značajno eksponencijalno



povećava. Kako bi se odabrao odgovarajući pristup za rešavanje problema rutiranja vozila sa višestrukim ograničenjima kapaciteta neophodno je napraviti kompromis između kvaliteta rešenja i potrebnog vremena za rešavanje datog problema. U ovom radu najbolje rešenje daje pristup koji kombinuje Clarke-Wright-ov algoritam „ušteta“ i sva četiri poboljšanja predstavljena u ovom radu, pri čemu je CPU vreme za ovaj pristup bolje od vremena potrebnih za ostale pristupe koji kombinuju bazične algoritme i sva definisana poboljšanja. Potrebno je naglasiti da su sama poboljšanja generisala veći deo ukupnog CPU vremena, što za sobom povlači da je njihova primena za rešavanje određenih problema ograničena (kod problema velikih dimenzija i ograničenog vremena za rešavanje).

CW model sa svim poboljšanjima rešava instance sa 500 lokacija relativno brzo, za nešto više od 1 minuta u proseku. Za očekivati je da se ovakav model može primeniti i za realne dimenzije problema u praksi, pogotovu što je prihvatljivo vreme dobijanja rešenja „danas za sutra“. Odnosno, sve narudžbenice koje se pojave u toku dana neophodno je opslužiti u narednom danu, što ostavlja nekoliko sati za dobijanje kvalitetnog plana distribucije. Jedan od budućih pravaca istraživanja bi upravo i bila analiza primenljivosti ovakvog pristupa i dalji razvoj modela za rešavanje složenijih problema distribucije robe široke potrošnje koji podrazumevaju: veći broj lokacija isporuke, heterogenu strukturu voznog parka, više distributivnih centara, složeniju strukturu lokacija isporuka sa aspekta potražnje i mogućnosti opsluge lokacija vozilima različite veličine itd.

NAPOMENA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekta TR 36006 za period 2011-2018.

LITERATURA

- [1] Altinel, I., Oncan, T. (2004). A new enhancement of the Clarke and Wright savings heuristic for the capacitated vehicle. *Journal of the Operational Research Society*, 954-961.
- [2] Clarke, G. & Wright, J.W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, Vol. 12, 568-581.
- [3] Doyuran, T., Catay, B. (2009). A robust enhancement to the Clarke–Wright savings algorithm. *Journal of the Operational Research Society*, 223-231.
- [4] Popović, D., Vidović, M., Radivojević, G. (2012). Variable Neighborhood Search heuristic for the Inventory Routing Problem in fuel delivery. *Expert Systems with Applications*, 13393-13395.
- [5] Roserkrantz, D., Stearns, R., Lewis, P. (1977). An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem. *Society for Industrial and Applied Mathematics*.
- [6] Toth, V., Vigo, D. (2014). *The Vehicle Routing Problem*. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications.



2018

***MATEMATIČKO
PROGRAMIRANJE***



SISTEMI ZAKLJUČIVANJA SA VISOKIM VEROVATNOĆAMA

REASONING SYSTEMS WITH HIGH PROBABILITIES

MARIJA BORIČIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, marija.boricic@fon.bg.ac.rs

Rezime: Kombinujući Suppes-ovu ideju tretiranja iskaza čija je verovatnoća istinitosti veća ili jednaka od $1 - \varepsilon$ i verovatnosnu verziju sistema prirodnih dedukcija, uvodimo sistem pravila izvođenja koji omogućava rad sa iskazima sa visokim verovatnoćama. Definišemo pravila izvođenja za verovatnosne formule oblika A^n , gde je n prirodan broj, sa značenjem „verovatnoća istinitosti iskaza A je veća ili jednaka $1 - n\varepsilon$ “, za unapred zadat mali realan broj $\varepsilon > 0$.

Cljučne reči: iskazna formula, verovatnosna logika, verovatnoća istinitosti iskaza.

Abstract: By combining Suppes' treatment of propositions with probabilities of truthfulness greater than or equal to $1 - \varepsilon$ and the probability version of the natural deduction system, we introduce a system of inference rules enabling to work with propositions having high probabilities. We define inference rules for probability formulas of the form A^n , where n is natural number, with the intended meaning that „the probability of truthfulness of A is greater than or equal to $1 - n\varepsilon$ “, for a given small real $\varepsilon > 0$.

Keywords: propositional formula, probability logic, probability of proposition truthfulness.

1. UVOD

Dve velike logičke ideje s početka XX veka, ideja teorije dokaza, i ideja verovatnoće iskaza, razvijale su se nezavisno jedna od druge. Prva je našla korene u Hilbert-ovim i Russell-ovim radovima, i razvijena u Gentzen-ovim sistemima prirodnih dedukcija i računa sekvenata (Gentzen 1934-35). Na potrebu pridruživanja verovatnoće svakom iskazu ukazuje još Boole, uz konačnu artikulaciju ideje kroz radove Popper-a, Hailperin-a, Leblanc-a i mnogih drugih autora, što je rezultiralo jednom novom oblašću savremene logike – verovatnosnim logikama (T. Hailperin 1984, H. Leblanc 1983, Z. Ognjanović, M. Rašković, Z. Marković 2009, 2016, K. R. Popper 1995, P. Suppes 1966, C. G. Wagner 2004).

U našem radu bavićemo se osobinama verovatnoće istinitosti iskaza pri primeni pravila izvođenja koja podrazumevaju uvođenje i eliminaciju iskaznih logičkih veznika (P. Suppes 1966, M. Boričić 2012, 2015a, 2015b, 2016). Formule su oblika A^n , gde je n prirodan broj i A formula klasične iskazne logike, sa značenjem „verovatnoća istinitosti formule A je veća ili jednaka $1 - n\varepsilon$ “, za unapred zadatu malu vrednost $\varepsilon > 0$. Na ovaj način moguće je razviti jedan sistem aproksimativnog zaključivanja $NKprob(\varepsilon)$, kao nadgradnju originalnog Gentzen-ovog sistema prirodnih dedukcija klasične logike NK verovatnosnim operatorima. Ovaj sistem bi omogućio da se formalizuje zaključivanje u kojem iz hipoteza $A_1^{n_1}, A_2^{n_2}, \dots, A_m^{n_m}$, koje predstavljaju iskazi čija je verovatnoća istinitosti bliska jedinici, i koje mogu biti rezultat empirijskog istraživanja, možemo izvesti zaključak oblika A^n (M. Boričić 2016b, 2017b). Semantika koja bi odgovarala ovakvom sistemu bazirala bi se na Carnap-Popper-Leblanc-ovim funkcijama verovatnoće iskaza, čija je jedna od glavnih karakteristika aditivnost (R. Carnap 1950, H. Leblanc 1983, K. R. Popper 1955, M. Boričić 2015, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2018).

2. PRAVILA IZVOĐENJA

Neka je $\varepsilon > 0$ realan broj, n i m prirodni brojevi i A formula iskaznog računa NK . Tada je A^n formula našeg sistema $NKprob(\varepsilon)$ i pravila izvođenja imaju sledeću formu.



Pravila za uvođenje i eliminaciju konjunkcije, redom:

$$\frac{A^n \quad B^m}{(A \wedge B)^{n+m}} \quad \frac{A^n \quad (A \wedge B)^m}{B^m}$$

Pravila za uvođenje i eliminaciju implikacije:

$$\frac{A^n \quad B^m}{(A \rightarrow B)^m} \quad \frac{A^n \quad (A \rightarrow B)^m}{B^{n+m}}$$

Pravilo hipotetičkog silogizma:

$$\frac{(A \rightarrow B)^n \quad (B \rightarrow C)^m}{(A \rightarrow C)^{m+n}}$$

Pravilo za uvođenje konjunkcije bi se moglo opravdati na sledeći način. Koristeći jednakost $p(A \vee B) = p(A) + p(B)$, za sve A i B za koje je $p(A \wedge B) = 0$, iz $p(A) = p((A \wedge \neg B) \vee (A \wedge B)) = p(A \wedge \neg B) + p(A \wedge B)$ i $p(A \vee B) = p((A \wedge \neg B) \vee B) = p(A \wedge \neg B) + p(B)$ zaključujemo da je $p(A) + p(B) = p(A \wedge B) + p(A \vee B)$. Iz prethodnog i iz hipoteza $p(A) \geq 1 - n\varepsilon$ i $p(B) \geq 1 - m\varepsilon$, izvodimo $p(A \wedge B) \geq 1 - n\varepsilon + 1 - m\varepsilon - p(A \vee B) \geq 1 - (n + m)\varepsilon$. Takođe, kako je $p(A \wedge B) = p(A) - p(A \wedge \neg B) \leq p(A)$, slično sledi da je $p(B) \geq p(A \wedge B) \geq 1 - m\varepsilon$, što opravdava pravilo za eliminaciju konjunkcije. Iz opravdavanja ovih pravila, zaključujemo da bi jedna od karakteristika modela morala biti aditivnost u obliku $p(A \vee B) = p(A) + p(B)$, za sve A i B za koje je $p(A \wedge B) = 0$. Ostala pravila se opravdavaju analogno, koristeći osnovne nejednakosti koje zadovoljava funkcija verovatnoće, osim pravila hipotetičkog silogizma čiji je dokaz komplikovaniji i to je razmotreno u M. Boričić (2014, 2016a).

Slično se za svaki od veznika uvodi pravilo za uvođenje i eliminaciju, što je u duhu sistema prirodnih dedukcija. Pored tih pravila, potrebno je definisati i ona koja se tiču isključivo verovatnoće (pravila monotonosti), kao i pravilo karakteristično za verovatnosne logike – odgovarajuće pravilo aditivnosti. Primetimo da pravila izvođenja ovog sistema imaju vrlo elegantnu formu, kao što je to slučaj sa M. Boričić (2016b, 2017b), za razliku od tretmana iskaza sa proizvoljnim verovatnoćama (M. Boričić 2014, 2016a, 2018). Pravilo hipotetičkog silogizma, ili tranzitivnosti, predstavlja uopštenje verovatnosne verzije pravila *modus ponens* i *modus tollens*, razmatrano u C. G. Wagner (2004). Modele za ovakav sistem moguće je definisati po ugledu na Carnap-Popper-Leblanc-ov tip semantike.

3. ZAKLJUČAK

S obzirom da se većina naučnih istraživanja temelji na dedukovanju zaključka oblika „iskaz A je istinit u m od n slučajeva“ iz hipoteza istog oblika, ovaj sistem predstavlja jednu elegantnu formalizaciju aproksimativnog zaključivanja. Takođe, u ovom sistemu omogućavamo rad sa iskazima sa verovatnoćama bliksim jedinici, koji su u praksi svakako značajniji i češće prisutni. Jedan od izazova jeste definisanje pojma neprotivrečne teorije u $NKprob(\varepsilon)$, jer se ne može preuzeti definicija neprotivrečnosti teorije u klasičnoj logici s obzirom na to da u ovom slučaju imamo više od dve istinitosne vrednosti kao i to da bi uslov $P(A) \geq 0$ trebalo da bude uvek zadovoljen, za bilo koju iskaznu formulu A . Dalja istraživanja mogla bi biti usmerena ka definisanju odgovarajućih modela i dokazivanju teorema saglasnosti i potpunosti za sistem $NKprob(\varepsilon)$ u odnosu na te modele.



LITERATURA

- [1] M. Boričić, Hypothetical syllogism rule probabilized, *Bulletin of Symbolic Logic*, Vol. 20, No. 3, 2014, pp. 401-402, Logic Colloquium 2012, University of Manchester, 12th-18th July 2012.
- [2] M. Boričić, *Saglasnost i potpunost verovatnosnih pravila zaključivanja*, **SYM-OP-IS 2015: XLII Simpozijum o operacionim istraživanjima**, 2015, red. N. Mladenović i dr., Matematički institut SANU, Beograd, 2015, str. 586-588.
- [3] M. Boričić, *Inference rules for probability logic*, **Publications de l'Institut Mathématique**, Vol. 100(114) (2016a), pp. 77-86.
- [4] M. Boričić, *Suppes-style rules for probability logic*, *Bulletin of Symbolic Logic*, Vol. 22, No. 3, 2016b, p. 431, *Logic Colloquium 2015*, European Summer Meeting of Association for Symbolic Logic, University of Helsinki 3-8 August 2015.
- [5] M. Boričić, *Natural deduction probabilized*, *Bulletin of Symbolic Logic*, Vol. 23, No. 2, 2017a, p. 259, *Logic Colloquium 2016*, European Summer Meeting of Association for Symbolic Logic, University of Leeds July 31 to August 6 2016.
- [6] M. Boričić, *Suppes-style sequent calculus for probability logic*, **Journal of Logic and Computation** 27 (4), 2017b, pp. 1157-1168.
- [7] M. Boričić, *Sequent calculus for classical logic probabilized*, **Archive for Mathematical Logic** (to appear, 2018)
- [8] R. Carnap, **Logical Foundations of Probability**, University of Chicago Press, Chicago, 1950.
- [9] G. Gentzen, *Untersuchungen uber das logische Schliessen*, **Mathematische Zeitschrift** 39 (1934-35), 176-210, 405-431 (or G. Gentzen, **Collected Papers**, (ed. M. E. Szabo), North-Holland, Amsterdam, 1969).
- [10] T. Hailperin, *Probability logic*, **Notre Dame Journal of Formal Logic** 25 (1984), 198-212.
- [11] H. Leblanc, Probability functions and their assumption sets - the singulary case, **Journal of Philosophical Logic** 12 (1983), 382-402.
- [12] Z. Ognjanović, M. Rašković, Z. Marković, *Probability logics*, u Z. Ognjanović (editor), **Logic in Computer Science**, Zbornik radova 12 (20), Mathematical Institute SANU, Belgrade, 2009, 35-111.
- [13] Z. Ognjanović, M. Rašković, Z. Marković, **Probability Logics**. Springer, Berlin (2016)
- [14] K. R. Popper, Two autonomous axiom systems for the calculus of probabilities, **The British Journal for the Philosophy of Science** 6 (1955), 51-57, 176, 351.
- [15] P. Suppes, Probabilistic inference and the concept of total evidence, in J. Hintikka and P. Suppes (eds.), **Aspects of Inductive Inference**, North-Holland, Amsterdam, 1966, pp. 49-55.
- [16] C. G. Wagner, *Modus tollens probabilized*, **British Journal for the Philosophy of Science** 54(4) (2004), 747-753.



OPTIMIZACIJA EFIKASNOG PLANA EKSPERIMENTA U CONJOINT ANALIZI

OPTIMIZATION OF EFFICIENT EXPERIMENTAL DESIGN IN CONJOINT ANALYSIS

MARIJA KUZMANOVIĆ¹, DRAGANA MAKAJIĆ-NIKOLIĆ²

Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

¹kuzmanovic.marija@fon.bg.ac.rs, ²gis@fon.bg.ac.rs

Rezime: Conjoint analiza je višeatributivna istraživačka tehnika koja služi za merenje preferencija ispitanika. Jedna od ključnih faza u Conjoint analizi je generisanje efikasnog plana eksperimenta koji sadrži profile koje ispitanici ocenjuju. Da bi procena preferencije bila što verodostojnija, plan eksperimenta treba da ima visoku vrednost izabrane mere efikasnosti, dobro izbalansirane nivoe atributa i broj profila koji je kognitivno prihvatljiv za ispitanike. U ovom radu se generisanje efikasnog plana posmatra kao optimizacioni problem za koji je formulisana odgovarajući matematički model. Karakteristike planova eksperimenata dobijenih predloženim optimizacionim pristupom poređene su sa karakteristikama planova dobijenih pomoću softvera SPSS. Rezultati su pokazali da optimizacioni pristup nadmašuje softver SPSS u svim posmatranim performansama.

Ključne reči: Conjoint analiza, Plan eksperimenta, Efikasnost, Optimizacija.

Abstract: Conjoint analysis is multiattribute research technique used for measuring individuals' preferences. One of the key steps in the Conjoint analysis is to generate efficient experimental design containing the profiles that the respondents evaluate. In order to make the preference assessment credible, the experimental design should have a high value of the selected efficiency measure, well-balanced attribute levels, and the number of profiles that is cognitively acceptable for the respondents. In this paper, generating an efficient experimental design is observed as an optimization problem and corresponding mathematical model is formulated. Characteristics of the experimental designs obtained by the proposed optimization approach are compared with the characteristics of the designs obtained using software SPSS. The results showed that the optimization approach outperforms software SPSS in all performances we considered.

Keywords: Conjoint analysis, Experimental design, Efficiency, Optimization.

1. UVOD

Popularnost tehnika za merenja preferencija i njihova upotrebe u praksi u drastičnom je porastu poslednjih decenija. Praktični značaj ovih tehnika proističe iz njihove široko rasprostranjene upotrebe u razvoju novih proizvoda i koncepata, kao i u studijama vezanim za vrednovanje u različitim oblastima kao što su marketing, turizam, transport, finansijske usluge, obrazovanje i slično. Jedna od metoda koja je postala posebno popularna u ovom kontekstu je Conjoint analiza.

Conjoint analiza je istraživačka tehnika bazirana na multivarijacionoj analizi, a koja se već više od četiri decenije uspešno koristi za utvrđivanje optimalnih karakteristika proizvoda, usluga ili koncepata, za merenje individualnih preferencija ispitanika, kao i razumevanje i predviđanje njihovog ponašanja u novim situacijama (Kuzmanović, 2006). U Conjoint analizi ispitanici evaluiraju skup stvarnih ili hipotetičkih alternativa (tzv. profila) opisanih skupom atributa koji uzimaju različite vrednosti iz određenog opsega. Atributi u Conjoint analizi predstavljaju merljive i nemerljive faktore koji ne samo da opisuju proizvod ili uslugu već ih i diferenciraju od konkurentskih i mogu biti nominalni, ordinalni ili kvantitativni. Diskretne vrednosti koje mogu da uzmu merljivi atributi, i modaliteti kvalitativnih atributa, u Conjoint analizi se nazivaju nivoui atributa. Kreiranje liste ključnih atributa i njihovih nivoea je ujedno i prvi i veoma važan korak u Conjoint analizi.

U cilju formiranja ukupnog suda o proizvodu, ispitanici evaluiraju ukupnu korisnost profila posmatrajući nivoe atributa simultano, odakle i potiče naziv metode (CONsidered JOINTly). Dalje je, na osnovu tih sudova, moguće proceniti parcijalne korisnosti nivoea atributa primenom nekog od pravila kompozicije kojima se definiše (opisuje) struktura individualnih preferencija ispitanika.



Izbor profila koje će ispitanici evaluirati, tzv. plan eksperimenta, predstavlja ključni korak u implementaciji Conjoint analize. Sa jedne strane, ovaj skup treba da bude takav da obezbedi što kvalitetniju procenu parametara modela, a sa druge strane ne treba da bude previše kognitivno zahtevan jer se time povećava vreme potrebno da ispitanici odgovore na postavljena pitanja i smanjuje njihov podsticaj da to urade na pravi način (Kuzmanovic, 2008; Netzer, & Srinivasan, 2011; Huertas-García, Nuñez-Carballosa, & Miravittles, 2016). Stoga je poslednjih godina u literaturi poklonjena velika pažnja pronalaženju i generisanju efikasnih redukovanih planova. Plan eksperimenta se smatra efikasnim kada omogućava dobijanje kvalitetnih informacija na manjem uzorku i uz kraće vreme posvećeno terenskom radu (Louviere, Islam, Vasi, Street, & Burgess, 2008). Za merenje efikasnosti plana eksperimenta u Conjoint analizi, postoji više kriterijuma, ali se u praksi najčešće koriste tzv. A-efikasnost i D-efikasnost (Toubia, & Hauser, 2007).

U ovom radu posmatra se problem određivanja efikasnog Conjoint plana eksperimenta koji ima zadovoljavajuću vrednost izabrane mere efikasnosti, izbalansiranost nivoa atributa uključenih u plan i kognitivno prihvatljiv broj profila. Za rešavanje ovog problema predlaže se optimizacioni pristup kojim se maksimizira A-efikasnost.

2. PLAN EKSPERIMENTA

Faktori eksperimentalnog plana su promenljive koje imaju dva ili više fiksiranih elemenata. U Conjoint analizi, faktori su atributi hipotetičkog proizvoda ili usluge, fiksirani elementi su nivoi atributa koji predstavljaju nezavisne promenljive u modelu procene, dok odgovor ispitanika može da bude preferencija izražena kroz rang, ocenu ili izbor (Kuzmanović, 2006).

Conjoint plan eksperimenta može da bude kompletan faktorski plan (*full factorial*) ili redukovani faktorski plan (*fractional factorial*). Kompletan faktorski plan sadrži sve moguće kombinacije nivoa atributa, tzv. profila. Problem koji se javlja kada se u praksi koristi ovaj plan je veliki broj profila koje ispitanici treba da evaluiraju, što može da bude veoma kognitivno zahtevno ili čak nemoguće. Naime, u studiji u kojoj su proizvodi opisani sa 5 atributa, pri čemu je jednom dodeljno 4 nivoa, a ostalim po tri nivoa, ukupan broj mogućih profila je $324 (=4^1 \times 3^4)$. Dodavanjem još jednog atributa sa 3 nivoa, ukupan broj profila eksponencijalno raste i dostiže 972. Zbog toga se kompletan faktorski plan u praksi veoma retko koristi, osim u slučaju studija sa malim brojem atributa i nivoa.

Ovaj problem se prevazilazi korišćenjem redukovanog faktorskog plana, koji sadrži podskup skupa svih mogućih profila. U slučaju kada se za evaluaciju profila koristi metoda ocenjivanja ili rangiranja, da bi validnost i verodostojnost dobijenih rezultata bile maksimalne, mora se voditi računa o dva osnovna principa (Kuhfeld, Tobias, Garrat, 1994), a to su ortogonalnost i izbalansiranost (plana eksperimenta) redukovanog faktorskog plana. U idealnom slučaju zahteva se da plan eksperimenta bude ortogonalan, što je slučaj kod kompletnog faktorskog plana. Kod ortogonalnog plana eksperimenta parametri koji se procenjuju su nekorelisani, što znači da je procena svakog parametra nezavisna od procene ostalih parametara u modelu. Značajno je i to da ortogonalnost implicira da koeficijenti koji se procenjuju imaju minimalnu varijansu. S druge strane, plan eksperimenta je izbalansiran ako se svi nivoi svakog atributa u planu eksperimenta javljaju sa jednakom frekvencijom.

Specijalan tip ortogonalnog plana je ortogonalni zrak. To je redukovani faktorski plan koji je istovremeno i ortogonalan i izbalansiran, tj. optimalan. Međutim, generisanje optimalnih ortogonalnih planova je izvodljivo kod relativno malog broja specifičnih problema. Kada je u studiji zastupljen veliki broj atributa i kada većina atributa ima različit broj nivoa, koriste se i planovi koji su približno ortogonalni tj. efikasni. Pod efikasnim planom se podrazumeva plan kod koga su varijansa i kovarijansa parametara koji se procenjuju minimalne. Neki ortogonalni planovi mogu biti manje efikasni od drugih ortogonalnih ili neortogonalnih planova, dok neortogonalni planovi mogu biti bolji od ortogonalnih ali neizbalansiranih planova. Kako navode Kuhfeld i saradnici (Kuhfeld, Tobias, Garrat, 1994), „Čuvati ortogonalnost po svaku cenu može da dovede do smanjenja kvaliteta plana eksperimenta.“

3. EFIKASNOST PLANA EKSPERIMENTA I KRITERIJUMI EFIKASNOSTI

Pretpostavimo Conjoint studiju sa K atributa. Kada se kao metoda za evaluaciju alternativa izabere metoda ocenjivanja profila, preferencije ispitanika se mogu modelirati pomoću linearne aditivne funkcije, tzv. funkcije



parcijalnih korisnosti. U tom slučaju ukupna korisnost profila j za i -tog ispitanika, može se izraziti na sledeći način:

$$u_{ij} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \beta_{ikl} z_{jkl} + \varepsilon_{ij}, \quad i=1, \dots, I, \quad j=1, \dots, J. \quad (1)$$

gde je β_{ikl} parametar koji se procenjuje regresionom analizom (metodom najmanjih kvadrata) i predstavlja parcijalnu korisnost nivoa l ($l = 1, \dots, L_k$) atributa k ($k = 1, \dots, K$) zastupljenog u datom profilu j . ε_{ij} je standardna greška. z_{jkl} je binarna promenljiva koja uzima vrednost 1 ukoliko je nivo l atributa k zastupljen u profilu j , i 0 u suprotnom. Pri tome, svaki profil može da sadrži samo po jedan nivo svakog od atributa, tj. mora da važi:

$$\sum_{l=1}^{L_k} z_{jkl} = 1, \quad \forall j, k. \quad (2)$$

Izraz (1) zapisan u matricnoj notaciji uzima oblik $\mathbf{u} = \beta\mathbf{Z} + \boldsymbol{\varepsilon}$. Dimenzije matrice \mathbf{Z} su $J \times N$, gde je N ukupan broj nivoa u studiji, $N = \sum_{k=1}^K L_k$, a J ukupan broj profila sadržanih u efikasnom redukovanom planu eksperimenta. Efikasan plan je onaj plan koji omogućava da varijansa procenjenih parametara u modelu, kao što je ranije navedeno, bude minimalna. Za merenje efikasnosti plana eksperimenta u Conjoint analizi, postoji više standardnih kriterijuma. Dva opšta tipa su: kriterijumi bazirani na informacijama i kriterijumi bazirani na udaljenosti. Efikasni planovi mogu biti efikasni po jednom kriterijumu, ali manje efikasni po nekom drugom kriterijumu.

Da bi se izračunala efikasnost plana eksperimenta, matrica nezavisnih promenljivih mora da bude prikladno kodirana. U tu svrhu koristi se ortogonalno kodiranje kojim se uklanja linearna zavisnost parametara koji se procenjuju. Jedan od načina da se ulazni podaci ortogonalno kodiraju je Helmertova procedura, koja obuhvata prevođenje skupa ulaznih podataka u matricu u kojoj je suma svake kolone jednaka nuli. Tako, nakon kodiranja atributa sa L_k nivoa, matrica će imati $L_k - 1$ kolonu i L_k redova. Glavna dijagonala matrice se popunjava tako da na polju (1,1) u matrici bude broj $L_k - 1$, na polju (2,2) $L_k - 2$ i tako redom. Svi elementi ispod glavne dijagonale jednaki su -1 , a elementi iznad dijagonale su 0. U zadnjem redu matrice svi elementi jednaki su -1 . Ortogonalno kodiran atribut k sa L_k nivoa može se predstaviti sledećom matricom:

$$\begin{array}{cccccc} L_k - 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \\ & -1 & L_k - 2 & \dots & 0 & 0 \\ & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & -1 & -1 & \dots & 2 & 0 \\ & -1 & -1 & \dots & -1 & 1 \\ & -1 & -1 & \dots & -1 & -1 \end{array}$$

Označimo sa \mathbf{X} ortogonalno kodiranu matricu nezavisnih promenljivih \mathbf{Z} . Kodirana matrica je dimenzija $J \times p$, gde J predstavlja broj profila sadržanih u planu eksperimenta, a p broj parametara koji se procenjuju, tj. broj kolona u matrici \mathbf{X} i jednak je $N - K$.

Informaciono bazirani kriterijumi efikasnosti matrice \mathbf{X} zasnivaju se na informacionoj matrici $\mathbf{X}'\mathbf{X}$ (Kuhfeld, 1997). Varijaciono-kovarijaciona matrica vektora parametara β koji se procenjuju metodom najmanjih kvadrata, jednaka je inverznoj informacionoj matrici, odnosno jednaka je $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$. Varijansa



parametra $\hat{\beta}$ proporcionalna je odgovarajućem elementu na dijagonali matrice $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$, dok su kovarijance elementi van dijagonale. Efikasan plan maksimizira informaciju $(\mathbf{X}'\mathbf{X})$, odnosno minimizira varijansu $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$. Kod linearnih modela preferencija, varijaciono-kovarijaciona matrica ne zavisi od parametara koji se procenjuju.

Informaciono bazirani kriterijumi koji se u praksi načešće koriste su D-efikasnost i A-efikasnost. D-efikasnost je funkcija geometrijske sredine sopstvenih vrednosti matrice $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ i data je sa $((\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1})^{1/p}$. A-efikasnost je funkcija aritmetičke sredine varijansi, odnosno $\text{tr}((\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1})/p$. Trag matrice $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ jednak je sumi elemenata na njenoj dijagonali, što je ujedno i suma varijansi ove matrice.

Bez obzira koji se kriterijum efikasnosti koristi, ukoliko postoji izbalansiran i ortogonalan plan, tada će on biti optimalan i obrnuto, što je plan efikasniji, to je bolje izbalansiran i bliži ortogonalnom. Takođe, plan će biti u potpunosti izbalansiran i ortogonalan ukoliko je matrica $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ dijagonalna, a smanjenjem apsolutne vrednosti elemenata na dijagonali, povećava se efikasnost.

Za prikladno (ortogonalno) kodiranu matricu \mathbf{X} dimenzija $J \times p$, mera efikasnosti se može skalirati tako da se kreće u intervalu od 0 do 100. Kriterijum A-efikasnost, nakon skaliranja uzima sledeći oblik:

$$A - \text{efikasnost} = 100 \times \frac{1}{J \cdot \text{tr}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} / p} \quad (3)$$

U slučaju kada je izabrana metoda rangiranja ili ocenjivanja profila, minimalan broj profila u planu eksperimenta treba da bude veći od broja parametara koji se procenjuju, tj. mora da važi:

$$J > p. \quad (4)$$

Važno je napomenuti da mere efikasnosti ne treba posmatrati samo kao apsolutne vrednosti već ih treba koristiti za poređenje planova i izbor najboljeg po istom kriterijumu.

Za kreiranje efikasnog plana eksperimenta razvijene su brojne metode i algoritmi (Esteban-Bravo, Leszkiewicz, & Vidal-Sanz, 2012). Neke od njih su: Dijkstrina sekvencijalna metoda pretraživanja, algoritmi sekvencijalne zamene, algoritmi simultani zamene (Fedorov i modifikovani Fedorov algoritam) i slično.

4. FORMULACIJA MATEMATIČKOG MODELA

Kreiranje efikasnog plana eksperimenta može da se definiše kao sledeći optimizacioni problem: za studiju sa K atributa, gde svaki od njih ima L_k nivoa, potrebno je iz kompletnog plana eksperimenta sa $q = \prod_{k=1}^K l_k$ profila izabrati podskup profila koji maksimizira A-efikasnost pri ograničenjima izbalansiranosti plana. Za formulisanje matematičkog modela ovog problema, pored prethodno uvedene, korišćena je sledeća notacija:

a_{jlk} - binarni parametar koji ima vrednost 1 ako j -ti profil sadrži l -ti nivo atributa K , $l = 1, \dots, L_k$, $k = 1, \dots, K$;

c - maksimalan broj profila u redukovanom planu eksperimenta;

b - parametar neizbalansiranosti profila.

$\mathbf{y} = [y_1, y_2, \dots, y_n]$ - vektor upravljačkih promenljivih takvih da je $y_j = \begin{cases} 1, & \text{ako je } j\text{-ti profil izabran} \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}$

Matematički model maksimizacije efikasnosti (MEPE) ima oblik:

$$\max f(\mathbf{y}) = \frac{p}{\sum_{j=1}^q y_j \cdot \text{tr}((\mathbf{y} \cdot \mathbf{M})(\mathbf{y}' \cdot \mathbf{M}))^{-1}} \quad (5)$$

p.o.

$$\sum_{j=1}^q a_{jkl} y_j - \sum_{j=1}^q a_{jrl} y_j \leq b, \quad k = 1, \dots, K, \quad l, r = 1, \dots, L_k, \quad (6)$$



$$\sum_{j=1}^q y_j \geq p+1 \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^q y_j \leq c \quad (8)$$

$$y_j \in \{0,1\}, j=1,\dots,q \quad (9)$$

Funkcijom cilja (5) maksimizira se A-efikasnost. Matrica \mathbf{M} predstavlja matricu kompletnog plana eksperimenta kodiranu po Helmertovoj proceduri. Množenjem ove matrice vektorom \mathbf{y} dobija se matrica redukovanog plana \mathbf{X} . $\sum_{j=1}^q y_j$ predstavlja ukupan broj profila u redukovanom planu (J). Time se izraz dat u funkciji cilja (5) svodi na A-efikasnost datu izrazom (3). Ograničenjem (6) se obezbeđuje da izabrani podskup profila bude izbalansiran, odnosno da, za svaki atribut, broj ponavljanja njegovih nivoa u izabranim profilima bude približno jednak. Izvorni oblik leve strane ovog ograničenja je $\left| \sum_{j=1}^q a_{jkl} y_j - \sum_{j=1}^q a_{jrl} y_j \right|$. Međutim, apsolutna vrednost se može izostaviti zato što se uslov za balansiranoost može izaziti ograničenjem (6). Potpuna izbalansiranost je dostignuta ako je leva strana ovih ograničenja jednaka nuli. Ograničenje (7) se odnosi na minimalan broj profila, što je dato izrazom (4). Ograničenjem (8) se postiže da broj profila ne pređe granicu kognitivno prihvatljivog broja zadataka za ispitanike. Uslov (9) odnosi se na binarne vrednosti upravljačkih promenljivih.

5. NUMERIČKI REZULTATI

Matematički model određivanja efikasnosti redukovanog plana (MEPE) je testiran na primeru studije manjih dimenzija i izvršeno je poređenje njegovih rezultata sa redukovanim planom eksperimenta dobijenim korišćenjem softvera SPSS. Optimizacija je vršena pomoću Excel Solver-a koji koristi GRG (*Generalized Reduced Gradient*) solver za rešavanje nelinearnih problema. Studijom su obuhvaćena tri atributa od kojih jedan atribut ima četiri a preostala dva po tri nivoa, tzv. $4^1 3^2$ plan. Kompletan plan za ovaj primer sadrži $q = 36$ profila, a broj parametara koji se procenjuju iznosi $p = 7$. Rezultati eksperimenata su prikazani u Tabeli 1. Za svaku od instanci prikazana je A-efikasnost određena na osnovu izraza (3). Neizbalansiranost je izražena kroz razliku između najvećeg i najmanjeg broja pojavljivanja nivoa svakog od atributa u redukovanom planu eksperimenta.

Tabela 1: Rezultati eksperimenta

J	SPSS				MEPE			
	A-efikasnost	Neizbalansiranost atributa			A-efikasnost	Neizbalansiranost atributa		
		Atribut 1	Atribut 2	Atribut 3		Atribut 1	Atribut 2	Atribut 3
16	89,65%	0	4	4	93,51%	0	1	1
15	/				91,21%	1	0	0
14	95,80%	1	2	2	99,04%	2	1	1
13	/				96,95%	1	1	1
12	/				96,33%	0	0	0
11	/				97,59%	1	1	1
10	/				99,00%	2	1	1

SPSS je u svakom od ponavljanja procedure za generisanje redukovanog plana (*Orthoplan*) kreirao planove od po 16 profila jednake A-efikasnosti od 89.65% i jednake izbalansiranosti. U jednom od generisanih planova duplarana su dva profila, čijim je eliminisanjem dobijen plan boljih karakteristika (plan $J=14$ u tabeli 1).



Primenom softvera SPSS nije bilo moguće generisati redukovane profile manjih dimenzija kao ni uticati na broj profila u redukovanom planu eksperimenta, što je primenom MEPE moguće menjanjem vrednosti parametra c u ograničenju (8). Vrednost ovog parametra je varirana u opsegu od 10 do 16. U delu MEPE Tabele 1 se može uočiti da karakteristike planova sa 16 i 14 profila nadmašuju karakteristike planova dobijenih pomoću SPSS-a. Prednost je naročito značajna u postignutoj izbalansiranosti profila. Pored toga, bilo je moguće generisati i planove manjih dimenzija, među kojima je dobijen i plan sa 12 profila koji je potpuno izbalansiran i veće A-efikasnosti (96,33%) od najveće A-efikasnosti dobijene primenom SPSS (95,80%).

Jedan od problema prikom generisanja redukovanog plana eksperimenta, koji se često pominje literaturi koja se bavi ovom oblašću, je problem dupliranja profila u dobijenim planovima (Huertas-García, Nuñez-Carballosa & Miravittles, 2016). Plan $J = 14$ u tabeli 1 dobijen pomoću SPSS-a je takav plan. Način na koji je formulisan MEPE obezbeđuje da dobijeni planovi ne sadrže duplirane profile.

Pored prethodnog, razmatran je i plan 3^3 . I SPSS i MEPE generisali su ortogonalne zrake tj. optimalne planove (apsolutno efikasne i potpuno izbalansirane) sa 9 profila.

6. ZAKLJUČAK

Predmet ovog rada je bio problem određivanja efikasnog Conjoint redukovanog plana eksperimenta koji podrazumeva zadovoljavajuću vrednost izabrane mere efikasnosti eksperimenta i izbalansiranost nivoa atributa uključenih u plan. Pored toga, potrebno je da broj profila u generisanom planu bude kognitivno prihvatljiv za ispitanike. Kako se primenom softvera (u ovom slučaju SPSS) ne može uticati na sve tri karakteristike plana eksperimenta, predložen je pristup kojim se to može postići. Problem generisanja efikasnog redukovanog plana eksperimenta je definisan kao optimizacioni problem kojim se iz skupa svih profila (kompletnog plana eksperimenta) bira broj profila iz zadatog opsega kojim se maksimizira A-efikasnost uz zadovoljenje ograničenja izbalansiranosti. Formulisan je matematički model definisanog problema (MEPE) koji je testiran na studiji malih dimenzija i čiji su rezultati poređeni sa rezultatima dobijenih primenom softvera SPSS.

Numerički rezultati su pokazali da se optimizacijom MEPE mogu generisati efiksani redukovani planovi eksperimenta različitih dimenzija, kao i da ovi planovi imaju bolje karakteristike od planova eksperimenata istih dimenzija dobijenih pomoću softvera SPSS. Pored toga, predloženim pristupom se u potpunosti rešava problem dupliranja profila u redukovanom planu eksperimenta.

Pravci daljeg istraživanja će biti usmereni na efikasnost rešavanja formulisanog modela. S obzirom na nelinearnost funkcije cilja, očekivano je da će trajanje optimizacije za studije velikih dimenzija biti neprihvatljivo veliko. Zbog toga je neophodno razviti odgovarajuću heuristiku. Pored toga, ispitivaće se i mogućnosti definisanja optimizacionih problema u kojima se minimizira broj profila ili neizbalansiranost plana uz zadovoljenje zadatih vrednosti ostalih karakteristika redukovanog plana eksperimenata.

REFERENCE

- [1] Esteban-Bravo, M., Leszkiewicz, A., & Vidal-Sanz, J. M. (2012). Reconsidering optimal experimental design for conjoint analysis. Working Paper, Universidad Carlos III de Madrid,
- [2] Hauser, J. R. (2014). Consideration-set heuristics. *Journal of Business Research*, 67(8), 1688-1699.
- [3] Huertas-García, R., Nuñez-Carballosa, A., & Miravittles, P. (2016). Statistical and cognitive optimization of experimental designs in conjoint analysis. *European journal of management and business economics*, 25(3), 142-149.
- [4] Kuzmanović, M. (2006). Kvantitativne metode u upravljanju marketingom: Primena Conjoint analize. Društvo operacionih istraživača, Beograd.
- [5] Kuzmanovic, M. (2008). The nonstandard algorithm for constructing efficient conjoint experimental designs. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 18(1), 63-74.
- [6] Kuhfeld, W. F. (1997). Efficient experimental designs using computerized searches [Sawtooth Research Paper Series]. *Sequim (WA): Sawtooth Software, Inc.*
- [7] Kuhfeld, W. F., Tobias, R. D., & Garratt, M. (1994). Efficient experimental design with marketing research applications. *Journal of Marketing Research*, 31(4), 545-557.



- [8] Louviere, J. J., Islam, T., Wasi, N., Street, D., & Burgess, L. (2008). Designing discrete choice experiments: do optimal designs come at a price?. *Journal of Consumer Research*, 35(2), 360-375.
- [9] Netzer, O., & Srinivasan, V. (2011). Adaptive self-explication of multiattribute preferences. *Journal of Marketing Research*, 48(1), 140-156.
- [10]Toubia, O., & Hauser, J. R. (2007). Research note—On managerially efficient experimental designs. *Marketing Science*, 26(6), 851-858.



ASYMMETRIC CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOW

VLADIMIR ILIN¹, LUKA MATIJEVIĆ², TATJANA DAVIDOVIĆ², PANOS M. PARDALOS³

¹Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, v.ilin@uns.ac.rs

²Mathematical Institute of the Serbian Academy of Science and Arts, Belgrade, {luka,tanjad}@mi.sanu.ac.rs

³Faculty of Engineering, University of Florida, pardalos@ufl.edu

Abstract: We consider an asymmetric vehicle routing problem that arises when delivering on-line ordered perishable goods to the multiple customers. The main goal is to minimize the total distance traveled while visiting all customers with a limited number of homogeneous vehicles within the pre-specified time window. Problem is formulated as mixed-integer linear program (MILP) with an assumption that the capacity of vehicles as well as the specified time window allow to serve all customers. The developed MILP is used within CPLEX commercial solver to examine its limits with respect to the size of instances that can be solved to optimality.

Keywords: Combinatorial optimization, Routing of homogeneous vehicles, Single depot, Minimization of total distance, Mixed-Integer linear program

1. INTRODUCTION

Vehicle Routing Problem (VRP) is an important combinatorial optimization problem that arises in many everyday situations related to the transportation of goods [7,19,20]. It was proposed in [4] as an abstraction of vehicle scheduling problem. Since then formulation of VRP evolved in many directions based on imposed constraints and different objective functions. In recent review paper [2] 277 articles dealing with various VRPs have been analyzed and their classification with respect to different problem characteristics has been proposed. In this paper we consider three types of constraints added to the classical VRP: asymmetry, capacity and time window constraints.

Asymmetric capacitated VRPs are well-known in the literature and are explained in detail in several books [7,20]. The books show the mathematical formulations, relaxations and recent exact methods for various VRPs, including asymmetric capacitated VRP. VRP with time window was proposed by Russell [16] who presented an effective heuristic for the M -tour traveling salesman problem. Generally, there are two types of time windows that are extensively studied in the literature [13]: hard time windows and soft time windows. Hard time windows imply that time of arrival to the customer's address must belong to the given time window, early and late arrivals are not allowed. Soft time window implies that violation of the time window constraint, with certain penalties, is tolerable.

Asymmetric capacitated VRPs with time windows can be tackled with exact, heuristic, metaheuristics or hybrid methods. Baldacci et al. [1] provided a review of the recent developments on exact algorithms for solving the vehicle routing problems under capacity and time window constraints. A review of the recent heuristics and metaheuristics for various VRPs can be found in [6,10,11]. In addition, a recent article [17] proposed a hybrid algorithm for a class of VRPs, including asymmetric capacitated VRP. Moreover, different hybrid algorithms have been proposed in several papers and implemented for solving VRPs with time windows [14,22].

Most of the previously mentioned papers, as well as some others [5,12,21], have the objective to minimize total distances traveled. Decrease in total kilometers directly impacts money savings for the servicing company and indirectly impacts minimization of CO₂ emissions for the community. In order to describe environmental impacts more accurately, some of the researchers propose that the objective function should contain some additional components, such as total load transported [8,9]. There is also a recent paper [15] that explains how minimization of total distances traveled by vehicles, as well as minimization of total load transported, impact



the decrease in environmental pollution. According to [18] significant savings in fuel consumption can be achieved by delivering heavy items before light ones in a tour. In this paper we adapted Mixed-Integer Linear Program (MILP) formulation from [15] to the considered asymmetric capacitated vehicle routing problem with time window. However, we used different objective function and we applied different solution approach.

The problem addressed in this paper is how to organize delivery of on-line ordered perishable goods to multiple customers scattered within the city and on the periphery of the city from one distribution center with homogenous fleet of vehicles. The problem can be labeled as a generalization of the well-known VRP. The main assumptions are that it is 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. We consider real-life problem that imposes three important constraints during transportation of goods: capacity of vehicles, one-way or temporarily closed directions within the city and predetermined time window for delivery. The first constraint introduces the capacity restrictions, i.e., the vehicles cannot carry more goods than it is defined by their capacity (prefix C to VRP). The second constraint introduces asymmetric weight (cost, distance) matrix (prefix A to CVRP). The third constraint specifies hard time window for vehicles to deliver the goods (suffix TW to ACVRP). Therefore, with previously defined constraints we extend the classical VRP problem to Asymmetric Capacitated VRP with Time Window (ACVRPTW) problem.

The main contribution of this paper is the development of mathematical formulation for the considered ACVRPTW in the form of MILP. This model is used within CPLEX commercial solver to evaluate the limits of the available hardware and software resources. The experimental evaluation is conducted on two real-life examples (one of small-size and one of larger dimension). It shows that the considered ACVRPTW is very complex optimization problem, as the larger example remained unsolved to optimality due to the memory limits of the available hardware.

This paper is organized as follows. After the introduction and the review of relevant literature presented in Section 1, the considered vehicle routing problem is described together with the Mixed-Integer Linear Programming formulation in Section 2. Section 3 contains the experimental evaluation performed on two case study instances using CPLEX commercial solver. Concluding remarks and directions for future work are given in the last section.

2. PROBLEM FORMULATION

The considered asymmetric vehicle routing problem (ACVRPTW) is defined on a complete direct graph $G(N, A)$, where $N = \{0, 1, 2, \dots, n, n+1\}$ is the set of vertices (locations, customers) and $A = \{(i, j) \mid i, j \in N, i \neq j\}$ denotes the set of arcs with weights $d_{i,j}$ representing distances between customers i and j . Vertices 0 and $n+1$ refer to the single 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 $c_i, i=1, 2, \dots, n$ and they represent the weight 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 j (to unload goods, deliver them to a customer and collect money) is considered as parameter St_j whose value is given in advance. In order to make the distribution of customers among vehicles more even, the parameter $Climit$ (representing the maximum number of customers per vehicle) is introduced. Finally, the distribution of goods must be completed during the working hours, and therefore, $Tlimit$ denotes the maximum allowed time for servicing customers (the pre-specified time window).

An example of the considered problem related to the delivery service in the city of Novi Sad is presented in Fig. 1.

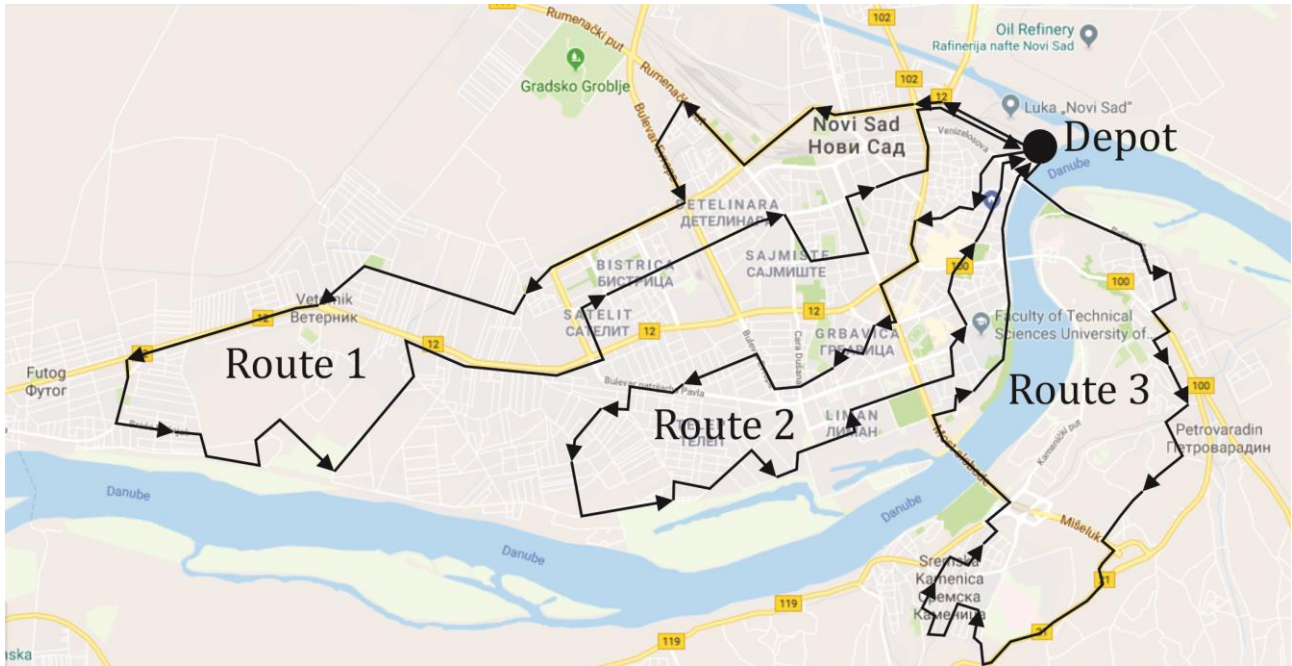


Figure 1: An example of the considered ACVRPTW

In order to provide the mathematical programming formulation of the considered problem, we need two sets of decision variables, binary variables x and real valued variables q defined as:

$$x_{i,j,v} = \begin{cases} 1, & \text{if the customer } j \text{ is visited immediately after } i \text{ by vehicle } k, \\ 0, & \text{otherwise;} \end{cases}$$

$$q_{i,j,v} = \text{load (quantity of goods) of vehicle } v \text{ travelling from customer } i \text{ directly to customer } j.$$

The MILP formulation of our ACVRPTW can be described as follows:

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^{n+1} \sum_{v=1}^{v_{max}} d_{i,j} x_{i,j,v} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^{v_{max}} x_{i,j,v} = 1, \quad 1 \leq j \leq n, \quad i \neq j, \quad 1 \leq v \leq v_{max}, \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{i,j,v} = \sum_{i=1}^{n+1} x_{j,i,v}, \quad 1 \leq j \leq n, \quad i \neq j, \quad 1 \leq v \leq v_{max}, \quad (3)$$



$$\sum_{j=1}^{n+1} x_{0,j,v} \leq 1, \quad 1 \leq v \leq v_{max}, \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^n q_{i,j,v} - \sum_{i=1}^{n+1} q_{i,j,v} = c_j \sum_{i=0}^n x_{j,i,v}, \quad 1 \leq j \leq n, \quad i \neq j, \quad 1 \leq v \leq v_{max}, \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^n q_{i,j,v} - \sum_{h=1}^{n+1} c_h x_{i,j,v} \geq c_j \sum_{i=0}^n x_{j,i,v}, \quad 1 \leq j \leq n, \quad i \neq j, \quad h \neq j, \quad 1 \leq v \leq v_{max}, \quad (6)$$

$$q_{i,j,v} \leq (Q - c_i) x_{i,j,v}, \quad 0 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq n, \quad 1 \leq v \leq v_{max}, \quad (7)$$

$$q_{i,n+1,v} = 0, \quad 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq v \leq v_{max}, \quad (8)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^{n+1} x_{i,j,v} \leq Climit, \quad 1 \leq v \leq v_{max}, \quad (9)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^{n+1} x_{i,j,v} (Tt_{i,j} + St_j) \leq Tlimit, \quad 1 \leq v \leq v_{max}, \quad (10)$$

$$x_{i,j,v} \in \{0,1\}, \quad 0 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq n+1, \quad 1 \leq v \leq v_{max}, \quad (11)$$

$$q_{i,j,v} \geq 0, \quad 0 \leq i \leq n, \quad 1 \leq j \leq n+1, \quad 1 \leq v \leq v_{max}, \quad (12)$$

The objective function (1) to be minimized represents the total distance traveled by all vehicles. Constraints (2) ensure that each customer is served exactly ones. The tours of each vehicle are defined by constraints (3) with the condition that each vehicle can make at most one tour (constraints (4)). Subtour elimination constraints are based on controlling the current load of vehicles [3]. Namely, when leaving the location of customer j , the load of a vehicle must decrease exactly for the demand of that customer (constraints (5)). In addition, when arriving to location of customer j the vehicle must contain enough goods to satisfy the demand of that customer (constraints (6)). Constraints (7) are related to the capacity constraints while constraints (7) impose that all customers must be served, i.e., each vehicle must be empty upon returning to the depot. Uniform distribution of customers among vehicles is ensured by constraints (9), while constraints (10) control the time limit for serving customers. Finally, constraints (11) and (12) control the nature of the decision variables. As can be seen from the proposed model, mathematical formulation of the considered ACVRPTW contains $n^2 v_{max}$ binary variables, $n^2 v_{max}$ real valued variables and $n-1+(n^2+4n)v_{max}$ constraints.

3. EXPERIMENTAL EVALUATION

We consider the following case study to evaluate the limits of the proposed model and the available hardware and software resources. Distribution company in the city of Novi Sad has a fleet of three vehicles and delivers goods to customers situated in the city and on the periphery of the city. Each customer has the opportunity to order different goods (including perishable goods) during one day and to expect delivery of ordered goods the next day.

Each vehicle in the fleet has a capacity of 3,5 tones and that is more than enough to deliver all ordered goods. Therefore, the main assumption is that all customers' demands can be served. There are two shifts during a



day for delivering goods to customers. The first shift starts at 10 am and finishes at 3 pm. The second shift starts at 4 pm and finishes at 8 pm. The orders to be delivered during the first shifts are served by three vehicles, while for the second shift only two vehicles are used. The maximum number of customers in first shift is 55, while in the second shift 45 customers can be served per day.

The experiments are performed on Intel Core i7-2600 processor on 3.40GHz with 12GB RAM memory under Linux operating system. CPLEX 12.6.2 commercial solver is used as an exact solution method. The obtained solutions are presented in Table 1.

Table 1: CPLEX results for the two tested examples

Example	Obj. value(% gap)	CPU time [s]
EX1 (first shift)	60.99(18.77)	129600.00
EX2 (second shift)	50.69(00.00)	1102.19

For the larger example (first shift), CPLEX was not able to provide the optimal solution due to the memory limit. Therefore, in the second column of Table 1 we present the upper bound obtained after 36 hours of execution and the corresponding gap in the parentheses. The smaller example (second shift) is solved to optimality for little more than 18 minutes. The main conclusion from these results is that real-life examples are too large to be solved optimally by the currently available hardware and software resources. It implies that the application of alternative (heuristic, metaheuristic, approximation) methods is necessary and indicates directions for future research related to the considered ACVRPTW.

4. CONCLUSION

We considered the asymmetric capacitated vehicle routing problem with pre-specified time interval for serving the customers. This variant of the vehicle routing problem arises from the real-life application of delivering on-line ordered perishable goods to multiple customers with homogenous fleet of vehicles. The mathematical formulation of the considered problem is proposed in this paper in the form of Mixed-Integer Linear Program. The proposed formulation is used within the CPLEX commercial solver to examine the limits of the available hardware and software resources. Experiments performed on two real-life case study examples shows that the instance with 55 customers to be served by 3 vehicles already exceeds the memory limits of the available computing platform. Therefore, the obvious direction of future research is the application of metaheuristic methods. In addition, one could consider more general cases involving dynamic and/or stochastic variants of the problem, i.e., the cases when some of the parameters are not given in advance or some of the customers are not at home to collect the ordered goods.

Acknowledgement

This research was partially supported by Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development under the grants nos. OI-174033 and III-044006.

REFERENCES

- [1] Baldacci, R., Mingozzi, A., Roberti, R. (2012). Recent exact algorithms for solving the vehicle routing problem under capacity and time window constraints. *European Journal of Operational Research*, 218(1), 1-6.
- [2] Braekers, K., Ramaekers, K., Van Nieuwenhuyse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 99, 300-313.



- [3] Cinar, D., Gakis, K., Pardalos, P.M. (2016). A 2-phase constructive algorithm for cumulative vehicle routing problems with limited duration. *Expert Systems with applications*, 56, 48-58.
- [4] Dantzig, G.B., Ramser, J.H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.
- [5] Du, T.C., Li, E.Y., Chou, D. (2005). Dynamic vehicle routing for online B2C delivery. *Omega*, 33(1), 33-45.
- [6] Gendreau, M., Potvin, J.Y., Bräumlaysy, O., Hasle, G., Løkketangen, A. (2008). Metaheuristics for the vehicle routing problem and its extensions: A categorized bibliography. In Golden, B.L., Raghavan, S., Wasil, E.A. (Eds.), *The vehicle routing problem: latest advances and new challenges*, vol. 43 (143-169). Springer.
- [7] Golden, B.L., Raghavan, S., Wasil, E.A. (Eds.). (2008). *The vehicle routing problem: latest advances and new challenges*, vol. 43, Springer Science & Business Media.
- [8] Kara, I., Kara, B.Y., Yetis, M.K. (2007). Energy minimizing vehicle routing problem. *Proceedings of the International Conference on Combinatorial Optimization and Applications (COCOA 2007)*, Xi'an, China, 62-71.
- [9] Kopfer, H.W., Kopfer, H. (2013). Emissions minimization vehicle routing problem in dependence of different vehicle classes. *Proceedings of the Third International Conference on Dynamics in logistics, (LDIC 2012)*, Bremen, Germany, 49-58.
- [10] Labadie, N., Prins, C., Prodhon, C. (2016). *Metaheuristics for Vehicle Routing Problems, Metaheuristics Sets*, vol. 3. ISTE Ltd. and Willey & Sons Inc. Laporte, G., Ropke, S., Vidal, T. (2014). Heuristics for the vehicle routing problem. In Toth, P., Vigo, D. (Eds.), *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*, (2nd ed.). 87-116. MOS-SIAM Series on Optimization, SIAM.
- [11] Leggieri, V., Haouari, M. (2018). A matheuristic for the asymmetric capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 234, 139-150.
- [12] Lin, C., Choy, K.L., Ho, G.T.S., Chung, S.H., Lam, H.Y. (2014) Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1118-1138.
- [13] Luo, J., Li, X., Chen, M.R., Liu, H. (2015). A novel hybrid shuffled frog leaping algorithm for vehicle routing problem with time windows. *Information Sciences*, 316, 266-292.
- [14] Qiu, Y., Qiao, J., Pardalos, P.M. (2017). A branch-and-price algorithm for production routing problems with carbon cap-and-trade. *Omega*, 68, 49-61.
- [15] Russell, R.A. (1977) An effective heuristic for the M -tour traveling salesman problem with some side conditions. *Operations Research*, 25(3), 517-524.
- [16] Subramanian, A., Uchoa, E., Ochi, L.S. (2013). A hybrid algorithm for a class of vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 40(10), 2519-2531.
- [17] Suzuki, Y. (2011). A new truck-routing approach for reducing fuel consumption and pollutants emission. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(1), 73-77.
- [18] Toth, P., Vigo, D. (Eds.). (2002). *The vehicle routing problem*. SIAM.
- [19] Toth, P., Vigo, D. (Eds.). (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*. (2nd ed.). MOS-SIAM Series on Optimization, SIAM.
- [20] Wang, X., Ruan, J., Shi, Y. (2012). A recovery model for combinational disruptions in logistics delivery: Considering the real-world participators. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 508-520.
- [21] Zhang, D., Cai, S., Ye, F., Si, Y.W., Nguyen, T.T. (2017). A hybrid algorithm for a vehicle routing problem with realistic constraints. *Information Sciences*, 394, 167-182.



2018

***MEKA I BIHEJVIORALNA
OPERACIONA
ISTRAŽIVANJA***



MERENJE STEPENA ISCRPLJENOSTI OSOBLJA TEHNIČKE PODRŠKE RADIO TELEVIZIJE SRBIJE

MEASURING THE LEVEL OF EXHAUSTION TECHNICAL SUPPORT STAFF TO SERBIAN BROADCASTING CORPORATION

SANJA ŽIVKOVIĆ¹

¹ Radio televizija Srbije, sanja.zivkovic@rts.rs

Rezime: U radu se istražuje uticaj organizacione sredine na sagorevanje zaposlenih i da li područje rada može imati uticaja na sagorevanje zaposlenih. Shodno tome, istražuje se uticaj slike o sebi uslovljene produktivnošću na stepen sagorevanja osoblja tehničke podrške Radio-televizije Srbije, kao i zadovoljenje njihovih osnovnih ljudskih potreba. Mada u istoj ustanovi rade, rezultati upitnika novinara RTS-a i tehničke podrške se razlikuju. U uzorku novinara Radio televizije Srbije više je osoba, koje imaju znakove sagorevanja, među njima je manje radno iscrpljenih (wornout), a dva puta više ih sagoreva nego u grupi tehničke podrške. Razlike u stepenu sagorevanja između dva uzorka su minimalne, ali statistički značajne, i najverovatnije su posledica različitih radnih opterećenja, jer nema značajnih razlika u rezultatima slike o sebi i zadovoljenosti potreba.

Ključne reči: burnout, tehnička podrška, područje rada, slika o sebi

This paper examines the impact of organizational environment on the burnout of employees and whether the work area may affect the burnout employees. Accordingly, explores the impact of self-image caused by liberalized results - personal productivity achieved at the level of exhaustion technical support staff of Serbian Broadcasting Corporation, as well as the satisfaction of their basic human needs. While working in the same institution, the results of the questionnaire RTS journalists and technical support vary. In the sample of journalists of Serbian Broadcasting Corporation more persons who have signs of burning, among them is less work exhausted (wornout), and two times more than burning them in a group of technical support. Differences in the degree of burnout between the two samples are minimal, but statistically significant, and most likely the result of different workloads, because there is no significant difference in the results of self-image and satisfaction need.

Keywords: burnout, technical support, field of work, self-image

1. UVOD

Cilj istraživanja je utvrđivanje stepena sagorevanja osoblja tehničke podrške Radio televizije Srbije i utvrđivanje razlika stepena njihovog sagorevanja i sagorevanja novinara iste medijske kuće. Ovo istraživanje je nastavak ispitivanja stepena sagorevanja zaposlenih u medijima. U prethodnom radu "Sindrom sagorevanja novinara Radio televizije Srbije" (Živković, Devjak, 2014) kao komparativna osnova su upotrebljeni rezultati identičnog istraživanja sprovedenog kod novinara u Sloveniji i novinara Informativnog programa Radio-televizije Srbije. „Burnout“ se u najkraćem opisuje kao psihofizička ili emocionalna iscrpljenost (Pšeničny, 2009). Istraživanjem se utvrđivalo da li slika o sebi uslovljena produktivnošću utiče na stepen stepen sagorevanja osoblja tehničke podrške Radio televizije Srbije. Dobijeni rezultati su potom upoređeni sa ranije utvrđenim rezultatima anketiranog uzorka novinara iste medijske kuće. Ispitivanjem su obuhvaćeni novinari u Informativnom programu Radio televizije Srbije u periodu od 27. avgusta do 8. septembra 2009. godine, dok je anketiranje tehničke podrške sprovedeno u periodu od 10. do 19. maja 2010. godine. Istraživanjem se ispitalo sagorevanje osoblja tehničke podrške Radio-televizije Srbije, slika o sebi uslovljena produktivnošću



osoblja tehničke podrške po polovima, kao i stepen zadovoljenja osnovnih potreba. U istraživanju je učestvovalo 57 ispitanika tehničke podrške.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA SAGOREVANJA OSOBLJA TEHNIČKE PODRŠKE RADIO-TELEVIZIJE SRBIJE

2.1. Upitnik sindroma adrenalne sagorelosti

Upitnik sindroma adrenalne sagorelosti „Instituta za ljudske resurse“ u Sloveniji, prethodno prilagođen za anketiranje novinara u Srbiji za potrebe rada „Sindrom sagorevanja novinara RTS-a“ (Živković, Devjak 2014), korišćen je i u nastavku istraživanja. Tom upitniku je pridodat i upitnik SPS (SPS-storilnostno pogojena samopodoba), odnosno slika o sebi uslovljena produktivnošću. Upitnik preuzet sa sajta www.burnout.si sadrži ukupno 271 pitanje i pokazuje stanje iscrpljenosti i osećanja u poslednjih 12 meseci. Sadrži četiri grupe pitanja koji se odnose na fizičke i emocionalne znakove, te znakove ponašanja i kognitivne znakove. Dakle, simptomi sagorevanja i sagorelosti se pojavljuju na četiri područja i emituju promene u fizičkom, čulnom i kognitivnom području kao i promene u ponašanju. Proces sagorevanja se stepenuje intenzitetom simptoma, kao i njihovim brojem. Upitniku SAI pridodat je i upitnik SPS koji pokazuje stepen slike o sebi uslovljene produktivnošću, s obzirom na to da je slika o sebi bitan činilac u pojavi sindroma sagorelosti.

Istraživanja otkrivaju da je kod sagorelog čoveka slika o sebi negativna (Hallsten, Josephson, Targen, 2005), podvrgnuta neprestanom vrednovanju sebe. U takvoj situaciji sopstvena dostignuća uvek se upoređuju sa dostignućima drugih u referentnom okruženju. Potreba za održavanjem pozitivne slike o sebi je za Hallstena, koji je istraživanje radio u Švedskoj, glavni razlog za sagorelost. Razdvaja dve vrste iscrpljenosti: „Wornout“ odnosno radnu iscrpljenost, koja je posledica spoljašnjih zahteva i opterećenja, i „Burnout“ odnosno sagorelost, koji nastaje kao posledica napora da bi se održala visoka slika o sebi. (Živković, 2011). Izgaranje se može shvatiti kao proces, kao rezultat neuspešnih pokušaja da bi se došlo do ostvarenja koja su sastavni deo samovrednovanja, da bi se održala pozitivna slika o sebi. Burnout je dekompenzacija, što je konačni rezultat procesa samoiscrpeljivanja kroz nadkompenzovane aktivnosti (Pšenični, Perat, 2016).

U radu se koristi više naučnih metoda kao što su: statistička metoda, metoda uzorkovanja, metoda analize i sinteze, metoda apstrakcije i konkretizacije, metoda generalizacije i specijalizacije, metoda dokazivanja i opovrgavanja, metoda klasifikacije, metoda anketiranja, metoda analize i metoda komparacije. Po završetku anketiranja upoređeni su dobijeni rezultati dve anketirane grupe.

3. POJAM I FAZE SAGOREVANJA

Početak 21. veka, odmah nakon što je akademska javnost počela da uviđa da se sindrom izgaranja ne javlja samo kod onih koji se tokom obavljanja posla nalaze u neposrednom radu sa ljudima, u većini zemalja Zapadne Evrope izgaranje na radu je postalo važno pitanje (Bakker, Demerouti, 2017). Sa definisanjem izgaranja i angažovanosti nastupio je period intenzivnih istraživanja antecedentata i konsekvenci ovih fenomena (Bakker, Demerouti, Sanz Vergal, 2014). Zaposleni sa više radnih zahteva izgaraju više od onih sa manje zahteva na poslu. Utvrđeno je da zaposleni sa više resursa na radu odnosno sa više kontrole i socijalne podrške radno angažovaniji od njihovih kolega sa manje dostupnih resursa (Popov, Radošević, Jelić, Matanović, 2018).

Sindrom sagorevanja (burnout) na radu javlja se kod osoba koje su kontinuirano bile posvećene svom poslu, i kada njihovo žrtvovanje nije bilo dovoljno da bi se postigli željeni ciljevi. Te osobe su kroz duži vremenski period bile izložene stresorima na radnom mestu. Sredinom sedamdesetih prošlog veka pojavili su se prvi naučni radovi fenomena „burnout“ (Freudenberger, 1974; Maslach, 1976). Tih godina i ranih osamdesetih pominje se termin „burnout“ u naslovima radova i knjiga. To potvrđuje presek podataka iz nacionalnog istraživanja (Hallsten, 2004), koje je rađeno u Švedskoj. U grupi u kojoj je rađeno istraživanje zapažen je porast umora, problema pri snu i porast anksioznosti (Živković, 2011). Te tendencije najviše utiču na proces sagorevanja.



Pšeničný (2009) opisuje burnout kao proces koji počinje s fazom iscrpljenosti (osoba radi vrlo malo, negira hronični umor, i pokušava ga nadvladati aktiviranjem novih izvora ličnosti), koja može trajati i do dvadeset godina to je faza A. Nakon toga sledi faza B, u kojoj se ljudi osećaju sve više iscrpljeni, s osećajem krivice, i zaglavljani u svoj način rada, uspostavljanja i održavanja odnosa. Zatim dolazi faza C; Ovde su svi simptomi na vrhuncu. Ljudi pokušavaju da ostanu aktivni i uspešni, ali su sve manje uspešni u tome. Ovo stanje traje nekoliko meseci i na kraju rezultira kao psihološki poremećaj s jakim simptomima depresije i anksioznosti, što može trajati od nekoliko nedelja do 3 meseca. Faza D; nadbubrežno izgaranje predstavlja gotovo potpuni gubitak energije. Sam raspad traje kratko. Osoba se oseća ranjivo i nema dovoljno energije za održavanje odbrambenog mehanizma (Bostjančić, Koračin, 2014).

Smanjeno lično postignuće odnosi se na opadanje osećaja kompetencije i uspešnih rezultata u radu s ljudima. Dugotrajna opterećenost za koju se oseća da je savladiva (prvi i drugi stepen sagorevanja) neprestano podstiče osu hipotalamus-hipofiznu-adrenalnu žlezdu (HHA) i povećava izlučivanje kortizola. Konačna posledica hronične hiperaktivnosti HHA-ose je smanjena odzivnost i blokada signala te ose. Posledica je smanjeno izlučivanje kortizola (3. Step en sagorevanja – Sindrom adrenalne saglorelosti) (Živković, 2011).

3.1. Rasprostranjenost sagorevanja

Evropska agencija za sigurnost i zdravlje na radu objavila je da je rad povezan sa sagorevanjem u porastu u Evropskoj uniji (Evropska agencija za sigurnost i zdravlje na radu, 2009). Sagorevanje na poslu se manifestuje kao depersonalizacija, smanjena učinkovitost i emocionalna iscrpljenost. To uključuje razne simptome koji mogu uticati na nastajanje psihosomatskih i psiholoških posledica; Osim toga, ovi ljudi mogu imati problema u međuljudskim odnosima, oni mogu promeniti svoje mišljenje o radu i životu, njihova produktivnost može se smanjiti, a nivo izostajanja može se povećati (Bostjančić, Koračin, 2014). Da li je izostanak sa posla u vidu bolovanja povezan sa sindromom sagorevanja u ranijem istraživanju rađenom u RTS-u, nije bilo moguće utvrditi. Broj zaposlenih na bolovanju u tehničkoj službi je u nekim mesecima i duplo veći u poređenju sa brojem novinara na bolovanju Informativnog programa. To je najverovatnije posledica zbirnih podataka tehničke podrške televizije, koja se vodi na jednom mestu, dok je u prvom slučaju, reč samo o delu organizacione celine, Informativnom programu. Teško je utvrditi da postoji uzročna posledična veza iscrpljenosti odnosno sagorevanja na poslu sa brojem upisanih na bolovanju (Živković, 2011).

Sve je više problem sagorevanja na radu predmet istraživanja u raznim oblastima društva. Početkom 1970-ih Rapaport i saradnici prvi su u oblasti medicine opisali da su dual-manager parovi sa više verovatnoće da će se suočiti s ozbiljnim teškoćama u nastojanju da usklade radne i porodične obaveze. Dual-karijera znači veću predanost i radno opterećenje na oba člana para: u tim porodicama žene ređe poremete svoje radne obaveze. Iako nema direktne veze sa tehničkim osobljem koje je predmet istraživanja ovog rada, postoje situacije koje su zajedničke u pogledu radnih uslova. Među njima su dugo i često nepredvidivo radno vreme i poteškoće u usklađivanju rada vezane za smenski rad. Srednji i visok nivo depresonalizacije, kao i visok nivo konflikta, bili su više izraženi među doktorima čiji su partneri takođe lekari. Multivarijantna analiza pokazala je da partnerski odnos među lekarima značajan faktor rizika za depresonalizaciju. Depresonalizacija razvijena u toku burnout-a može biti odgovor na „dvostruko“ emocionalno opterećenje koje utiče na doktore koji žive u dualnim, karijera-partner odnosima. (Györff, Dweik, 2015).

4 SINDROM SAGOREVANJA I ORGANIZACIJA RADA

Kretanje radnog učinka nije srazmerno promeni intenzivnosti rada. Sve dok intenzivnost rada ne dostigne određeni nivo, učinak rada je jednak nuli. Nivo intenzivnosti rada pri kojem je radni učinak jednak nuli predstavlja donju granicu intenzivnosti rada. Sa povećanjem intenzivnosti rada u odnosu na donju granicu, učinak najpre raste progresivno u odnosu na porast intenzivnosti, a zatim regresivno. Na određenoj vrednosti prestaje svako dalje povećanje učinka, uprkos tome što se utrošak bioenergije radnika i dalje povećava. Nivo intenzivnosti rada na kome povećanje intenzivnosti rada ne dovodi do daljeg porasta učinka predstavlja gornju granicu intenzivnosti rada. Između gornje i donje granice intenzivnosti rada nalazi se i optimalni intenzitet rada, koji treba da prihvatimo kao standardni. (Jaško, 2013). Svako odstupanje od standardnog intenziteta rada ima za posledicu suvišno, organizacijom uslovljeno, trošenje radne snage.



Važan faktor u motivaciji za rad je ocena pojedinca o pravičnosti ili odnosa između doprinosa koje zaposleni postižu u radu i nagradu koju za taj trud dobijaju (Dulanović, Jaško, 2007). Pojedinaac u organizaciji ne samo da procenjuje sopstveni trud sa onim što od organizacije dobija kao što su plata, dodatne privilegije, status, prestiž, već taj odnos upoređuje sa drugima zaposlenima, u ili van organizacije. Prema ovoj teoriji, pojedinci u organizaciji su motivisani kada pretpostavljaju da će dobiti nagradu koja je u skladu sa uložnim trudom. Sud koji u vezi sa tim ljudi donose vezan je za lično mišljenje i standard o tome šta je to pravedna nagrada za njega.

Pojedini autori navode da su neke profesije u oblasti zdravstvene delatnosti podložnije razvoju sindroma izgaranja, dok drugi sugerišu da karakteristike samog posla nisu najznačajniji uzročnici izgaranja na radu, već da primarnu ulogu u njegovom nastanku imaju psihosocijalni aspekti radnog mesta (Jovanović, Krajnović, Mihajlović, Marinković, 2017). Analiza za samoprocenu sindroma izgaranja pokazala je da se najviši stepen izgaranja ispoljava u dimenziji umanjenog ličnog dostignuća. Prosečne vrednosti asertivnosti bile su najmanje kod osoba sa najvišim nivoom emocionalne iscrpljenosti, depersonalizacije i najvišim nivoom neefikasnosti na skali profesionalnog postignuća (Jovanović, Krajnović, Mihajlović, Marinković, 2017).

5. SINDROM SAGOREVANJA OSOBLJA TEHNIČKE PODRŠKE RTS- A

Iz analize rezultata se vidi da su ispitanici pokazali da postoji pozitivna veza između stepena sagorevanja (SSI) i slike o sebi uslovljene produktivnošću (SPS), što znači da je sa višim stepenom SPS-a viši i stepen sagorevanja. Posle anketiranja osoblja tehničke podrške, rezultati su razvrstani na četiri stepena, i tako ukazuje koliko je kod pojedinca izražen sindrom adrenalne sagorelosti (SAI). Većina anketiranih ispitanika tehničkog osoblja nema znakova sagorevanja, a 25 odsto ih je u 1. i 2. stepenu sagorevanja, nijedan nije u 3. i 4. stepenu sagorelosti.

Tabela 1: Stepenu sagorevanja osoblja tehničke podrške RTS

RAZRED IZGORELOSTI		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent		
Valid	bez znakova	42	73.68	73.684	73.6 8		
	1. razred	14	24.56	24.561	98.2 5		
	2. razred	1	1.754	1.7544	100		
	3. razred	0	0	0			
	4. razred	0	0	0			
	Total	57	100	100			



Tabela 2: Stepen sagorelosti, zadovoljenja potreba, i slika o sebi uslovljena produktivnošću osoblja tehničke podrške po polovima

Group Statistics	POL	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
STEPEN SAGORELOSTI SAI	Muški	38	0.143	0.242	0.039
	Ženski	16	0.316	0.3685	0.092
SPS	Muški	38	2.675	0.8861	0.144
	Ženski	16	2.427	1.1262	0.282
ZADOVOLJENOST POTREBA	Muški	38	3.457	0.6487	0.105
	Ženski	16	3.148	0.9544	0.239

Rezultati pokazuju da je više kandidata za sagorelost kod ženskog pola. Kod žena je u proseku duplo više kandidata za izgorelost ($M=0.316$), nego kod muškaraca ($M=0.143$), dok nema značajnih razlika u slici o sebi uslovljenom produktivnošću. Takođe, kada je reč o zadovoljenosti potreba, nema značajnijih razlika, ali ipak muški pol ima nešto zadovoljenije potrebe. Po godinama starosti rezultati u stepenu sagorevanja se takođe razlikuju. Ispitanici tehničke podrške do 20 godina stepen sagorelosti je u proseku $M=0.185$, od 20 do 30 godina $M=0.138$, od 30 do 40 godina $M=0.249$, 40 do 50 godina $M=0.031$, više od 50 godina $M=0.498$. U uzorku se vidi da je najviše kandidata za sagorevanje u životnoj dobi od 30 do 40 godina starosti. Ispod proseka (SPS) slika o sebi uslovljena produktivnošću, kod žena je $M=0.208$, iznad proseka je $M=0.554$. Ispod proseka SPS kod muškaraca je $M=0.127$, iznad proseka slika o sebi uslovljena produktivnošću je $M=0.192$. Ovi podaci otkrivaju da je više kandidata za sagorevanje kod anketiranih žena osoblja tehničke podrške. Tu je otvoren prostor za dalje istraživanje, jer žene u istom području rada sagorevaju više u odnosu na muškarce. Kod tehničke podrške je neugroženih 46%, odnosno bez znakova sagorelosti i sa slikom o sebi uslovljenom produktivnošću ispod proseka, 28% je kandidata za sagorevanje, radno iscrpljeno 10% i 16% je u procesu je sagorevanja. Kod novinara je 34% njih neugroženo, 27% kandidata za sagorevanje, 8% ih je radno iscrpljeno i 31% u procesu sagorevanja.

6. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Upitnik otkriva razlike u stepenu iscrpljenosti između novinara i tehničke podrške RTS-a. Većina ispitanika tehničkog osoblja nema znakova sagorevanja, a 25 odsto ih je u 1. i 2. stepenu sagorevanja, nijedan nije u 3. i 4. stepenu sagorelosti. Komparativna analiza pomaže organizacijama da na osnovu rezultata iz okruženja poboljšava sopstvene performanse. Mada u istoj ustanovi rade, rezultati upitnika koji su popunjavali novinari RTS-a i tehničke podrške se razlikuju. Obradeni podaci pokazuju da su novinari iscrpljeniji od tehničke podrške. U uzorku nema sagorelih u pravom smislu, odnosno nisu u trećem i četvrtom stepenu sagorevanja, nego su u procesu sagorevanja.. Istraživanjem je utvrđeno da je 46% u uzorku zaposlenih u tehnici neugroženo, 28% njih su kandidati za sagorevanje, 10% ih je radno iscrpljeno, a 16% ih sagoreva, odnosno u procesu su sagorevanja. Ispitanici tehničke podrške do 20 godina stepen sagorelosti je u proseku $M=0.185$, od 20 do 30 godina $M=0.138$, od 30 do 40 godina $M=0.249$, 40 do 50 godina $M=0.031$, više od 50 godina $M=0.498$. Stariji i ljudi sa dužim radnim stažom imaju tendenciju da budu zadovoljniji poslom nego oni sa manjim stažom. To je zato što čovek vremenom postaje bolji u svom poslu, daje veće rezultate, pa je bolje i nagrađivan. Međutim možda čak i oni koji nisu bili u zadovoljni poslom, ako su na njemu ostali duže, racionalizuju svoju inertnost time što sebe ubeđuju da su zadovoljni tim poslom.



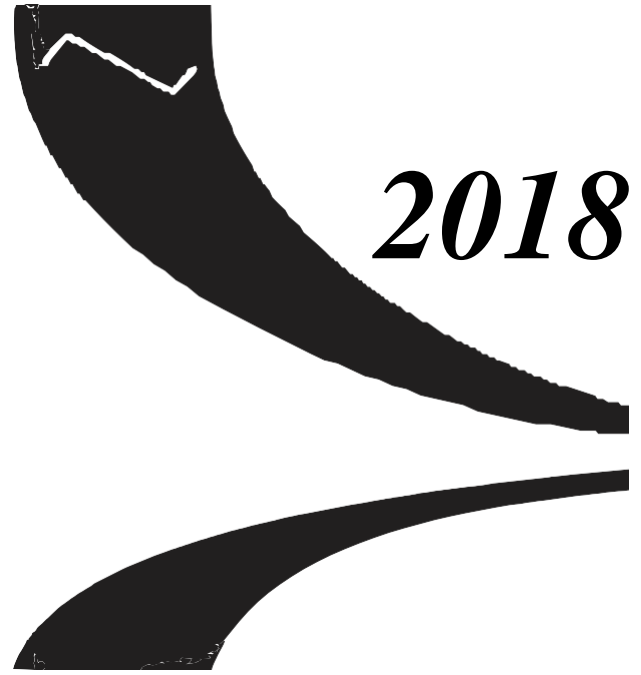
7. ZAKLJUČAK

Sindrom sagorevanja na radu iz godine u godinu predmet je većeg interesovanja naučnika iz raznih oblasti zbog njegovog značajnog finansijskog i socijalnog efekta koji proizilazi iz nezadovoljstva zaposlenih radnim mestom i njegovih posledica na fizičko i psihičko zdravlje zaposlenih. Poboljšanje uslova i organizacije rada dovelo bi do manje iscrpljivanja na poslu, što bi doprinelo i boljim rezultatima u organizaciji, ali i zadovoljstvu zaposlenih

Na osnovu navedenih rezultata može se zaključiti da na stepen iscrpljenosti zaposlenih utiče područje rada (Živković, 2011). Podaci dobijeni kroz upitnik takođe otkrivaju razlike u rezultatima uzoraka novinara RTS-a i tehničkog osoblja. U uzorku novinara više je osoba koje imaju znakove sagorevanja, među njima je manje radno iscrpljenih (wornout), a dva puta više ih sagoreva nego u grupi televizijske tehničke podrške. Razlike u stepenu sagorevanja između ta dva uzorka odnosno uzorka novinara i zaposlenih u tehnici su minimalne, ali su statistički značajne i najverovatnije su posledica različitih radnih uslova i opterećenja, jer nema značajnih razlika u rezultatu slike o sebi i zadovoljenosti potreba. Na osnovu svega može se zaključiti da stepen iscrpljenosti zavisi od područja rada. Rezultati otvaraju prostor za dalje istraživanje, imajući u vidu da su na istom području rada žene podložnije procesu sagorevanja u odnosu na kolege. Takođe je uočeno da je najviše kandidata za sagorevanje u životnoj dobi od 30 do 40 godina starosti.

LITERATURA

- [1] Bakker, A.B., & Demerouti, E. (2017) Job demands resources theory: Taking stock and looking forward. *Journal of Occupational Health Psychology*, 22(3), 273-285. doi:10.1037/ocp0000056
- [2] Bakker, A.B., Demerouti, E., & Sanz-Vergel, A.I. (2014). Burnout and Work Engagement: The JD-R Approach. *Annual Review of Organizational Psychology and Organisational Behavior*, 1(1), 289-411. doi:10.1146/annurevpsych-031413-091235
- [3] Boštjančič E. & Koračin N. (2014) Returning to work after suffering from burnout syndrome: Perceived changes in personality, views, values, and behaviors connected with work, *PSIHOLOGIJA*, 2014, Vol. 47(1), 131-147
- [4] Dulanović Ž., Jaško O., *Organizaciona struktura i promene*, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 2007
- [5] Györfy Z. & Dweik D. Work-load, burnout and mental health of dual-doctor couple *Psihijat.dan./2015/47/1/43-59/*
- [6] Jaško O., *Osnovi organizacije i menadžmenta*, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, (2013)
- [7] Popov B., Radošević V. Jelić D., J. Matanović, *Primenjena psihologija*, 2018, Vol. 11(1), str. 105-125
- [8] Pšeničny A. (2009) Recipročni model izgorelosti: Povezanost med interpersonalnim i intrapersonalnim dejavniki nastanka sindroma izgorelosti. Doctoral dissertation.
- [9] Pšeničny A., Perat A. ALI JE IZGORELOST LAHKO POSLEDICA OSEBNOSTNIH MOTENJ? Inštitut za razvoj človeških virov 2016
- [10] Živković S., Devjak S. (2014) „Burnout syndrom of the Radio television of Serbia Journalists“, *International Journal for Quality Research* 8(3) 355-346, ISSN 180-6450
- [11] Živković S. „Merenje stepena iscrpljenosti u funkciji razvoja organizacije rada u javnom sektoru“, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, (2011)



2018

MEKO RAČUNARSTVO



EVALUACIJA ANKETIRANJA RAZLIČITIH GRUPA RESPONDENATA POMOĆU TRI NIVOA AGREGACIJE

THE THREE LEVELS OF AGGREGATION FOR EVALUATING QUESTIONNAIRES FROM THE DIFFERENT RESPONDENTS' GROUPS

MIROSLAV HUDEC

Faculty of Economic Informatics, University of Economics in Bratislava, Slovakia, miroslav.hudec@euba.sk

Rezime: Kod prikupljanja mišljenja od različitih grupa respondenata nailazimo na probleme različitog nivoa znanja i iskustava i različit broj respondenata po grupama (ili razni brojevi ispunjenih anketnih listića). Moguće rešenje je prilagodljivi upitnici sa različitim brojem pitanja i drugačija detaljnost odgovora opisanih lingvističkim izrazima. Za rangiranje problema ili softverskih alata, koji su predmet anketa, predložena je agregacija na tri nivoa: zbir odgovora pojedinačnog respondenta, agregacija fazi relativnim kvantifikatorom na nivou grupe i geometrijska sredina za agregaciju između grupa. U radu je obrazložen izbor ovih funkcija i prikazana primena na primeru.

Gljučne reči: Lingvistička promenljiva, Mešovite funkcije agregacije, Geometrijska sredina, Fazi kvantifikator, Anketa.

Abstract: The collection of opinions from the various respondents' groups copes with the problems of different levels of knowledge and experiences among groups, and various number of respondents (or number of filled questionnaires) in groups. The possible solution is flexible questionnaire design, which differ in number of questions and in granularities of answers expressed by linguistic terms. For ranking software tools or topics, the three-level aggregation is suggested: sum of answers for each respondent, aggregation by fuzzy relative quantifier on the group level and aggregation by geometric mean among groups of respondents. The reason for selecting these functions is explained in the paper and illustrated on example.

Keywords: Linguistic Variable, Mixed Aggregation Functions, Geometric Mean, Fuzzy Quantifier, Survey.

1. UVOD

Prikupljanje podataka i mišljenja pomoću anketa je široko rasprostranjeno. Ova oblast je teorijski dobro pokrivena. Problem nastaje kada želimo prikupiti na primer mišljenja o korisnosti softvera od različitih grupa korisnika u preduzeću (Rakovská and Hudec 2018) radi ocene korisnosti i podrške najkorisnijim. Sličan problem nastaje kada želimo saznati koji su najznajčajniji problemi za različite grupe ljudi unutar *smart* gradova. Najpogodnije su agregacije na intervalu $[0, 1]$, jer kod ovih agregacija vrednost 1 označava najkorisniji alat ili najvažniji problem a 0 predstavlja suprotnost.

Pod pojmom različite grupe korisnika mislimo na obične korisnike, profesionalne korisnike i eksperte kod evaluacije softverskih alata (Rakovská and Hudec 2018) ili građane, dispečere, lokalnu samoupravu i eksperte kod evaluacije problema *smart* gradova (Portmann and Finger 2016). Opšti problem kod prikupljanja podataka anketama je nevolja respondenata da učestvuju zbog osećaja opterećenja tzv. *respose burden* (Giesen 2011). U ovom tipu prikupljanja mišljenja dodatni problemi su različit nivo znanja između grupa respondenata i različit broj ispunjenih anketnih listića po grupama respondenata.

Redukcija opterećenja se postiže prilagodljivim dizajnom upitnika (Calinescu and Schouten 2012). U našem slučaju imamo različite grupe respondenata za različitim nivoima znanja. Poželjno je ovim grupama ponuditi različitu detaljnost ponuđenih odgovora (Morente-Molinera *et al.* 2018). U ovom radu predstavljamo tri nivoa agregacije za rešenje ovih problema.

2. ANKETA I LINGVISTIČKI SKUPOVI ODGOVORA

Kod problema anketiranja uvedenih u prvom poglavlju uočavamo sledeće karakteristike:

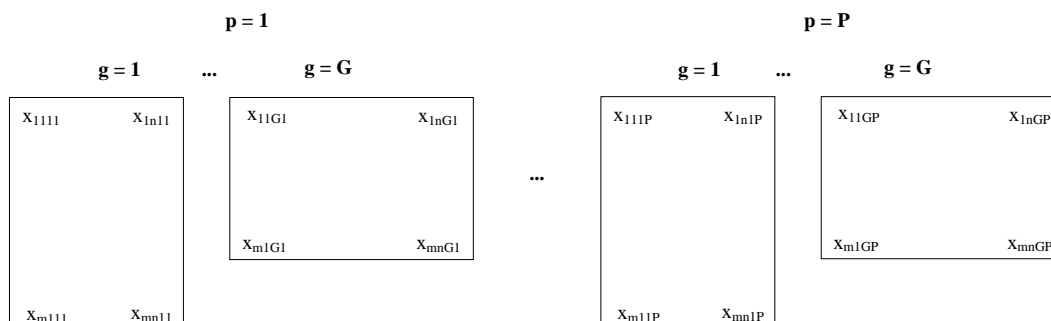
- grupe respondenata sa različitim znanjem i iskustvima što utiče na kvalitet i detaljnost odgovora,
- mogućnost različitog broja pitanja po grupama,
- različit broj respondenata po grupama (na primer kod analize korisnosti alata u firmama) i različit broj onih koji su ispunili anketni listić (na primer ankete u gradovima).

Kod anketiranja raznih grupa respondenata možemo pripremiti osnovni lingvistički skup izraza $OLSI = \{s_1, \dots, s_s\}$, gde je $s_i, i = 1, \dots, s$ i -ti lingvistički izraz, na primer $s_1 =$ veoma nisko, $s_2 =$ nisko, $s_3 =$ srednje, $s_4 =$ visoko i $s_5 =$ veoma visoko, kod pet mogućih odgovora na pitanje. Ovaj skup se prilagođava tipovima korisnika: obični korisnici mogu imati $s = 3$ izraza, jer se kod njih ne očekuje dublje znanje o problemu. Ovim načinom se takođe redukuje opterećenje anketiranih osoba. Ekspertima se može ponuditi skup sa $s = 7$ mogućih odgovora, jer oni mogu raspoznati finije nijanse korisnosti softvera ili nijanse problema. Generalno, s treba da je u rasponu od tri do devet, gde devet predstavlja gornju granicu kognitivnog procesiranja informacija (Miller 1956).

Za slučaj kada razni korisnici koriste različite lingvističke skupove izraza kod svojih odgovora, kao pogodno rešenje se javlja transformacija lingvističkih skupova odgovora u OLSI na osnovu algoritma razvijenog u (Morente-Molinera *et al.* 2018). Ovim načinom se efikasno rešava prvi od uočenih problema. Da bi smo rešili sva tri problema razvijena su tri nivoa agregacije kod kojih nije potrebna transformacija u OLSI. Ove agregacije su objašnjene u sledećem poglavlju.

3. AGREGACIJA ODGOVORA RESPONDENATA

Neka imamo $p, p = 1, \dots, P$, softverskih alata za koje je potrebno uraditi analizu korisnosti u firmi. Umesto alata možemo imati P tema ili problema na primer u *smart* gradu koje treba rangirati. Dalje imamo $g, g = 1, \dots, G$, grupa korisnika alata ili kategorija zainteresovanih u *smart* gradu, m je broj respondenata a n broj odgovora. Ova struktura je shematski prikazana na slici 1.



Slika 1: Struktura organizacije upitnika za različite grupe respondenata sa različitim brojem pitanja i brojem ispunjenih anketnih listića

Pre same agregacije potrebno je izvršiti konverziju lingvističkih izraza u numeričke vrednosti. Moguće konverzije za $s = 3, 4$ i 5 prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1: Konverzija lingvističkih izraza u numeričke vrednosti na intervalu od 0 do 10

$s = 3$		$s = 5$		$s = 7$	
Izraz	Num. Vrednost	Izraz	Num. vrednost	Izraz	Num. vrednost
niska	1	veoma niska	1	veoma niska	0.5
srednja	5	niska	3	niska	2.0
visoka	9	srednja	5	pre niska nego srednja	3.5
		visoka	7	srednja	5.0
		veoma visoka	9	pre visoka nego srednja	6.5
				visoka	8.0
				veoma visoka	9.5



3.1. Agregacija na nivou respondenata

Na prvom nivou agregacije, odnosno agregacije konkretnog respondenta koristimo zbir odgovora ili funkcije srednje vrednosti. U slučaju zbira odgovora agregacija je sledeća (Rakovská and Hudec 2018)

$$A_{igp}^1 = \sum_{j_{igp}=1}^{N_{igp}} x_{j_{igp}} \quad i = 1, \dots, m_{gp} \quad (1)$$

gde index igp predstavlja i -tog respondenta u grupi g za alat p , j_{igp} je j -ti odgovor u grupi g za alat p i i -tog respondenta a x je numerička vrednost odgovora. U slučaju agregacije srednjom vrednošću imamo sledeću formulu

$$A_{igp}^1 = f_{sv}^i(\mathbf{x}_{igp}) \quad (2)$$

gde je f_{sv} jedna od funkcija srednje vrednosti a \mathbf{x}_{igp} je vektor odgovora i -tog respondenta u grupi g za alat p .

Rezultat ove agregacije je u skupu realnih brojeva većih od nule. Primeri agregacije za prvu i drugu grupu respondenata za alat $p = 1$ su u tabelama 2 i 3 respektivno.

Tabela 2: Odgovori prve grupe respondenata za $p = 1$

odgovori/ respondent	1	2	3	4	5	zbir odgovora (1)	pripadnost skupu <i>visoko mišljenje</i>
1	1	3	1	3	1	9	0
2	5	9	5	9	5	33	0.6
3	3	1	5	3	7	19	0
4	3	3	3	3	3	15	0
5	9	7	5	7	5	33	0.6
6	3	5	5	9	9	31	0.2
7	5	3	7	7	7	29	0
8	5	5	7	7	7	31	0.2
9	5	9	7	7	9	37	1
10	5	7	9	7	5	33	0.6
11	9	9	9	9	9	45	1
12	5	9	3	7	9	33	0.6
13	5	7	7	7	5	31	0.2
14	9	5	9	9	7	39	1
15	5	7	9	7	9	37	1
16	5	7	7	7	5	31	0.2
17	9	7	7	9	9	41	1



3.2. Agregacija na nivou grupe respondenata

Na ovom nivou se kao pogodna pokazuje agregacija pomoću fazi relativnog kvantifikatora *većina* oblika: *većina respondenata grupe g ima pozitivno mišljenje o alatu p*. Formalizacija je izvedena iz osnovnog izaza za lingvističku sumarizaciju koju je razvio Yager (1982)

$$A_{gp}^2 = \mu_Q \left(\frac{1}{M_{gp}} \sum_{i=1}^{M_{gp}} \mu(A_{igp}^1) \right) \quad (3)$$

gde je μ_Q funkcija pripadnosti kvantifikatoru većina (Kacprzyk and Zadrożny 2005)

$$\mu_Q(y) = \begin{cases} 1 & y \geq 0.85 \\ \frac{y-0.3}{0.85} & y \in (0.3, 0.85) \\ 0 & y \leq 0.3 \end{cases} \quad (4)$$

gde je y proporcija u (3).

Tabela 3: Odgovori druge grupe respondenata za $p = 1$

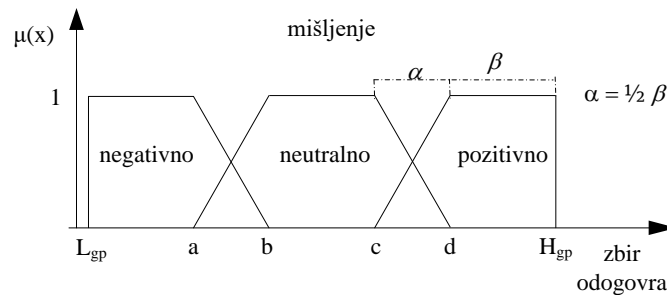
odgovori/ respondent	1	2	3	4	5	6	zbir odgovora (1)	pripadnost skupu visoko mišljenje
1	0.5	3.5	5	3.5	2	2	16.5	0
2	9.5	8	6.5	8	5	5	42	0.777777778
3	2	8	6.5	6.5	8	6.5	37.5	0.111111111
4	9.5	9.5	8	6.5	8	8	49.5	1
5	6.5	2	8	6.5	8	8	39	0.333333333
6	5	5	5	5	5	5	30	0
7	8	8	8	6.5	8	8	46.5	1
8	0.5	3.5	8	6.5	8	8	34.5	0
9	9.5	8	9.5	9.5	6.5	8	51	1
10	8	6.5	5	8	6.5	6.5	40.5	0.555555556
11	5	5	8	6.5	8	9.5	42	0.777777778
12	5	3.5	8	3	8	9.5	37	0.037037037
13	9.5	9.5	9.5	8	8	9.5	54	1
14	6.5	8	6.5	8	5	6.5	40.5	0.555555556
15	9	6.5	8	2	8	8	41.5	0.703703704
16	3.5	2	0.5	3.5	5	3.5	18	0
17	9.5	8	6.5	9	8	2	43	0.925925926
18	5	5	6.5	6.5	6.5	6.5	36	0
19	8	6.5	8	9.5	5	8	45	1
20	5	6.5	8	6.5	8	6.5	40.5	0.555555556
21	3.5	2	5	3.5	5	6.5	25.5	0
22	8	6.5	8	9.5	9.5	2	43.5	1

Izraz *pozitivno mišljenje* je rastuća funkcija koja je kontekstno vezana za svaku grupu respondenata. Promenljiva *mišljenje respondenata* je lingvistička varijabla sa tri izraza: negativno, neutralno i pozitivno, prikazana na Slici 2, gde je L_{gp} najniža moguća vrednost a H_{gp} najviša moguća vrednost A_{igp}^1 (1) ili (2).

Parametri α , β , c i d izračunavaju se pomoću formula za ravnomernu particiju skupa $[L_{gp}, H_{gp}]$, pri čemu je $\alpha = \frac{1}{2} \beta$ (Tudorie 2008)

$$d = H_{gp} - \beta = H_{gp} - \frac{1}{4}(H_{gp} - L_{gp}) \quad (5)$$

$$c = d - \alpha = d - \frac{1}{8}(H_{gp} - L_{gp}) \quad (6)$$



Slika 2: Lingvistička promenljiva *mišljenje respondenata*

Rezultat ovog nivoa agregacije je na zatvorenom intervalu $[0, 1]$. Za $p = 1$ i $g = 1$ prikazani su u tabeli 2 u poslednjoj koloni intenziteti pripadnosti skupu *visoko mišljenje* definisano formulama (5) i (6). Na osnovu (3) i (4) $A_{11}^2 = 0.3315$. Na isti način iz tabele 3 je $A_{21}^2 = 0.3911$.

3.3. Agregacija na nivou analiziranih alata ili problema

Na najvišem nivou agregacije potrebno je svakom alatu izračunati korisnost preslikavanjem $[0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$. Generalno, postoje četiri osnovne grupe funkcija agregacije (Beliakov *et al.* 2007): konjunkcija, funkcije srednjih vrednosti, disjunkcija i mešovite funkcije (*mixed functions*).

Funkcije konjunkcije imaju prednosti kada sve grupe g , $g = 1, \dots, G$ moraju dati pozitivno mišljenje sa intenzitetom većim od nule svakom alatu p , $p = 1, \dots, P$. Nedostatak ovih funkcija je u ne postojanju efekta kompenzacije za minimum t-normu i silazno pojačanje (kažnjavanje niskih vrednosti) za sve ostale t-norme (Beliakov *et al.* 2007). Situacija kod disjunkcije je dualna (Klement *et al.* 2005): nedostatak kompenzacije kod maximum t-konorme i uzlazno pojačanje (isticanje visokih vrednosti) kod ostalih t-konormi. Osim toga, vrednost 1 anulira sve ostale vrednosti u ovoj agregaciji. Mešovite funkcije imaju osobinu obojsmernog isticanja t.j., kažnjavaju slabije ocenjene alate a ističu dobro ocenjene. Međutim, ove funkcije imaju osobine i konjunkcije i disjunkcije, što znači da su vrednosti 0 i 1 anihilatori. Kada su ulazne vrednosti iz otvorenog intervala $(0, 1)$ ovo ne predstavlja problem. Međutim, kod zatvorenog intervala alat ocenjen vektorom 0.1, 0.15, 0.1, 0.2 je bolji od alata ocenjenog vektorom 0.9, 0.95, 0, 0.85 a alat ocenjen vektorom 0.1, 0.15, 1, 0.20 je bolji od alata sa vektorom 0.95, 0.85, 0.90, 0.80. Izbor su funkcije srednje vrednosti koje daju rešenja u intervalu (Beliakov *et al.* 2007)

$$\min(\mathbf{x}) \leq f_{sv}(\mathbf{x}) \leq \max(\mathbf{x}) \quad (7)$$

gde je \mathbf{x} vektor. Kada je uslov da alat mora biti pozitivno ocenjen sa intenzitetov većim od nule od strane svih grupa respondenata, onda je rešenje geometrijska sredina

$$A_p^3 = \sqrt[G]{A_{1p}^2 \cdot A_{2p}^2 \cdot \dots \cdot A_{Gp}^2} \quad (8)$$

koja predstavlja graničnu funkciju sa funkcijama konjunkcije.

Neka su alati p_1, \dots, p_5 ocenjeni grupama g_1, \dots, g_4 kao što je prikazano u tabeli 4. Agregacija za grupe g_1 i g_2 i alat p_1 (A_{11}^2 i A_{21}^2) preuzete su iz poglavlja 3.2. U tabeli 4 uočavamo da je alat p_2 najkorisniji a treba razmisliti o izbacivanju alata p_5 . Ako su umesto alata ocenjivane teme ili problemi u *smart* gradu na primer, onda je p_2 najakutniji problem koji treba rešiti a p_5 predstavlja za respondente najmanje bitan problem.

**Tabela 4:** Agregacija geometrijskom sredinom

	g_1	g_2	g_3	g_4	geometrijska srednja vrednost (γ)
p_1	0.3315	0.3911	0.8525	0.3569	0.4457
p_2	0.8356	0.7250	0.7884	0.9310	0.8166
p_3	0.2500	0.2580	0.1134	1.000	0.2924
p_4	0.6349	0.8269	0.2534	0.3665	0.4699
p_5	0.0000	0.2543	0.0000	0.5507	0.0000

Sledeće poslozljavanje je uvođenje težinskih koeficijenata grupama respondenata, koje se rešava težinskim funkcijama srednje vrednosti. OWA (ordered weighted averging) operator pruža ovu mogućnost. Određivanje težinskih koeficijenata za OWA operator je obrađeno na primer u (Filev and Yager 1998).

4. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predlaže rešenje za ocenu korisnosti alata ili značajnosti problema pomoću anketa, gde se ističu dva glavna problema: (i) grupe respondenata sa različitim nivoima znanja i iskustava; (ii) različit broj respondenata po grupama ili različit broj vraćenih anketnih listića. U ovim zadacima poželjno je prilagoditi broj pitanja i nijanse odgovora da bi se minimiziralo opterećenje običnih respondenata a pružila mogućnost ekspertima da finije nijansiraju svoje odgovore.

Da bi se ovi problemi efikasno rešili u radu su predložena tri nivoa agregacije. Na prvom nivou je agregacija odgovora pojedinačnog respondenta (zbir ili srednja vrednost njegovih odgovora), na nivou grupe respondenata je agregacija fazi relativnim kvantifikatorom *većina* oblika *većina respondenata ima pozitivno mišljenje* i na nivou ocenjivanih alata je agregacija geometrijskom sredinom, koja poseduje željene karakteristike.

Prvi eksperimenti su urađeni u analizi korisnosti softverskih alata, gde se ekspertni sistemi pokazali neefikasni (Rakovská and Hudec 2018). U tom eksperimentu korišćene su mešovite funkcije agregacije. Istraživanje u ovom radu je pokazalo prednost geometrijske sredine kod agregacije vrednosti iz zatvorenog intervala $[0, 1]$. Sledeći eksperimenti se planiraju realizovati u razpoznavanju glavnih problema u gradovima.

Sledeći teorijski koraci istraživanja su planirani za poređenje predložene metode sa postojećim, na primer pogodnost transformisanja lingvističkih skupova odgovora prilagođenih grupama respondenata u OLSI (Morente-Molinera *et al.* 2018) i izbor reprezentativnog skupa respondenata za svaku grupu.

LITERATURA

- [1] Beliakov, G., Pradera, A. & Calvo, T. (2007). Aggregation functions: A guide for practitioners. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [2] Calinescu, M. & Schouten, B. (2012). Adaptive survey designs that minimize nonresponse and measurement risk. The Hague: Statistics Netherlands.
- [3] Giesen, D. (Eds.). (2011). Response burden in official business surveys: Measurement and reduction practices of national statistical institutes. Deliverable 2.2 from FP7 project BLUE-Enterprise and Trade Statistics. Brussels: European Commission.
- [4] Filev, D. & Yager, R.R. (1998). On the issue of obtaining OWA operator weights. Fuzzy Sets and Systems, 94, 157–169.
- [5] Finger, M., & Portmann, E. (2019). What are cognitive cities? In E. Portmann & M. Finger (Eds.), Towards cognitive cities (1–11). Shum: Springer International Publishing Switzerland.
- [6] Kacprzyk, J. & Zadrozny, S. (2005). Linguistic database summaries and their protoforms: towards natural language based knowledge discovery tools. Information Sciences, 173, 281–304.
- [7] Klement, E.P., Mesiar, R. & Pap, E. (2005). Triangular norms: basic notions and properties. In: E.P. Klement & R. Mesiar (Eds.) Logical, algebraic, analytic, and probabilistic aspects of triangular norms (17–60). Amsterdam: Elsevier.



- [8] Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two. Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 3, 81–97.
- [9] 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*, accepted for publication.
- [10] Rakovská, E. & Hudec, M. (2018). Two approaches for the computational model for software usability in practice. *Proceedings of the 3rd Conference on Information Technology, Systems Research and Computational Physics (ITSRCP 2018)*, Cracow, Poland. Springer. accepted for publication.
- [11] Tudorie, C. (2008). Qualifying objects in classical relational database querying. In: J. Galindo (Ed.), *Handbook of research on fuzzy information processing in databases* (218–245). Hershey: Information Science Reference.
- [12] Yager, R.R. (1982). A new approach to the summarization of data. *Information Sciences*, 28, 69–86.



PROCENA KREDITNOG REJTINGA KORIŠĆENJEM METODA RAČUNARSKE INTELIGENCIJE: SLUČAJ SRPSKIH SREDNJIH PREDUZEĆA

CREDIT RATING ESTIMATION USING COMPUTATIONAL INTELLIGENCE METHODS: THE CASE OF SERBIAN MEDIUM-SIZED COMPANIES

MARKO KNEŽEVIĆ¹, PAVLE MILOŠEVIĆ², IVANA DRAGOVIĆ³, BRATISLAV PETROVIĆ⁴

¹ Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, knezevicmarko1994@gmail.com

² Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, pavle.milosevic@fon.bg.ac.rs

³ Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, ivana.dragovic@fon.bg.ac.rs

⁴ Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, bratislav.petrovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: Cilj ovog rada je ispitati performanse različitih metoda mašinskog učenja na problemu predviđanja kreditnog rejtinga preduzeća, kao i kako pojedini parametri utiču na rezultate. Metode korišćene u ovom radu su veštačke neuronske mreže, metoda nosećih vektora, kao i skoro predložena IBA-VNS metoda bazirana na kombinaciji interpolativne Bulove algebre (IBA) sa metodom promeljivih okolina (VNS). Kao mere performansi u ovom radu korišćena su dva standardna odstupanja (srednje kvadratno odstupanje i srednje apsolutno odstupanje). Rezultati predviđanja su detaljno analizirani sa ciljem da se odredi koji metod daje najbolje rezultate pri rešavanju posmatranog problema.

Gljučne reči: predviđanje, kreditni rejting, neuronska mreža, metoda nosećih vektora, interpolativna Bulova algebra, metoda promenljivih okolina, IBA-VNS

Abstract: In this paper, we aim to investigate the performance of different machine learning methods on the credit rating prediction problem. Also, we try to examine the influence of specific parameters on results. Methods used in this paper are artificial neural networks, support vector machines, and recently proposed IBA-VNS method based on interpolative Boolean algebra (IBA) and variable neighborhood search (VNS). In this paper, two common prediction errors (mean squared error and mean absolute error) are used as a performance measures. The obtained results are presented and analyzed in details to determine which method is the most suitable for solving this problem.

Keywords: prediction, credit rating, neural network, support vector machine, interpolative Boolean algebra, variable neighborhood search, IBA-VNS

1. UVOD

Određivanje finansijskih parametara je postao predmet proučavanja svakog preduzeća danas. U cilju finansijskog planiranja i prilagođavanja biznis modela dinamičnim tržišnim uslovima, preduzeća koristeći dostupne informacije iz prethodnih perioda mogu doći do potrebnih informacija za potrebno odlučivanje. U ovom radu akcenat je na predviđanju kreditnog rejtinga preduzeća koji predstavlja prikaz rizičnosti poslovanja. Procena kreditnog rejtinga je izuzetno bitna u poslovnom svetu pošto opisuje mogućnost preduzeća da pozajmi sredstva, omogućava upoređivanje preduzeća sa drugim pravnim subjektima, kao i jasno pozicioniranje preduzeća na tržištu.

Kreditni rejting, kao veoma vredna informacija za poslovne partnere preduzeća i za samo preduzeće, je veoma skupa za dobijanje. Naime, tradicionalni proces bi obuhvatao angažovanje agencije za procenu rejtinga, koja nakon prikupljanja potrebnih podataka, statističkim metodama određuje kreditni rejting. Takav proces traje dugo i relativno je skup. Pored toga, studije su pokazale da metode veštačke inteligencije daju bolje rezultate od tradicionalnih, statističkih metoda u finansijskom predviđanju (Bolton 2010).

Postoje mnogobrojni primeri koji govore o prednostima korišćenja metoda računarske inteligencije u odnosu na tradicionalne statističke metode, kao njihovim performansama. Jedan od njih je dat u radu (Huang *et al.* 2004), koji se bavi primenom metode nosećih vektora u cilju rešavanja pomenutog problema. Autori su u ovom radu koristili neuronsku mrežu propagacijom greške unazad kao referentnu tačnost i dobili preciznost od oko 80% za obe pomenute metode, metodu nosećih vektora i neuronsku mrežu. Eksperiment je izvršen na osnovu podataka iz finansijskih izveštaja preduzeća koja posluju na tržištima Sjedinjenih Američkih Država i



Tajvana. Rezultat ovog istraživanja je i komparativna analiza razlika faktora postovanja na ovim tržištima (Huang *et al.* 2004).

O važnosti razvoja inteligentnih sistema za procenu kreditnog rejtinga za finansijske institucija koje odlučuju da li da odobre kredite potrošačima govore (Chen and Tsai 2010). U ovom radu, korišćeni su hibridni modeli sastavljeni od više različitih metoda računarske inteligencije i mašinskog učenja. Za potrebe eksperimenta korišćen je skup realnih podataka banke u Tajvanu. Rezultati eksperimenta pokazuju da hibridni model zasnovan na kombinaciji logističke regresije i neuronskih mreža daje najveću tačnost predviđanja na datom problemu.

Značaj problema procene kreditnog rejtinga i korišćenja metoda računarske inteligencije za njegovo rešavanje naglašen je i u (Bennell *et al.* 2005). Korišćenjem skupa podataka rejting agencija i zemalja tokom perioda od 1989. do 1999. pokazano je da su veštačke neuronske mreže superiorna metoda za rešavanje ovog problema. Slični zaključci su doneti i u (West 2000). U ovom radu su različiti modeli neuronskih mreža korišćeni za procenu kreditnog rejtinga. Modeli su testirani korišćenjem unakrsne validacije sa $k=10$ delova/podskupova (eng. *fold*) nad dva realna skupa podataka.

U ovom radu rešavan je problem procene kreditnog rizika srpskih srednjih preduzeća. Vođeni primerima iz literature, za procenu kreditnog rizika korišćene su neuronske mreže različitih topologija i metoda nosećih vektora sa različitim kernel funkcijama. Pored njih, za procenu je korišćen i nedavno predloženi IBA-VNS metod (Milošević *et al.* 2018), zasnovan na optimizaciji funkcije iz okvira interpolativna Bulova algebra pomoću metode promeljivih okolina. Eksperiment sa ciljem poređenja algoritama je izvršen na osnovu realnih podataka – ekspertske odabranih finansijskih racija posmatranih preduzeća. Cilj eksperimenta je da se utvrdi koja metoda mašinskog učenja i sa kojim parametrima može da najpreciznije predvidi kreditni rejting preduzeća.

Ovaj rad organizovan je na sledeći način. U drugom poglavlju dat je kratak pregled metoda za predviđanja korišćenih u radu. U trećem poglavlju detaljno je opisana postavka eksperimenta. Dalje su prikazani rezultati predviđanja i dato je tumačenje dobijenih rezultata. Na kraju rada navedeni su najbitniji zaključci i predlozi za buduće istraživanje.

2. METODE

Regresija predstavlja problem predviđanja vrednosti jednog (zavisnog) atributa neke instance na osnovu vrednosti njenih drugih atributa. Ona pokušava da za svaku instancu proceni ili predvidi numeričku vrednost koja je karakteriše na određeni način (Provost and Fawcett 2013). Regresiona analiza je statistička metodologija koja se pre svega koristi za numeričko predviđanje i kao takva obuhvata i identifikaciju trendova nad dostupnim podacima (Han *et al.* 2011). U ovom radu su za problem predviđanja korišćene veštačke neuronske mreže, metoda nosećih vektora i IBA-VNS metoda.

Veštačke neuronske mreže (eng. *artificial neural networks*) predstavljaju apstraktnu simulaciju realnog nervnog sistem. Neuronske mreže se sastoje od međusobno povezanih osnovnih jedinica procesiranja (neurona), koje vrše neku jednostavnu, elementarnu obradu (Haykin 2005). Procesorske jedinice u neuronskim mrežama su jednostavnih struktura i obavljaju proste funkcije. Međutim, one su raspoređene u više slojeva i međusobno su povezane tako da rade paralelno. Neuroni imaju implementiranu sklonost ka čuvanju znanja na osnovu ponašanja sistema u prošlosti kroz podešavanja težinskih faktora u svakoj iteraciji učenja neuronske mreže.

Neuronske mreže su nelinearni metod za predviđanje koji ima veliku sposobnost generalizacije, pa se kao takve se mogu smatrati univerzalnim funkcionalnim aproksimatorom (Haykin 2005). Danas se neuronske mreže koriste za rešavanje veoma kompleksnih problema. Neuronske mreže su podjednako uspešne veoma različitim problemima, kao što je prepoznavanju lica, prepoznavanju slova, prevođenje teksta u govor, i uopšte rešavanje problema za koje ne postoji algoritamsko rešenje, tako i za predviđanja i modelovanja sistema gde fizički procesi nisu jasni ili su veoma kompleksni (Haykin 2005). Neuronske mreže uče tako što računaju izlaze, upoređuju dobijene vrednosti sa željenim vrednostima, i nakon toga podešavaju težinske faktore u neuronima.

Pored svojstava kao što su samoorganizovanost i prilagodljivost, naročito se ističe njihova sposobnost da uče na određenom skupu primera (Haykin 2005). Kada je reč o algoritmima, postoji mnogo različitih pristupa od koji se algoritam sa propagacijom greške unazad izdvaja kao verovatno najpopularniji i najkorišćeniji u praksi (Rojas 2009). Greška između stvarnog izlaza sistema i unapred poznatog, očekivanog izlaza se koristi



za modifikaciju internog stanja mreže kroz podešavanje težinskih faktora u neuronima. Ovaj algoritam predstavlja metodu podešavanja težina u višeslojnoj neuronskoj mreži sa prostiranjem signala unapred.

Metoda nosećih vektora (eng. *support vector machine* – SVM) kao jedna od metoda nadgledanog učenja se podjednako primenjuje kako u rešavanju problema klasifikacije, tako i u rešavanju problema regresije (Gunn 1998). Za razliku od klasifikacije, kod regresije je dosta teže predvideti izlaznu vrednost jer je izlaz realan broj, pa su mogućnosti neograničene. Ideja regresije kod metode nosećih vektora se temelji na određivanju funkcije linearne regresije u višedimenzionalnom prostoru gde se ulazni podaci mapiraju pomoću nelinearne funkcije. Ovakva verzija metode nosećih vektora se naširoko primenjuje u analizi vremenskih serija i finansijskom predviđanju, aproksimaciji kompleksnih inženjerskih analiza, kao i u drugim oblastima (Basak *et al.* 2007). Pri kreiranju regresionog modela nosećih vektora, izbor kernel (jezgarne) funkcije i izbor algoritma za rešavanje optimizacionog problema određivanja težina imaju jako važnu ulogu. Kernel funkcija predstavlja funkciju sličnosti koju će algoritam koristiti pri preslikavanju podataka u višedimenzioni prostor. Može se reći da je mapiranje podataka pomoću kernela tehnika kojom se menja način na koji se predstavljaju ulazni podaci. Svaki kernel ima dodeljenu funkciju mapiranja koja uzima podatke iz ulaza i mapira ih u tzv. prostor karakteristika (eng. *feature space*). S druge strane, među metodima optimizacije SVM izdvajaju se metode sekvencijalne i kvadratne optimizacije, ali su korišćene i mnoge druge.

Interpolativna Bulova algebra (eng. *interpolative Boolean algebra* – IBA) je $[0,1]$ -vrednosna realizacija klasične Bulove algebre (Radojević 2000). Klasična dvovrednosna realizacija Bulove algebre u mnogim realnim aplikacijama nije adekvatna budući da iskaze posmatra kroz tačno-netačno ili istinito-neistinito vizuru. Upravo to je dovelo do razvoja najpre trovrednosne logike koja pored istine i neistine uključuje i treću logičku vrednost, a zatim i različitih viševrednosnih i realnovrednosnih logika. Glavni nedostatak većine ovih logika leži u tome što zbog nepoštovanja zakona isključenja trećeg i kontradikcije one nisu u Bulovom okviru (Radojević 2008).

IBA je konzistentna realnovrednosna realizacija Bulove algebre u smislu očuvanja svih zakona na kojima počiva Bulova algebra (Radojević 2000). Drugim rečima, elementi IBA mogu imati sve vrednosti sa jediničnog intervala, a relacije među njima zadovoljavaju sve Bulove zakone i teoreme.

Izračunavanje logičkih izraza je fundamentalno drugačije nego u klasičnim viševrednosnim logikama. Naime, u IBA pristupu logičke Bulove funkcije se najpre prevode u odgovarajuće generalizovane Bulove polinome (GBP) u skladu sa predefinisanim pravilima strukturne transformacije (Radojević 2008). GBP je polinom koji se sastoji od elemenata Bulove algebre koji predstavljaju promenljive, standardnih operatora aritmetičkih operatora sabiranja (+) i oduzimanja (-), i od generalizovanog proizvoda (\otimes). Generalizovani proizvod je podklasa t -normi koja zadovoljava uslov nenegativnosti (Radojević 2008). U zavisnosti od prirode promenljivih u GBP-u postoje karakteristični slučajevi za izbor odgovarajućeg operatora generalizovanog proizvoda. Na primer, funkcija minimuma je odgovarajuća u slučaju promenljivih koje imaju istu ili sličnu prirodu, dok se za suštinski različite i statistički nezavisne promenljive koristi operator proizvod. Bitno je naglasiti da se svaki GBP može predstaviti kao zbir atomskih elemenata IBA koji su uključeni u njega.

Metoda promenljivih okolina (eng. *variable neighborhood search* – VNS) je metaheuristička metoda za rešavanje problema kombinatorne optimizacije i problema globalne optimizacije. Osnovna ideja VNS metode je sistemska promena suseda uočenog lokalnog minimuma (Hansen and Mladenović 2001). Ova metoda je bazirana na istraživanju postepeno sve udaljenijih suseda trenutnog rešenja. Metoda lokalnog pretraživanja se primenjuje više puta kako bi se došlo do rešenja u susedstvu tj. lokalnog optimuma. VNS je kreiran za aproksimaciju rešenja diskretnih i kontinualnih optimizacionih problema, a ima za cilj rešavanje linearnih programskih problema, nelinearnih programskih problema, integralnih programskih problema, itd. VNS se zasniva na tri jednostavne činjenice (Ahmad and Dhodhi 1996):

- Lokalni minimum u odnosu na jednu susedsku strukturu ne mora nužno biti lokalni minimum za drugu strukturu susedstva;
- Globalni minimum je lokalni minimum koji se odnosi na sve moguće strukture susedstva;
- Za mnoge probleme, lokalni minimum jedne ili više susednih struktura su relativno blizog rastojanja.

Za razliku od mnogih metaheuristika, osnovne šeme većine različitih adaptacija VNS algoritma su jednostavne i zahtevaju svega nekoliko parametar (a ponekad nisu zasnovane ni na jednom parametru). Uz računarsku efikasnost, ovo je razlog za sve veću primenu VNS algoritma. Takođe, jednostavnost i transparentnost ove metaheuristike je dovela do uvođenja niza unapređenja metode i efikasnijih implementacija (Hansen and Mladenović 2001).



IBA-VNS metod (Milošević *et al.* 2018) koristi VNS za odabir regresione logičke funkcije u IBA okviru. Preciznije, VNS pretražuje koje atomske funkcije treba da budu uključene u GBP tako da predviđanje njime daje najmanju grešku. Ovaj metod ne sadrži nijedan parametar što ga čini jednostavnim za primenu. Logičku funkciju koja najbolje opisuje vezu između ulaznih i izlaznog parametra na skupu podataka za treniranje je lako interpretirati i analizirati, što je još jedna bitna osobina ovog metoda.

Planirano je da se pristup unapredi uvođenjem algoritma za lokalno pretraživanje sa ciljem da se uključenost atoma iskaže na jediničnom intervalu. Takođe, u toku je rad na adaptaciji algoritma tako da se može primeniti na klasifikacione probleme.

3. EKSPERIMENT I REZULTATI

U ovom eksperimentu razmatran je problem predviđanja kreditnog rejtinga preduzeća na osnovu podataka iz njihovih finansijskih izveštaja. U eksperiment je uključeno 100 srpskih preduzeća srednje veličine. Predviđanje je izvršeno na osnovu podataka iz finansijskih izveštaja za 2011. i 2012. godinu sa ciljem da se predvidi vrednost kreditnog rejtinga preduzeća u 2013. godini. Šest finansijskih racija, odabranih od strane domenskog eksperta, korišćena su kao osnova za predviđanje:

- EBITDA marža;
- Stopa poslovne dobiti;
- Neto prinos na aktivu;
- Pokazatelj ubrzane likvidnosti;
- Racio duga i kapitala;
- Vreme trajanja poslovnog ciklusa.

Postavka eksperimenta i način validacije rezultata

U eksperimentu korišćeno je više različitih metoda za predviđanje: neuronska mreža, SVM i skoro predloženi IBA-VNS metod. Sve prethodno pomenute metode implementirane su u programskom jeziku MATLAB i eksperimenti su izvršeni na platformi MATLAB2016b.

Kao nelinearni regresori u ovom radu korišćene su neuronske mreže i metoda nosećih vektora. Sve neuronske mreže implementirane za potrebu ovog eksperimenta koriste tangens sigmoidnu funkciju kao transfernu funkciju i *Levenberg-Marquardt* algoritam učenja, a razlikuju se po topologiji (broj skrivenih slojeva i broj neurona u njima). U slučaju SVM, korišćene realizacije se razlikuju u smislu primene različitih kernel funkcija i algoritama optimizacije. Kao algoritmi optimizacije korišćeni su: *Sequential Minimal Optimization* (SMO), *Iterative Single Data Algorithm* (ISDA) i *L1 Soft-margin Minimization by Quadratic Programming* (L1QP), dok su linearna i Gausova funkcija korišćene kao kerneli. Za potrebe SVM svi ulazni podaci su standardizovani.

IBA-VNS metoda je korišćena u svom izvornom obliku pri čemu je kao optimalno rešenje uzimano ono koje je dobijeno posle 100 epoha (Milošević *et al.* 2018).

Skup podataka je podeljen na deo za treniranje i validaciju (80 instanci) i deo za testiranje i evaluaciju algoritma za predviđanje (20 instanci). Sa ciljem da se izbegne pristrasnost pri odabiru skupova podataka za obučavanje regresora i dobiju smisleni rezultati, u ovom radu je korišćena metoda *k-fold* unakrsne validacije (Schaffer 1993). Ovaj način validacije predviđanja podrazumeva da se dati skup podataka podeli na k delova/podskupova. U ovom eksperimentu skup je podeljen na $k=10$ delova, što je i najčešći slučaj u literaturi. Nakon podele, obavlja se k iteracija treninga i validacije algoritma, pri čemu se u svakoj iteraciji uzima po jedan, različit, deo skupa podataka za potrebe validacije, a ostatak ($k-1$ deo) se koristi za obučavanje algoritma. Algoritam sa najboljim prosečnim performansama se nakon toga obučava na celom skupu podataka za trening i evaluira na skupu podataka za test.

Važno je napomenuti da su svi podaci (i ulazi i izlazi) normalizovani, kako bi bilo omogućeno fer poređenje neuronskih mreža i SVM sa IBA-VNS metodom.

Rezultati i analiza

U ovom radu svi rezultati izraženi su preko odstupanja (greške) procenjene vrednosti od dodeljenog (realnog) kreditnog rejtinga. Korišćena su dva standardna odstupanja: srednje kvadratno odstupanje (MSE) i srednje apsolutno odstupanje (MAE). Metode kod kojih su prosečne greške najmanje najbolje opisuju rešenje



datog problema. Kao što je već napomenuto, skup podataka je podeljen u dva dela, pa će samim tim biti predstavljeni rezultati i na skupu podataka trening, koji je služio da odaberemo parametre za neuronsku mrežu i SVM, kao za i deo skupa podataka za testiranje.

Kao što možemo videti u Tabeli 1, sve tri metode za predviđanje: neuronske mreže, metoda nosećih vektora i IBA-VNS, su na korišćenom skupu podataka dali zadovoljavajuće rezultate.

Tabela 1: Rezultati regresije

Metod	Parametri		na delu za treniranje		na delu za testiranje	
	br. slojeva	br. neurona	MSE	MAE	MSE	MAE
NM	1	10	0.0519	0.1745	0.1102	0.2427
	1	15	0.0669	0.1953		
	1	20	0.0883	0.2120		
	2	10x10	0.0752	0.2133		
	2	15x15	0.0772	0.2097		
	2	20x20	0.0899	0.2288		
SVM	solver	kernel	MSE	MAE	MSE	MAE
	SMO	linear	0.0423	0.1749	0.0273	0.1296
	SMO	gaussian	0.0412	0.1675		
	ISDA	linear	0.0469	0.1827		
	ISDA	gaussian	0.0481	0.1835		
	L1QP	linear	0.0427	0.1728		
	L1QP	gaussian	0.0436	0.1755		
IBA-VNS	nema parametara	0.0389	0.1622	0.1086		

U prvom delu eksperimenta, koristeći skup podataka za trening, regresor koji je imao najbolje rezultate je IBA-VNS. Ovo je u neku ruku očekivano, pošto se ovaj metod temelji na pronalazanju optimalnog rešenja nelinearne funkcije na skupu podataka za trening.

Ukoliko posmatramo rezultate SVM metode za predviđanje, primetićemo da je najbolje rezultate dao SVM kod kog je za algoritam optimizacije korišćen SMO, dok je kao jezgro korišćena Gausova funkcija. Stoga, SVM sa ovim parametrima korišćen na skupu podataka za testiranje u drugoj fazi eksperimenta. Takođe, SVM se pokazao kao regresor koji je manje osetljiv na promenu parametara u odnosu na neuronsku mrežu.

Sa druge strane, posmatrajući odvojeno rezultate neuronske mreže, vidimo da je najbolje rezultate dala neuronska mreža sa jednim skrivenim slojem sa 10 neurona, koja će takođe biti korišćena na skupu podataka za testiranje. Neuronske mreže sa manjim brojem neurona u skrivenom sloju daju bolje rezultate od ostalih mreža. Možemo zaključiti da su se neuronske mreže pokazale kao regresor sa najslabijim performansama u ovom delu eksperimenta. Regresor kod kog MSE i MAE imaju najveće vrednosti je neuronska mreža sa jednim skrivenim slojem sa dva skrivena sloja sa po 20 neurona u skrivenom sloju. Takođe, valja primetiti da i SVM sa najlošijim rezultatima bolje procenjuje kreditni rejting od najpreciznije neuronske mreže uzete u obzir u ovom eksperimentu.

Drugi deo eksperimenta, ujedno i bitniji, predstavlja poređenje IBA-VNS metode sa neuronskom mrežom i SVM metodom sa najboljim parametrima. Kompletan skup podataka za treniranje i validaciju je korišćen za obučavanje odabranih algoritama, dok je za trening korišćeno 20 novih instanci.

Ubedljivo najbolji rezultat je dobijen u slučaju primene SVM metode. Ovaj rezultat nadmašuju i bilo koji rezultat na skupu podataka za trening, što dodatno ističe da je SVM najpodesniji za rešavanje ovog problema. IBA-VNS metoda je nadmašila odabranu neuronsku mrežu, ali znatno manje nego na skupu podataka za trening. Imajući u vidu značaj interpretabilnosti kada je reč o ovakvim problemima, ovakva razlika je više nego dovoljna kao signal da je u ovom slučaju primena IBA-VNS metode znatno bolja od primene neuronskih mreža.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu obrađen je problem procene kreditnog srednjih srpskih preduzeća na osnovu šest dobro poznatih finansijskih racija. Predviđanje je izvršeno korišćenjem tri tehnike: neuronskih mreža, metode nosećih vektora i IBA-VNS metode. U eksperimentu su primenjene neuronske mreže različitih topologija i



SVM sa različitim kernel funkcijama. Nedavno predloženi IBA-VNS metod je na skupu podataka za trening nadmašio ostale klasifikatore našavši logičku funkciju sa najmanjom greškom. S druge strane, na delu podataka za testiranje, metoda nosećih vektora (sa parametrima koji su dali najbolji rezultat na trening skupu podataka sa unakrsnom validacijom) je značajno nadmašila ostale metode za predviđanje. Takođe, treba naglasiti i da je IBA-VNS metoda nadmašila veštačku neuronsku mrežu (sa parametrima koji su dali najbolji rezultat na trening skupu podataka sa unakrsnom validacijom) na skupu podataka za testiranje. Imajući u vidu potrebu za interpretabilnosti metoda i rezultata kada je reč o ovakvim problemima, veća tačnost IBA-VNS metode u odnosu na neuronsku mrežu ima dodatni praktični značaj.

Naredni eksperiment bi trebalo da obuhvata analizu korelacija ulaza u model u cilju poboljšanja rezultata procene. Takođe, u daljem istraživanju možemo uključiti i dodatne attribute koji bi pomogli opisivanje problema kreditnog rejtinga. Još jedan od smerova za potencijalno istraživanje je i uključivanje srednje procentualne apsolutne greške kao mere odstupanja. Time bi se olakšala interpretacija rezultata i komparacija korišćenih metoda.

LITERATURA

- [1] Bolton, C. (2010). Logistic regression and its application in credit scoring (Doctoral dissertation).
- [2] Huang, Z., Chen, H., Hsu, C. J., Chen, W. H., & Wu, S. (2004). Credit rating analysis with support vector machines and neural networks: a market comparative study. *Decision Support Systems*, 37(4), 543-558.
- [3] Chen, M. L., & Tsai, C.F. (2010). Credit rating by hybrid machine learning. *Applied Soft Computing*, 10(2), 374-380.
- [4] Bennell, J.A., Crabbe, D., Thomas, S., & Gwilym, O. (2005). Modeling sovereign credit ratings: Neural networks versus ordered probit. *Expert Systems with Applications*, 30(3), 415-425.
- [5] West, D. (2000). Neural network credit scoring models. *Computers and Operations Research*, 27(11), 1131-1152.
- [6] Milošević, P., Poledica, A., Dragović, I., Rakićević, A., & Petrović, B. (2018). VNS for optimizing the structure of a logical function in IBA framework. Accepted for presentation at 6th International Conference on Variable Neighborhood Search.
- [7] Provost, F., & Fawcett, T. (2013). *Data Science for Business: What you need to know about data mining and data-analytic thinking*. (1st ed.). Sebastopol: O'Reilly Medio, Inc.
- [8] Han, J., Pei, J., & Kamber, M. (2011). *Data Mining: Concepts and Techniques*. New York: Elsevier.
- [9] Haykin, S. S. (2005). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. (2nd ed.). Singapore: Pearson Education.
- [10] Rojas, R. (2009). *Neural Networks: A Systematic Introduction*. Berlin: Springer-Verlag.
- [11] Gunn, S. R. (1998). Support vector machines for classification and regression. *ISIS technical report*, 14(1), 5-16.
- [12] Basak, D., Pal, S., & Patranabis, D. C. (2007). Support vector regression. *Neural Information Processing-Letters and Reviews*, 11(10), 203-224.
- [13] Radojević, D. (2000). (0, 1)-valued logic: A natural generalization of Boolean logic. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 10(2), 185-216.
- [14] Radojević, D. (2008). Logical agregation based on interpolative boolean algebra. *Mathware and Soft Computing*, 15, 125-141.
- [15] Hansen, P., & Mladenović N. (2001). Variable neighborhood search: Principles and applications. *European Journal of Operational Research*, 130, 449-467.
- [16] Ahmad, I., & Dhodhi, M. (1996) Multiprocessor scheduling in a genetic paradigm. *Parallel Computing* 22, 395-406.
- [17] Schaffer, C. (1993). Selecting a classification method by cross-validation. *Machine Learning*, 13(1), 135-143.



UTICAJ IZUZETAKA U PODACIMA NA PERFORMANSE NEURONSKIH MREŽA: PREDVIĐANJE INDEKSA KORISNOSTI KOŠARKAŠA

THE INFLUENCE OF OUTLIERS DATA ON NEURAL NETWORK PREDICTION OF PERFORMANCE INDEX RATING IN BASKETBALL

NATAŠA JERKIĆ¹, ANA POLEDICA², ALEKSANDAR RAKIĆEVIĆ³, NEMANJA MILENKOVIĆ⁴

¹ Fakultet organizacionih nauka, jerkicnatas94@gmail.com

² Fakultet organizacionih nauka, ana.poledica@fon.bg.ac.rs

³ Fakultet organizacionih nauka, aleksandar.rakicevic@fon.bg.ac.rs

⁴ Fakultet organizacionih nauka, milenkovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: U ovom radu izvršena je analiza uticaja izuzetaka u podacima na performanse neuronskih mreža u predviđanju indeksa korisnosti košarkaških igrača. Predviđanje indeksa korisnosti izvršeno je za pet izabranih igrača košarkaškog kluba Real Madrida korišćenjem njihovih statistika ostvarenih u periodu od 2015. do 2018. godine. Za predviđanje je izabran model neuronske mreže sa prostiranjem signala unapred gde je testirano više različitih struktura mreže. Za detekciju izuzetaka primenjena je metoda boks dijagrama. Ostvareni rezultati su pokazali da je korišćenje boks dijagrama za detekciju izuzetaka doprinelo tačnosti predviđanja neuronskih mreža. Ova poboljšanja posebno su značajna kod „kvalitetnijih“ igrača sa stabilnijim performansama kod kojih su izuzeci jasnije izolovani.

Ključne reči: Neuronske mreže, Predviđanje, Detekcija izuzetaka, Boks dijagram, Indeks korisnosti košarkaša.

Abstract: In this paper, we analyzed the influence of outlier data on neural network prediction of performance index rating in basketball. The prediction was carried out for 5 selected players from Real Madrid basketball team based on their statistics for the period of 2015-2018. In the experiment we applied feedforward neural networks as a prediction tool and also tested different network structures. For the purpose of outlier detection box-plot method was applied. The results show that box-plot outlier detection improved neural network prediction. This improvement is particularly recognized for 'quality players' with stable performance, whose outliers are more clearly isolated.

Keywords: Neural networks, Prediction, Outlier detection, Box-plot, Performance index rating.

1. UVOD

Sa porastom broja naučnih istraživanja u oblasti sportske analize, klubovi i ostale sportske organizacije sve više primenjuju prediktivne modele i napredne tehnike za otkrivanje znanja u sportskim podacima sa ciljem sticanja kompetitivne prednosti. Imajući u vidu činjenicu da se u sportu prati veliki broj različitih statistika (na nivou sezone, utakmice, timova, igrača, itd.) i da postoji ogromna količina istorijskih podataka, ova oblast se smatra pogodnom za primenu tehnika mašinskog učenja (Haghighat *et al.* 2013). Kada govorimo o tehnikama mašinskog učenja, neuronske mreže su jedna od najčešće korišćenih metoda za predviđanje sportskih rezultata (Bunker and Thabtah 2017).

U košarci, neuronske mreže se primenjuju za predviđanje ishoda meča, predviđanje performansi igrača/timova, otkrivanje paterna, skauting, selekciju igrača, planiranje strategija, itd. Za predviđanje uspeha timova u NBA ligi Loeffelholz *et al.* (2009) koristili su različite neuronske mreže: mreže sa prostiranjem signala unapred, radijalne, probabilističke i generalizovanu regresiju. Predviđeni rezultati utakmica za sve četiri neuronske mreže nadmašili su predviđanja eksperata iz oblasti košarke koji su korišćeni za poređenje. Ivanković *et al.* (2010) koristili su neuronske mreže sa prostiranjem signala unapred da bi izvršili analizu košarkaških utakmica Prve B lige Srbije za 5 sezona od 2005-2010. godine. Zaključili su da su najvažniji elementi u košarci pogoci za dva poena pod obručem i skok u odbrani. U svom istraživanju McCullagh (2010) je pokazao da neuronske mreže imaju potencijal kao alat za podršku sportskim menadžerima u procesu identifikacije talenata i selekcije igrača na draftu.

Za problem ocene i predviđanja performansi košarkaša u literaturi primenjene su različite tehnike. Na primer, za ocenu efikasnosti NBA igrača Radovanović *et al.* (2013) koristili su analizu obavijanja podataka

(DEA) i analizu zasnovanu na distanci. Pored učinka igrača na terenu, uzeli su u obzir i ekonomski aspekt pri rangiranju igrača. Za problem predviđanja performansi NBA igrača Hwang (2012) je veoma uspešno primenio Weibull – Gamma statistički model. Analiza je urađena za broj postignutih poena na utakmici, ali se može primeniti i na bilo koju drugu statistiku. Sa druge strane, u istraživanju koje su sproveli Iyer and Sharda (2009) neuronske mreže su primenjene za predviđanje performansi pojedinačnih sportista na osnovu njihovog učinka u prošlosti.

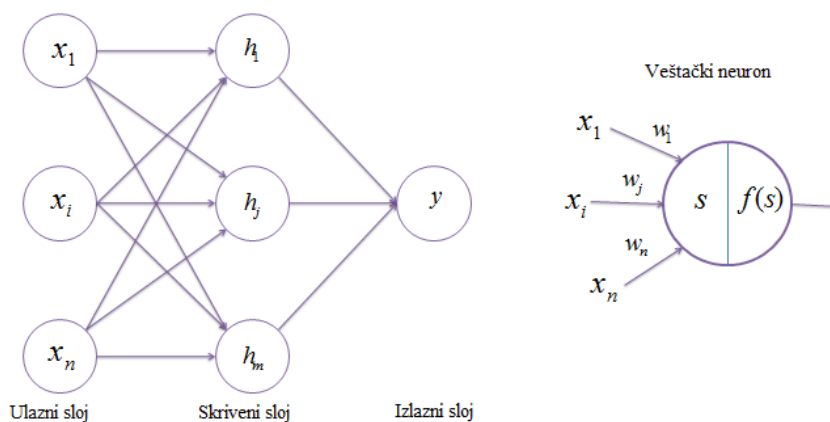
U ovom radu koriste se neuronske mreže za predviđanje indeksa korisnosti košarkaša (eng. *Performance Index Rating - PIR*) u Prvoj španskoj ligi. U istraživanju su korišćeni podaci za period od 2015-2018. godine. U eksperimentu je primenjena neuronska mreža sa prostiranjem signala unapred koja se pokazala kao uspešna u problemima predviđanja. Kao metod detekcije izuzetaka u podacima izabran je boks dijagram. Cilj ovog rada je da se ispita uticaj postojanja izuzetaka u podacima na performanse predviđanja neuronskih mreža. Drugim rečima, utvrdićemo da li uvođenje metode za detekciju izuzetaka u delu pretprocesiranja podataka doprinosi povećanju tačnosti predviđanja indeksa korisnosti košarkaških igrača. Pored toga, cilj je da se analizom izuzetaka pokuša zaključiti da li oni značajno utiču na standardno ponašanje igrača.

Rad je organizovan na sledeći način: u drugom poglavlju objašnjene su teorijske osnove metoda koje su korišćene u ovom istraživanju: veštačke neuronske mreže i boks dijagram. Opis podataka i postavke eksperimenta za predviđanja indeksa korisnosti košarkaša dati su u trećem poglavlju rada. U četvrtom poglavlju detaljno su analizirani dobijeni rezultati eksperimenta. U poslednjem poglavlju navedeni su glavni zaključci i date ideje za dalja istraživanja.

2. METODOLOGIJA

2.1. Veštačke neuronske mreže

Veštačke neuronske mreže (NM) predstavljaju jednu od najpopularnijih tehnika mašinskog učenja. Osnovna ideja neuronskih mreža je da simuliraju rad ljudskog mozga odnosno učenje iz iskustva, prepoznavanje paterna i donošenje odluka na način sličan čoveku. NM predstavljaju sisteme međusobno povezanih neurona koji su raspoređeni u slojevima neuronske mreže. Po ugledu na biološke neurone, veštački neuroni predstavljaju jedinice obrade sa odgovarajućom aktivacionom funkcijom (Slika 1). Između neurona iz susednih slojeva uspostavljaju se veze (sinapse) koje se nazivaju težinama. Što je veća težina, veći je i uticaj jednog neurona na drugi. Najčešće postoji ulazni sloj čija je uloga da primi podatke iz eksternog okruženja, zatim skriveni sloj koji obrađuje podatke i prosleđuje ih do poslednjeg, izlaznog sloja gde se očitava krajnji rezultat (Slika 1). Slično kao i kod čoveka, snaga neuronskih mreža je u broju sinapsi koji su uspostavljaju između neurona i broju skrivenih slojeva (Haykin 1994). Za uspešnost NM važan je i algoritam učenja koji se koristi za podešavanje težina. Uvođenje tehnike učenja zasnovane na propagaciji signala unazad (eng. *backpropagation*) dovelo je do ekspanzije u primeni neuronskih mreža (Werbos 1990).



Slika 1: Višeslojna neuronska mreža i primer veštačkog neurona

Neuronske mreže se uspešno koriste za rešavanja najrazličitijih problema klasifikacije, predviđanja, prepoznavanja oblika, upravljanja, evaluacije, itd. Osnovna prednost neuronskih mreža u odnosu na

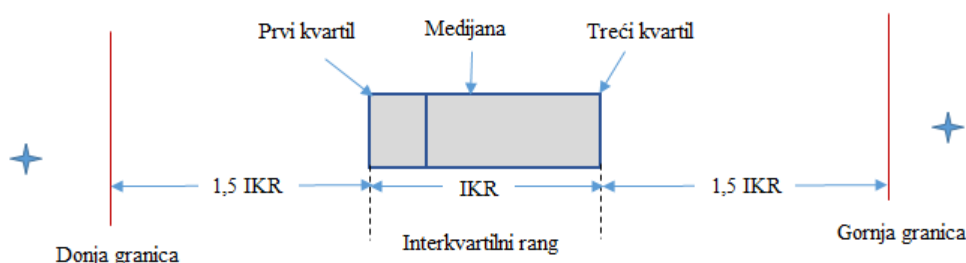
tradicionalne statističke modele je u tome što NM uspostavljaju funkcionalne veze u podacima bez postojanja prethodnog znanja/pretpostavki o modelu. One se smatraju univerzalnim funkcionalnim aproksimatorom (Hornik *et al.* 1989). Pored toga, neuronske mreže pokazuju dobre rezultate i u slučaju kada je problem kompleksan, neprecizan ili neodređen. Za razliku od tradicionalnih statističkih modela, NM zahtevaju vreme potrebno za njihovo obučavanje. Sa aspekta primene, najčešće kritike NM se odnose na nedovoljnu transparentnost pri određivanju izlaza, jer za većinu korisnika NM predstavlja model crne kutije.

Jedna od jednostavnijih i najčešće korišćenih neuronskih mreža za predviđanje je mreža sa prostiranjem signala unapred (eng. *feedforward*). Kao što sam naziv kaže kod nje signal putuje samo u jednom smeru, od ulaznog ka izlaznom sloju. Ovaj tip neuronske mreže je korišćen u ovom radu. Takođe, postoje i složenije neuronske mreže kod kojih se signal može prostirati u oba smera (eng. *feedback*).

2.1. Detekcija izuzetaka - boks dijagram

Pod izuzecima (eng. *outlier*) se podrazumevaju opservacije koje su na neki način nekonzistentne sa većinom opservacija iz posmatranog skupa (Sim 2005). Ovaj tip opservacija može dovesti do pogrešnog izračunavanja parametara uzoraka i samim tim loše procene parametara populacije, kao i do grešaka u rezultatima implementiranih modela predviđanja. Zbog toga je potrebno obraditi potencijalne izuzetke u podacima korišćenjem univarijantnih ili multivarijantnih metoda, u zavisnosti od prirode posmatranog problema.

Najpoznatija univarijantna metoda za detekciju izuzetaka u podacima je boks dijagram. Ova metoda definiše donju i gornju granicu intervala unutar kojeg se opservacije ne tretiraju kao nestandardne. Prvi korak je da se pronade interkvartilni rang (Dovoedo and Chakraborti 2015). On obuhvata 50% posmatranih opservacija koje se nalaze između prvog i trećeg kvartila. Nakon toga se za donju granicu intervala definiše vrednost koja je manja od donjeg kvartila za jednu i po dužinu interkvartilnog ranga. Gornja granica pomenutog intervala se formira na sličan način (kao vrednost koja je veća od gornjeg kvartila za jednu i po dužinu interkvartilnog ranga). Sve opservacije koje pripadaju ovako definisanom intervalu ne tretiraju se kao nestandardne. Preostale opservacije koje imaju vrednosti niže od donje granice ili više od gornje granice smatramo ekstremnim vrednostima odnosno univarijantnim izuzecima (Slika 2).



Slika 2: Identifikacija izuzetaka u podacima pomoću boks dijagrama

Kada su u pitanju multivarijacione metode, najpoznatija metoda za identifikovanje multivarijacionih izuzetaka je linearna regresija. Odstojanja između vrednosti svih posmatranih obeležja za date opservacije se najčešće izračunavaju korišćenjem Mahalanobisovog i Kukovog odstojanja. Mahalanobisovo odstojanje (Mahalanobis 1930) koristi vektor srednjih vrednosti i k-dimenzionu kovarijaciono-disperzionu matricu koja je posebno osetljiva na izuzetke u podacima. Kukovo odstojanje (Cook 1977) procenjuje razlike u izračunatim regresionim koeficijentima nakon eliminacije jedne po jedne opservacije koja je identifikovana kao nestandardna. To znači da se ova metoda mora sprovoditi sve dok se ne eliminišu sve sumnjive opservacije.

3. EKSPERIMENT

3.1. Opis podataka

Problem istraživanja predstavlja predviđanje indeksa korisnosti igrača u košarci, kao i analiza uticaja izuzetaka u podacima na rezultate predviđanje. Skup podataka koji je korišćen u radu preuzet je sa platforme *Kaggle* (Ferrer 2017). Za istraživanje su izabrani podaci koji se odnose na statistike utakmica Prve španske lige u periodu od 2015-2018. godine. Izabrano je pet igrača koji duži niz godina igraju zajedno u klubu viokog



renomea kao što je Real Madrid i koji su u sastavu tima ostali u tekućoj 2018. godini. Na osnovu analize početne baze podataka za ulazne podatke izvedene su sledeće promenljive:

- **rang protivnika** – predstavljen je trenutnim rangom protivničke ekipe na tabeli;
- **startna petorka** – sa 0 su prikazani igrači koji nisu startna petorka, a sa 1 igrači koji su započeli meč;
- **faktor domaćeg terena** – korišćen je podatak da li je ekipa domaćin ili gost, kao i posećenost utakmice; ukoliko je ekipa gost broj posetilaca pomnožen je sa -1, a ukoliko je domaćin sa +1;
- **kvalitet igrača** – meren je indeksom korisnosti, odnosno uzimana je prosečna vrednost prethodnih indeksa korisnosti za posmatranog igrača;
- **forma igrača** – merena je kao prosečna vrednost indeksa korisnosti prethodnih 5 utakmica na kojima je igrač nastupio.

Indeks korisnosti igrača za svaku utakmicu predstavlja izlaznu promenljivu iz modela.

3.2. Opis eksperimenta

U prvom koraku potrebno je da se za odabrane ulazne i izlazne podatke izabere optimalna struktura neuronske mreže. Konkretno, za odabrani tip neuronske mreže sa prostiranjem signala unapred eksperimentalno smo odredili broj skrivenih slojeva, broj neurona po sloju i odgovarajuću aktivacionu funkciju. Testirali smo jedan i dva skrivena sloja sa 10, 15 i 20 neurona po sloju, kao i tri standardne aktivacione funkcije: *purelin*, *logsig* i *tansig*. Time smo dobili 18 različitih struktura neuronskih mreža sa prostiranjem signala unapred. Simulacija je sprovedena u programskom okruženju Matlab 2016a. Skup podataka je podeljen tako što su dve i po sezone korišćene za treniranje i pola sezone za testiranje neuronske mreže. Mere performansi za neuronske mreže koje su korišćene u radu su: srednja kvadratna greška (SKG), srednja apsolutna greška (SAG), varijansa, najveće negativno odstupanje i najveće pozitivno odstupanje.

U drugom koraku smo ispitivali uticaj postojanja izuzetaka u podacima na rezultate predviđanja. Primenom boks dijagrama u programskom jeziku R identifikovani su izuzeci u ličnim statistikama igrača. Zatim je eksperiment ponovljen za pretprocesirane podatke u kojima su uklonjeni izuzeci.

4. REZULTATI

Za testirane strukture neuronskih mreža, najbolje rezultate pokazala je neuronska mreža sa dva skrivena sloja, 20 neurona i *purelin* aktivacionom funkcijom čije ćemo rezultate prikazati u daljem delu rada. Rezultati predviđanja za pet izabranih košarkaških igrača predstavljeni su kroz prosečne vrednosti izabranih mera performansi ostvarenih u 10 iteracija predviđanja. U Tabeli 1 prikazane su SKG, SAG sa pripadajućom varijansom, kao i najveća dobijena negativna i pozitivna odstupanja prilikom predviđanja. Svi ovi rezultati su prikazani za oba slučaja: bez korišćenja metoda za pretprocesiranja podataka i sa korišćenjem boks dijagram za detekciju izuzetaka.

Tabela 1: Rezultati predviđanja indeksa korisnosti

RB	Igrač	Pretprocesiranje podataka	SKG	SAG	Varijansa SAG	Najveće negativno odstupanje	Najveće pozitivno odstupanje
1	Luka Dončić	bez pretprocesiranja	64,183	6,323	25,797	-9,141	14,738
		boks dijagram	26,646	4,917	12,052	-9,958	3,256
2	Serhio Ljuij	bez pretprocesiranja	82,358	7,440	28,482	-13,300	19,296
		boks dijagram	24,295	3,487	4,391	-6,633	6,800
3	Jonas Mačiulis	bez pretprocesiranja	69,950	7,042	21,490	-15,079	12,271
		boks dijagram	67,756	6,989	19,910	-16,352	13,777
4	Andres Nosioni	bez pretprocesiranja	65,960	6,102	27,658	-18,485	8,208
		boks dijagram	54,165	5,551	24,649	-18,354	8,153
5	Felipe Rejes	bez pretprocesiranja	69,844	6,047	34,060	-25,569	10,965
		boks dijagram	68,222	6,220	32,227	-24,999	11,791

Iz rezultata se pokazuje da gotovo svi igrači imaju približno iste vrednosti SKG i SAG pre uklanjanja izuzetaka. Jedini koji se izdvaja sa većom greškom je Serhio Ljuij. Interesantno je da upravo kod njega



vrednosti SKG i SAG greške drastično opadaju nakon uvođenja boks dijagrama za ukljanjanje izuzetaka – više nego kod ostalih igrača. Potpuno suprotan primer je slučaj Jonasa Mačiulisa, kod koga pretprocesiranje izuzetaka boks dijagramom skoro uopšte ne doprinosi smanjenju greške predviđanja. Na osnovu ova dva izdvojena slučaja možemo zaključiti da je Ljuj igrač koji ima manje oscilacije u igri i da je kod njega lakše izdvojiti izuzetke u indeksu korisnosti nego kod ostalih. Sa druge strane, Mičiulis ima dosta promenljiviju igru, pa kod njega izuzeci nisu izolovani slučajevi već su deo pravila ponašanja.

Tabela 2: Promene performansi neuronske mreže nakon primene boks dijagrama

RB	Igrač	SKG	SAG	Varijansa SAG	Najveće negativno odstupanje	Najveće pozitivno odstupanje
1	Luka Dončić	-58,48%	-22,24%	-53,28%	8,94%	-77,91%
2	Serhio Ljuj	-70,50%	-53,13%	-84,58%	-50,13%	-64,76%
3	Jonas Mačiulis	-3,14%	-0,75%	-7,35%	8,44%	12,27%
4	Andres Nosioni	-17,88%	-9,03%	-10,88%	-0,71%	-0,67%
5	Felipe Rejes	-2,32%	2,86%	-5,38%	-2,23%	7,53%
Prosečna promena		-30,47%	-16,46%	-32,30%	-7,14%	-24,71%

U Tabeli 2 prikazan je uticaj izuzetaka u podacima na performanse predviđanja neuronske mreže. Iz rezultata možemo zaključiti da je ukljanjanje izuzetaka korišćenjem boks dijagrama pozitivno uticalo na performanse predviđanja neuronske mreže. SKG je u proseku smanjena za 30%, dok je prosečno smanjenje kod SAG oko 16%. Interesantno je napomenuti da su se posmatrani igrači podelili u dve grupe/kategorije. Prvoj grupi pripadaju Ljuj i Dončić, kod kojih je boks dijagram doveo do značajnog smanjenja grešaka, pripadajuće varijanse i najvećih odstupanja. Drugu grupu čine Mačiulis, Nosioni i Rejes kod kojih rezultati nisu značajnije promenjeni. Zaključak koji se nameće je da prvu grupu čine „kvalitetniji“ igrači koji imaju konstantniju igru.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršena je analiza uticaja izuzetaka na performanse neuronskih mreža u predviđanju indeksa korisnosti košarkaških igrača. Za detekciju izuzetaka u podacima korišćen je boks dijagram, dok je neuronska mreža sa prostiranjem signala unapred izabrana za model predviđanja. Testirano je više različitih struktura mreže u pogledu broja slojeva, neurona po sloju i tipa aktivacione funkcije, a u samom radu su predstavljeni rezultati najuspešnije strukture. Eksperiment je izvršen za pet izabranih igrača košarkaškog kluba Real Madrid u košarkaškim sezonama 2015/16, 2016/17 i 2017/18. Kriterijum koji smo koristili za izbor igrača bio je da izabrani igrači duži niz godina igraju zajedno u klubu viokog renomea. Želja autora je bila da se smanji uticaj na performanse igrača, koji može nastati usled slabih rezultata kluba ili česte promene igrača u klubu.

Ostvareni rezultati pokazali su da je korišćenje boks dijagram za detekciju izuzetaka poboljšalo performanse predviđanja neuronskih mreža. Ova poboljšanja posebno su značajna kod „kvalitetnijih“ igrača, sa stabilnijim performansama kod kojih su izuzeci jasnije izolovani. Posebno je interesantno da su se, nakon primene boks dijagrama analizirani igrači grupisali u dve grupe prema uticaju izuzetaka na performanse predviđanja. Ovakav rezultat otvara mogućnost za dalju upotrebu ovog modela za analizu igračkih kvaliteta košarkaša, a posebno za skauting i identifikaciju izuzetnih igrača.

Za buduća istraživanja predlaže se analiza izuzetaka pomoću multivarijacionih metoda kao što je DBSCAN (eng. *Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise*) sa ciljem da se ispita da li za određene pozicije igrača u timu postoje ključne karakteristike igrača koje se posebno izdvajaju.



LITERATURA

- [1] Bunker, R. P., & Thabtah, F. (2017). A machine learning framework for sport result prediction. *Applied Computing and Informatics*, in press.
- [2] Cook, R. D. (1977). Detection of influential observation in linear regression. *Technometrics*, 19(1), 15-18.
- [3] Dovoedo, Y.H., & Chakraborti, S. (2015). Boxplot-Based Outlier Detection for the Location-Scale Family. *Communications in statistics-simulation and computation*, 44(6), 1492-1513.
- [4] Ferrer, A. J. G. (2017). ACB 1994-2016 Spanish Basketball League Results, Version 3. Retrieved from <https://www.kaggle.com/jgonzalezferrer/acb-spanish-basketball-league-results>.
- [5] Haghghat, M., Rastegari, H., & Nourafza, N. (2013). A review of data mining techniques for result prediction in sports. *Advances in Computer Science: an International Journal*, 2(5), 7-12.
- [6] Haykin, S. (1994). *Neural networks: a comprehensive foundation*. New Jersey: Prentice Hall PTR.
- [7] Hornik, K., Stinchcombe, M., & White, H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural networks*, 2(5), 359-366.
- [8] Hwang, D. (2012). Forecasting NBA Player Performance using a Weibull-Gamma Statistical Timing Model. *MIT Sloan Sports Analytics Conference*, March 2-3, 2012, Boston, MA, USA.
- [9] Iyer, S. R., & Sharda, R. (2009). Prediction of athletes performance using neural networks: An application in cricket team selection. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5510-5522.
- [10] Ivanković, Z., Racković, M., Markoski, B., Radosav, D., & Ivković, M. (2010). Analysis of basketball games using neural networks. *11th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI)*, November 18-20, 2010, Budapest, Hungary, 251-256.
- [11] Loeffelholz, B., Bednar, E., & Bauer, K. W. (2009). Predicting NBA games using neural networks. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 5(1), 1-17.
- [12] Mahalanobis, P. C. (1930). On tests and measures of groups divergence. *Journal of Asiatic Sociology of Bengal*, 26, 541-588.
- [13] McCullagh, J. (2010). Data mining in sport: A neural network approach. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 4(3), 131-138.
- [14] Radovanović, S., Radojičić, M., Jeremić, V., & Savić, G. (2013). A novel approach in evaluating efficiency of basketball players. *Management*, 67, 37-45.
- [15] Sim, C.H., Gan, F.F., & Chang, T. C. (2005). Outlier labeling with boxplot procedures. *Journal of the American Statistical Association*, 100(470), 642-652.
- [16] Werbos, P. J. (1990). Backpropagation through time: what it does and how to do it. *Proceedings of the IEEE*, 78(10), 1550-1560.



GRAFIČKI PRIKAZ REALNO-VREDNOSNIH LOGIČKIH RELACIJA EKVIVALENCIJE I RAZLIČITOSTI VIŠEDIMENZIONALNIH LOGIČKIH PROMENLJIVIH

GRAPHICAL PRESENTATION OF REAL-VALUED LOGICAL RELATION OF EQUIVALENC AND DISIMILARITY OF MULTIDIMENSIONAL LOGIAL VARIABLES

DRAGAN RADOJEVIĆ¹

¹ Institut Mihajlo Pupin, dragan.radojevicl@pupin.rs

Rezime: U ovom radu se grafički ilustruju realno-vrednosne logičke relacije sličnosti i različitosti za slučaj dvo-dimenzionih logičkih promenljivih.

Ključne reči: Konzistentna realno-vrednosna logika, višedimenzione realno-vednosne logičke promenljive, realno-vrednosna logička relacija sličnosti i različitosti, grafička prikaz

Abstract: In this paper is given graphical illustration of consistent real-valued logical relations of equivalence and non equivalence for two-dimensional real-valued logical variables.

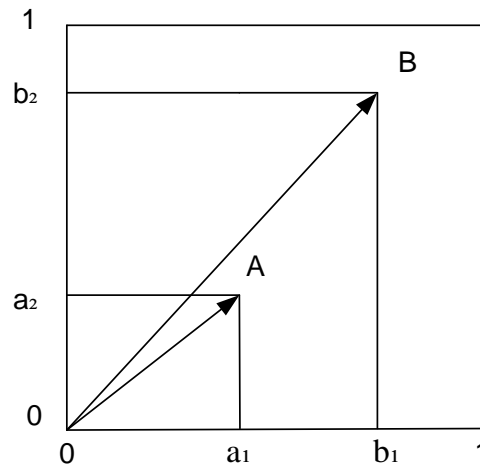
Keywords: Consistent real-valued logic, multi-dimensional real-valued logical variables, real-valued logical relation of equivalence and non-equivalence, graphical representation

1. UVOD

IBA Interpolativna Bulova Algebra (1) je konzistentna realno-vrednosna realizacija Bulove algebre i omogućuje konzistentne realno-vrednosne generalizacije svih teorija zasnovanih na klasičnoj dvo-vrednosnoj Bulovoj algebri. Sve teorije poznate pod imenom fazi zasnovane na IBA su Bulovski konzistentne za razliku od uobičajenih fazi pristupa zasnovanih na principu istinitosne funkcionalnosti. U ovom radu se grafički islustruju realno-vrednosne realizacije relacije ekvivalencije i negacija relacije ekvivalencije za slučaj dvo-dimenzionalnih realno-vednosnih promenljivih.

2. DVODIMENZIONALNA REALNO-VREDNOSNA LOGIČKA PROMENLJIVA

Dvodimenzione logičke promenljive $A(a_1, a_2), B(b_1, b_2)$ gde su $a_1, a_2, b_1, b_2 \in [0, 1]$ su grafički prikazane na slici 1. Komponente sa istim indeksom a_1 i b_1 i a_2 i b_2 predstavljaju iste osobine a različiti indeksi označavaju različite u ovom slučaju nezavisne osobine. Kao posledica AND operator za iste osobine je \min funkcija a za različite klasični proizvod \times .



Slika 1. Grafički prikaz dve dvodimenzionalne logičke promenljive A i B

4. GRAFIČKI PRIKAZ LOGIČKE RELACIJE EKVIVALENCIJE DVE DVO-DIMENZIONALNE LOGIČKE PROMENLJIVE

Relacija ekvivalencije dve dvodimenzionalne logičke promenljive glasi:

$$\begin{aligned}
 A(a_1, a_2) \Leftrightarrow B(b_1, b_2) &:= (a_1 \Leftrightarrow b_1) \wedge (a_2 \Leftrightarrow b_2), \\
 &= (a_1 \Leftrightarrow b_1) \times (a_2 \Leftrightarrow b_2).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Gde su relacije ekvivalencije suma jednakog posedovanja analizirane osobine i istovremeno jednakog ne posedovanja te iste osobine

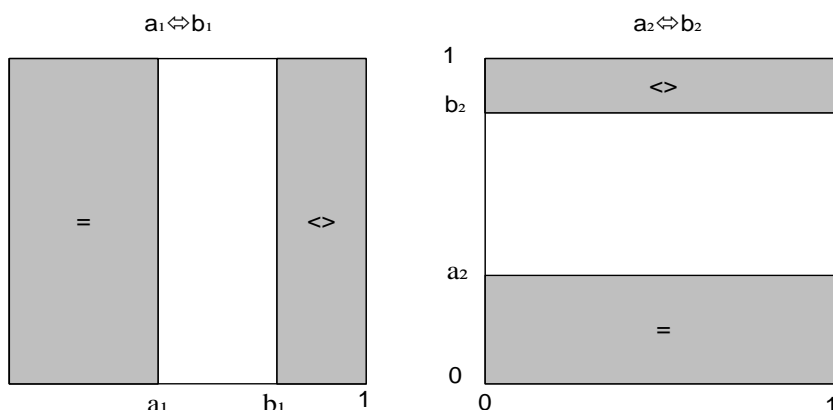
$$(a_i \Leftrightarrow b_i) = (a_i = b_i + a_i \diamond b_i), \quad i = 1, 2.
 \tag{2}$$

Relacija jednakosti posedovanja i neposedovanja analizirane osobine primenom IBA definisane su sledećim izrazima:

$$a_i = b_i := \min(a_i, b_i),
 \tag{3}$$

$$a_i \diamond b_i := 1 - a_i - b_i + \min(a_i, b_i).
 \tag{4}$$

Na sledećoj slici su prikazane vrednosti parcijalnih relacija sličnosti komponenti logičkih dvodimenzionalnih promenljivih:



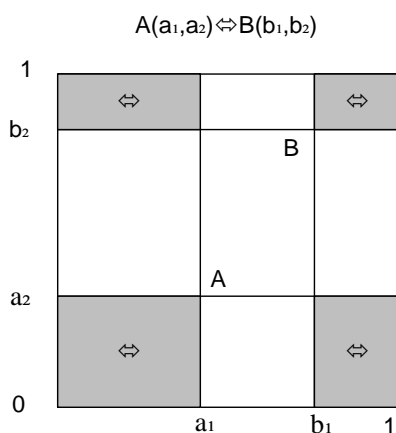
Slika 2. Grafički prikaz vrednosti ekvivalencije komponenti dvodimenzionalnih logičkih promenljivih

Relacija ekvivalencije dve logičke dvodimenzionalne promenljive data je sledećim izrazom

$$A(a_1, a_2) \Leftrightarrow B(b_1, b_2) = (a_1 = b_1) \times (a_2 = b_2) + (a_1 = b_1) \times (a_2 \diamond b_2) + (a_1 \diamond b_1) \times (a_2 = b_2) + (a_1 \diamond b_1) \times (a_2 \diamond b_2). \quad (5)$$

Dakle, u slučaju dve dvodimenzionalne promenljive relacija ekvivalencije ima ukupno četiri komponente: $(a_1 = b_1) \times (a_2 = b_2)$ relacija jednakosti istovremenog posedovanja oba para komponenti, $(a_1 = b_1) \times (a_2 \diamond b_2)$ relacija jednakosti posedovanja para prve komponente i neposedovanja drugog para komponenti, $(a_1 \diamond b_1) \times (a_2 = b_2)$ relacija jednakosti posedovanja para druge komponente i ne posedovanja prve komponente i $(a_1 \diamond b_1) \times (a_2 \diamond b_2)$ relacije jednakosti neopredovanja oba para komponenti.

Grafički prikaz relacije ekvivalencije dva dvodimenzionalne logičke promenljive predstavlja presek parcijalnih relacija sličnosti i dat je na sledećoj slici:



Slika 3. Grafički prikaz vrednosti ekvivalencije dve dvodimenzionalne logičke promenljive

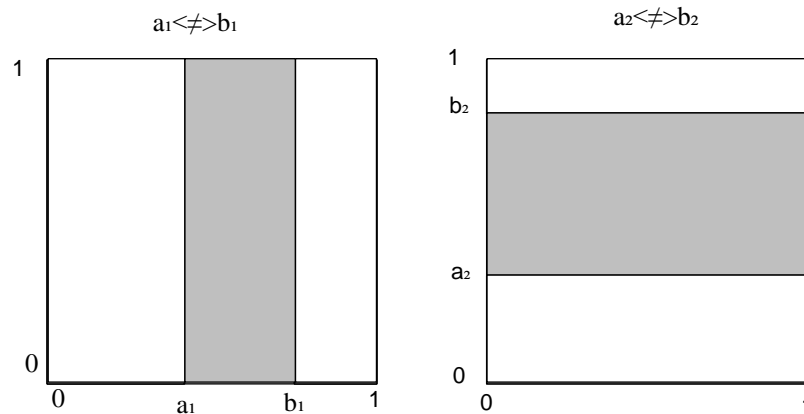
4. GRAFIČKI PRIKAZ LOGIČKE RELACIJE NEPOREDIVOSTI DVE DVO-DIMENZIONALNE LOGIČKE PROMENLJIVE

Relacija neporedivosti dve logičke dvodimenzionalne promenljive (negacija relacije odgovarajuće ekvivalencije) data je sledećom izrazom:

$$\begin{aligned} A(a_1, a_2) \Leftrightarrow B(b_1, b_2) &= (a_1 \Leftrightarrow b_1) \vee (a_2 \Leftrightarrow b_2), \\ &= (a_1 \Leftrightarrow b_1) + (a_2 \Leftrightarrow b_2) - (a_1 \Leftrightarrow b_1) \times (a_2 \Leftrightarrow b_2). \end{aligned} \quad (4)$$

$$(a_i \Leftrightarrow b_i) = 1 - (a_i \Leftrightarrow b_i), \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

Relacije različitosti logičkih komponenti prikazana je na sledećoj slici:

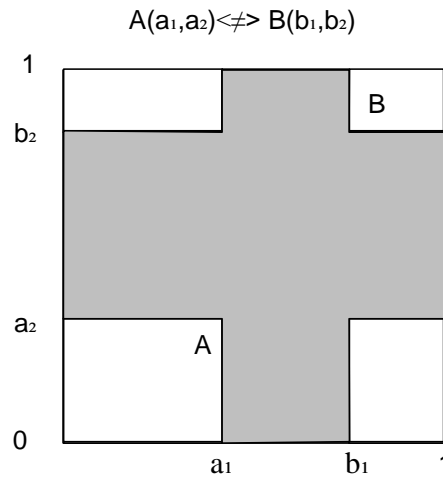


Slika 4: Vrednosti različitosti komponenti dve logičke promenljive

Relacija različitosti (negacija ekvivalencije) dve dvodimenzionalne logičke promenljive data je sledećim izrazom:

$$\begin{aligned} A(a_1, a_2) \Leftrightarrow B(b_1, b_2) &= 1 - (a_1 \Leftrightarrow b_1) + 1 - (a_2 \Leftrightarrow b_2) - (1 - a_1 \Leftrightarrow b_1) \times (1 - a_2 \Leftrightarrow b_2), \\ &= 1 - (a_1 \Leftrightarrow b_1) + 1 - (a_2 \Leftrightarrow b_2) \\ &\quad - (1 - a_1 \Leftrightarrow b_1 - a_2 \Leftrightarrow b_2 + a_1 \Leftrightarrow b_1 \times a_2 \Leftrightarrow b_2), \\ &= 1 - (a_1 \Leftrightarrow b_1 \times a_2 \Leftrightarrow b_2), \\ &= 1 - A(a_1, a_2) \Leftrightarrow B(b_1, b_2). \end{aligned} \quad (6)$$

Dakle, relacija različitosti je komplementarna relaciji ekvivalencije. Grafički prikaz vrednosti različitosti dve analizirane dvodimenzionalne logičke promenljive prikazan je na sledećoj slici:



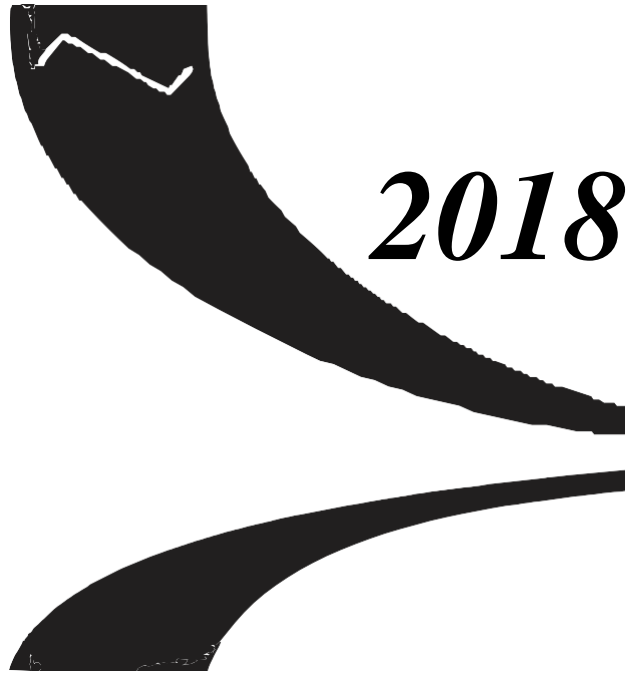
Slika 5. Vrednost relacije različitosti dvodimenzionalnih logičkih promenljivih A i B

5. ZAKLJUČAK

Dakle, dvodimenzionalna logička promenljiva je jedan objekt sa dve funkcije pripadnosti – dve međusobno nezavisne osobine. Grafički prikaz relacije sličnosti i/ili ekvivalencije logičkih višedimenzionalnih promenljivih su pored ostalog, od značaja za razumevanje primena istih.

LITERATURA

- [1] Radojević, D. (2000). (0, 1)-valued logic: A natural generalization of Boolean logic. Yugoslav Journal of Operations Research, 10(2), 185-216
- [2] Radojević, D. (2005). Interpolative relations and interpolative preference structures. Yugoslav Journal of Operations Research 15(2), 171-189.



2018

NAUKA O PODACIMA



UČENJE PREFERENCIJA KAO METOD OPTIMIZACIJE AUC MERE BINARNIH KLASIFIKATORA

PREFERENCE LEARNING AS AN AUC OPTIMIZATION METHOD FOR BINARY CLASSIFIERS

MARKO MILANOVIĆ¹, MILOŠ JOVANOVIĆ²

¹ Seven Bridges Genomics, marko.milanovic@sbgenomics.com

² Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, milos.jovanovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: U ovom radu interpretiraćemo PLIS metod za učenje rangova kao binarni klasifikator koji direktno optimizuje AUC meru i uporediti dobijene rezultate sa logističkom regresijom kao jednim od najpopularnijih klasifikatora. PLIS je metod koji pripada učenju preferencija - novoj i sve popularnijoj podoblasti mašinskog učenja. Trening podaci dati su u vidu parova preferencija između alternativa koje su rangirane na osnovu zavisne promenljive datog skupa podataka dok se evaluacija vrši na osnovu tzv. C-indeksa. Problem binarne klasifikacije se može rešavati i primenom PLIS metoda gde se instancama jedne klase daje veća preferencija u odnosu na instance druge klase kako bi se dobio odgovarajući trening skup i u tom slučaju se C-indeks svodi upravo na AUC. Dobijeni rezultati ukazuju da PLIS metod ima uporedive ili čak nešto bolje rezultate od logističke regresije u pogledu AUC mere.

Ključne reči: učenje preferencija, PLIS, AUC.

Abstract: In this paper we will interpret PLIS method for learning-to-rank problems as a binary classifier which directly optimizes AUC and compare obtained results with logistic regression as one of the most popular classification methods. PLIS method belongs to group of methods for preference-learning problems which is an emerging subfield of machine learning. Training data is given in the form of pairwise comparisons between alternatives that are ordered according to response variable of a given training set and evaluation is done using so called C-index. Binary classification problem can be solved by applying PLIS method where we prefer instances of one class over the instances of the other in order to create suitable training set in which case C-index reduces to AUC. Obtained results show that PLIS method performs comparably or slightly better than logistic regression in terms of AUC.

Keywords: preference learning, PLIS, AUC.

1. UVOD

Učenje klasifikacionih modela bazira se na optimizaciji određene funkcije greške. U zavisnosti od izbora modela i algoritma, funkcije greške mogu biti tačnost, verodostojnost, entropija, itd. Ipak, često tako naučeni klasifikatori ne daju prihvatljive rezultate, posebno kada greške klasifikacije (prvog i drugog tipa) nisu podjednako skupe, ili postoji veći disbalans klasa u podacima. Tada je praksa da se naučeni modeli evaluiraju i porede korišćenjem AUC mere (eng. *area under ROC curve*), koja meri mogućnost klasifikatora da razlikuje klase bez obzira na prisutni disbalans (Trevor *et al.*, 2009).

Sa druge strane, novi pristupi u učenju preferencija odlučivanja (Johanes and Eyke, 2010), koriste primere izbora donosioca odluka da modeluju funkciju izbora. Takvi modeli najčešće koriste metode učenja iz parova instanci (Johanes and Eyke, 2010). Iako oni za učenje zahtevaju podatke u drugačijoj formi neko algoritmi za binarnu klasifikaciju, u ovom radu istražićemo mogućnost transformacije problema binarne klasifikacije u problem učenja preferencija, sa posebnim akcentom na efekat optimizacije AUC mere, koji se time dobija.



2. PLIS MODEL

U ovom odeljku ukratko ćemo opisati PLIS (eng. preference-based learning of ideal solution, Manish *et al.*, 2014) metod za rangiranje instanci i interpretirati ga kao binarni klasifikator koji direktno optimizuje AUC (površina ispod ROC krive). PLIS je probabilistički metod za rešavanje problema koji se tiče rangiranja instanci koji se oslanja na dobro poznati TOPSIS (eng. Technique for order preference by similarity to ideal solution, Hwang *et al.*, 1981) metod. Suštinska razlika između ova dva metoda je u tome što PLIS metod uči takozvano ‘idealno rešenje’ dok je ono u TOPSIS metodu relativno arbitrarno određeno. Pod idealnim rešenjem se smatra ona instanca/alternativa koja se donosiocu odluke čini najpoželjnijom, te kao takva predstavlja neku vrstu reference na osnovu koje se donosi odluka. Primetimo da idealno rešenje ne mora nužno pripadati skupu alternativa i najčešće to i nije slučaj. Za dati skup alternativa $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ i skup atributa $F = \{f_1, f_2, \dots, f_M\}$ svaka alternativa a_i se može predstaviti kao vektora $a_i = \{a_i^{(1)}, a_i^{(2)}, \dots, a_i^{(M)}\}$. TOPSIS metod određuje pozitivno idealno rešenje na sledeći način:

$$PIR = (max_i(a_i^{(1)}), max_i(a_i^{(2)}), \dots, max_i(a_i^{(M)})) \quad (1)$$

i na analogan način ‘negativno idealno rešenje’ (NIR). TOPSIS dalje dodeljuje skor alternativama na osnovu udaljenosti od predhodno definisanih referentnih tačaka na sledeći način:

$$s_i = d_i^{(T)} / (d_i^{(T)} + d_i^{(L)}) \quad (2)$$

gde je $d_i^{(T)}$ udaljenost alternative od PIR-a a $d_i^{(L)}$ udaljenost alternative od NIR-a. Jasno je da što je dodeljeni skor manji to je alternativa bolje rangirana (alternativa je bliža pozitivnom idealnom rešenju a dalja od negativnog idealnog rešenja). Jedan od uslova koji TOPSIS metod pretpostavlja je da svaki od atributa predstavlja ordinalnu promenljivu kao i da je monoton u odnosu na rang odakle sledi opravdanost u korišćenju ekstremnih vrednosti atributa unutar skupa alternativa kao pozitivno odnosno negativno idealno rešenje. Takođe, bez smanjenja opštosti se uzima pretpostavka da su svi atributi pozitivno korelisani sa rangom. U suprotnom mogu se posmatrati negativne vrednosti atributa koje će u tom slučaju biti pozitivno korelisane sa rangom, stoga, korišćenje maksimalnih vrednosti atributa u izboru PIR-a ima smisla. Ipak, ovakav izbor PIR-a ima nekoliko mana. Prvo, idealno rešenje zavisi samo od skupa posmatranih alternativa a te se može desiti da za neki drugi skup alternativa A' i alternative $a_i a'_i$ koje pripadaju u oba skupa važi sledeće: $a > a'$ u kontekstu A dok $a < a'$ u kontekstu A' . Drugo, izbor idealnog rešenja kao kombinacija najboljih atributa svih alternativa treba biti realističan u izboru donosioca odluke što nije slučaj kada postoje konfliktni atributi u smislu da velika vrednost jednog atributa ne dozvoljava veliku vrednost drugog i obratno. PLIS metod rešava problem donekle arbitrarnog izbora idealnog rešenja tako što idealno rešenje uči iz datog skupa preferencija između alternativa i na osnovu naučenog idealnog rešenja omogućava poređenje (rangiranje) novih alternativa. Pretpostavimo da je dat skup alternativa A_i skup preferencija $S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$ koje imaju sledeću formu: $s_n: a_n > b_n$, gde $a_n, b_n \in A$, dakle svaka preferencija je data u vidu direktnog poređenja 2 alternative. Neka je $z = (z^{(1)}, z^{(2)}, \dots, z^{(M)})$ idealno rešenje, $D(a, z)$ euklidsko rastojanje između alternative a_i i idealnog rešenja dato sledećom formulom:

$$D(a, z) = (\sum_{i=1}^M (a^{(i)} - z^{(i)})^2)^{1/2} \quad (3)$$

PLIS model donosi odluku o preferenciji između dveju alternativa na osnovu sledećeg izraza:

$$P(a > b | z) = \frac{\exp(-D(a, z))}{\exp(-D(a, z)) + \exp(-D(b, z))} \quad (4)$$



Prema prethodnom modelu jasno je da što je rastojanje između a i b veće a rastojanje između b i z manje to je verovatnoća da je $a > b$ veća. Verovatnoća posmatranog skupa preferencija S uz pretpostavku da su preferencije iz datog skupa statistički nezavisne data je sa:

$$P(S | z) = \prod_{n=1}^N P(a_n > b_n | z) = \prod_{n=1}^N \frac{\exp(-D(a_n, z))}{\exp(-D(a_n, z)) + \exp(-D(b_n, z))} \quad (5)$$

što predstavlja funkciju verodostojnosti kada se posmatra kao funkcija od idealnog rešenja z^* dok rešenje metodom maksimalne verodostojnosti predstavlja vektor z^* za koji važi:

$$z^* = \underset{z}{\operatorname{argmax}} L(z) \quad (6)$$

gde je

$$L(z) = P(S | z) \quad (7)$$

već pomenuta funkcija verodostojnosti. Podaci korišćeni za evaluaciju PLIS metoda nemaju eksplicitno definisane preferencije već se svakoj instanciji funkcijom c dodeljuje neka klasa $c(a) = c_i$ iz nekog konačnog i uređenog skupa klasa $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ gde je c_1 najlošije a c_k najbolje rangirana klasa. Ovako označene alternative omogućuju kreiranje preferencija tako što se za alternative a i b smatra da $a > b$ ako $c(a) > c(b)$. Za problem definisan ovim putem pogodan način za evaluaciju je takozvani C-indeks koji je dat sledećom formulom:

$$C(d, \bar{A}) = \frac{\sum_{1 \leq i < j \leq k} \sum_{(a,b) \in A_i \times A_j} S(d(b), d(a))}{\sum_{i < j} |A_i| |A_j|} \quad (7)$$

Gde je $\bar{A} = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$ uređena particija skupa alternativa koje pripadaju test skupu A_{test} i $A_i = \{a \in A_{test} | c(a) = c_i\}$ skup alternativa koje pripadaju istoj klasi, tj. imaju isti rang. Funkcija S je indikator funkcija koja ima vrednost 1 ukoliko su alternative a i b tačno rangirane a 0 ukoliko nisu:

$$S(u, v) = \begin{cases} 1, & u > v \\ 0, & u \leq v \end{cases} \quad (8)$$

Iz prethodne formule kojom je opisan C-indeks jasno je da C-indeks predstavlja procenat tačno rangiranih parova alternativa koje imaju različit rang (alternative koje pripadaju istoj klasi ne ulaze u formulu za evaluaciju).

2.1 AUC mera evaluacije

Jedna od najkorišćenijih metrika za evaluaciju binarnih klasifikatora je AUC, posebno kod problema koji imaju veliki disbalans klasa ili nejednake cene grešaka. Najčešća interpretacija AUC metrike je površina (integral) ispod ROC (eng. receiver operating characteristic) krive koja predstavlja sposobnost klasifikatora da detektuje klase pri različitim pragovima razdvajanja. Druga, intuitivnija interpretacija AUC metrike predstavlja verovatnoću da klasifikator dvema instancama koje pripadaju različitim klasama dodeli verovatnoće koje su u skladu sa tim. Drugim rečima, ukoliko instanca a pripada klasi C_1 a instanca b pripada klasi C_0 AUC predstavlja verovatnoću događaja $P(a \in C_1) > P(b \in C_1)$ ili u kontekstu rangiranja instanci verovatnoću $P(a > b)$. Iz funkcije verodostojnosti za PLIS model (7) odnosno (5) može se lako uočiti da u slučaju kada je $k = 2$ PLIS predstavlja binarni klasifikator koji direktno optimizuje AUC. Takođe, u tom slučaju C-index koji se koristi za evaluaciju PLIS modela se svodi na AUC.

U ovom radu ćemo empirijski utvrditi efektivnost korišćenja PLIS modela za indirektnu optimizaciju AUC mere. Da bi to izveli, biće potrebno podatke za binarnu klasifikaciju prevesti u podatke za PLIS model, u vidu formiranja parova slučajeva iz različitih klasa, što je opisano u narednom poglavlju.

3. EKSPERIMENTALNA EVALUACIJA

Podaci korišćeni u ovom radu preuzeti su sa UCI repozitorijuma (Frank and Asuncion, 2010). Detalji o podacima mogu se naći u (Tehrani *et al.* 2012). Svi podaci su ili primeri binarne klasifikacije ili su prevedeni u binarnu klasifikaciju deljenjem izlaznog atributa u 2 grupe. Kako bismo ispitali uticaj različitih disbalansa klasa na performanse klasifikatora, određen broj instanci jedne klase je odstranjen da bismo dobili željeni



odnos klasa unutar skupa podataka. Odnos veličina klasa (disbalans) varira od 0.05 (jedna klasa je 20 puta zastupljenija od druge) do 1 (obe klase su podjednako zastupljene). Odstranjivanje instanci se vrši tako da za dati odnos čuvamo što je moguće više instanci. Zatim, svaki skup podataka na slučajan način delimo na 2 dela $A_{training}$ i A_{test} (u odnosu 7:3 u korist trening skupa) tako da odnos dveju klasa u dva skupa ostane nepromenjen (stratifikovano uzorkovanje). Dalje, standardizujemo attribute nezavisno u oba skupa tako što je svaka vrednost $a_i^{(m)}$ zamenjena vrednošću $(a_i^{(m)} - \mu^{(m)})/\sigma^{(m)}$ gde $\mu^{(m)}$ i $\sigma^{(m)}$ predstavljaju srednju vrednost i standardnu devijaciju atributa m . Sledeći korak se sastoji u kreiranju trening podataka za PLIS metod gde se slučajnim izborom sa ponavljanjem kreiraju parovi instanci koji pripadaju različitim klasama (parovi koji su međusobno uporedivi). Broj parova kontrolisan je parametrom koji se odnosi na procenat svih mogućih uporedivih parova (kardinalnost dekartovog proizvoda dveju klasa) i varira od 0.05 do 1. Nije teško primetiti da je funkcija cilja (7) diferencijabilna te se za nalaženje idealnog rešenja PLIS modela (rešenja jednačine (6)) može koristiti neka od gradijentnih metoda. Konkretno, u implementacije je korišćen 'CG' metod (eng. conjugate gradient) *minimize* funkcije iz paketa *scipy.optimize* programskog jezika *python*. Evaluacija AUC metrike logističke regresije vrši se na test podacima standardnim putem dok za PLIS model ocenu AUC metrike dobijamo kao procenat tačno rangiranih parova instanci u odnosu na broj svih mogućih parova unutar test skupa. Za svaki skup podataka i svaki izbor parametara (izbalansiranost klasa i broj parova za treniranje PLIS modela) postupak je ponavljen 5 puta i u tabeli 1. su dati rezultati u vidu srednje vrednosti i standardne devijacije ocenjene AUC vrednosti.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

U eksperimentima smo koristili po 5 različitih vrednosti za parametre koji kontrolišu izbalansiranost klasa i broj parova. Radi preglednosti u **Tabeli 1** smo prikazali rezultate samo za 3 vrednosti parametara. Rezultati dobijeni na prvih 4 skupa podataka pokazuju da PLIS metod ima performanse u pogledu optimizacije AUC metrike podjednako dobre ili nešto bolje u odnosu na logističku regresiju. Za skup podataka 'Breast cancer' je uočena nešto veća varijansa te je za dobijanje statistički značajnijih rezultata na tom skupu podataka neophodno izvršiti eksperimente sa više ponavljanja. Značajna razlika u performansama u korist logističke regresije se može videti na poslednjem skupu ('Concrete data'), što se može objasniti činjenicom da su atributi u pomenutom skupu dati u vidu relativnih vrednosti u odnosu jedni na druge (suma svih atributa jedne instance je konstantna). Kao takvi, atributi ne mogu biti pozitivno (niti negativno) korelisani sa traženim idealnim rešenjem što je jedna od pretpostavki modela za rangiranje instanci kao što su TOPSIS i PLIS. Dalje, možemo uočiti da veća neizbalansiranost klasa ne utiče značajno na PLIS model. Štaviše, neizbalansiranost klasa u većoj meri utiče na logističku regresiju nego na PLIS model. Zanimljivo je da broj parova korišćenih za treniranje PLIS modela nema preveliki uticaj na performanse modela pri različitim odnosima dveju klasa. Možemo čak primetiti da su uglavnom najbolji rezultati PLIS metodom dobijeni pri korišćenju 5% parova. Ovaj rezultat sugeriše:

- da se optimalni rezultati za PLIS model mogu dobiti i pri broju parova manjim od 5% od ukupnog broja parova za dati skup (ukupan broj parova u datom skupu je kardinalni broj dekartovog proizvoda dve klase).
- da korišćenje većeg broja parova za treniranje PLIS modela ne samo da ne doprinosi poboljšanju performansi već i da potencijalno dovodi do pretreniranja (eng. overfitting).

Vreme treniranja logističke regresije je za nekoliko reda veličine brže što nije neočekivano s obzirom da je za treniranje logističke regresije korišćen dobro optimizovan paket *sklearn* u programskom jeziku *python*. Za treniranje PLIS modela na skupu od oko 50000 parova (preferencija) je potrebno oko 2 sekunde. Takođe, vreme treniranja PLIS modela linearno raste u odnosu na broj parova a ne broj instanci što je naravno i očekivano. Primera radi, s obzirom da se optimalni rezultati postižu već sa 5% parova (a potencijalno i manje) za treniranje PLIS modela na skupu od 6000 instanci (odnos klasa 2:1) bilo bi potrebno oko 16 sekundi.



Tabela 1: Srednja vrednost i standardna devijacija AUC metrike na 5 različitim skupova podataka na osnovu 5 ponavljanja. Parametri koji se nalaze u drugoj koloni odnose se na izbalansiranost dveju klasa, dok parametri u drugom redu označavaju broj parova koji je korišćen za treniranje PLIS modela.

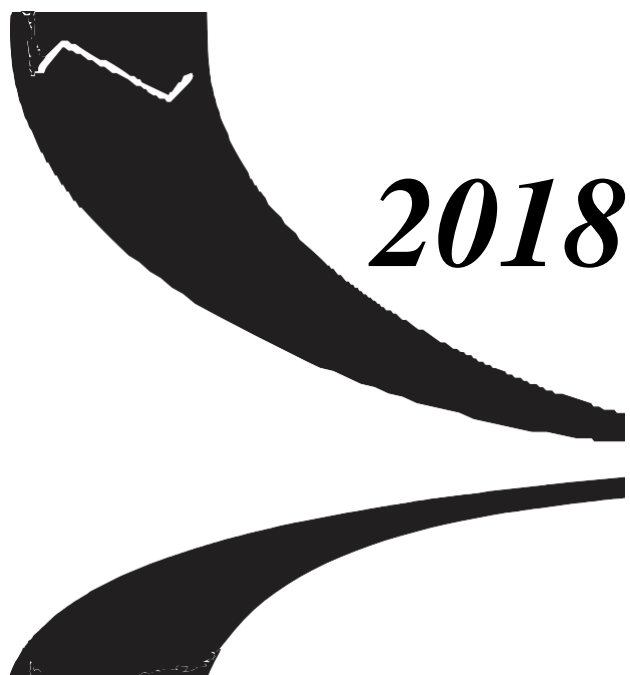
Dataset	Metod	PLIS			Logistička regresija
	Parametri	0.05	0.2	1	/
Abalone data	0.05	0.8897 ± 0.0051	0.8783 ± 0.0095	0.8918 ± 0.0059	0.9013 ± 0.0072
	0.2	0.8940 ± 0.0018	0.8815 ± 0.0051	0.8885 ± 0.0011	0.9036 ± 0.0025
	1	0.8932 ± 0.0037	0.8957 ± 0.0042	0.8869 ± 0.0014	0.9057 ± 0.003
Breast cancer	0.05	0.5774 ± 0.1170	0.7435 ± 0.0584	0.6316 ± 0.0796	0.6801 ± 0.0831
	0.2	0.6605 ± 0.0457	0.7472 ± 0.0299	0.6794 ± 0.0227	0.7042 ± 0.0343
	1	0.7782 ± 0.0257	0.7168 ± 0.0320	0.7152 ± 0.0392	0.7407 ± 0.0284
Car evaluation	0.05	0.9912 ± 0.0011	0.9907 ± 0.003	0.9923 ± 0.0012	0.9818 ± 0.0023
	0.2	0.9930 ± 0.0014	0.9894 ± 0.0013	0.9902 ± 0.0014	0.9828 ± 0.0022
	1	0.9964 ± 0.0021	0.9866 ± 0.002	0.9892 ± 0.0037	0.9813 ± 0.0054
Car MPG	0.05	0.9616 ± 0.0066	0.9551 ± 0.0091	0.9509 ± 0.0183	0.9406 ± 0.0145
	0.2	0.9646 ± 0.0054	0.9545 ± 0.0082	0.9641 ± 0.0018	0.9576 ± 0.0052
	1	0.9596 ± 0.0212	0.9556 ± 0.0124	0.9551 ± 0.0106	0.9506 ± 0.0154
Concrete data	0.05	0.9027 ± 0.0206	0.8826 ± 0.0308	0.8535 ± 0.260	0.9451 ± 0.017
	0.2	0.9211 ± 0.0087	0.8929 ± 0.0088	0.9099 ± 0.009	0.9512 ± 0.0053
	1	0.9170 ± 0.0089	0.9108 ± 0.0048	0.9188 ± 0.0016	0.9508 ± 0.004

5. ZAKLJUČAK

Ovim radom je demonstrirano kako se PLIS metod može koristiti kao klasifikacioni metod koji direktno optimizuje AUC sa uporedivim rezultatima u odnosu na logističku regresiju u određenim domenima. Dobijeni rezultati daju podstrek daljem istraživanju optimizacije AUC metrike pomoću PLIS metoda gde bi se uz opisani metod koristila varijanta koja ima dodeljene težine svakom atributu u formuli za rastojanje (3) od idealnog rešenja kao i varijanta gde bi se koristile samo težine. Takođe, za neko od budućih istraživanja ostavljamo i pitanje optimalnog broja parova potrebnih PLIS metodu kao i uticaj pametnijeg izbora parova u odnosu na slučajno uzorkovanje što bi dodatno smanjilo broj potrebnih parova kao i samo vreme treniranja.

LITERATURA

- [1] Frank, A. and Asuncion, A. (2010). UCI machine learning repository. Available at <http://archive.ics.uci.edu/ml/>
- [2] Hwang, CL., Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. Springer: Berlin, Heidelberg.
- [3] Johanes, F. and Eyke, H. (2010). Preference Learning. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [4] Johanes, F. and Eyke, H. (2010). Preference Learning and Ranking by Pairwise Comparison. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [5] Manish, A., Ali, F.T., & Eyke, H. (2014). Preference-based Learning of Ideal Solution in TOPSIS-like Decision Models. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis.
- [6] Tehrani A.F., Cheng W., & Hüllermeier, E. (2012). Preference learning using Choquet integral: the case of multipartite ranking. IEEE Transactions in Fuzzy Systems with Applications 20(6): 1102-1113
- [7] Trevor, H., Robert, T., & Jerome, F. (2009). The Elements of Statistical Learning. Springer-Verlag, New York.



2018

POSLOVNA ANALITIKA



UTICAJ PRAJMOVANJA U ISTRAŽIVANJU TRŽIŠTA

INFLUENCE OF PRIMING IN MARKETING RESEARCH

LAZAR ČOLIĆ¹, MARINA PETROVIĆ², IVANA PRICA³

¹ Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, lazar@ekof.bg.ac.rs

² Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, marinap@ekof.bg.ac.rs

³ Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, ivanapopov.prica@gmail.com

Rezime: U ovom radu ispitan je uticaj prajmovanja u oflajn i onlajn okruženju u oblasti istraživanja tržišta. Predstavljene su dva istraživanja. U prvom istraživanju analizira se uticaj redosleda pitanja na odgovore ispitanika. Rezultati pokazuju da se efekat prajmovanje u anketama može javiti kroz različite odgovore ispitanika usled manipulisanje redosleda pitanja. U drugom istraživanju ispituje se uticaj regulacionog fokusa na preferencije potrošača u oflajn i onlajn okruženju. Pokazano je da samo okruženje može prajmovati različita psihološka stanja (regulacioni fokus) i oblikovati preferencije potrošača.

Ključne reči: prajmovanje, regulacioni fokus, efekat redosleda pitanja.

Abstract: In this paper we studied the influence of priming in offline and online environment in the field of marketing research. Two studies were conducted. In the first study we analyzed the influence of question order on respondents' answers. The results show that priming can arise due to question ordering in surveys and impact on respondents' answers. The second study examines the impact of regulatory focus on consumer preferences in online and offline environments. It has been shown that the environment itself can prime different psychological states (regulatory focus) and shape consumer preferences.

Keywords: Priming, Regulatory Focus, Question Order Bias.

1. UVOD

Prajming ili priprema (eng. priming) je efekat implicitnog pamćenja gde prethodni stimulus utiče na odgovor na sledeći stimulus (Bargh and Chartrand, 2000). U ovom radu fokus je na dva specijalna slučaja prajmovanja. Analizirali smo uticaj redosleda pitanja na odgovore ispitanika i uticaj regulacionog fokusa na preferencije potrošača u oflajn i onlajn okruženju.

Ispitivanje uticaja redosleda pitanja u upitniku na odgovore ispitanika je veoma kompleksan zadatak. To potvrđuje aktuelnost ove teme koja traje više od četiri decenije. Zaključci koji se izvode iz radova koji se bave uticajem redosleda pitanja u upitniku nisu jednoznačni pre svega zbog toga što na odgovore ispitanika utiču različiti interni i eksterni faktori kao što su: kontekst, tema o kojoj se postavljaju pitanja, demografske karakteristike ispitanika (npr. obrazovanje, starost, pol i sl.), metod ispitivanja (npr. da li je ispitivač prisutan, da li popunjava onlajn-upitnik ili tradicionalni i sl.) i vrsta pitanja (npr. da li su pitanja otvorena ili zatvorena ili da li ispitanici treba da ocene lične stavove, osećanja, ponašanje ili treba da daju informacije o faktičkom stanju i sl.). (McFarland 1981, Schwarz et al. 1991, Lee et al. 2016)

Regulacioni fokus predstavlja psihološko stanje pojedinca gde razlikujemo promotivni fokus i preventivni fokus (Higgins, 1998). Kod promotivnog fokusa pojedinac teži zadovoljavanju potreba koje dovode do ispunjavanja njegovih aspiracija i unapređenja sebe, dok u preventivnom fokusu pojedinac teži zadovoljavanju potrebe sigurnosti i odgovornosti. Regulacioni fokus se manifestuje strateškim pristupom zadovoljavanja svojih potreba. Na primer, osoba u promotivnom fokusu će kod razmatranja o kupovini nameštaja relativno veću pažnju posvetiti komforu u odnosu na cenu, dok će suprotno važiti kod iste osobe u preventivnom fokusu.

Kako bismo pokazali uticaj prajmovanja na ponašanje i stavove pojedinaca sprovedi smo dva istraživanja. Prvo istraživanje analizira uticaj redosleda pitanja na odgovore ispitanika. Ispituje se postojanje efekta prajmovanja koji se manifestuje različitim odgovorima na ista pitanja u zavisnosti od redosleda postavljenih pitanja. Druga istraživanje analizira uticaj regulacionog fokusa na ponašanje potrošača gde je regulacioni fokus u funkciji oflajn i onlajn-okruženja. Samo okruženje može prajmovati određeno psihološko



stanje koje dalje oblikuje preferencije potrošača i upravo je ovom aspektu posvećena pažnja drugog istraživanja.

2. EFEKAT PRAJMOVANJA MANIPULACIJOM REDOSLEDA PITANJA U ANKETAMA NA ODGOVORE ISPITANIKA

Da bismo ispitali efekte prajmovanja manipulacijom redosleda pitanja u anketi sprovedi smo eksperiment nad studentima treće i četvrte godine Ekonomskog fakulteta u Beogradu. U ovom eksperimentu posmatrali smo uticaj redosleda pitanja u upitniku na odgovore ispitanika na osetljiva pitanja. Na rezultat eksperimenta pored redosleda pitanja utiču i drugi faktori koje treba kontrolisati kako bi se merio samo efekat posmatrane nezavisne varijable na zavisnu. U ovom eksperimentu kontrolisali smo sledeće faktore: pol studenata, godina istraživanje, prosečna ocena i metod prikupljanja podataka.

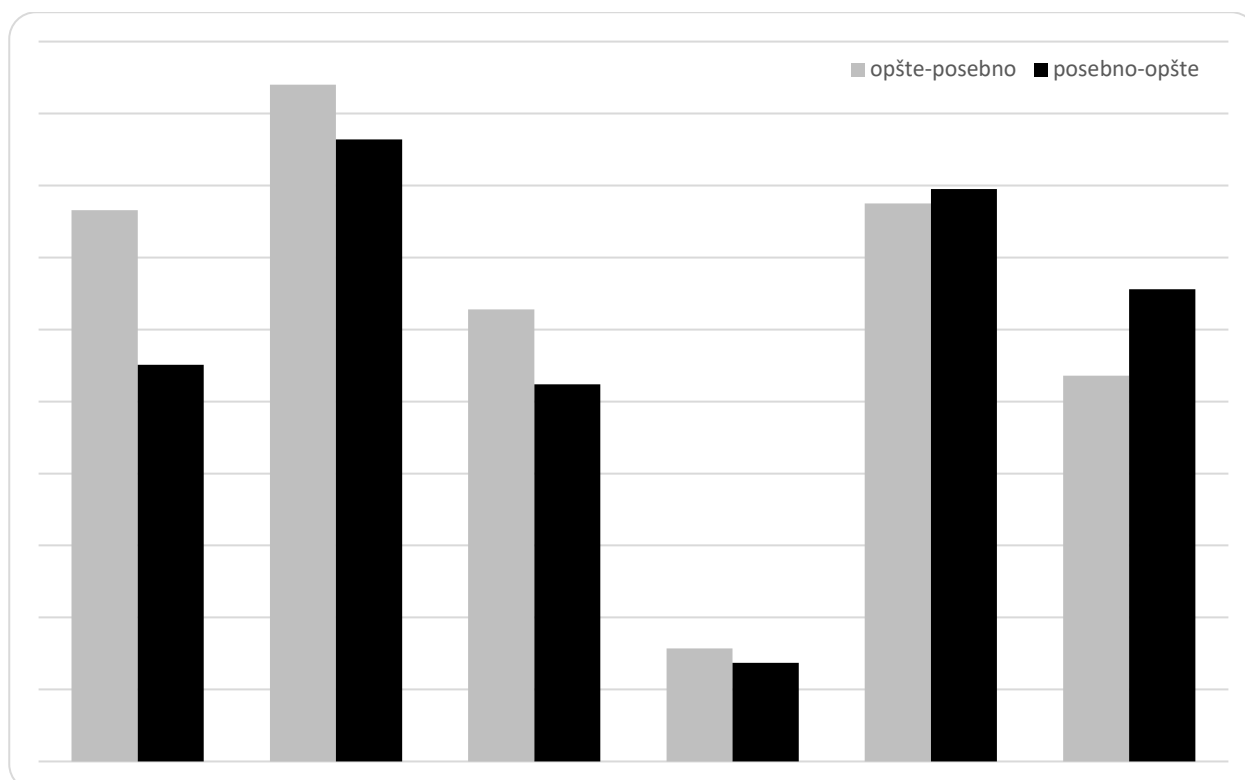
Eksperimentalni dizajn je tako koncipiran da su studenti na slučajan način podeljeni u dve eksperimentalne grupe gde smo kao tretman koristili dva tipa redosleda pitanja: redosled pitanja od opštih ka posebnim i redosled pitanja od posebnih ka opštim. Da bismo kontrolisali način prikupljanja podataka koristili smo blok varijablu koja se odnosila na metod ispitivanja sa dva nivoa: upitnik za samopopunjavanje i onlajn-upitnik.

Tabela 1: Struktura ispitanika prema demografskim karakteristikama u okviru populacije i u okviru izabranih uzoraka (u %)

Redosled pitanja u upitniku	Populacija		Uzorak		
	Opšte- posebno	Posebno- opšte	Opšte- posebno	Posebno- opšte	
Pol	Muški	31,2	28,6	24,9	30,4
	Ženski	68,8	71,4	75,1	69,6
Godina studija	III godina	30,7	33,5	36,3	32,1
	IV godina	69,3	66,5	63,7	67,9
	do 6.5	1,9	2,7	2,3	1,8
Prosečna ocena na studijama	6,51 – 7,5	52,0	50,4	44,6	49,1
	7,51 – 8,5	37,1	36,2	41,2	38,0
	8,51 – 9,5	8,8	9,8	10,7	9,8
	9,51 - 10	0,3	0,8	1,1	1,2

Nakon prikupljanja podataka i pripreme istih za analizu, sprovedena je i logička provera pouzdanosti podataka, tako što je proveravana konzistentnost odgovora na različita pitanja koja su međusobno povezana. Kako bi se dobio uvid u validnost rezultata ispitana je reprezentativnost uzorka poređenjem sličnosti strukture uzorka i strukture populacije. Takođe, ispitivana je i struktura eksperimentalnih grupa kako bi se proverilo da li se ti uzorci mogu smatrati sličnim. Struktura ispitanika prema demografskim karakteristikama u okviru populacije i u okviru izabranih uzoraka je prikazana u Tabeli 1. Za ispitivanje reprezentativnosti uzoraka koristili smo z-test i hi-kvadrat test homogenosti za testiranje proporcija. Analiza reprezentativnosti uzoraka pokazuje da su eksperimentalne grupe prema posmatranim karakteristikama reprezentativne za posmatranu populaciju i da su međusobno slične po strukturi čime se potvrđuje validnost daljih rezultata.

Efekat redosleda pitanja na rezultat istraživanja se meren je procentualnim učešćem odgovora „da” na osetljiva pitanja. Pošto se u eksperimentu kontroliše uticaj faktora kao što su: pol, godina istraživanje, prosečna ocena, metod prikupljanja podataka i smer studenata može se zaključiti da, ako postoji razlika u rezultatima, ona je posledica eksperimentalnog tretmana odnosno prajmovanja. Testirana je nulta hipoteza da se proporcija odgovora „da” na isto pitanje ne razlikuje u dve eksperimentalne grupe („opšte-posebno” i „posebno-opšte”), nasuprot alternativnoj, da razlika postoji. Za testiranje ove hipoteze koristili smo z-test za testiranje hipoteze o razlici proporcija dva skupa.



Grafikon 1: Poređenje proporcija odgovora „da“ između dve eksperimentalne grupe za osetljiva pitanja

Rezultati analize uticaja redosleda pitanja na odgovore ispitanika mogu se videti na grafikonu 1. Proporcije odgovora „da“ se sa rizikom od 5% statistički značajno razlikuju između dve eksperimentalne grupe („opšte-posebno“ i „posebno-opšte“) kod 3 od 6 osetljivih pitanja što sugerise postojanje efekta prajmovanja, ali ne kod svih pitanja. Parovi štapića sa značajnim razlikama u proporcijama odgovora „da“ se odnose na pitanja: „Da li ste nekada prepisivali na ispitu?“, „Da li znate nekoga ko je platio korišćenje nedozvoljenih sredstava da bi položio ispit?“, „Da li smatrate da je loše da se prepisuje na ispitu?“. Jedan od potencijalnih razloga zašto su neka osetljiva pitanja bila pod uticajem tretmana jeste što su neka pitanja u upitniku bila „ličnija“ od drugih i samim tim osetljivija. Na primer, pitanje „Da li ste nekada prepisivali na ispitu?“ je mnogo ličnije za ispitanike nego pitanje „Da li znate nekoga da je platio da neko drugi polaže ispit umesto nje/njega?“. Psihološka distanca pitanja na osetljivu temu i ispitanika (Trope and Liberman, 2010) može neutralisati uticaj prajmovanja pošto osetljivost teme samog pitanja ne znači osetljivost pitanja za samog ispitanika. Ova tema zaslužuje pažnju budućih istraživanja.

3. EFEKAT PRAJMOVANJA OFLAJN I ONLAJN-OKRUŽENJA NA PREFERENCIJE KUPACA

Za ovo istraživanje bitno je istaći dva rada koja definišu pravac prajmovanja oflajn i onlajn-okruženja. Prema radu Semin et al. (2005) apstraktno definisane poruke su dopadljivije kod ljudi u promotivnom fokusu, dok su konkretno definisane poruke prijemčivije kod ljudi u preventivnim fokusom. Drugi rad od značaja u ovom istraživanju jeste od Roese et al. (1999) gde je pokazano da proizvod ili okruženje može da ima ulogu stimulusa regulacionog stanja. Tako je jedno njihovo istraživanje pokazalo da situacija gde investitor mora da se odluči između dva profitabilna finansijska derivata uvodi investitora u promotivni fokus. Drugo istraživanje u istom radu pokazalo je da sam proces donošenja odluke o izbor između dva penziona fonda (gde je akcenat na osiguranju budućnosti pojedinca) prajmuje preventivni fokus.

Polazeći od toga da je onlajn-okruženju u apstraktnom obliku (slike proizvoda, video zapisi), a oflajn-okruženje u konkretnom obliku (proizvodi opipljivi, fizički prisutni) sledi da će onlajn-okruženje prajmovati promotivni fokus, dok će oflajn-okruženju delovati podsticajno na preventivni fokus. Iz prethodnog sledi da će kupci u onlajn okruženju u odnosu na oflajn-okruženje biti manje fokusirani na negativnu komponentu proizvoda (cenu), a više na hedonističku (jačina brenda, unikatnost, komfor) prilikom odlučivanja o kupovini.

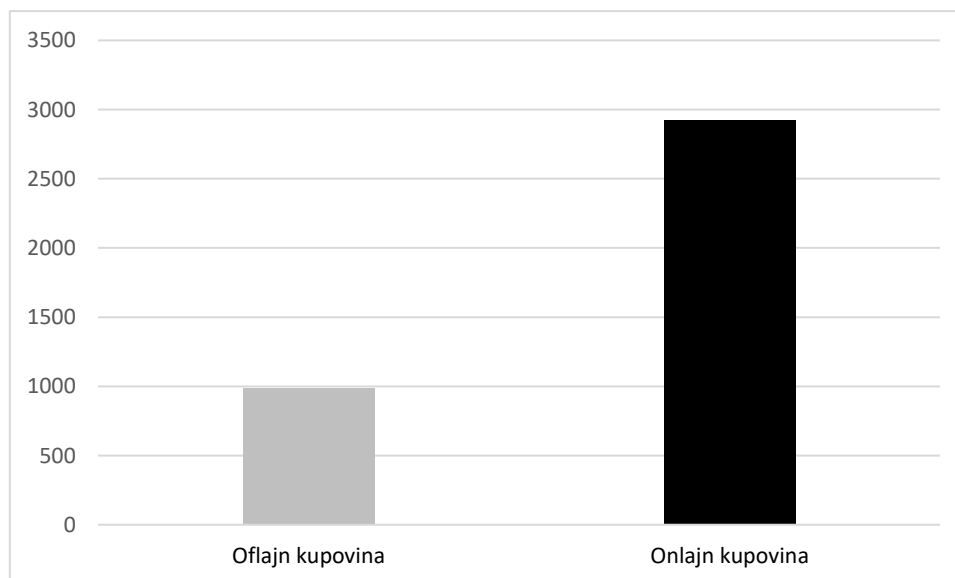
Samim tim, hipoteza u ovom istraživanju jeste da kupci za proizvod iste kategorije (npr. kategorija košulja) više obraćati pažnju na cenu u oflajn nego u onlajn-okruženju i posledično plaćati nižu cenu u prvom slučaju.

Korišćeni su individualni podaci iz Ankete o potrošnji domaćinstava (APD) za 2014. godinu. APD obuhvata podatke 6071 domaćinstava sa teritorije Republike Srbije o izdacima za dobra i usluge u toku dvonedeljnog perioda.

Analiza u ovom istraživanju obavljena je na znatno manjem uzorku pošto su za potrebe istraživanja korišćena samo ona domaćinstva koja su imala registrovanu barem jednu kupovinu na internetu. Na taj način možemo da pretpostavimo da sva analizirana domaćinstva imaju pristup kupovini na internetu. Hedonistički atributi su uporedivi samo ako se odnose na istu kategoriju proizvoda tako da je neophodno kontrolisati taj faktor. Od svih kupovina preko interneta u uzorku njih 44 (58%) se odnose na kategoriju obuće i odeće, dok su ostale kategorije zastupljene u nedovoljnoj meri da bismo mogli da ih analiziramo. Filtriranjem domaćinstava koja su obavila barem jednu oflajn i onlajn kupovinu iz kategorije obuće i odeće dobijamo konačan uzorak od 20 domaćinstava.

Ukoliko ista domaćinstva imaju različitu cenovnu elastičnost tražnje u zavisnosti da li kupuju u oflajn ili onlajn okruženju onda bi takav rezultat sugerisao moderatorsku ulogu regulacionog fokusa kod preferencija kupaca prilikom odlučivanja o kupovini. Za potrebe testiranja hipoteze moramo kontrolisati heterogenu prirodu pojedinačnih domaćinstava. Na primer, domaćinstva sa većim dohodkom će trošiti više prilikom kupovine kako u onlajn tako i u oflajn okruženju. Da bismo kontrolisali ovakve idiosinkratske uticaje pojedinačnih domaćinstava prilikom testiranja hipoteze koristili smo upareni t-test.

Prosečna cena kupljenog proizvoda u onlajn okruženju za posmatranu kategoriju iznosila je 2920 dinara, dok je u oflajn okruženju taj prosek bio približno tri puta manji, odnosno 985 dinara (grafikon 3). Kontrolišući uticaj heterogene prirode domaćinstava dobijamo da je razlika u onlajn i oflajn izdacima statistički značajna (<0.01).



Grafikon 2: Prosečna plaćena cena (u dinarima) u oflajn i onlajn okruženju za posmatranu kategoriju proizvoda

Rezultati istraživanja idu u prilog hipotezi da tržišno okruženje (onlajn ili oflajn) prajmuje određeno regulaciono (promotivno ili preventivno) stanje kod kupaca i utiče na preferencije prilikom kupovine. Konkretno, onlajn-okruženje podstiče promotivni fokus gde negativna komponenta (cena) ima manji značaj u odnosu na pozitivnu komponentu (brend, kvalitet), dok oflajn-okruženju podstiče preventivni fokus gde važi suprotno. Posledično, kupci za proizvod iste kategorije (kategorija odeće i obuće) u oflajn okruženju su spremni da izdvoje manje novca nego u onlajn-okruženju. Preporuka za donosioce odluka u poslovnom okruženju koja se izvodi iz dobijenih rezultata jeste da je kod definisanje promotivnih taktika važno voditi računa o prajmovanom regulacionom stanju u kom se kupci nalaze kako bi se iskoristio pun potencijal uloženi resursa u promovisanje proizvoda.



4. ZAKLJUČAK

Prajmovanje predstavlja plodno polje u oblasti nauke koje privlači sve više pažnje u akademskim krugovima ali i među poslovnim ekspertima. Ovaj rad je predstavio dve primene koncepta prajmovanja, efekat redosleda pitanja u upitniku i uticaj regulacionog fokusa pojedinca na preferencije. Sam redosled pitanja može značajno promeniti tok rezultata istraživanja zbog čega ovaj fenomen zaslužuje pažnju prilikom svakog dizajniranja upitnika. Osetljivo pitanje u upitniku prajmuje ispitanika tako da se izazvano psihološko stanje prožima kroz naredna pitanja i taj način utiče na odgovore. Kad je reč o ponašanju potrošača u onlajn i oflajn okruženju, bitnu ulogu igra regulaciono stanje potrošača prajmovano samim okruženjem. Uzročnici regulacionih stanja mogu biti od izuzetne važnosti za marketinške agencije. Poznavanje determinanti regulacionog fokusa može biti od velikog značaja u određivanju optimalne promotivne taktike. Regulacioni fokus pojedinca u datoj situaciji ne možemo znati dok ga ne izmerimo, ali poznavanjem uzročnika regulacionih stanja možemo da predvidimo u kojem stanju se nalazi potencijalni kupac i u skladu sa tim da formiramo optimalnu promotivnu taktiku.

LITERATURA

- [1] Bargh, J. A., & Chartrand, T. L. (2000). The mind in the middle. *Handbook of research methods in social and personality psychology*, 253-285.
- [2] Trope, Y., & Liberman, N. (2010). Construal-level theory of psychological distance. *Psychological review*, 117(2), 440.
- [3] Higgins, E. T. (1998). Promotion and prevention: Regulatory focus as a motivational principle. In *Advances in experimental social psychology* (Vol. 30, pp. 1-46). Academic Press.
- [4] Lee, S., McClain, C., Webster, N., & Han, S. (2016). Question order sensitivity of subjective well-being measures: focus on life satisfaction, self-rated health, and subjective life expectancy in survey instruments. *Quality of Life Research*, 25(10), 2497–2510.
- [5] McFarland, S. G. (1981). Effects of Question Order on Survey Responses. *Public Opinion Quarterly*, 45(2), 208.
- [6] Roese, N. J., Hur, T., & Pennington, G. L. (1999). Counterfactual thinking and regulatory focus: Implications for action versus inaction and sufficiency versus necessity. *Journal of Personality and Social Psychology*, 77(6), 1109.
- [7] Schwarz, N., Strack, F., Hippler, H. -J, & Bishop, G. (1991). The impact of administration mode on response effects in survey measurement. *Applied Cognitive Psychology*, 5(3), 193–212.
- [8] Semin, G. R., Higgins, T., de Montes, L. G., Estourget, Y., & Valencia, J. F. (2005). Linguistic signatures of regulatory focus: how abstraction fits promotion more than prevention. *Journal of personality and social psychology*, 89(1), 36.



DEMOKRATIZACIJA PODATAKA I POSLOVNE ANALITIKE

DATA AND BUSINESS ANALYTICS DEMOCRATIZATION

JASNA SOLDIĆ-ALEKSIĆ¹, BILJANA CHRONEOS KRASAVAC²

¹ Ekonomski fakultet u Beogradu, jasnasol@ekof.bg.ac.rs

² Ekonomski fakultet u Beogradu, chronkra@gmail.com

Rezime: Cilj ovog rada je da ukaže na važnu tendenciju u oblasti poslovne analitike – proces demokratizacije podataka i analitike podataka. Najpre su u radu prikazani osnovni trendovi razvoja informaciono-komunikacionih tehnologija, koji imaju snažan uticaj na razvoj poslovne analitike. Takođe je predstavljen i širi kontekst primene analitike podataka u algoritamskoj ekonomiji. Posebno su u radu objašnjene pretpostavke na kojima se razvija proces demokratizacije podataka i analitike podataka. Naime, objašnjena su dva ključna stuba na kojima počiva ovaj proces: prvi stub je vezan za softversku industriju u okviru koje se javljaju koncepti ugrađene analitike (*embedded analytics*) i samo-uslužne analitike (*self-service analytics*). Pored softverskih rešenja, drugi stub, odnosno druga važna komponenta procesa demokratizacije poslovne analitike je komponenta ljudskih resursa. U okviru ljudskih resursa ukazano je na važnost dva nova zanimanja u poslovnoj analitici: naučnik u radu sa podacima - *data scientist* i *citizen data scientist*.

Ključne reči: demokratizacija podataka, demokratizacija analitike podataka, algoritamska ekonomija, ugrađena analitika, samo-uslužna analitika, naučnik u radu sa podacima

Abstract: This paper aims to present one of the key tendencies in the business analytics domain - the process of data and analytics democratization. At the first place the main ICT trends that reflect on the business analytics are discussed. Also, the broader context of data analytics usage in the algorithm economy is emphasized. Further on, the focus is put on the main conditions - pillars on which the process of data and analytics democratization is based on: the first pillar concerns to the software component where new concepts are emerged – *embedded analytics* and *self-service analytics*. The other pillar is connected to the human resources. In this domain two new professions are presented: *data scientist* and *citizen data scientist*.

Key words: data democratization, data analytics democratization, algorithm economy, embedded analytics, self-service analytics, data scientist

1. UVOD

Koncept poslovne analitike prolazi kroz jedan od najdinamičnijih perioda u svojoj istoriji. Pregled razvoja ovog koncepta može se naći u radu T. Davenport-a, et. al. (2017), gde se definišu četiri faze u razvoju poslovne analitike: od faze *Analytics 1.0* do *Analytics 4.0*. Prva faza, koja se može označiti kao period primene klasične poslovne analitike, trajala je najduže – od polovine prošlog veka do sredine prošle dekade. Ovu fazu je karakterisala primena tradicionalnih tehnika i modela analize podataka, kao što su razne statističke tehnike i modeli, tehnike operacionih istraživanja (simulacija i optimizacija), tehnike nauke o upravljanju, kao i tehnike drugih kvantitativnih disciplina. Druga faza obuhvata period od 2005 do 2012 godine i karakteriše se pojavljivanjem fenomena *Big data* i pratećih tehnologija analize podataka, a treća faza, koja predstavlja pravi miks „*Big and small data*“ analitike, karakteristična je za period posle 2012. godine. Poslednja faza *Analytics 4.0*, koja se nalazi u početnom periodu razvoja, karakteriše se primenom modela i algoritama veštačke inteligencije, mašinskog učenja i kognitivnog računarstva. Nije teško zapaziti da su ključne novine u oblasti informaciono-komunikacionih tehnologija (IKT) imale značajan uticaj na promene koje su zahvatile poslovnu analitiku. Ovde ćemo navesti nekoliko IKT trendova, koji se već odražavaju na promene u oblasti poslovne analitike, a očekuje se da u budućnosti imaju još veći uticaj:

- Trend generisanja velike količine podataka nastaviće se i dalje, imajući posebno u vidu sve prisutniji koncept *Internet of Things* (IoT). Može se reći da talasi podataka (pravi cunami podataka), stižu iz različitih izvora, obično velikom brzinom i u različitim formatima,



- U skladu sa prethodnim, trend istraživanja velike količine podataka (*Big data*), tj. analitika velike količine podataka u realnom vremenu, ostaće u fokusu u dužem periodu, odnosno biće jedna od značajnih tema akademskog proučavanja i komercijalnih aplikacija u budućnosti,
- *Streaming analitika* – analitika tokova podataka (*data-in-motion*) postaje aktuelna,
- Nastavlja se korišćenje mobilnih uređaja, koje dovodi do eksplozivnog rasta mobilnih aplikacija,
- Razvoj softvera za vizualizaciju podataka i vizualnu analitiku dobija na značaju,
- Analitika u oblaku (*cloud analytics*) nastavlja da se koristi,
- Ulazak u eru algoritamske ekonomije je prisutan – može se uočiti da se algoritmi koriste svuda oko nas.

Od svih navedenih trendova najupečatljiviji je trend generisanja velike količine podataka – *Big data*. Ovaj fenomen je privukao veliku pažnju u poslednjih 10 godina. Prema procenama IBM-a od 2008. godine zabeležena je godišnja stopa rasta količine podataka od 40%, sa velikim ubrzanjem poslednjih par godina, a očekuje se da ova stopa dostigne cifru od 4300% do 2020 godine. Takođe, činjenica je da se više od 2,500 petabytes podataka generiše svaki dan. Procena Entrepreneur.com-a jeste da će do 2020. godine, svaki pojedinac koji je prisutan u online okruženju, kreirati svake sekunde skoro 1,7 Mb novih podataka. Imajući u vidu tehnologije koje doprinose stvaranju velike količine podataka (*Big data*) - društvene mreže, IoT, GPS i GIS, RFID, mobilna komunikacija i dr., jasno je da se i u budućnosti može očekivati izuzetna dinamika rasta količine podataka. Međutim, činjenice govore da od već postojeće velike količine podataka 99% ostaje neiskorišćeno, a da se prilikom upotrebe podataka 70% vremena posvećuje prikupljanju podataka, a 30% na analitičke poslove (11).

Uparedo sa tehnološkim trendovima, zapaža se i opšti trend „konzumerizma“ – generalno podsticanje potrošaškog modela i kulture ponašanja, pri čemu je akcenat na maksimalnom prilagođavanju navikama potrošnje potencijalnih kupaca, tj. na personalizaciji. Ovaj trend je zahvatio i oblast softverske industrije. Naime, pre 2001. godine proizvodnja poslovnog softvera je više bila namenjena organizacijama, da bi prava eksplozija upotrebe računara za personalnu upotrebu, široka dostupnost interneta, kao i mobilnih uređaja doprinela promeni kursa proizvođača softvera - od organizacija ka personalnoj upotrebi. Ovaj proces konzumerizma bio je podržan sve širom primenom open-source softvera i programskih jezika. Kao što ćemo nešto kasnije videti ovakav razvoj doprinosi sve većoj demokratizaciji upotrebe IKT-a, odnosno demokratizaciji podataka, prediktivne analitike, kao i celokupne poslovne analitike.

2. ALGORITAMSKA EKONOMIJA

Ako se posmatra istorija ekonomskog razvoja, period od kraja prethodne dekade označava se kao period razvoja ekonomije aplikacija (*application economy*), da bi poslednjih nekoliko godina bio dopunjen i izrazom algoritamske ekonomije (*algorithm economy*). Sam izraz algoritamska ekonomija, odnosno algoritamski biznis, kreirali su istraživači jedne od najuglednijih konsultantskih kompanija iz oblasti IKT-a Gartner, da bi označili nadolazeći talas inovacija, gde proizvođači softvera mogu da proizvode, distribuiraju, razmenjuju i komercijalizuju upotrebu programskog koda u formi algoritamskog koda. Naime, kod algoritamske ekonomije se ne radi o prodaji i kupovini kompletnih aplikacija, već pojedinih funkcionalnih algoritama, što unosi novu fleksibilnost u razvoj i razmenu softvera. Prelaz sa ekonomije aplikacija na algoritamsku ekonomiju iniciran je sledećom činjenicom: analitički modeli u kojima se primenjuju određeni algoritmi, nisu ništa drugo do softverski kod, slično kao što su mobilne aplikacije. Stoga se nameće jednostavno pitanje: Zašto se ne bi kupovali i prodavali analitički modeli i algoritmi na sličan način kao što se to radi sa mobilnim aplikacijama? Prethodno izneta ideja se može dalje operacionalizovati tako što se algoritmi, po principu Lego kocki, mogu da koriste u različitim okolnostima.

Na osnovu Gartner-ovih istraživanja uočava se rastuća ulogu algoritama i analitičkih modela u procesu donošenja poslovnih odluka i vođenja poslovanja u kompanijama. Istraživači Gartnera veruju da će uskoro bar polovina od velikih kompanija koristiti algoritme u svojim poslovnim aplikacijama i transakcijama, i time obezbediti sebi značajnu kompetitivnu prednost. Kako oni naglašavaju pametne kompanije ne koriste samo puko merenje svojih poslovnih aktivnosti, već idu dalje u smislu korišćenja tehnika i modela napredne - *advanced* analitike. Po njihovom mišljenju može se očekivati „svetla“ budućnost što se tiče primene modela napredne analitike i algoritama, jer se očekuje dinamičan razvoj tržišta algoritama na kome će se razmenjivati njihovi programski kodovi.



Podsetimo se još jednom na prisustvo fenomena velike količine podataka, *Big data*. Kao i ranije, tako i u eri *Big data*, podaci sami po sebi nemaju neku posebnu vrednost. Ono što daje moć podacima su algoritmi, koji mogu da pretvore podatke u neku poslovnu vrednost. Poznato je da je u analitici podataka ključno ekonomsko pitanje kako izvući poslovnu vrednost iz podataka. Ovo pitanje posebno dolazi do izražaja u doba velike količine podataka. Šema koja nudi odgovor na ovo pitanje mogla bi da bude sledeća:

PODACI (struktuirani, polustruktuirani i nestruktuirani, *Big data*, *small data*, *data-at-rest*, *data-at-motion*, *streaming data*, etc.)

+ **TEHNOLOGIJE** za skladištenje i upravljanje podacima

+ **ANALITIKA** (alati, tehnike, modeli, algoritmi)

+ **OSOBLJE** (ljudi + obuka)

= **OTKRICE NOVIH OBRAZACA u podacima (*insight*)**, što može da kreira **POSLOVNU VREDNOST**.

Sastavni elementi leve strane prethodne jednakosti: podaci, tehnologije, analitika i osoblje predstavljaju stubove na kojima se zasniva razvoj poslovne analitike. Uspesne kompanije razvijaju sve navedene stubove, ili sisteme, koji im donose poslovnu vrednost. Na primer, *Google*, *Facebook*, *Amazon*, *Netflix* i neke druge *on-line* kompanije, razvile su ove sisteme. Era velike količine podataka potencira važnost algoritama. Ako se pitamo šta to čini *Google* jednom od najmoćnijih kompanija na svetu - to nisu podaci sami po sebi, već preventivno analitika, tj. algoritmi koje ova kompanija koristi.

3. ŠTA SE PODRAZUMEVA POD DEMOKRATIZACIJOM PODATAKA I POSLOVNE ANALITIKE?

U ne tako davnoj prošlosti videli smo mnoge primere demokratizacije upotrebe pojedinih tehnologija, kao što su upotreba interneta, laptop računara, mobilnih telefona, i slično. Posetimo se da su početkom internet revolucije samo softverski profesionalci imali pristup računarima, a danas skoro svaki pojedinac ima pristup korišćenju računara, tableta, telefona, zahvaljujući demokratizaciji korišćenja ovih uređaja i interneta. Na polju korišćenja podataka izraz demokratizacija podataka ukazuje na slobodu pristupa podacima. Naime, osnovna ideja demokratizacije podataka je da omogući različitim poslovnim korisnicima, koji nisu IT profesionalci ili posebno informatički obučeni, da pristupe, prikupe i analiziraju podatke u digitalnom formatu, bez pomoći sa strane. Slično značenje ima i izraz demokratizacija analitike podataka, koji implicira mogućnost da se poslovnima analitike podataka bavi što širi krug poslovnih korisnika, van IT i analitičkog odeljenja. Ovde je interesantno navesti zapažanje Gartner-ovih istraživača da oko 70% potencijalnih korisnika alata poslovne inteligencije, ne koristi ove alate, što znači da postoji značajan prostor za unapređenje korišćenja analitičkih alata. Generalno postoje velika očekivanja od procesa demokratizacije podataka i poslovne analitike. Pobornici ovog koncepta očekuju da će ovaj proces imati značajne poslovne implikacije, tj. da će doprineti kreiranju novih poslovnih modela, otvoriti prostor za nove poslovne mogućnosti, transformisati način odlučivanja u pravcu donošenja *data-driven* odluka, doprineti smanjenju razlika, u smislu poslovnih šansi i mogućnosti, između velikih i malih poslovnih sistema, kao i obezbediti poslovnim organizacijama kompetitivnu prednost.

Ali da li su ova očekivanja zaista realna? Ne tako davno podaci su tretirani kao „vlasništvo“ IKT odeljenja, a zaposleni iz drugih poslovnih jedinica su uglavnom morali da ih traže od ovog odeljenja, kako bi donosili poslovne odluke. Ovaj način korišćenja poslovnih podataka je bio dominantan skoro pet decenija. Može se reći da i danas ima autora i praktičara koji smatraju da je to najbolji model raspolaganja poslovnim podacima. Međutim, stav prema pristupu poslovnim podacima ipak se menja. Toj promeni u velikoj meri je doprinela realnost postojanja velike količine podataka. U tom smislu u literaturi je prisutno mišljenje da je demokratizacija podataka budućnost upravljanja velikom količinom podataka i način kreiranja poslovne vrednosti. Ili, kako je navedeno u ICD Godišnjoj studiji o digitalnom univerzumu iz 2016 „*demokratizacija podataka je nezaustavljiva sila u digitalnom poslovanju*“. Takođe, Srujana H.M., et. all. ističu da „*demokratizacija podataka i analitike je sledeća velika obećavajuća oblast za poslovni uspeh i ekonomiju zasnovanu na podacima*“ (2016).

4. PRETPOSTAVKE PRIMENE KONCEPTA DEMOKRATIZACIJE PODATAKA

Koje tehnologije podržavaju proces demokratizacije podataka i analitike podataka?

Kako je već istaknuto fenomen *Big data* je doprineo širenju ideje demokratizacije podataka i analitike, ali izdvajaju se i druge tehnološke inovacije koje su dodatno podstakle ovu ideju. Od tih tehnoloških inovacija izdvaja se *Data virtualization software*. Osnovna postavka ovog softvera je da omogući pristup i korišćenje



podataka bez poznavanja tehničkih detalja, kao što su format podataka ili gde su podaci fizički smešteni. Usko povezano sa ovim softverskim rešenjem je i *Data federation software* – ovaj softver koristi metapodatke kako bi agregirao podatke iz različitih izvora u virtualnoj bazi podataka. Ova baza podataka ne sadrži same podatke, već sadrži informacije o podacima, kao i o njihovoj lokaciji. Faktički podaci se ne prenose u virtualnu bazu podataka, već fizički ostaju na svom mestu. Takođe, tehnologija koja omogućava organizacijama da izbegnu silose podataka (*data silos*), koji su u suprotnosti sa principom demokratizacije podataka, jeste korišćenje *cloud storage-a*, kao centralne lokacije za smeštanje i čuvanje podataka.

Dalje, sve bogatiji i moćniji softverski alati za vizualizaciju podataka, koji su postali standard u softverskim rešenjima poslovne inteligencije - *Business Intelligence (BI)*. Softver za vizualizaciju podataka takođe ima izuzetno važnu ulogu u projektima velike količine podataka (*big data*), kao i napredne analitike (*advanced analytics*). Tipično softver za vizualizaciju podataka ima komponentu kontrolne table – *dashboard*, preko koje korisnik može da interaktivno prikazuje rezultate različitih analiza podataka. Takođe, ovaj softver obično ima pristup različitim izvorima podataka; relacione baze podataka, Hadoop i razne platforme skladištenja podataka u oblaku. Povlačeći podatke iz ovih izvora softver za vizualizaciju primenjuje različite grafičke prikaze podataka. Vizualizacija podataka se najčešće koristi u početnim fazama analitike podataka, kao što je preliminarna analiza podataka, ili eksplorativna analiza podataka (EDA), ali takođe je pogodna i za poslednje etape, posle primene sofisticiranih tehnika napredne analitike.

U oblasti softverske industrije javljaju se posebni koncepti koji doprinose demokratizaciji poslovne analitike. To su koncept ugrađene analitike (*embedded analytics*) i samo-uslužne analitike (*self-service analytics*). Pored softverskih rešenja, druga važna komponenta procesa demokratizacije poslovne analitike je komponenta ljudskih resursa. Može se reći da su to dva osnovna stuba procesa demokratizacije poslovne analitike o kojima ćemo dalje govoriti.

4.1. Ugrađena analitika i samo-uslužna analitika

Prema Gartnerovoj definiciji ugrađena analitika se odnosi na korišćenje funkcionalnosti izveštavanja (*reporting*) i analize podataka, koje su ugrađene u transakcione poslovne aplikacije. Ove funkcionalnosti mogu biti sačuvane ili u samoj aplikaciji ili van nje u nekom drugom sistemu. Ovde je ključna ideja da navedenim funkcionalnostima korisnik može lako da pristupi, bez potrebe da menja sistem.

Koji alati i funkcionalnosti se najčešće ugrađuju u poslovne aplikacije? Najčešće se ugrađuje sledeće:

- Grafikoni i njihove komponente (statični dijagrami - kompletni ili njihovi delovi, tabele, upiti, mape i sl.,
- Dinamički izveštaji i kontrolne table (*dashboards*), koje pružaju interaktivnost korisnicima,
- Prediktivna analitika, koja uključuje raznovrsne modele i tehnike napredne (*advanced*) analitike,
- Samo-uslužna analitika – namenjena iskusnijim korisnicima za ekstrakciju podataka, klasifikaciju, vizualizaciju podataka, pravljenje izveštaja i/ili kontrolnih tabli (*dashboards*).

Ako se posmatra duži period istorijskog razvoja tehnologija poslovne inteligencije (*Business intelligence - BI*), može se reći da ugrađena analitika ne predstavlja novu revolucionarnu promenu u tehnološkom razvoju, već je pre reč o evolutivnom razvoju ovih tehnologija. U sledećoj tabeli prikazane su osnovne karakteristike razvoja ugrađene BI tehnologije.

Tabela 1: Ugrađena analitika – vremenski horizont razvoja

Period	Platforma	Nosioci i izvori podataka	Korisničke funkcionalnosti
1990 – 2000	Desktop	Datoteke, RDBMS	Statični izveštaji - Static Reports
2001 – 2010	Web	OLAP, XML	Dinamički interaktivni izveštaji, kontrolne table - Dashboards, OLAP
2011 –	Cloud	Big data, Hadoop, NoSQL, Cloud apps, streams, server logs	Prediktivna i samo-uslužna analitika

Izvor: Modifikovan prikaz iz Eckerson Group Report, (Eckerson, W.W. 2016)

Ugrađena analitika je postavila osnove za primenu koncepta samo-uslužne analitike. Ideja na kojoj se zasniva ovaj koncept jeste da poslove analize podataka treba izmestiti van IKT odeljenja i analitičkog odeljenja u razne poslovne jedinice u organizaciji. Pretpostavka je da poslovni korisnici mogu da obave jednostavne



upite, istraživanje podataka, vizualizaciju podataka i generisanje izveštaja. Softverska industrija pruža alate za to. Ovde je reč o procesu demokratizacije analitike podataka. Jednostavno u eri *Big data* postoji izražena potreba da se korisnici koji nisu informatičari osposobe da samostalno obavljaju istraživanje i analizu podataka.

Najveći izazov u primeni samo-uslužne analitike za organizacije jeste postojanje, odnosno nepostojanje, adekvatne politike upravljanja podacima (strategije o podacima u poslovnom sistemu), koja obezbeđuje visok kvalitet i integritet podataka, kao i jednostavan pristup podacima (Brunet, P. 2018). Neka istraživanja pokazuju da 55% organizacija koje koriste softver samo-uslužne analitike, prethodno su implementirale ozbiljnu strategiju upravljanja podacima (Krensky, P. 2015). Jedino uz prisustvo adekvatne strategije upravljanja podacima samo-uslužna analitika može da obezbedi puni potencijal za korisnike različitih profila. Prema predviđanjima Gartner-ovih stručnjaka do 2020. godine samo-uslužne BI platforme će obezbediti 80% ukupnog izveštavanja u organizaciji. Bitno je i razumevanje da izraz samo-uslužna analitika ne podrazumeva da se radi o samo-dovoljnoj analitici. Naime, ne postoji dugme po principu “autopilota”, čijim bi se aktiviranjem obezbedilo izvršenje kompletnog procesa analitike podataka, već je bitna uključenost ljudske komponente, čiji je posao upravo vezan za bavljenje samo-uslužnom analitikom.

4.2. Ljudski resursi

Sa novim fenomenima i trendovima vezanim za informaciono-komunikacione tehnologije, u oblasti poslovne analitike pored postojećih zanimanja pojavljuju se i nova zanimanja. Pored već postojećih profesija analitičara podataka (*data analysts*) i poslovnog analitičara (*business analysts*), fenom *Big data* i prateća analitika donosi nova zanimanja, kao što su: naučnik u radu sa podacima (*data scientist*) i inženjer podataka (*data engineer*). Takođe, talas demokratizacije upotrebe podataka i analitike otvorio je prostor za nove uloge u analitici podataka: *citizen data scientists* i poslovni prevodilac - *business translator*.

Danas ne postoji jedinstvena definicija pojmova nauke o podacima (*data science*) i naučnik u radu sa podacima (*data scientists*). Naime, uglavnom se mogu pratiti dva pravca definisanja ovih pojmova: jedan iz oblasti industrije upravljanja i obrade podataka (*data management*), a drugi iz čisto akademskim krugovima. Ne ulazeći u detalje definisanja pojmova, može se reći da nauka o podacima – *data science* predstavlja kombinaciju, ili presek, nekoliko naučnih disciplina: statistike, matematike i računarske nauke, ali i drugih naučnih oblasti u kojima se prikupljaju podaci. Takođe, ne ulazeći u definisanje zanimanja *data scientist*, navešćemo neke veštine, tj. poznavanja određenih IKT alata i tehnologija, koje su posebno važne za ovu profesiju. Reč je o poznavanju sledećih programskih jezika i okruženja: Python, R, SQL, Hadoop, Java, SAS, Spark, Matlab, Hive and Tableau (<https://www.glassdoor.com/research/data-scientist-personas>). Najkraće rečeno, od *data scientist*-a se očekuje da se bavi analizom i modeliranjem podataka u svim pojavnim oblicima. Međutim, najvažniji problem u njihovom radu jeste njihovo suočavanje sa barijerama u dva pravca: u komunikaciji sa menadžmenom na svim nivoima, sa jedne strane i u pravcu komunikacije sa zaposlenima, sa druge strane. U cilju prevazilaženja ovih problema nudi se rešenje zaposlenih u ulozi *citizen data scientist*-a. Naime, dok se *data scientist* bavi statistikom i naprednom analitikom, dotle je *citizen data scientist*-u prepušteno da se bavi praktičnom primenom pripremljenih modela. *Citizen data scientist* nije ekspert iz oblasti IKT-a, statistike ili analitike, već je reč o zaposlenom koji poznaje rad sa podacima, kao i kreiranje modela sa odgovarajućim softverskim alatima. Demokratizacija analitike doprinosi da poslovni korisnici mogu da postanu *citizen data scientists*. Naime, ugrađena analitika i samo-uslužna analitika ojačavaju poziciju *citizen data scientist*-a. Interesantno je da se često nailazi na mišljenje da je generacija milenijalaca pogodna za preuzimanje pozicija *citizen data scientists*-a. Milenijalci su okarakterisani kao generacija koja se bavi igricama (*gaming generation*), navikla na otkrivanje novih ideja kroz igru, navikla na brzinu, na potragu za *instant* rešenjima. Stoga se očekuje da će ova generacija imati sličan pristup (*gaming approach*) i u poslovnoj analitici. Ono što nedostaje ovoj generaciji jeste iskustvo, kao i sagledavanje problema u širem biznis kontekstu. Prema predviđanjima Gartner-ovih stručnjaka do 2020. godine 40% poslova kojima se bave *data scientists* biće automatizovano, što će dovesti do povećanja produktivnosti i veće primene analitike od strane *citizen data scientists*. (<https://www.gartner.com/newsroom/id/3570917>, January 2017).

Pored *data scientist*-a i *citizen data scientist*-a, pojavljuje se još jedno novo zanimanje - poslovni prevodilac – *business translator*. Reč je o zaposlenima u organizaciji na operativnom poslovnom planu, koji poznaju poslovanje organizacije i imaju opšte znanje o informaciono-komunikacionim tehnologijama. Njihov zadatak je da obezbede dobru vezu između IKT profesionalaca i poslovnih operativaca.



Prethodno navedena nova zanimanja ili nove uloge u oblasti poslovne analitike ne iscrpljuju listu profila stručnjaka u savremenim poslovima analitike podataka. Navešćemo jedan predlog u vezi organizacije ljudskih resursa za poslove poslovne analitike. Praksa je pokazala da u većini organizacija postoji, sa jedne strane, jedna grupa korisnika koja ima „plitko“ znanje o podacima i analitici, a sa druge strane su naučnici u radu sa podacima - *data scientists*. Ono što može da pomogne jeste organizovanje ljudskih resursa u više slojeva, tako da prvi sloj čine zaposleni koji poseduju „plitko“ znanje – koriste statične izveštaje i kontrolne table – *dashboards*. Drugi sloj čine korisnici koji su osposobljeni da koriste dinamičke interaktivne kontrolne table - *dashboards*, sa mogućnostima ulaznja u dublje slojeve podataka (*drill down*). Sledeći sloj čini osoblje obučeno da se bavi vođenom analitikom, na osnovu pripremljenih aplikacija, a poslednji sloj su korisnici koji ekstenzivno koriste različite alate, kao što su tehnike vizualizacije podataka (Dykes, B. 2015).

5. ZAKLJUČAK

Dinamičan razvoj u oblasti informaciono-komunikacionih tehnologija doveo je do značajnih promena u oblasti poslovne analitike. Imajući u vidu dalje razvojne trendove u oblasti IKT-a očekuje se još dramatičniji uticaj na poslovnu analitiku, posebno u eri algoritamske ekonomije. Poznato je da podaci sami po sebi nemaju posebnu vrednost. Algoritmi daju moć podacima, oni mogu da pretvore podatke u poslovnu vrednost. Ovo posebno dolazi do izražaja u radu sa velikom količinom podataka (*Big data*).

Usko povezan sa fenomenom *Big data* i algoritamskom ekonomijom jeste koncept demokratizacije podataka i analitike, koji poslednjih godina privlači značajnu pažnju. Ideja demokratizacije podataka je promovisana sa uverenjem da će ovaj proces pružiti poslovnim organizacijama mogućnosti za: veću transparentnost poslovanja, veću kreativnost i inicijativu u oblasti novih poslovnih modela, kao i redizajn već postojećih modela, ostvarenje kompetitivne prednosti, a posebno se očekuje značajan efekat u smislu efikasnijeg poslovnog odlučivanja – *data-driven decision making*.

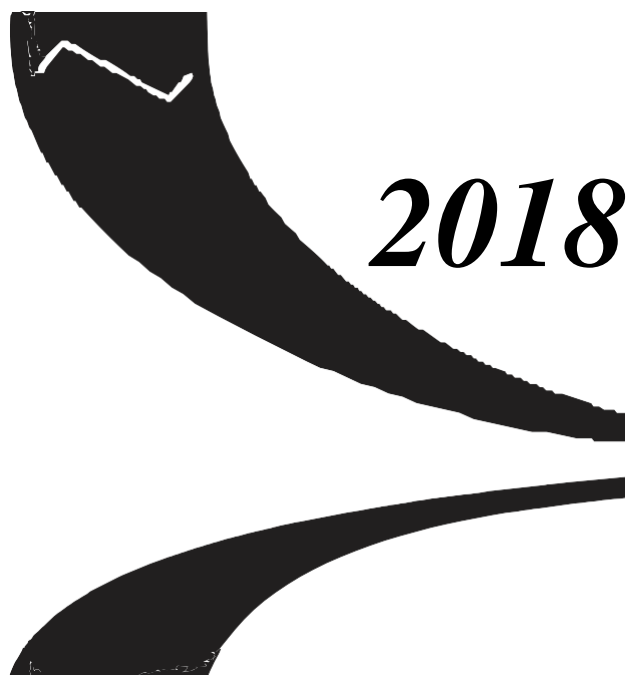
Dva osnovna stuba na kojima počiva proces demokratizacije podataka i analitike su: tehnološka osnova i softverski alati, sa jedne strane i ljudski resursi, sa druge strane. U softverskoj industriji zapaža se trend razvoja softverskih alata za vizualizaciju podataka, kao i alata ugrađene analitike i samo-uslužne analitike. U oblasti ljudskih resursa, pored postojećih zanimanja vezanih za upravljanje i analizu podataka, pojavljuje se niz novih zanimanja, od kojih se posebno izdvajaju profesije *data scientist-a* i *citizen data scientist-a*. Navedene dve profesije su komplementarne: dok se *data scientist* bavi statistikom i naprednom analitikom, dotle je *citizen data scientist-u* prepušteno da se bavi praktičnom primenom pripremljenih modela.

LITERATURA

- [1] Blais, B., Morison, R., (2015), The Democratization of Analytics, International Institute for Analytics, Enterprise Research Service, October 2015, iianalytics.com.
- [2] Brunet, P. (2018). The rise of self-service analytics. Analytics, 34-40. Retrieved from: <http://analytics-magazine.org/rise-self-service-analytics/>.
- [3] Davenport, H. T., Harris, J., and Abney, D. (2017). Competing on Analytics: The New Science of Winning. Brighton: Harvard Business Review Press.
- [4] Dresner Advisory Services, (2016), Wisdom of Crowds, Business Intelligence Market Study, May 2016, cited in webcast: <https://software.dell.com/webcast-ondemand/whats-in-the-dresnerbusiness-intelligence-market-study-analysis-revea8113432/>.
- [5] Dykes, B. (2015), The Age Of Data Democratization: How To Effectively Share Data Across your business, Retrieved from: <https://www.forbes.com/sites/brentdykes/2015/09/09/the-age-of-data-democratization-how-to-effectively-share-data-across-your-business/#5176d76f6c50>.
- [6] Eckerson, W. W. (2016). Embedded Analytics: The Evolution of BI – and its Future. Eckerson Group. Retrieved from: https://www.opentext.com/file_source/OpenText/en_US/PDF/opentext-eckerson-sb-embedded-bi-business-intelligence-en.pdf
- [7] Krensky, P. (2015). The Landscape of Self-Service Analytics. Aberdeen Group. Retrieved from: www.aberdeen.com.



- [8] Srujana, H.M., Sanjay S. Sharma and Amitava, D. (2016). Democratization of analytics: New frontier of data economy. Analytics Magazine. Retrieved from: <http://analytics-magazine.org/democratization-of-analytics-new-frontier-of-data-economy/>.
- [9] Statistica, (2016), Embedded Analytics Empower the Citizen Data Scientist, A guide for analytics teams and line-of-business managers trying to do more with embedded analytics, 2016 Quest Software, Inc.,
- [10] <https://www.glassdoor.com/research/data-scientist-personas/>.
- [11] <https://www.iflexion.com/blog/data-analytics-apps-pave-way-data-democratization/>
- [12] <http://tdan.com/growing-importance-of-data-democratization/22138>.
- [13] <https://www.forbes.com/sites/brentdykes/2015/09/09/the-age-of-data-democratization-how-to-effectively-share-data-across-your-business/#5176d76f6c50> .
- [14] <http://www.gartner.com/it-glossary/?s> **Gartner IT Glossary.**
- [15] <https://www.gartner.com/newsroom/id/3570917> , *January 2017*).



***POUZDANOST I
UPRAVLJANJE RIZIKOM***

MORALNI HAZARD KOD PRIJAVLJIVANJA ŠTETE U OSIGURANJU

MORAL HAZARD IN INSURANCE CLAIMS

DEJAN TRIFUNOVIĆ¹

¹ Ekonomski fakultet u Beogradu, dejan@ekof.bg.ac.rs

Rezime: U radu su predstavljeni modeli moralnog hazarda prilikom prijave šteta u osiguranju. Osiguravač može da vrši proveru odštetnih zahteva deterministički, slučajnim putem ili da koristi bonus-malus sistem.

Ključne reči: Provera odštetnih zahteva, troškovi falsifikovanja, bonus-malus sistem.

Abstract: This paper presents models of moral hazard in insurance claims. Insurer can verify claims by using deterministic auditing, random auditing or bonus-malus system.

Keywords: Auditing of insurance claims, costly state falsification, bonus-malus system.

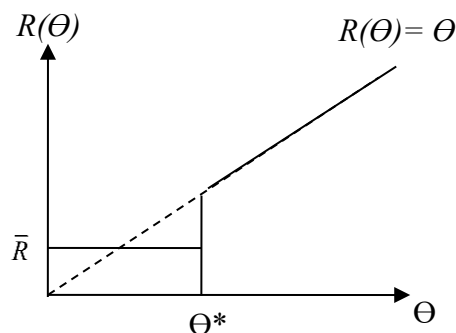
1. UVOD

Ukoliko osiguravajuća kompanija ne može da utvrdi nastanak ili iznos štete, osiguranik može da prijavi veći iznos štete od stvarne. Postoje tri pristupa ovom problemu moralnog hazarda. Prema prvom pristupu, osiguravač ima *troškove provere* odštetnog zahteva (angažovanje procenitelja). U drugom pristupu osiguranik ima *troškove manipulisanja* odštetnim zahtevom u smislu falsifikovanja dokumentacije ili podmićivanja treće strane (na primer auto mehaničara) koja treba da prikaže veći iznos štete. Treći pristup je zasnovan na *bonus-malus* sistemu koji treba da navede osiguranika da tačno prijavi iznos štete.

2. DETERMINISTIČKA PROVERA ODŠTETNIH ZAHTEVA

Deterministička strategija provere odštetnih zahteva je zasnovana na proveri odštetnih zahteva zavisno od iznosa prijavljene štete. Kad su troškovi provere odštetnih zahteva *egzogeno* određeni, Bond & Crocker (1997) dokazuju da optimalna strategija ima oblik predstavljen na Slici 1. Obeležimo sa θ iznos štete, sa $R(\theta)$ iznos odštete i sa θ^* najviši iznos štete za koji osiguravač ne vrši proveru odštetnih zahteva. Osiguravač isplaćuje *fiksni iznos* pokrivača, \bar{R} , kad ne vrši proveru, dok za iznos štete veći od θ^* osiguravač proverava odštetni zahtev i obezbeđuje *puno pokrivače štete*.

Slika 1. Optimalan ugovor sa egzogenim troškovima provere odštetnih zahteva



Izvor: Bond & Crocker, (1997)

Ukoliko su troškovi provere odštetnih zahteva *endogeni*, osiguranik zna iznos štete i nakon toga preduzima akciju koja utiče na nivo troškova provere koji ima osiguravač, pri čemu je iznos troškova provere poznat i osiguravaču i osiguraniku. Na primer, osiguranik koji je imao povredu vrata u saobraćajnoj nesreći, zna koliki bol oseća, što nije poznato osiguravaču. Ovaj osiguranik može da ode kod lekara koji će korektno napisati dijagnozu, ali može da pokuša da nađe lekara koji će napisati da je povreda veća nego što stvarno jeste, čime



uvećava trošak provere odštetnog zahteva za osiguravača. Kad osiguranik može da utiče na iznos troškova provere odštetnih zahteva, Bond & Crocker (1997) dokazuju da optimalan ugovor obezbeđuje odštetu koja je *veća od iznosa štete ako su troškovi provere odštetnog zahteva niski i odštetu koja je manja od iznosa štete ako su troškovi provere visoki.*

3. PROVERA ODŠTETNIH ZAHTEVA SLUČAJNIM PUTEM

Model Fagarta & Picarda (1999) je zasnovan na ideji da optimalan ugovor treba da obezbedi delu rizika između osiguranika i osiguravača i da minimizira očekivane troškove provere odštetnih zahteva. Kod provere odštetnih zahteva slučajnim putem, osiguravač proverava odštetni zahtev sa određenom verovatnoćom koja je rastuća funkcija iznosa prijavljene štete. Model Fagarta i Picarda (1999) je zasnovan na sledećim pretpostavkama. Osiguranik ima početno bogatstvo W i suočen je sa potencijalnim gubitkom θ , koji je raspodeljen u skladu sa funkcijom raspodele $F(\theta)$ na intervalu $[0, \bar{\theta}]$ i funkcijom gustine $f(\theta)$.

Iznos štete predstavlja osiguranikovu privatnu informaciju, ali osiguranik može da prijavi i veći iznos štete $\hat{\theta} \in [0, \bar{\theta}]$. Osiguravač vrši proveru prijavljene štete sa verovatnoćom $p(\hat{\theta})$ uz trošak provere c . Ukoliko odštetni zahtev nije proveravan, osiguravač isplaćuje osiguraniku iznos $R_N(\hat{\theta})$. U slučaju provere, osiguranik dobija iznos $R_A(\theta, \hat{\theta})$ koji zavisi od stvarne i od prijavljene štete. Ako je W_f krajnje bogatstvo osiguranika i P premija, njegova očekivana korisnost je:

$$EU(W_f) = \int_0^{\bar{\theta}} [(1-p(\theta))u(W-P-\theta+R_N(\theta)) + p(\theta)u(W-P-\theta+R_A(\theta, \theta))]dF(\theta) \quad (1)$$

Osiguravajuća kompanija treba da ostvari nenegativan profit:

$$E[\pi] = P - \int_0^{\bar{\theta}} [(1-p(\theta))R_N(\theta) + p(\theta)(R_A(\theta, \theta) + c)]dF(\theta) \geq 0. \quad (2)$$

Ograničenje kompatibilnosti za osiguranika je:

$$\begin{aligned} (1-p(\theta))u(W-P-\theta+R_N(\theta)) + p(\theta)u(W-P-\theta+R_A(\theta, \theta)) \geq \\ (1-p(\tilde{\theta}))u(W-P-\theta+R_N(\tilde{\theta})) + p(\tilde{\theta})u(W-P-\theta-B) \end{aligned} \quad (3)$$

gde je $R_A(\theta, \tilde{\theta}) = -B$ kazna koju osiguranik plaća ukoliko je uhvaćen u prevari. Maksimiziranjem očekivane korisnosti osiguranika s obzirom na $p(\cdot)$, $R_N(\cdot)$, $R_A(\cdot)$, ograničenja participacije i kompatibilnosti, dobijamo da je $p(\theta) < 1$, što znači da je optimalno vršiti proveru prijavljenih šteta *slučajnim putem*. Drugi zaključak je da je optimalno platiti *bonus* osiguraniku ukoliko je nakon provere utvrđeno da je tačno prijavio štetu, tj. $R_A(\theta) > R_N(\theta)$. Dalje, θ^* predstavlja najviši iznos prijavljene štete koji neće biti proveravan. Konačno, *verovatnoća provere odštetnih zahteva je rastuća funkcija iznosa prijavljene štete* ukoliko su isplate štete rastuća funkcija iznosa prijavljene štete. Dakle, $p(\theta'') > p(\theta')$ ako je $R_N(\theta'') > R_N(\theta')$.

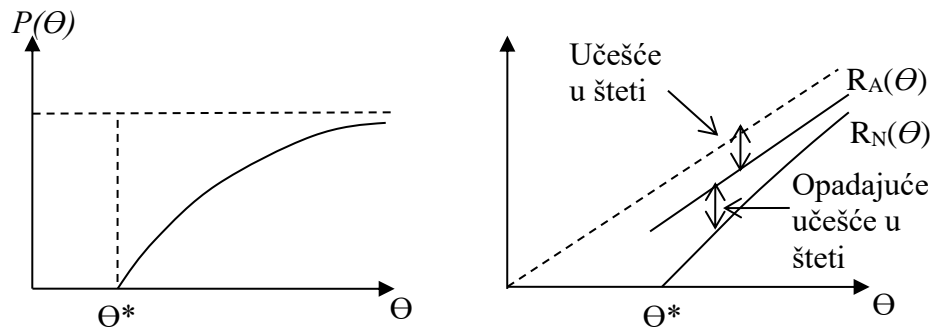
Da bi uslov kompatibilnosti važio, potrebno je pokazati da osiguranik nema interes da prijavi veću štetu od stvarne u slučaju nultog gubitka, kad je $R_N(0) = R_A(0, 0) = 0$. Zamenjujući $\tilde{\theta}$ sa θ u ograničenju kompatibilnosti i uz pretpostavku da ograničenje važi sa striktnom jednakošću, imamo da je:

$$p(\theta) = \frac{u(W-P+R_N(\theta)) - u(W-P)}{u(W-P+R_N(\theta)) - u(W-P-B)}. \quad (4)$$

Na osnovu ovog izraza može se zaključiti da je $p(\theta)$ rastuća funkcija iznosa isplate po osnovu odštetnog zahteva. Optimalna politika istrage i iznos nadoknade štete prikazani su Slici 2, gde vidimo da postoji kritična vrednost θ^* tako da za $\theta \leq \theta^*$ važi $p(\theta) = 0$ i $R_N(\theta) = 0$. Kad je iznos štete veći od θ^* , verovatnoća provere odštetnog zahteva je rastuća funkcija prijavljene štete, dok osiguranik ima *učešće u šteti*, jer se linija $R_A(\theta)$ nalazi ispod isprekidane linije sa nagibom od 45° koja prikazuje potpuno osiguranje. Iznos učešća u šteti je konstantan i jednak $\theta - R_A(\theta)$. Ukoliko odštetni zahtev nije proveravan, učešće u šteti je veće i iznosi

$\theta - (R_A(\theta) + \eta(\theta))$. Ovaj dodatni iznos učešća u šteti, $\eta(\theta)$, opada sa povećanjem iznosa štete, jer se verovatnoća provere odštetnih zahteva povećava sa povećanjem iznosa prijavljene štete.

Slika 2. Optimalna politika istrage i isplata odštete



Izvor: Fagart & Picard (1999)

Kad je u pitanju učešće u šteti, Dionne & Gagné (2001) su empirijski utvrdili da su osiguranici koji imaju ugovor sa većim učešćem u šteti skloniji da prijave veći iznos štete od stvarne, jer smatraju ponuđeni ugovor nepravičnim. Do istog zaključka je došao Miyazaki (2009) eksperimentalnim putem.

3. TROŠKOVI FALSIFIKOVANJA ODŠTETNIH ZAHTEVA

U radu Crockera & Morgana (1998), polazi se od pretpostavke da postoje troškovi falsifikovanja dokumentacije za osiguranika. Ukoliko je stvarni gubitak kome je izložen osiguranik θ , a on prijavi štetu $\tilde{\theta}$, trošak falsifikovanja je $g(\tilde{\theta} - \theta)$. U ovom slučaju optimalan iznos pokrivača treba da uskladi dva konfliktna cilja. Prvo, iznos odštete treba da bude rastuća funkcija stvarne štete (i što bliža stvarnom iznosu štete), što bi povećalo alokativnu efikasnost. S druge strane, takav ugovor stvara podsticaj za falsifikovanje, tako da optimalan ugovor treba da iz tog razloga bude u manjoj meri osetljiv na stvarni iznos štete. Ovaj cilj se ostvaruje ugovorom u kome osiguranik dobija veći iznos odštete u situaciji kad je falsifikovanje manje izvesno i niže isplate u situaciji kad je falsifikovanje izvesnije. Drugim rečima, osiguranik dobija veću nadoknadu od iznosa štete za male štete i manju nadoknadu od iznosa štete za visoke gubitke.

Obeležimo sa $R(\tilde{\theta})$ iznos nadoknade štete kao funkciju prijavljene štete. Ako osiguranik prijavi štetu $\tilde{\theta}(\theta)$, njegova očekivana korisnost je:

$$EU(W_f) = \int_0^{\tilde{\theta}} u(W - P - \theta + R(\tilde{\theta}(\theta)) - g(\tilde{\theta} - \theta)) dF(\theta). \quad (5)$$

Ograničenje participacije je ispunjeno ukoliko osiguravač ima nenegativan profit:

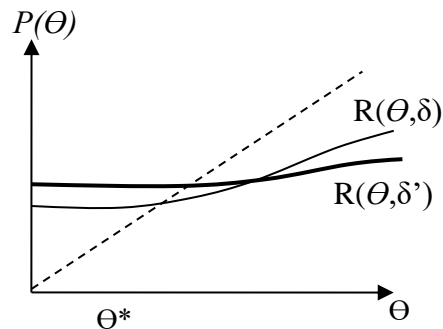
$$E[\pi] = P - \int_0^{\tilde{\theta}} R(\tilde{\theta}(\theta)) dF(\theta) \geq 0. \quad (6)$$

Ograničenje kompatibilnosti možemo da zamenimo uslovom prvog reda:

$$u'(W - P - \theta + R(\tilde{\theta}(\theta)) - g(\tilde{\theta} - \theta)) [R'(\tilde{\theta}(\theta)) - g'(\tilde{\theta} - \theta)] = 0. \quad (7)$$

Izraz u srednjoj zagradi pokazuje da granični iznos odštete treba da bude jednak graničnom trošku falsifikovanja. Ako je $g' < 1$, na osnovu izraza (7), sledi da je $R' < 1$ i ugovor sadrži delimično osiguranje.

Slika 3. Optimalna isplata odštete



Izvor: Crocker & Morgan (1998)

Maksimiziranjem očekivane korisnosti osiguranika uz ograničenje kompatibilnosti i participacije dobija se optimalan ugovor. Ako je osiguranik odbojan prema riziku, optimalan iznos nadoknade štete ima oblik koji je predstavljen na Slici 3, gde vidimo da *osiguravač isplaćuje odštetu koja je veća od iznosa štete za male gubitke, a manja od iznosa štete za velike gubitke*. Neka su troškovi falsifikovanja $g(\tilde{\theta} - \theta) = \delta(\tilde{\theta} - \theta)^2$ i pretpostavimo da se smanjuju, tako da je $\delta' < \delta$. Nakon smanjenja troškova falsifikovanja, isplata štete postaje manje osetljiva na iznos potencijalnog gubitka, tj. osiguravač isplaćuje još veću odštetu za male gubitke, a smanjuje isplatu odštete za velike gubitke.

4. BONUS-MALUS SISTEM

Kao alternativu proveri odštetnih zahteva, Moreno, Vazquez & Watt (2006), predlažu bonus-malus sistem. Osiguravač ne vrši proveru odštetnih zahteva, već isplaćuje prijavljeni iznos štete, ali u narednom periodu osiguranik plaća veću premiju. Potrebno je odrediti ugovor tako da osiguranik nema podsticaj da prijavi štetu koja se nije dogodila, jer će u narednim periodima morati da plati veću premiju. Ipak, iznos veće premije nije namenjen tome da pokrije troškove isplate odštetnog zahteva, već da navede osiguranika da istinito prijavi iznos štete. Ako nije bilo prijavljene štete, osiguranik plaća nižu premiju. Dakle, osiguranik je suočen sa neizvesnošću u pogledu premije i što je odbojniji prema riziku, razlika između niže (bonus) i više (malus) premije koja je neophodna da navede osiguranika da tačno prijavi iznos štete je manja.

U sistemu koji uključuje proveru odštetnih zahteva, premija osiguranja je viša od očekivane premije u bonus-malus sistemu, jer je potrebno nadoknaditi troškove provere. Stoga je *moгуće da bonus-malus sistem dominira u Paretovom smislu nad sistemom zasnovanom na proveri odštetnih zahteva*. Moreno, Vazquez & Watt (2006) dokazuju da ukoliko je verovatnoća prijave štete 0,4 i ako osiguranik poseduje relativnu odbojnost prema riziku manju od 4, bonus-malus sistem dominira u Paretovom smislu nad sistemom zasnovanim na proveri odštetnih zahteva koji nakon uključivanja neotkrivenih prevara i troškova provere odštetnih zahteva dovodi do povećanja premije u iznosu od 6-8%.

U stvarnosti se može sresti kombinacija dva sistema, što je slučaj u Španiji gde je primena bonus-malus sistema zaslužna za manji iznos troškova provere odštetnih zahteva nego u SAD-u.

5. ZAKLJUČAK

Prevare u osiguranju predstavljaju veliki problem i u razvijenim zemljama. U zemljama u razvoju postoje organizovane grupe koje vrše prevare i uključuju lekare, procenitelje, automehaničare, policajce. U Srbiji je prevara u osiguranju zakonski prepoznata kao krivično delo 2009. godine. Od tada se broj osoba koje su procesuirane povećava uključujući i organizovane grupe. Najčešće vrste prevara u osiguranju u Srbiji, kako navode Nikač i Vučić (2015), su lažne lekarske dijagnoze u saobraćajnim nesrećama, lažirane saobraćajne nesreće, uvećanje troškova opravke vozila i dogovorena krađa luksuznih automobila. Osiguravajuća kompanija bi trebalo da primeni strategiju provere odštetnih zahteva uz odgovarajući bonus-malus sistem kako bi *ex ante* sprečila nastanak ovakvih slučajeva.



LITERATURA

- [1] Bond, E. W., & Crocker, K. J. (1997). Hardball and the Soft Touch: The Economics of Optimal Insurance Contracts with Costly State Verification and Endogenous Monitoring Costs. *Journal of Public Economics*, 63(2), 239-264.
- [2] Crocker, K. J., & Morgan, J. (1998). Is Honesty the Best Policy? Curtailing Insurance Fraud through Optimal Incentive Contracts. *Journal of Political Economy*, 106(2), 355-375.
- [3] Dionne, G., & Gagné, R. (2001). Deductible Contracts against Fraudulent Claims: Evidence from Automobile Insurance. *Review of Economics and Statistics*, 83(2), 290-301.
- [4] Fagart, M. C., & Picard, P. (1999). Optimal Insurance Under Random Auditing. *Geneva Papers on Risk and Insurance: Theory*, 24(1), 29-54.
- [5] Miyazaki, A. D. (2009). Perceived Ethicality of Insurance Claim Fraud: Do Higher Deductibles Lead to Lower Ethical Standards?. *Journal of Business Ethics*, 87(4), 589-598.
- [6] Moreno, I., Vázquez, F. J., & Watt, R. (2006). Can Bonus-Malus Allieviat Insurance Fraud? *Journal of Risk and Insurance*, 73(1), 123-151.
- [7] Nikač, Ž., & Vučić, L. (2015). Some Aspects of Insurance Fraud in the Territory of Republic of Serbia in the Period from 2010 to 2013. *Bezbednost, Beograd*, 57(1), 175-196.



ALGORITAM ZA REDUKCIJU PRESEKA U ANALIZI KOHERENTNOG STABLA NEISPRAVNOSTI

ALGORITHM FOR REDUCING CUT SETS IN COHERENT FAULT-TREE ANALYSIS

DRAGANA MAKAJIĆ-NIKOLIĆ¹, NEBOJŠA NIKOLIĆ², MIRKO VUJOŠEVIĆ³

Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, ¹gis@fon.bg.ac.rs, ²sigma@fon.bg.ac.rs, ³mirkov@fon.bg.ac.rs

Rezime: U radu je predstavljen novi algoritam za redukciju preseka koherentnog stabla neispravnosti. Određivanje minimalnih preseka je kvalitativni deo Analize stabla neispravnosti koji se sastoji u eliminisanju svih preseka koji nisu minimalni. Posmatraju se stabla neispravnosti sa dva tipa primarnih događaja: jedinstveni događaji koji se pojavljuju samo jedamput i višestruki događaji koji se pojavljuju više puta u stablu neispravnosti. Limnios je dokazao da su preseki koji sadrže samo jedinstvene događaje minimalni, što smanjuje proces redukcije samo na preseke koji sadrže višestruke događaje. U ovom radu se pokazuje da su preseki koji sadrže sva ponavljanja višestrukih događaja takođe minimalni. Na kraju se predlaže novi algoritam za redukciju preseka koji dodatno skraćuje broj koraka poređenja preseka.

Gljučne reči: pouzdanost, stablo neispravnosti, minimalni preseki, algoritam.

Abstract: A new algorithm for reducing cut sets in coherent fault trees is presented. Determining minimal cut sets is a qualitative part in the Fault-Tree Analysis, that consists in elimination of non-minimal cut sets. We observe fault trees with two types of primary events: single primary events which occur only once in the tree, and repeated primary events which occur several times in the tree. Limnios has been already proved that the cut sets not containing any repeated event are MSC. This limits the reduction process only to the cut sets which contain repeated events. In this paper, we prove that cut sets containing all repetitions of its events are also minimal. Finally, we propose a new algorithm for reduction of cut sets which additional decreases the number of reduction steps.

Keywords: reliability, fault tree, minimal cut sets, algorithm.

1. UVOD

Analiza stabla neispravnosti (ASN) je jedna od najkorišćenijih metoda za analizu pouzdanosti i rizika (Haimes, 2008). ASN je deduktivna metoda u kojoj se prvo definiše neželjeni događaj, koji najčešće predstavlja otkaz sistema, a zatim se dekompozicijom analizira uticaj otkaza komponenti sistema na njegovo pojavljivanje. Uticaj otkaza komponenti na otkaz sistema se prikazuje pomoću stabla neispravnosti (SN) (*Fault tree*), čiji se koren naziva vršni događaj (*Top event*) i predstavlja otkaz sistema. SN se sastoji iz dve grupe čvorova: događaja i logičkih kola. Događaji predstavljaju otkaze koji se mogu desiti u sistemu i njegovim delovima. Sa aspekta ASN, značajna su tri nivoa događaja: vršni događaj, posredni događaji i primarni događaji. Primarni događaji predstavljaju granicu dekompozicije sistema i odnose se na primarne otkaze komponenti sistema koji se u SN predstavljaju listovima. Logička kola u SN predstavljaju logičke veze između otkaza komponenti ili delova sistema (Limnios, Fault Tree, 2007). U konstrukciji SN se polazi od pretpostavke da su događaji binarni, statistički nezavisni i da veze između njih mogu da se predstave logičkim operacijama (kolima).

U ovom radu će biti razmatrana koherenta SN sa višestrukim događajima koja sadrže samo I i ILI logička kola i monoforme primarne događaje (primarne događaje bez njihovih negacija). Višestruki događaji (*Multiple Occurring Event* – MOE) su događaji koji se višestruko pojavljuju u SN (Ericson, 2015). Tim događajima su predstavljeni otkazi komponenti koji mogu imati uticaj na funkcionisanje više delova sistema.

Jedan od ciljeva ASN je određivanje minimalnih preseka. Presek (*Cut set*) je skup komponenti čiji istovremeni otkaz dovodi do otkaza sistema. U terminologiji SN, presek je skup primarnih događaja čije istovremeno odigravanje dovodi do vršnog događaja. U literaturi se može naći veliki broj metoda za određivanje preseka. Neke od najstarijih su: direktna metoda prienom Bulove algebre (Ericson, 2015), MOCUS algoritam (Kececioglu, 2002), Fatram algoritam (Rasmuson & Marshal, 1978) i MICSUP algoritam (Willie, 1978). U novije vreme, dominantni su pristupi određivanja preseka pomoću BDD (*Binary Decision Diagram*) (Reed, 2017) i Petrijevih mreža (Makajić-Nikolić, Vujošević, & Nikolić, 2013).



Ukoliko SN sadrži višestruke događaje, neki od preseka mogu sadržati podskupove koji takođe predstavljaju preseke. Takvi preseki nisu od interesa u ASN, već je potrebno izdvojiti samo preseke koji ne sadrže neki drugi presek. Takvi preseki se nazivaju minimalni preseki (*Minimal cut sets* - MCS) ili, kraće, minipreseki. Minipresek je presek koji se ne može redukovati bez gubljenja statusa preseka. Ukoliko se bilo koji od događaja iz minipreseka ne dogodi, tada se neće desiti vršni događaj.

Predmet ovog rada je problem izdvajanja minipreseka iz familije svih preseka datog SN, odnosno eliminisanja svih preseka koji su nadskupovi nekog ili nekih preseka. U nastavku će se ovaj postupak nazivati redukcijom preseka. Pokazaće se da se neke osobine pojedinih preseka mogu iskoristiti za smanjenje broja koraka redukcije. U (Limnios & Ziani, 1986) je pokazano da su preseki bez višestrukih događaja minimalni i da se onda redukcija vrši samo nad presecima sa višestrukim događajima. U ovom radu će se pokazati da su i minipreseki koji sadrže sva ponavljanja nekog višestrukog događaja u SN takođe minimalni i da se proces redukcije može značajno skratiti na osnovu te činjenice.

Rad se sastoji iz pet sekcija. Nakon uvodnog dela, u sekciji 2 se opisuje problem redukcije preseka i prikazuje algoritam Limnios-a. U sekciji 3 je prikazana teorema na osnovu koje se dokazuje da su preseki koji sadrže sva ponavljanja nekog višestrukog događaja minimalni. U ovoj sekciji će biti prikazan i novi algoritam redukcije. Ilustracija prednosti novog algoritma će biti ilustrovana na primeru SN u sekciji 4. Sekcija 5 je posvećena zaključnim razmatranjima i pravcima daljeg istraživanja.

2. ALGORITAM LIMNOIS-A

Pretpostavka od koje se polazi u algoritmu Limnios-a, kao i u lgoritmu koji će kasnije biti predložen, je da su preseki datog SN poznati. Kada se vrši redukcija preseka, potrebno je izvršiti veliki broj poređenja u kojima se proverava da li je jedan skup preseka podskup nekog drugog. Neka je s broj preseka datog SN. S obzirom da se poređenje dva preseka vrši u oba smera, maksimalni broj operacija koje treba izvršiti je

$$s(s-1) \tag{1}$$

Ukoliko bi za neke od preseka moglo da se utvrdi da su minipreseki, onda bi se broj operacija smanjio jer oni ne mogu sadržati u sebi neki drugi presek. Neka je m broj minipreseka u datoj familiji od s preseka. Kako oni ne mogu biti nadskup nekog drugog preseka, broj preseka za koje bi trebalo ispitati da li su nadsup nekog preseka je $s-m$. Dakle, potrebno je izvršiti dve grupe poređenja: $s-m$ preseka treba porediti međusobno i za svaki od njih treba proveriti da li je neki od m minipreseka njegov podskup. Sada maksimalnih operacija koje treba izvršiti postaje:

$$(s-m)(s-m-1) + (s-m)m = (s-m)(s-1) . \tag{2}$$

U (Limnios & Ziani, 1986) je dokazano da su preseki koherentnog SN, koji ne sadrže višestruke događaje, minipreseki. Pored toga, dokazano je da takav minipresek ne može biti podskup nijednog preseka sa višestrukim događajima. Na osnovu tih dokaza formulisan je algoritam redukcije preseka. Notacija koja je u originalnom radu korišćena je sledeća:

- K - familija svih preseka,
- $K1$ - familija svih preseka koji sadrže višestruke događaje,
- $K2$ - familija svih preseka koji ne sadrže višestruke događaje.

Algoritam redukcije ARSN1 ima sledeći oblik:

1. Odrediti familiju K . Ako SN ne sadrži višestruke događaje, $K^* = K$. Ići na korak 5.
2. Podeliti familiju K na $K1$, familiju skupova preseka koji sadrže bar jedan višestruki događaj i $K2$, familiju skupova preseka koji ne sadrže višestruke događaje.
3. Redukovati familiju $K1$ da bi se dobila $K1^*$.
4. Neka je $K^* = K1^* \cup K2$.
5. Svaki element K^* je minipresek.

U algoritmu ARSN1, maksimalni broj operacija poređenja se smanjuje na:

$$(s-m)(s-m-1) \tag{3}$$

gde je $m=|K1|$.



3. NOVI ALGORITAM ZA REDUKCIJU PRESEKA

U nastavku će biti uvedena teorema na osnovu koje će se pokazati da je presek minimalan ako sadrži sve višestrukosti svojih primarnih događaja. Time se ujedno dokazuje i teorema Limnios-a i njene posledica jer preseki bez višestrukih događaja mogu da se posmatraju kao specijalan slučaj posmatranih preseka.

Neka je dato SN sa J primarnih događaja, od kojih su neki događaji višestruki. Kako se svako ponavljanje nekog događaja u SN prikazuje posebnim čvorom, ukupan broj listova u SN je veći od J . Neka je I ukupan broj listova u datom SN. Radi lakšeg zapisa, primarni događaji će biti obeleženi binarnim promenljivama $x_i, i=1, \dots, J, J \leq I$, koje koje predstavljaju njihov indikatore događaja:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{ako se desi } i\text{-ti događaj (otkaz komponente)} \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

Ako SN sadrži višestruke događaje, sva ponavljanja nekog višestrukog događaja će biti označena istom binarnom promenljivom. Parametar $k_i, i=1, \dots, J$ je broj ponavljanja, odnosno višestrukost primarnog događaja x_i . Ukoliko primarni događaj nema ponavljanja, smatraće se da je višestrukosti 1.

Kako je $\sum_{i=1}^n k_i = I$, važi da je $J < I$ za SN sa višestrukim događajima, odnosno $J = I$ ako SN sadrži samo događaje višestrukosti 1, odnosno samo jedinstvene događaje. Pored nevedene, u nastavku će biti korišćena sledeća notacija:

- $G_v, v \in V$ - posredni događaji. Njihov broj je jednak broju logičkih kola u SN i oni se ovde razmatraju samo u smislu logičkog kola;
- $P[G_v]$ - domen posrednog događaja G_v . To je multiskup svih primarnih događaja koji su koji pripadaju podstablu SN sa korenom G_v . Podstablo SN sa korenom G_v predstavljaju svi potomci čvora G_v . Kako je T vršni događaj, odnosno koren SN, $P[T]$ je multiskup svih primarnih događaja SN i $|P[T]| = I$;
- $D[G_v]$ - skup svih preseka u podstablu sa korenom G_v . Skup svih preseka SN obeležavaće se sa $D[T]$.
- C - bilo koji presek.

Svaki presek $C \in D[T]$ je jedan element strukturne funkcije SN zapisane u disjunktivnoj normalnog formi, odnosno predstavlja konjunkciju nekih primarnih događaja: x_1, x_2, \dots, x_n . U skladu sa Bulovom algebrom, u nastavku će presek C , odnosno konjunkcija: $x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_n$ biti zapisani u obliku: $C = x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$, odnosno u obliku $C = x_1^{k_1} \cdot x_2^{k_2} \cdot \dots \cdot x_n^{k_n}$ ako presek sadrži više ponavljanja posmatranih primarnih događaja. Na isti

način se disjunktivna normalna forma strukturne funkcije SN $\bigvee_{C \in D[T]} C$, na osnovu pravila Bulove algebre, može zapisati u obliku: $\sum_{C \in D[T]} C$.

U skladu sa uvedenom notacijom, definišaćemo relaciju \subset za preseke: preseka $C^1 = x_1^{k_1^1} \cdot x_2^{k_2^1} \cdot \dots \cdot x_n^{k_n^1}$ je "podskup" preseka $C^2 = x_1^{k_1^2} \cdot x_2^{k_2^2} \cdot \dots \cdot x_n^{k_n^2}$, tj. $C^1 \subset C^2$ ako $k_i^1 \leq k_i^2$ za svako $i=1, \dots, n$.

U narednoj teoremi će se posmatrati preseki C^* koji sadrže sva ponavljanja svojih primarnih događaja. Odnosno, ako neki primarni događaji x_1, x_2, \dots, x_n pripadaju preseku C^* , onda svih $k_i, i=1, \dots, n$ ponavljanja ovih primarnih događaja, pripada preseku C^* . Za presek C^* , će se reći da je oblika $x_1^{k_1} \cdot x_2^{k_2} \cdot \dots \cdot x_n^{k_n}$.

Teorema 1: Neka je T vršni događaj koherentnog SN i neka su $k_i \geq 1, i=1, \dots, n$ maksimalne višestrukosti primarnih događaja x_1, x_2, \dots, x_n . Ako postoji presek C^* iz $D[T]$, tada među ostalim prescima iz $D[T]$, ne postoji presek C takav da je $C \subset C^*$ ili $C^* \subset C$.



Dokaz Teoreme 1, koji je ovde izostavljen zbog ograničenog prostora, se vrši transfinitnom indukcijom po broju primarnih događaja I .

Na osnovu Teoreme 1, ne postoji presek C takav da je $C^* \subset C$ ili $C \subset C^*$. Kada je $k_i = 1, i=1, \dots, n$, svi primarni događaji x_1, x_2, \dots, x_n su jedinstveni, a C^* je oblika $x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$, t.j. C^* je presek u kome su svi događaji višestrukosti 1. Ovim je teorema Limnios svedena na specijalan slučaj Teoreme 1. Na osnovu Teoreme 1 i definicije minipreseka po kojoj je to presek koji ne sadrži neki drugi presek, važe sledeće posledice:

Posledica 1. Nijedan presek se ne može redukovati kao nadskup preseka u kome su svi događaji višestrukosti 1.

Posledica 2. Presek u kome su svi događaji višestrukosti 1 je minimalan.

Iz posledica 1 i 2 sledi da, prilikom redukcije preseka, ove preseke bez višestrukih događaja ne treba upoređivati sa ostalim pressecima.

Napomena: Prilikom generisanja i redukcije preseka koristi se više zakona Bulove algebre. Jedan od njih je zakon idempotencije: $x \cdot x = x$. Nad presekom C^* oblika $x_1^{k_1} \cdot x_2^{k_2} \cdot \dots \cdot x_n^{k_n}$ se može $\sum_{i=1}^n (k_i - 1)$ put primeniti zakon idempotencije.

Neka je C presek oblika $x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$ dobijen iz C^* primenom zakona idempotencije. Na osnovu Teoreme 1, za svako C iz $D[T] \setminus C^*$, važi $C \not\subset C^*$. Kako je $C \subset C^*$ onda je $C \not\subset C$. Na osnovu minipreseka, važi:

Posledica 3. Presek C oblika $x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$, dobijen iz preseka C^* primenom zakona idempotencije, je minimalan.

Ova posledica je novi rezultat i iz nje sledi da, prilikom redukcije preseka, za ove preseke ne treba proveravati da li su nadskup nekog preseka. Međutim, ovi preseki mogu biti podskup nekog preseka, jer iz $C^* \not\subset C$ i $C \subset C^*$ ne sledi $C \not\subset C$.

Na osnovu svega navedenog, familija preseka od s elemenata se može podeliti u tri grupe:

1. Q_1 , familija od m_1 preseka sa svim događajima višestrukosti 1 u SN. Ovi preseki su minipreseki koji ne mogu biti sadržani ni u jednom od ostalih preseka.
2. Q_2 , familija od m_2 preseka sa svim višestrukostima svojih primarnih događaja, odnosno preseka C^* . Ovi preseki su minipreseki koji mogu biti sadržani u ostalim pressecima.
3. Q_3 , familija od $s-m_1-m_2$ preseka iz koje treba eliminisati preseke koji su nadskup nekog od preseka.

Sada se maksimalni broj operacija poređenja (3.3) može smanjiti na:

$$(s - m_1 - m_2) \cdot m_2 + (s - m_1 - m_2) \cdot (s - m_1 - m_2 - 1). \quad (4)$$

Dakle, potrebno je $s-m_1-m_2$ preseka porediti međusobno i za svaki od njih proveriti da li je neki od m_2 minipreseka njegov podskup. Pri tome je poređenje efikasnije ako se prvo izvrši provera da li među elementima Q_1 ima podskupova elemenata iz Q_3 . Sada se Algoritam redukcije ARSN1 može modifikovati uvođenjem dodatnih koraka.

Algoritam redukcije ARSN2.

1. Odrediti familiju K svih preseka koherentnog SN. Ako SN sadrži samo događaje višestrukosti 1, tada je $K^*=K$. Ići na korak 6.
2. Podeliti familiju K na familiju Q_1 preseka koji sadrže samo događaje višestrukosti 1, familiju Q_2 preseka koji sadrže sva ponavljanja višestrukih događaja i familiju $Q_3=K \setminus Q_1 \setminus Q_2$.

3. Primeniti zakon idempotencije na $Q2$. Redukovati $Q3$ uklanjanjem svakog elementa koji je nadskup nekog elementa iz $Q2$, da bi se dobila $Q3^*$.
4. Redukovati familiju $Q3^*$ eliminisanjem nadskupova da bi se dobila $Q3^{**}$.
5. Neka je $K^* = Q1 \cup Q2 \cup Q3^{**}$.
6. Svaki element K^* je minipresek.

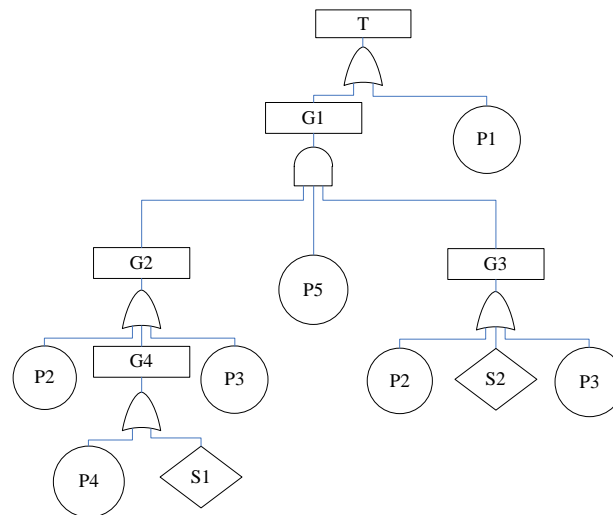
Nakon koraka 3, dobija se familija $Q3^*$, čiji je broj elemenata $m_3 \leq s - m_1 - m_2$, tako da se maksimalni broj operacija poređenja dodatno može smanjiti na:

$$(s - m_1 - m_2) \cdot m_2 + m_3 \cdot (m_3 - 1). \quad (5)$$

Prvi član izraza (5) predstavlja broj operacija poređenja u koraku 3, dok je drugi član broj operacija poređenja prilikom eliminacije nadskupova u koraku 4 algoritma redukcije ARSN2.

4. ILUSTRATIVNI PRIMER

Da bi se ilustrovale prethodne tvrdnje i poboljšani algoritam redukcije, primeniće se oba algoritma za redukciju preseka SN sa slike 1.



Slika 1. Stablo neispravnosti

Dato SN ima dva višestruka događaja: P2 i P3 čiji je broj pojavljivanja u stablu jednak 2. Preseci datog SN su: P1, P2²·P5, P2·P4·P5, P2·S1·P5, P2·P3·P5, S2·P2·P5, S2·P4·P5, S2·S1·P5, S2·P3·P5, P3·P2·P5, P3·P4·P5, P3·S1·P5, P3²·P5. Iz datih preseka se može uočiti da postoje dva preseka koji sadrže sva ponavljanja svojih višestrukih događaja: P2²·P5 i P3²·P5. Primenom zakona idempotencije, ova dva preseka postaju P2·P5 i P3·P5, respektivno.

Na osnovu ARSN1, da bi se izdvojili minipreseci, prvo se formiraju familija K1, koja sadrži preseke sa višestrukim događajima (P2 i P3), i familija K2, koja sadrži preseke bez višestrukih događaja.

$$K1 = \{P2 \cdot P5, P2 \cdot P4 \cdot P5, P2 \cdot S1 \cdot P5, P2 \cdot P3 \cdot P5, S2 \cdot P2 \cdot P5, S2 \cdot P3 \cdot P5, P3 \cdot P2 \cdot P5, P3 \cdot P4 \cdot P5, P3 \cdot S1 \cdot P5, P3 \cdot P5\}$$

$$K2 = \{P1, S2 \cdot P4 \cdot P5, S2 \cdot S1 \cdot P5\}.$$

Primenom koraka 3 algoritma ARSN1, dobija se $K1^* = \{P2 \cdot P5, P3 \cdot P5\}$. Skup minipreseka $K^* = K1^* \cup K2$ čine preseki: P1, S2·P4·P5, S2·S1·P5, P2·P5 i P3·P5.

Maksimalni broj koraka poređenja za dato SN na osnovu ARSN1 iznosi:

$$(s - m) \cdot (s - m - 1) = (13 - 2) \cdot (13 - 2 - 1) = 110.$$



Na osnovu ARSN2, da bi se izdvojili minipreseci, prvo se formiraju: $Q1$, familija preseka sa svim događajima višestrukosti 1, $Q2$, familija preseka sa svim ponavljanjima svojih višestrukih primarnih događaja i $Q3$, familija ostalih preseka.

$$Q1 = \{P1, S2 \cdot P4 \cdot P5, S2 \cdot S1 \cdot P5\},$$

$$Q2 = \{P2 \cdot P5, P3 \cdot P5\} \text{ i}$$

$$Q3 = \{P2 \cdot P4 \cdot P5, P2 \cdot S1 \cdot P5, P2 \cdot P3 \cdot P5, S2 \cdot P2 \cdot P5, S2 \cdot P3 \cdot P5, P3 \cdot P2 \cdot P5, P3 \cdot P4 \cdot P5, P3 \cdot S1 \cdot P5\}.$$

Primenom koraka 3 algoritma ARSN2, dobija se $Q3^* = \emptyset$, što znači da se redukcija predviđena korakom 4 nije izvršavala, odnosno da je i $Q3^{**} = \emptyset$. Skup minipreseka K^* čine isti preseki koji se dobijaju primenom algoritma ARSN1 ali se do njega dolazi u manjem broju koraka poređenja. Maksimalni broj koraka poređenja iznosi:

$$(s - m_1 - m_2) \cdot m_2 + m_3 \cdot (m_3 - 1) = (13 - 3 - 2) \cdot 2 = 16.$$

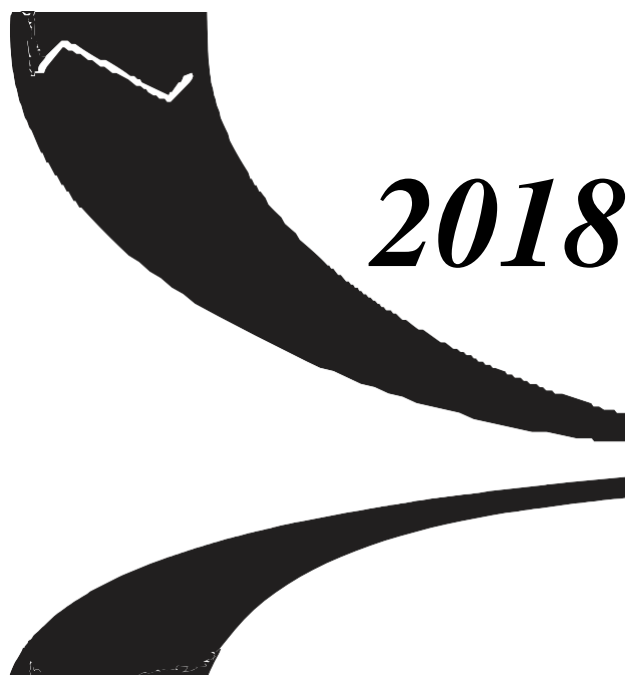
5. ZAKLJUČAK

Predmet ovog rada bio je problem redukcije preseka stabla neispravnosti, odnosno izdvajanje minipreseka. Redukcija se obavlja tako što se eliminiše svaki presek koji je nadskup nekog drugog preseka. Limnios je pokazao da su preseki koji ne sadrže višestruke događaje minimalni i da ne mogu biti podskupovi drugih preseka. Limnios je predložio algoritam redukcije kojim je broj koraka poređenja preseka značajno smanjen. U ovom radu je dokazano da su preseki koji sadrže sva pojavljivanja svojih višestrukih događaja, takođe minimalni. Na osnovu prikazane teoreme i njenih posledica, predložen je novi algoritam redukcije koji značajno smanjuje broj koraka poređenja preseka u odnosu na algoritam Limnios-a.

U daljim istraživanjima će se vršiti eksperimenti nad SN većih dimenzija u kojima će se vršiti poređenje efikasnosti algoritama ARSN1 i ARSN2. Pored toga, ispitivaće se kakvu strukturu bi trebalo da ima SN među čijim presecima postoje oni koji sadrže sva ponavljanja svojih višestrukih događaja, kao i koji je očekivani broj preseka koji se može redukovati.

LITERATURA

- [1] Ericson, C. A. (2015). Hazard analysis techniques for system safety. John Wiley & Sons.
- [2] Haimes, Y. Y. (2008). Risk Modeling, Assessment, and Management. 3rd Edition. New Jersey: John Wiley & Sons.
- [3] Kececioglu, D. B. (2002). Reliability Engineering Handbook. Lancaster: DEStech Publications, Inc.
- [4] Limnios, N. (2007). Fault Tree. Wiltshire: ISTE Ltd.
- [5] Limnios, N., & Ziani, R. (1986). An Algorithm for Reducing Cut Sets in Fault-Tree Analysis. IEEE Transactions on Reliability, 35(5), 559 – 562.
- [6] Makajić-Nikolić, D., Vujošević, M., & Nikolić, N. (2013). Minimal cut sets of a coherent fault tree generation using reverse Petri nets. Optimization: A Journal of Mathematical Programming and Operations Research, 62(8), 1069-1087.
- [7] Rasmuson, D. M., & Marshal, N. H. (1978). FATRAM: A Core Efficient Cut-Set Algorithm. IEEE Transaction on Reliability, R-27(4), 250-253.
- [8] Reed, S. (2017). An efficient algorithm for exact computation of system and survival signatures using binary decision diagrams. Reliability Engineering & System Safety, 165, 257-267.
- [9] Willie, R. R. (1978). Computer-aided Fault Tree Analysis. Berkeley: OR Center.



2018

***PRIMENA OPERACIONIH
ISTRAŽIVANJA U
EKOLOŠKOM
MENADŽMENTU I
UPRAVLJANJU PRIRODNIM
RESURSIMA***



CIRCULAR ECONOMY COMPOSITE INDEX – DEA APPROACH

ĐORĐE MITROVIĆ¹, OLGA GAVRIĆ²

¹ University of Belgrade – Faculty of Economics, dorde@ekof.bg.ac.rs

² University of Belgrade – Faculty of Agriculture, olga_bgekof@yahoo.com

Abstract: *Over the past two decades, the imperative of change caused by globalization, excessive use of resources and environmental degradation has prompted development of a circular economy concept. The literature review reveals that circular economy and creation of a new “green” business environment, both nationally and locally could be an important driver of economic growth and job creation in European countries. This paper analyses the differences in circular economy development in the European Union regarding the internal and external environment factors that create different conditions for application of the circular economy principles. The European Union brought a set of indicators for the circular economy measurement which aim at the enhancement of the circular economy research, development and implementation. In this paper, different circular economy development factors were taken into consideration and special methodology was applied – Data Envelopment Analysis (DEA). The composite index, Circular Economy Index (CEI), was created in order to identify main differences within the EU countries elated to the circular economy development*

Keywords: *Circular Economy, Composite Index, Data Envelopment Analysis.*

1. INTRODUCTION

Bearing in mind the need to develop green and circular economy in European countries, in order to make a faster economic growth, the main idea of the paper was to investigate the differences in the European Union regarding the factors of internal and external environment that create, or may create, different conditions for the development of a circular economy. Different economic, business and social factors were taken into consideration by applying a special methodology – Data Envelopment Analysis (DEA). The DEA method was used in order to investigate whether the differences in the circular economy development in European countries were the result of some specific national conditions and, if so, whether there were examples of good practice in the circular economy development, or whether the prevailing factors, which lead to the development, could be found in the government and political sphere. Instead of using a great number of different individual indicators which measure a countries' performance, it was more appropriate to use one composite indicator for depicting this complex issue. For this reason, a composite index, Circular Economy Index (CEI), was created. However, availability of suitable data, primarily country-level availability (some factors affecting the circular economy performance which could be considered important are not available for all countries), presented a significant limitation in its making. Despite this imperfection, the authors still believe that this methodology reveals an important aspect of the circular economy development in European countries. The composite index proposed in this paper can point at the differences in national conditions that could be influenced by government policies in order to tackle specificities and needs of each separate country during the circular economy development.

This paper is structured as follows. After the introduction and discussion of the circular economy concept in Section 2, Section 3 explains composite index construction using DEA methodology. Section 4 explains the construction of the circular economy index by means of seven EU indicators. Section 5 discusses the main results and explains the calculated values of the circular economy index regarding the priorities in a country's policies that aim at increasing circular economy development. Section 6 presents the main conclusions and recommendations for further research.

2. THE CIRCULAR ECONOMY CONCEPT

Over the past two decades, the imperative of change caused by globalization, excessive use of resources and environmental degradation has prompted development of a circular economy concept. Circular economy is an important part and is in the service of sustainable development, which is a universal development paradigm

applicable to all countries of the world (Gligorić and Jovanović Gavrilović, 2017). Sustainable development, as one of the more current and dominant trends in the world economy, is the development that meets current needs, not endangering the ability of future generations to satisfy them (Pešić, 2012). Accordingly, the concept of sustainability is multidimensional and implies economic, social, and environmental sustainability and compatibility (Mitrović 2015).

Generally, circular economy assumes a cyclical movement in the production process in the sense that the outputs become new inputs. Consequently, one of the main objectives of this concept is a more efficient use of resources with the emphasis on renewability which aims at reducing waste and other harmful substances that pollute the environment to a great extent. Circular economy, as such, strives to replace the conventional linear model completely, based on the idea of “take-produce-consume-delay”, which, in the long run, jeopardizes ecological goals and standards (Haris, 2009). It is also important to emphasize the role of technological innovations that are necessary to reorient from traditional linear systems to industrial ecological systems. The support of economic policies, whose focus is shifting from economic maximization to sufficiency and sustainability, is also important. On the other hand, circular economy further stimulates innovation processes (a two-way relationship) in the economy, which ultimately leads to improvement of micro and macro competitiveness, and growth of the employment and gross domestic product-GDP.

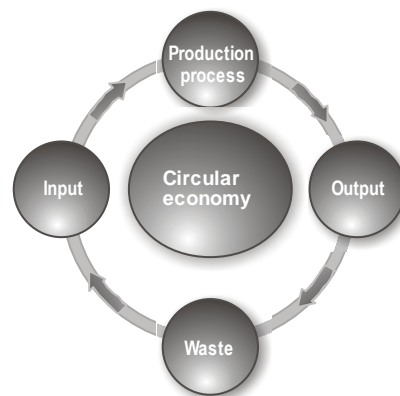


Figure 1: Circular economy (Haris 2009)

Circular economy is closely linked to the concept of energy efficiency and recycling. Energy efficiency refers to reducing energy costs in production or technological processes, while recycling is an integral part of a wider approach known as 3R (*Reduce-Reuse-Recycle*). Bearing in mind that recycling can be direct and indirect, the waste resulting from the consumption of final products may have the same or obtain a different purpose in the form of new inputs in the next production process cycle. Implementation of the idea of circular economy in modern economic systems enables approaching to economic and ecological goals that have often been diametrically different.

The new context of the functioning of economy and the new business vision of companies, as a result of the circular economy implementation, has prompted changes all through the life cycle of products. Different designs, improved production, distribution, and, of course, consumption have made products *eco-friendly*, which means that they are fully compatible with the environment and its standards. Such products have a higher degree of value added for consumers and are an important precondition for a complete transition to the circular economy system. Also, the use or consumption of these products does not create waste (*zero waste*), which is one of the main objectives of circular economy. After use, eco-friendly products can be further recycled and become the input for a new production cycle. Similarly, most of the materials and raw materials used in the production of these products are obtained by recycling.

It is important to point out that key actors for the transition to the circular economy model are companies and consumers. In other words, cooperation between these entities is necessary both in the phases of production, as well as in distribution and consumption (Čarapina Stevanović and Mihajlović, 2015). Bearing in mind the characteristics and properties of circular economy, its application depends on the degree of development of the observed economy. Namely, in developing economies, circular economy is in its initial stages, while in the most developed economies it is achieving its full potential.



Most successful companies in the world have made a strategic step in the form of a “greener” business. We can often observe this through two dimensions. The first dimension involves the formulation of an environmental strategy that should be consistent with the existing corporate strategy, whereas the second dimension more often refers to a concrete implementation of circular economy in practice. This positive trend is first noted in different sectors of industry that traditionally creates a large amount of waste and pollutes the environment.

According to this, we can provide several examples. Companies like H&M, Yamamay, and Stella McCartney have collected waste from the shores of the ocean (packaging, plastic bags...) and, in further process, have obtained the raw materials used in the production of new fashion collections - dresses and swimwear. In this way, H&M has promoted the new *econyl* material, a nylon made from the recycled fishing nets. Most of the products of the mentioned brands are labelled as *Cradle to Cradle*, which indicates the minimal damage of the products to the environment, as well as the ecological responsibility and sustainability of the production process. In Japan, for example, collected electronic waste in the form of lithium batteries is further used to make medals, which will be awarded at the Olympic Games in Tokyo, in 2020. Also, in some countries, a large amount of ash resulting from the production of electricity in thermal power plants can be used as an input in the construction of road networks and associated infrastructure. The above examples further emphasize the importance of the circular economy concept.

3. COMPOSITE INDEX CONSTRUCTION USING DEA METHODOLOGY

The construction of composite indicators is “a useful tool in policy analysis and public communication” (Nardo *et al.* 2005, Vidoli *et al.* 2015) for the comparison of countries regarding the level of their development in different fields (social, demographic, micro and macroeconomic, business, ecological, educational, ICT, etc.). Instead of using a wide number of different individual indicators which measure a country’s performance, it is more appropriate to use one composite indicator for depicting complex issues in the country’s development. For this reason and for the purpose of identifying the main differences related to circular economy development in Europe, a composite index, Circular Economy Index (CEI), was developed by using Data Envelopment Analysis (DEA).

According to several different authors (Zhou *et al.* 2006, Zhou *et al.* 2007, Cherchye *et al.* 2008, Cherchye *et al.* 2007, Fusco 2015), the basic DEA model assumes that sub-indexes’ *CI* (composite indexes) for each country j ($j=0,1,\dots,m$) are calculated as the weighted sum of n indicators where the weights are endogenously determined to maximize the value of the composite index for each country. Optimal weights should be determined by solving the next linear programming problem:

$$CI_j = \max \sum_{i=0}^n y_{ij} w_{ij} \quad (1)$$

where

$$\sum_{i=0}^n y_{ij} w_{ik} \leq 1 \quad (2)$$

and

$$w_{ij} \geq 0 \quad (3)$$

for any $i=0,1,\dots,n$, any $j=0,1,\dots,m$, and any $k=0,1,\dots,m$.

Another challenge in this methodology is the size of the data set necessary to complete the DEA analysis. There are several different opinions in the literature on what the optimal size is. Our analysis uses the rule of thumb proposed in Gollany and Roll (1989), that the number of analysed countries should be at least twice the number of the considered indicators. After the calculation of weights for each sub-index by using the classical “Benefit of the Doubt” approach, we applied the DEA Cross-Efficiency model in order to calculate their final



values. Although classical DEA is suitable for identifying the best practice for each country, its self-evaluation feature has been criticized.

In this paper, we used the cross-efficiency matrix that was developed as a DEA extension to rank the countries. This tool for the interpretation of results consists of a table where the number of rows (j) and columns (j) equals the number of countries in the analysis. For each cell (ij), the efficiency of countries was computed with weights that are optimal to the country j (Doyle and Green 1994).

4. CIRCULAR ECONOMY COMPOSITE INDEX CONSTRUCTION FOR EU COUNTRIES

A certain number of indicators is introduced for each sub-index (Table 1).

Table 1: Statistical indicators forming the CEI and sub-indexes

Main index	Sub-index	Indicator used
Circular Economy Index (CEI)	Sustainable Resource Management Index (SRMI)	SRMI1 – Resource productivity (Euro PPS per kg)
		SRMI2 – Recycling rate of municipal waste (%)
	Societal Behaviour Index (SBI)	SBI1 – Citizens who have chosen alternatives in buying new products
		SBI2 – Repair of computers and personal and household goods (Turnover per person employed, 000 EUR)
		SBI3 – Repair of computers and personal and household goods (Investment per person employed, 000 EUR)
	Business Operations Index (BOI)	BOI1 – Recycling by user in manufacturing sector (%)
		BOI2 – Durable products in manufacturing sector (%)
		BOI3 – Recycling by enterprises in manufacturing sector (%)
		BOI4 – Enterprises without difficulties in CE activities (%)

The normalized values for the 9 indicators are calculated for 23 countries: Austria, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, the European Union, Finland, Germany, Greece, Hungary, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia and Sweden. The raw data for the analysis were taken from the Eurostat. In order to apply the DEA methodology and determine the weight, the values of all the individual indicators had to be normalized. The raw values are normalized in the interval between 0 and 1 (the indicators with higher values represent better performance of a given country and vice versa). The normalized numerical values were then calculated (Table 2).

Table 2: Normalized values of individual indicators

Country	SRMI		SBI			BOI			
	SRMI1	SRMI2	SBI1	SBI2	SBI3	BOI1	BOI2	BOI3	BOI4
Austria	0.38	0.84	0.70	0.51	0.28	0.50	0.68	0.39	0.70
Bulgaria	0.01	0.27	0.28	0.00	0.12	0.10	0.11	0.02	0.16
Croatia	0.39	0.16	0.36	0.22	0.00	0.69	0.65	0.45	0.58
Cyprus	0.33	0.16	0.34	0.17	0.08	0.23	0.04	0.33	0.63
Czech Republic	0.31	0.31	0.64	0.40	0.56	0.47	0.66	0.41	0.28
Denmark	0.33	0.65	0.47	1.00	1.00	0.00	0.00	0.08	1.00
Estonia	0.03	0.41	0.55	0.14	0.28	0.23	0.42	0.21	0.56
European Union 28	0.49	0.62	0.62	0.45	0.56	0.41	0.36	0.28	0.40
Finland	0.11	0.43	1.00	0.62	0.52	0.80	1.00	0.43	0.51
Germany	0.49	1.00	0.85	0.54	0.64	0.58	0.57	0.50	0.74
Greece	0.31	0.14	0.43	0.15	0.20	0.77	0.71	0.33	0.40
Hungary	0.28	0.40	0.57	0.19	0.36	0.20	0.28	0.14	0.19
Italy	0.97	0.59	0.28	0.33	0.56	0.38	0.57	0.00	0.19
Latvia	0.06	0.34	0.72	0.02	0.12	0.26	0.33	0.13	0.12
Lithuania	0.26	0.40	0.85	0.06	0.12	0.23	0.23	0.08	0.58
Luxembourg	1.00	0.69	0.70	0.60	0.64	0.63	0.54	0.39	0.70
Malta	0.48	0.00	0.00	0.35	0.20	0.40	0.18	0.23	0.60
Poland	0.15	0.43	0.53	0.14	0.28	0.19	0.35	0.18	0.00
Portugal	0.27	0.40	0.49	0.10	0.28	1.00	0.80	1.00	0.63
Romania	0.00	0.10	0.19	0.14	0.28	0.12	0.08	0.10	0.00
Slovakia	0.36	0.05	0.57	0.14	0.36	0.25	0.27	0.24	0.21
Slovenia	0.38	0.49	0.57	0.28	0.28	0.52	0.85	0.40	0.51
Sweden	0.29	0.73	0.60	0.85	0.44	0.46	0.70	0.36	0.67



Data Envelopment Analysis (DEA) could be an interesting choice of methodology for the purpose of identifying the circular economy development. However, there are certain limitations of the DEA analysis, which the authors of this paper were aware of. First, DEA is static in its nature. By applying the DEA, it is only possible to estimate the current level of development and weak areas of each country. We cannot analyse the causes and consequences of different circular economy development policies, because it requires a dynamic component. We made conclusions about the circular economy development in Europe based on the historical data in the given year (2014). However, further improvement of the DEA methodology can even lead to development of a new principle of the future circular economy analysis.

5. RESULTS AND DISCUSSION

Using the DEA methodology, seven different indicators classified within the sub-indexes have been incorporated within the composite Circular Economy Index (CEI). This index is calculated as the weight sum of the corresponding individual indicators, where the weights are endogenously determined by mathematical linear programming so as to obtain the maximum possible value of the CEI index for each individual country. In this way, the best possible combination of the individual indicators within a country's sub-index has been delivered (there is no other combination that will enable a country to achieve a higher CEI sub-index value). In other words, we have considered the most favourable situation for each country. The authors have chosen seven indicators related to the circular economy development, grouped into 3 sub-indexes (according to https://ec.europa.eu/environment/ecoap/indicators/circular-economy-indicators_en):

- Sustainable Resource Management Index (SRMI) – this set of indicators examines the performance of the EU Member States in transforming their economies towards circularity by lowering resources demand, thereby increasing resources security and lowering pressures on the environment domestically and abroad;
- Societal Behavior Index (SBI) – this set of indicators reflects the awareness of the citizens, their engagement and participation in the circular economy; and
- Business Operations Index (BOI) – this set of indicators depicts eco-innovation activities towards changing and adapting business models according to the principles of the circular economy.

Table 3: Calculated values of sub-indexes

Country	Cross-efficiency DEA scores (average)				Cross-efficiency DEA ranks (average)			
	SRMI	SBI	BOI	CEI	SRMI	SBI	BOI	CEI
Germany	0.846	0.887	0.844	0.985	2	2	5	1
Finland	0.317	0.967	0.932	0.946	14	1	2	2
Luxembourg	0.893	0.798	0.799	0.844	1	4	7	3
Austria	0.695	0.669	0.857	0.842	4	8	3	4
Sweden	0.586	0.720	0.844	0.839	6	5	4	5
Portugal	0.368	0.438	0.954	0.732	10	16	1	6
Slovenia	0.479	0.535	0.827	0.726	8	11	6	7
Denmark	0.554	0.838	0.635	0.698	7	3	10	8
European Union	0.614	0.686	0.486	0.656	5	7	15	9
Croatia	0.280	0.292	0.787	0.608	15	19	8	10
Czech Republic	0.337	0.687	0.581	0.601	12	6	12	11
Lithuania	0.365	0.622	0.511	0.581	11	9	14	12
Greece	0.230	0.380	0.703	0.570	19	18	9	13
Italy	0.813	0.430	0.441	0.549	3	17	17	14
Estonia	0.265	0.489	0.601	0.542	16	14	11	15
Cyprus	0.253	0.291	0.456	0.406	17	20	16	16
Hungary	0.375	0.537	0.288	0.398	9	10	19	17
Latvia	0.236	0.529	0.273	0.391	18	12	20	18
Slovakia	0.200	0.527	0.307	0.377	21	13	18	19
Malta	0.224	0.137	0.525	0.366	20	23	13	20
Poland	0.334	0.474	0.206	0.334	13	15	21	21
Bulgaria	0.169	0.223	0.170	0.199	22	22	22	22
Romania	0.060	0.245	0.060	0.118	23	21	23	23



The resulting sub-indexes range between zero (the worst possible performance) and 1 (the best possible performance – benchmark) (Table 3). The optimal set of weights noted provides the best position for the given country in relation to all the other analyzed countries. Any other weighting profile would worsen the relative position of the given country. After creating a cross-efficiency matrix, the average values of the weighted individual sub-indexes were calculated. According to the rank level of CEI index, the European Union countries could be divided into three major groups which correspond to the expected general level of the circular economy development:

- Top performers in the circular economy development – the countries with better conditions and higher potential for circular economy development. These are Germany, Finland, Austria, Luxembourg, Portugal, Denmark, Slovenia...;
- Medium ranked countries – these countries have lower score, conditions and potential insufficiently favorable for circular economy development (Hungary, Latvia, Lithuania, Estonia, Slovakia, Poland...); and
- Laggards in the circular economy development – most of the new member states with significantly unfavorable conditions and potentials for circular economy development (Romania and Bulgaria).

5. CONCLUSION

This paper shows that there are differences between the European Union countries with respect to the level of the circular economy development. The main differences stem from the different level of adoption of the main circular economy principles by the households and companies. Our calculations shows that the share of adoption of these principles is greater in the developed EU countries such as Germany, Finland, Austria, Denmark... Other countries, especially less developed EU countries, continue to operate on the linear economy principles. It is obvious that circular economy influences business efficiency and competitiveness of an economy. Our analysis also shows that the CEI is a good tool for classifying goals and priorities when designing development policies in other European countries and evaluating their achievement (by comparing them to the European Union countries). Such policies require investments in new technologies, ongoing education of the population, research and development processes in businesses, scientific institutions and universities, and an improved legal and institutional framework regarding the environmental protection. The values of the calculated sub-indexes indicate the strong and weak sides of the corresponding aspects of the circular economy development and help set further priorities for political intervention. The methodology presented in this paper is only a basic one. The countries like the US, Canada, Japan, South Korea, Russia, and China should be included in the analysis in order to place European countries in a global context.

REFERENCES

- [1] Cherchye, L., Moesen W., Rogge, N. & Puyenbroeck, T. V. (2007). An introduction to 'benefit of the doubt' composite indicators. *Social Indicators Research*, 82(1), 111-145.
- [2] Cherchye, L., Moesen W., Rogge, N., Puyenbroeck, T. V., Saisana, M., Saltelli, A., Liska R. & Tarantola, S. (2008). Creating composite indicators with DEA and robustness analysis: The case of technology achievement index. *The Journal of Operational Research Society*, 59 (2), 239-251.
- [3] Core Team R (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. R Vienna: Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org>
- [4] Čarapina Stevanović, H. & Mihajlović, A. (2015). U susret konceptu cirkularne ekonomije: uloga sistema upravljanja otpadom. *Zbornik radova sa međunarodne konferencije o otpadnim vodama, komunalnom čvrstom otpadu i opasnom otpadu (2015)*, Budva, Crna Gora, 171-177.
- [5] Doyle, J., & Green, R. (1994). Efficiency and cross-efficiency in DEA: Derivations, meanings and uses. *The Journal of the Operational Research Society*, 45(5), 567-578.
- [6] Fusco, E. (2015). Enhancing non-compensatory composite indicators: A directional proposal. *European Journal of Operational Research*, 242(2), 620-630.
- [7] Gligorić, M. & Jovanović Gavrilović, B. (2017). Cirkularna ekonomija kao okosnica održivog razvoja privrede Srbije, *Ekonomski vidici*, XXII, 2-3, 119-135.
- [8] Golany, B. & Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega*, 17(3), 237-250.



- [9] Harris, J. M. (2009). *Ekonomija životne sredine i prirodnih resursa*. Beograd: Data status
- [10] Mitrović, Đ. (2015). Tranzicija od linearne ka cirkularnoj ekonomiji, A. Živković, D. Molnar, Ž. Stojanović, E. Manić (red.), *Ekonomska politika i razvoj*, Beograd, 2015, 111-131.
- [11] Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Homan, A. & Giovannini, E. (2005). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. OECD statistics working papers 2005/3, OECD, statistics directorate.
- [12] Pešić, R. (2012). *Ekonomika životne sredine i prirodnih resursa*, Beograd: Poljoprivredni fakultet i Zavod za udžbenike i nastavna sredstva
- [13] Vidoli, F., Fusco, E., & Mazziotta, C. (2015). Non-compensability in composite indicators: A robust directional frontier method. *Social Indicators Research*, 122(3), 635-652.
- [14] Zhou, P., Ang B. W., & Poh, K.L. (2007). A mathematical programming approach to constructing composite indicators. *Ecological Economics*, 62(2), 291-297.
- [15] Zhou, P., Ang B.W., & Poh, K.L. (2006). Comparing aggregating methods for constructing the composite environmental index: An objective measure. *Ecological Economics*, 59(3), 305-311.



BIBLIOTEKE I CILJEVI ODRŽIVOG RAZVOJA

LIBRARIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

NATAŠA PETROVIĆ¹, ALEKSANDRA KRUČIČAN², JELENA ANDREJA RADAKOVIĆ³

¹ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, petrovicn@fon.bg.ac.rs

² Narodni muzej u Beogradu - Biblioteka, a.krucican@narodnimuzej.rs

³ Univerzitet u Beogradu – Fakultet organizacionih nauka, jelena.radakovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: U radu se naglašava direktna veza biblioteka u sprovođenju održivog razvoja i njihova ključna uloga u ostvarenju svih 17 ciljeva održivog razvoja. Autori naglašavaju svaki od pojedinačnih ciljeva održivog razvoja i mesto, ulogu i moguće doprinose koje biblioteke i zaposleni u njima imaju prilikom njihovog ostvarenja. U analizi uloge biblioteka u ostvarenju pojedinačnih ciljeva održivog razvoja naglašava se da uloga biblioteka nije samo u obrazovanju za održivi razvoj. Ovo iz razloga što biblioteke nisu samo biblioteke već ključne institucije i akteri u: pružanju pristupa informacijama od značaja za ciljeve održivog razvoja, čuvanju svetskog i lokalnog kulturnog nasleđa, obezbeđivanju univerzalne i informatičke pismenosti, uz pristup informaciono-komunikacionim tehnologijama.

Ključne reči: Biblioteke, Održivi razvoj, Ciljevi održivog razvoja.

Abstract: This paper highlights the direct link between libraries in the implementation of sustainable development and their key role in the achievement of the 17 goals of sustainable development. The authors emphasize each of the specific objectives of sustainable development and the role and possible contributions that libraries and their employees have in their realization. In the analysis of the role of libraries in achieving the specific objectives of sustainable development, it is pointed out that the role of libraries does not lie only in education for sustainable development. This is because libraries are not only libraries but key institutions and actors in providing access to information relevant to the objectives of sustainable development, preservation of global and local cultural heritage, while ensuring universal and informatics literacy, with access to information and communication technologies. .

Keywords: Libraries, Sustainable development, Sustainable development goals.

1. UVOD

Utjecaji ljudskih delatnosti doveli su do evidentnih poremećaja prirodne ravnoteže izazivajući rastuće negativne uticaje na globalni ekosistem planete Zemlje. Ovi uticaji se ne odnose samo na iscrpljivanje prirodnih resursa, degradaciju i zagađenje životne sredine, već i na istrebljenje i dalji nastavak ugrožavanja opstanka mnogobrojnih biljnih i životinjskih vrsta, kao i na globalne promene temperature, klime i obrazaca vremena (UNESCO - Division of Science, Technical and Environmental Education, 1986). Imajući ovo u vidu, na konferenciji Ujedinjenih nacija u Stokholmu o čovekovoј životnoj sredini (*United Nations Stockholm Conference on the "Human Environment"*) 1972. godine preporučeno je u Deklaraciji Ujedinjenih nacija o čovekovoј životnoj sredini (*Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment*) da sve nacije moraju da uključe u svoje aktivnosti ne samo zaštitu životne sredine, već i neophodnu promociju adekvatnog obrazovanja koje je usklađeno sa principima održivosti, a ima za cilj proširenje znanja za odgovorno ponašanje pojedinaca, organizacija i zajednica prema Planeti (Maletić, Borojević, Petrović, Maletić, & Senegačnik, 2017).

Značaj obrazovanja za održivi razvoj implicira i značaj biblioteka u implementaciji, sprovođenju i postizanju ciljeva održivog razvoja imajući u vidu da: „Kao ulazi ka znanju i kulturi, biblioteke imaju ključnu ulogu u društvu. Resursi i usluge koje one nude stvaraju mogućnosti za učenje, obezbeđivanje neophodne literature i edukacije, te pružanja pomoći u procesu kreiranja novih ideja i perspektiva koje imaju centralnu ulogu u kreativnom i inovativnom društvu. One takođe pomažu u obezbeđivanju autentičnih zabeleški znanja stvorenih i akumuliranih od strane prošlih generacija. U svetu bez biblioteka, bilo bi teško unapređivanje ljudskih istraživanja i znanja, kao i očuvanje svetskog kumulativnog znanja i baštine za buduće generacije.” (White, 2012) Ovakvo definisanje biblioteka se može direktno dovesti u vezu sa definicijom održivog razvoja



koja je u najčešćoj upotrebi, a koju je dao Lester Brown – osnivač *Worldwatch* instituta (The Worldwatch Institute) (Borojević *et al.*, 2017). Ova definicija je citirana u izveštaju „Naša zajednička budućnost” (“*Our Common Future*”) i glasi: „Održivi razvoj je razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjih generacija bez narušavanja sposobnosti budućih generacija da takođe zadovolje svoje potrebe” (WCED, 1987).

Dalje, uloga biblioteka se ne ogleda samo u obrazovanju za održivi razvoj (Cilj 4 - Obezbeđivanje inkluzivnog i kvalitetnog obrazovanja i promocija celoživotnog učenja) s obzirom na to da biblioteke i bibliotekari koji su i preduzetnici, lideri, moderatori i zastupnici održivosti (Jankowska, Smith, & Buehler, 2014) omogućavaju širok dijapazon proizvoda i usluga koji promovišu ostvarenje svakog od 17 ciljeva održivog razvoja (IFLA, 2018a). Preciznije, biblioteke predstavljaju ključne institucije za dostizanje svih ciljeva održivog razvoja imajući u vidu da pružaju: neophodan pristup informacijama, čuvaju kulturno nasleđe, obezbeđuju univerzalnu pismenost i pristup informacijama i informaciono-komunikacionim tehnologijama (IFLA, 2018b).

2. ODRŽIVI RAZVOJ

Pojam održivog razvoja prvi put je pomenut 1982. godine na Konferenciji u Najrobiju. Generalna skupština Ujedinjenih nacija je 1983. godine donela Rezoluciju o preduzimanju inicijative za formiranje Svetske komisije za životnu sredinu i razvoj (*World Commission on Environment and Development*). Ova Komisija je 1987. godine izdala izveštaj „Naša zajednička budućnost” koji je ukazivao na posledice nekontrolisanog demografskog i ekonomskog rasta, te stoga i na potrebe definisanja koncepta održivog razvoja (WCED, 1987). Pojam održivi razvoj ustanovljen je 1989. godine, a proklamovan Bergenskom deklaracijom 1990. godine na Ministarskoj konferenciji koja je održana u Bergenu u organizaciji vlade Norveške i u saradnji sa Ekonomskom komisijom Ujedinjenih nacija za Evropu. Koncept održivog razvoja usvojila je Evropska unija 1990. godine, a Ujedinjene nacije 1992. godine. Usvajanju ovog koncepta na globalnom nivou doprinelo je saznanje da je došlo do velikih promena i zagađenja životne sredine koji prete opstanku naše civilizacije.

Neka od objašnjenja pojma održivog razvoja su (Barrow, 2006):

- Održivi razvoj zadovoljava potrebe sadašnjosti i ne dovodi u pitanje sposobnost budućih generacija da zadovolje svoje potrebe.
- Ako se razvoj definiše kao povećanje blagostanja (životnog standarda) onda je održivi razvoj nesmanjivanje tog blagostanja tokom vremena.
- Održivi razvoj je razvoj koji omogućava dostizanje krajnjeg zadovoljenja ljudskih potreba i poboljšanje kvaliteta ljudskog života.
- Održivost se odnosi na etičke norme vezane za preživljavanje svih oblika žive materije, kao i prava budućih generacija i institucija koje su odgovorne za obezbeđivanje tih prava.

„Suština koncepcije održivog razvoja zasniva se na principu intergeneracijske pravde (= intergeneracijske jednakosti). Ovaj princip se odnosi na nasleđivanje istog stanja životne sredine sa jedne na drugu generaciju. Nepoštovanjem ovog principa, šteta koju životnoj sredini učini jedna generacija prenosi se na buduće generacije. Dakle, iako održivi razvoj zavisi od biosfere i njenih ekosistema, na njega najviše utiču ljudi i njihove aktivnosti.“ (Petrović, 2016)

Svetski samit o održivom razvoju (*The World Summit on Sustainable Development*) se održao u Johaneshurgu 2002. godine (Earth Summit, 2018). Na ovom Samitu, sve države učesnice su se složile o neophodnosti uvođenja nacionalnih strategija održivog razvoja u što kraćem periodu. Takođe je naglašeno da održivi razvoj osim zaštite životne sredine kao svoje ciljeve mora da ima i one koji se odnose na ekonomsku i socijalnu dimenziju. Tako održivi razvoj ima minimum tri dimenzije (Farsari & Prastacos, 2002; Manent, Santana, & Linares, 2014; Mititelu-Ionuș, 2017):

1. Ekološku (odnosi se na degradaciju prirodnih resursa neophodnih za ljudsku upotrebu).
2. Socijalnu (predstavlja nejednaku distribuciju blagostanja i siromaštvo).
3. Ekonomsku (podrazumeva da bilo koji razvoj koji želi da dostigne održivost mora da upravlja različitim tokovima kapitala).

3. CILJEVI ODRŽIVOG RAZVOJA

Zemlje članice Ujedinjenih nacija su 25. septembra 2015. godine, usvojile set ciljeva radi zaustavljanja gladi, zaštite Planete i obezbeđivanja globalnog prosperiteta kao deo nove Agende održivog razvoja. Usvojeni ciljevi



sa njihovim specifičnim podciljevima bi trebalo da budu dostignuti u narednih 15 godina, tačnije do 2030. godine (UN, 2015).

Nova Agenda (*Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*) predstavlja plan akcija radi ostvarenja opšteg globalnog prosperiteta i ljudi i planete Zemlje. Na prvom mestu kao zadatak ima jačanje univerzalnog mira i ostvarivanje većih sloboda svih ljudi. Ovo uključuje iskorenjivanje siromaštva u svim njegovim formama i dimenzijama, uključujući i ekstremno siromaštvo kao najveći globalni izazov i neophodni zahtev za ostvarivanje održivog razvoja. Takođe, radi njenog ostvarenja, u njenoj implementaciji je potrebno da učestvuju sve zemlje i stejkholderi. Nova agenda ima 17 ciljeva i 169 podciljeva koji su jedinstveni po tome što pozivaju sve zemlje, bilo one siromašne ili bogate na aktivnosti promocije globalnog prosperiteta uz neophodnu zaštitu Planete. Novih 17 ciljeva obuhvataju i strategije za izgradnju ekonomskog rasta i zadovoljavanje niza društvenih potreba kao što su: edukacija, zdravlje, zdravstvena i socijalna zaštita, mogućnosti za zapošljavanje... uz obavezan akcenat na borbu protiv klimatskih promena i zaštitu životne sredine (Petrović, 2016).

17 ciljeva održivog razvoja dati su u Tabeli 1.

Tabela 1: Ciljevi održivog razvoja (UN, 2015)

R.br.	Cilj
1.	Okončanje siromaštva u svim njegovim oblicima svuda u svetu
2.	Okončanje gladi, obezbeđivanje sigurnosti hrane, poboljšanje ishrane i promocija održive poljoprivrede
3.	Obezbeđivanje zdravog života i promocija blagostanja za sve u svim starosnim dobima
4.	Obezbeđivanje inkluzivnog i kvalitetnog obrazovanja i promocija celoživotnog učenja
5.	Dostizanje jednakosti polova i jačanje svih žena i devojaka
6.	Obezbeđivanje pristupa vodi i sanitarnim uslovima za sve
7.	Osiguranje pristupa dostupnoj, pouzdanoj, održivoj i modernoj energiji za sve
8.	Promocija inkluzivnog i održivog ekonomskog rasta, zapošljavanja i pristojnog rada za sve
9.	Izgradnja prilagodljive infrastrukture, promocija održive industrijalizacije i podsticanje inovacija
10.	Smanjenje nejednakosti unutar i između zemalja
11.	Obezbeđivanje inkluzivnosti, bezbednosti, prilagodljivosti i održivosti gradova
12.	Obezbeđivanje obrazaca održive potrošnje i proizvodnje
13.	Preduzimanje hitnih akcija u borbi protiv klimatskih promena i njenih uticaja
14.	Očuvanje i održiva upotreba okeana, mora i morskih izvora
15.	Održivo upravljanje šumama, borba protiv dezertifikacije, zaustavljanje i menjanje pravca degradacije zemljišta, zaustavljanje gubitka biodiverziteta
16.	Promocija pravde, mira i inkluzivnih društava
17.	Revitalizacija globalnog partnerstva za održivi razvoj

4. ULOGA BIBLIOTEKA U OSTVARENJU CILJEVA ODRŽIVOG RAZVOJA

Javni pristup informacijama koji pružaju biblioteke omogućava ostvarenje jednog od osnovnih ljudskih prava koje prekida ciklus siromaštva i potpomaže održivom razvoju (IFLA, 2017). Ovo se omogućava time što biblioteke obezbeđuju informacije neophodne ljudima za donošenje boljih odluka i poboljšanje kvaliteta njihovih života pružajući pomoć prilikom njihovog obrazovanja, razvijanja novih veština, zapošljavanja... Ova jedinstvena uloga biblioteka čini da one predstavljaju važne partnere svakog, pa i održivog razvoja



obezbeđujući neophodne podatke, usluge i programe u promenljivom i kompleksnom društvu doprinoseći realizaciji ciljeva održivog razvoja putem (IFLA, 2018d):

- Promocije univerzalne pismenosti koja uključuje medije i informatičku literaturu.
- Omogućavanja pristupa informacijama i pomoći vladi, civilnim društvima i poslovnim subjektima da bolje razumeju potrebe za lokalnim informacijama.
- Obezbeđivanja mreže sajtova nepadljivih za programe i servise vlade.
- Unapređivanja digitalne inkluzije putem pristupa informaciono-komunikacionim tehnologijama i posvećenosti zaposlenih u bibliotekama u pomoći ljudima da razviju nove digitalne veštine.
- Predstavljanja srži i srca istraživačke i akademske zajednice.
- Čuvanja i obezbeđivanja pristupa svetskoj kulturi i nasleđu.

Direktni doprinosi biblioteka u ostvarivanju svakog od 17 ciljeva održivog razvoja su (IFLA, 2018c):

- Cilj 1:
 - Javni pristup informacijama i izvorima koji pružaju mogućnosti da ljudi unaprede kvalitet svojih života.
 - Treninzi iz novih veština potrebnih za obrazovanje i zapošljavanje.
 - Informacije koje pomažu u procesu donošenja odluka vlada.
- Cilj 2:
 - Istraživanja i podaci iz oblasti poljoprivrede koji omogućavaju da usevi budu produktivniji i održivi.
 - Javni pristup online izvorima za poljoprivrednike kao što su npr. cene na lokalnim tržištima, izveštaji o vremenu i novoj opremi.
- Cilj 3:
 - Dostupna istraživanja u medicinskim i bolničkim bibliotekama koja pomažu edukaciji i poboljšavaju medicinsku praksu zdravstvenih radnika.
 - Javni pristup informacijama o zdravlju u javnim bibliotekama što omogućava pojedincima i porodicama poboljšanje kvaliteta njihovog zdravlja.
- Cilj 4:
 - Posvećenost zaposlenih u bibliotekama koji pomažu u davanju literature za rano učenje, kao i celoživotno učenje.
 - Lako dostupan pristup informacijama i istraživanjima namenjen studentima.
 - Inkluzivna mesta čija cena ne predstavlja prepreku u sticanju novih znanja.
- Cilj 5:
 - Sigurna i gostoprimljiva mesta.
 - Programi i servisi dizajnirani da zadovolje potrebe žena i devojčica, kao što su npr. njihova prava i zdravlje.
 - Pristup informacijama i informaciono-komunikacionim tehnologijama koje pomažu ženama u razvoju njihovih poslovnih veština.
- Cilj 6 i 7:
 - Pristup kvalitetnim informacijama i dobrim praksama koje potpomažu lokalno upravljanje vodama i sanitarnim projektima.
 - Slobodan i pouzdan pristup električnoj energiji i osvetljenju radi čitanja, učenja i rada.
- Cilj 8:
 - Pristup informacijama i treninzima za razvoj veština potrebnih ljudima za pronalaženje, apliciranje i uspevanje u boljim poslovima.
- Cilj 9:
 - Širenje postojeće infrastrukture javnih i istraživačkih biblioteka i obučeni bibliotekara.
 - Gostoprimljiva i inkluzivna javna mesta.
 - Pristup informaciono-komunikacionim tehnologijama sa brzim internetom koji nije moguće naći na drugim mestima.
- Cilj 10:
 - Neutralna i gostoprimljiva mesta koja omogućavaju da učenje bude pristupačno za sve, uključujući marginalizovane i osetljive grupe kao što su migranti, izbeglice, pripadnici nacionalnih manjina, osobe sa posebnim potrebama.
 - Pravedan pristup informacijama koji pomaže socijalnu, političku i ekonomsku inkluziju.



- Cilj 11:
 - Institucije kojima se veruje, posvećene promociji kulturne inkluzije i razumevanja.
 - Dokumentovanje i očuvanje kulturnog nasleđa za buduće generacije.
- Cilj 12, 13, 14 i 15:
 - Održivi sistem deljenja i cirkulisanja materijala koji smanjuje otpad.
 - Istorijski zapisi o promenama obala i upotrebe zemljišta.
 - Istraživanja i podaci potrebni za politike koje se odnose na promene klime.
 - Širok pristup informacijama potrebnim za donošenje odluka lokalnih i nacionalnih uprava o pitanjima kao što su lov, ribolov, upotreba zemljišta i upravljanje vodama.
- Cilj 16:
 - Javni pristup informacijama o vladi, civilnim društvima i drugim institucijama.
 - Treninzi iz veština potrebnih za razumevanje i upotrebu informacija.
- Cilj 17:
 - Globalna mreža institucija zajednica, usmerena na podržavanje lokalnih sredina.

5. ZAKLJUČAK

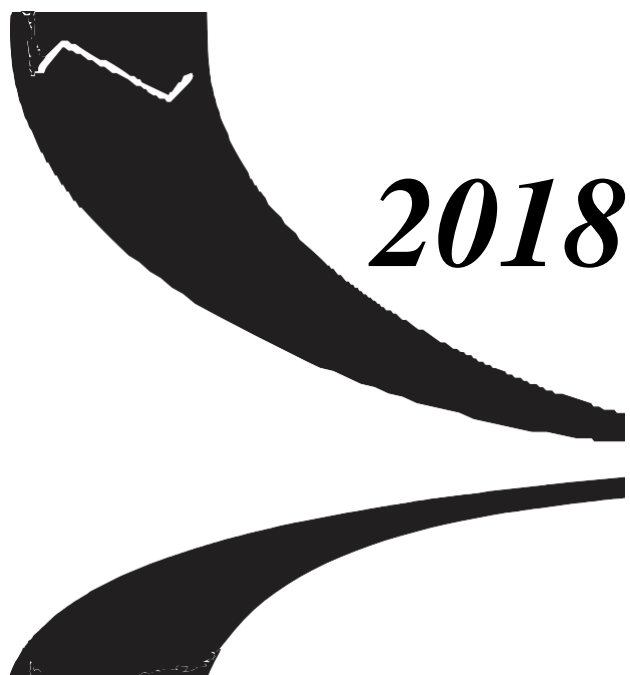
Biblioteke su odavno postale visoko adaptivne institucije koje ne predstavljaju samo odraz promena, već ih i kreiraju (Brindley, 2002). „Biblioteke nisu više samo biblioteke, već hibrid različitih specijalizacija i usluga koje zajedno stvaraju novo javno mesto” (Mickiewicz, 2016). Ovakva tranzicija je direktna posledica adaptivnosti i prilagodljivosti biblioteka, sa njihovom nesumnjivom i značajnom ulogom kao ekonomskih, kulturnih i socijalnih institucija (Leorke, Wyatt, & McQuire, 2018). Dalje, biblioteke su i više nego institucije i sume usluga, one su i centri lokalnih zajednica, kao i stožeri informacija i čuvari kulturnog nasleđa za buduće generacije. Imajući ovo u vidu logično je da biblioteke sa svojim resursima imaju ključnu ulogu u sprovođenju strategija održivog razvoja, dok njihova direktna uloga u ostvarenju 17 ciljeva održivog razvoja proističe iz informacija, umrežavanja i partnerstava (Scholing, & Britten, 2017). Iz ovih razloga se može zaključiti da su biblioteke postale mnogo više od institucija u tradicionalnom smislu jer je njihov uticaj izvan četiri zida. Ovo podrazumeva i potrebu za poboljšanjem institucionalnih i programskih podrški bibliotekama, kao i onih putem javnih politika, čime se eksterno naglašava njihova uloga u održivom razvoju.

LITERATURA

- [1] Barrow, J.C. (2006). Environmental management for sustainable development. (2nd edition.) New York: Routledge.
- [2] Borojević, T., Maletič, M., Petrović, N., Radaković, J.A., Senegačnik, M., & Maletič, D. (2017). Youth Attitudes Towards Goals of a New Sustainable Development Agenda Postawy młodzieży wobec celów Nowej Agendy na rzecz zrównoważonego rozwoju. PROBLEMY EKOROZWOJU, 12(2), 161-172.
- [3] Brindley, L. (2002). The future of libraries and humanities research: New strategic directions for the British Library. Libraries and Culture, 37(1), 26–36.
- [4] Earth Summit. (2002). Preuzeto sa <http://www.earthsummit2002.org/Es2002.pdf>.
- [5] Farsari, Y., & Prastacos, P. (2002). Sustainable development indicators: an overview. (Foundation for Mediterranean Cooperation, Athens, Greece). Personal communication in the International Conference Citizens. Sustainable Development, Environment.
- [6] International Federation of Library Associations and Institutions – IFLA. (2017). How do libraries further development? Pristupljeno sa <https://www.ifla.org/node/7408>.
- [7] International Federation of Library Associations and Institutions – IFLA. (2018a). Libraries and the Sustainable Development Goals: A Storytelling Manual. Preuzeto sa <https://www.ifla.org/publications/libraries-and-the-sustainable-development-goals-a-storytelling-manual>.
- [8] International Federation of Library Associations and Institutions – IFLA. (2018b). Libraries, Development and the United Nations 2030 Agenda. Preuzeto sa <https://www.ifla.org/libraries-development>.



- [9] International Federation of Library Associations and Institutions – IFLA. (2018c). Libraries can drive progress across the entire UN 2030 Agenda. Preuzeto sa <https://www.ifla.org/files/assets/hq/topics/libraries-development/documents/ifla-poster-sdgs.pdf>.
- [10] International Federation of Library Associations and Institutions – IFLA. (2018d). How libraries can connect the next four billion. Preuzeto sa <https://www.ifla.org/files/assets/hq/topics/libraries-development/documents/ifla2pagernext4billion.pdf>.
- [11] Jankowska, M.A., Smith, B.J., & Buehler, M.A. (2014). Engagement of academic libraries and information science schools in creating curriculum for sustainability: an exploratory study. *The Journal of Academic Librarianship*, 40(1), 45-54.
- [12] Leorke, D., Wyatt, D., & McQuire, S. (2018). More than just a “library”: Public libraries in the ‘smart city. *City, Culture and Society*.
- [13] Maletič, D., Borojević, T., Petrović, N., Maletič, M., & Senegačnik, M. (2017). Kvalitet visokoškolskog ekološkog obrazovanja za održivost. Zbornik radova XLIV Internacionalnog simpozijuma o operacionim istraživanjima (SYM-OP-IS 2017), Zlatibor, Srbija, 460-465.
- [14] Manent, M.B., Santana, J.R.H., & Linares, A.P.M. (2014). The state of the environment in Mexico. *Central European Journal of Geosciences*, 6(2), 219-228.
- [15] Mickiewicz, P. (2016). Access and its limits: The contemporary library as a public space. *Space and Culture*, 9(3), 237–250.
- [16] Mititelu-Ionuș, O. (2017). Watershed Sustainability Index Development and Application: Case Study of the Motru River in Romania. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(5), 2095-2105.
- [17] Petrović, N. (2016). Ekološki menadžment. (treće izmenjeno i dopunjeno izdanje). Beograd: Fakultet organizacionih nauka.
- [18] Scholing, P., & Britten, A. (2017). Tablet Cafés, Code Hours, Preservation, and Sustainability in Libraries-The Aruba National Library and the UN Agenda 2030: A Small Island Case Study from the Caribbean.
- [19] UNESCO - Division of Science, Technical and Environmental Education. (1986). The Balance of Lifekind: An Introduction to the Notion of Human Environment. Preuzeto sa http://www.unesco.org/education/pdf/333_3.pdf.
- [20] United Nations - UN. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Preuzeto sa http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E.
- [21] White, B. (2012). Guaranteeing access to knowledge: the role of libraries. *WIPO Magazine*. August.
- [22] World Commission on Environment and Development – WCED. (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press.



2018

***PRIMENE OPERACIONIH
ISTRAŽIVANJA U
FINANSIJAMA I
BANKARSTVU***



IZAZOVI PRONALAZENJA EFIKASNE GRANICE I OPTIMALNOG RIZIČNOG PORTFOLIJA NA FINANSIJSKIM TRŽIŠTIMA U NASTAJANJU – PRIMER SRBIJE

CHALLENGES OF FINDING EFFICIENT FRONTIER AND OPTIMAL RISKY PORTFOLIO IN EMERGING MARKETS – EXAMPLE OF SERBIA

IRENA JANKOVIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, irenaj@ekof.bg.ac.rs

Rezime: Predmet analize u ovome radu jeste pitanje pronalazjenja efikasne granice na manje razvijenim i nelikvidnim tržištima kapitala i izazovi sa kojima se investitori susreću kada pokušaju da definišu optimalni portfolio rizičnih hartija od vrednosti na takvom tržištu. Empirijsko testiranje izvršeno je na podacima za jedanaest najlikvidnijih akcija sa Beogradske berze koje su sastavni deo korpe indeksa Belex 15. Rezultati analize pokazuju da je optimalni portfolio moguće naći, ali da je nivo njegove efikasnosti suštinski ograničen nivoom razvijenosti lokalnog tržišta kapitala.

Gljučne reči: efikasna granica, optimalni rizični portfolio, tržište kapitala u Srbiji.

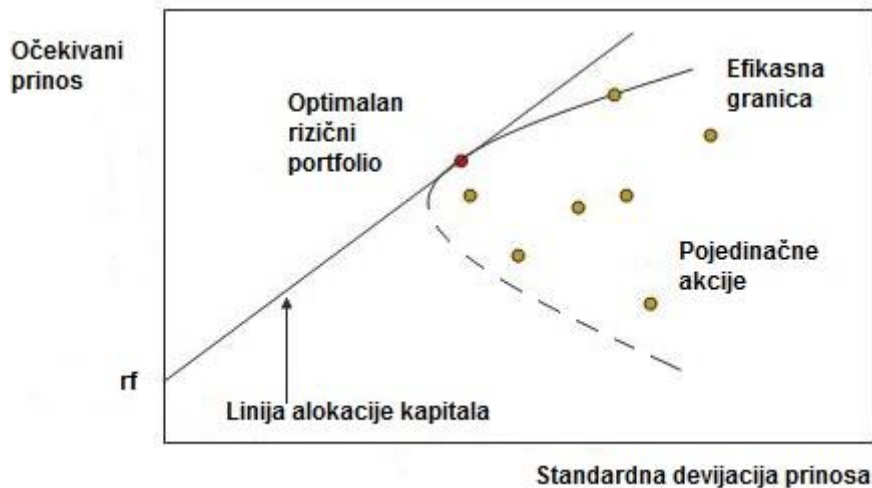
Abstract: The subject of the analysis in this paper is the question of finding an efficient frontier in less developed and illiquid capital markets and challenges investors are facing when they try to define an optimal portfolio of risk securities in such a market. Empirical testing was carried out on data for eleven most liquid stocks from the Belgrade Stock Exchange, which are the integral part of the index Belex 15. The results of the analysis show that optimal risky portfolio can be found, but that its level of efficiency is essentially limited by the level of development of local capital market.

Keywords: efficient frontier, optimal risky portfolio, capital market in Serbia.

1. UVOD

Finansijski model razvijen od strane nobelovca Harry M. Markowitz-a 1952. godine, koji se smatra jednim od temelja moderne portfolio teorije, definiše vezu između prinosa i rizika hartija od vrednosti i portfolio hartija (Markowitz, 1952). U postavkama modela pretpostavlja se da investitori imaju averziju prema riziku i u skladu sa tim preferiraju viši prinos za konkretan nivo rizika, odnosno niži rizik za konkretan nivo prinosa. Markowitz nudi analitičku tehniku za određivanje efikasne granice rizičnih instrumenata. Cilj jeste da se od mnoštva rizičnih hartija od vrednosti na raspolaganju za ulaganje formiraju portfolio koja imaju najpovoljniji odnos prinosa i rizika (Markowitz, 1959). U dvodimenzionalnom prostoru rizik-očekivani prinos to bi bila portfolio koja su najviše "severozapadno". Polazi se od pojedinačnih hartija i njihovog rizika i prinosa, kao i pravca i jačine veze između prinosa svakog para hartija od vrednosti, odnosno njihove korelacije (Rubinstein, 2002). Efikasnu granicu sačinjavaju portfolio hartija koja maksimiziraju očekivani prinos za dati nivo rizika portfolio, odnosno, alternativno posmatrano, minimiziraju rizik za dati nivo očekivanog prinosa portfolio. Portfolio koja se nalaze u okviru ukupnog skupa mogućih investicija¹³, ali su ispod efikasne granice, su neefikasna. Nad njima dominiraju portfolio koja su na istom nivou rizika, ali sa višim nivoom prinosa, koja su na efikasnoj granici (Markowitz, 1991).

¹³ Skup investicionih alternativa – skup svih mogućih kombinacija rizika i prinosa koje su rezultat različitih kombinacija dostupnih finansijskih instrumenata za ulaganje.



Grafikon 1. Efikasna granica, linija alokacije kapitala i optimalni rizični portfolio

Linija alokacije kapitala (engl. *Capital allocation line*) prikazuje moguće kombinacije rizične i nerizične aktive u novim, tzv. kompletnim portfolijima. Iz tačke koja označava nerizičnu aktivu moguće je povući mnogo linija alokacije kapitala na ukupan skup investicionih alternativa. Linija koja ima najveći nagib i istovremeno je tangenta na efikasnu granicu određuje poziciju optimalnog rizičnog portfolija.

Nagib linije alokacije kapitala naziva se i nagradom u prihodu prema varijabilnosti (engl. *Reward-to-variability ratio*) zato što stavlja u odnos riziko premiju i standardnu devijaciju prinosa portfolija. Na liniji alokacije kapitala nalaze se kompletna portolija nastala kombinacijom nerizične aktive i optimalnog rizičnog portfolija. Na osnovu stepena averzije prema riziku svaki investitor bira konkretan kompletan portfolio i pozicionira se na liniji alokacije kapitala. Viši stepen averzije prema riziku usmerava ga bliže nerizičnoj aktivi, dok niži stepen averzije pozicionira investitora na liniji bliže tački optimalnog rizičnog portfolija. U slučaju korišćenja mogućnosti za zaduživanje, investitoru postaju dostupne i pozicije na liniji alokacije kapitala iznad tačke optimalnog rizičnog portfolija.

2. METODOLOGIJA

Portfolio P sastoji se od n hartija od vrednosti. Svaka hartija ima relativno učešće u portfoliju $\omega_1, \dots, \omega_n$. Suma svih učešća hartija u portfoliju je jednaka 1. Pri tome, učešće hartije može biti i negativan broj u slučaju kada je dozvoljena *prodaja na kratko*.¹⁴ Ako je očekivani prinos hartije i označen sa μ_i , onda je očekivani prinos portfolija P ponderisana suma očekivanih prinosa pojedinačnih hartija od vrednosti i i prikazan je sledećom jednačinom:

$$\mu_p = \sum_{i=1}^n \omega_i \mu_i \quad (1)$$

Mera ukupnog rizika hartije i prikazana je varijansom njenog prinosa, σ_i^2 . Varijansa, tj. rizik portfolija P zavisi od rizika pojedinačnih hartija koje čine taj portfolio, ali i od međusobne veze u kretanju prinosa svake dve hartije od vrednosti, tj. od korelisanosti njihovih prinosa:

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \omega_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j<i} \omega_i \omega_j Cov(i, j) \quad (2)$$

gde je $Cov(i, j)$ kovarijansa prinosa hartije i i j . Pretpostavljamo da je prinos hartije i slučajna promenljiva koja prati normalnu raspodelu.

¹⁴ Prodaja na kratko (engl. *Short sale*) - transakcija u kojoj investitor pozajmljuje od brokera i prodaje akciju za koju očekuje pad cene, kako bi je kasnije kupio po nižoj ceni, vratio brokeru i zaradio na razlici u ceni.



Model posmatra bilo koji portfolio kao tačku u ravni očekivani prinos-rizik (Grafikon 1). Markowitz je tvrdio da skup svih graničnih potfolija formira hiperbolu u posmatranoj ravni.

Osnovni model je moguće prikazati na sledeći način (Huang & Litzenberger, 1988):¹⁵

$$\text{Minimizirati rizik portfolija: } \frac{1}{2} \boldsymbol{\omega}^T \mathbf{V} \boldsymbol{\omega} = \frac{1}{2} \text{Var}(P) \quad (3)$$

$$\text{Uz ograničenja: } \boldsymbol{\omega}^T \boldsymbol{\mu} = \mu_p = E(P)$$

$$\boldsymbol{\omega}^T \mathbf{1} = 1$$

gde je:

$\boldsymbol{\omega} = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]^T$, kolona vektor portfolija učešća za svaku hartiju

$\boldsymbol{\mu} = [\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n]^T$, vektor očekivanih prinosa

\mathbf{V} je matrica varijansi-kovarijansi

$\mathbf{1} = [1, 1, \dots, 1]^T$

a μ_p je željeni nivo očekivanog prinosa portfolija.

Rešavanjem ovoga problema, dobijaju se učešća hartija koja formiraju jedan granični portfolio. Variranjem zadatog prinosa portfolija, dobijamo različita granična portfolija. Gornji deo ukupne granice investicionih mogućnosti jeste efikasna granica koji sačinjavaju efikasna portfolija (vidi Grafikon 1).

Konačno, optimalni rizični portfolio se pronalazi povlačenjem tangente iz pozicije nerizične stope na efikasni set, tj. maksimiziranjem nagiba linije alokacije kapitala:

$$S = \frac{\mu_p - r_f}{\sigma_p} \quad (4)$$

Optimalni rizični portfolio se, na dalje, kombinuje sa nerizičnom aktivom u novim kompletnim portfolijima koji odgovaraju nivou averzije prema riziku svakog konkretnog investitora.

3. EMPIRIJSKA ANALIZA

Za potrebe testiranja modela na manje razvijenom tržištu kapitala, posmatrani su podaci sa Beogradske berze za sledeće akcije – Aero, Niis, Kmbn, Fito, Mtlc, Tgas, Alfa, Enhl, Jesv, Sjpt, Impl.¹⁶ Posmatrani period jeste 07.02.2011-29.12.2017. godine i obuhvata 1742 podatka o ceni na zatvaranju berze za svaku navedenu akciju. Na osnovu podataka o cenama akcija izračunati su prinosi za svaku akciju, a potom i prosečan prinos, varijansa i standardna devijacija prinosa. Podaci o nerizičnoj stopi dobijeni su od Narodne banke Srbije. Reč je o prinosima na tromesečne državne zapise denominovane u dinarima.

Naredne dve tabele (1. i 2.) prikazuju matricu varijansi-kovarijansi prinosa i korelacionu matricu prinosa akcija u uzorku. Korelaciona matrica ukazuje na nisku i, u pojedinačnim slučajevima, negativnu korelisanost prinosa akcija.

¹⁵ U model je moguće dodati dodatno ograničenje u slučaju zabrane prodaje na kratko kada učešće svake hartije u potfoliju ne sme biti negativno, odnosno $\omega_i \geq 0$.

¹⁶ Posmatrane akcije ulaze u indeksnu korpu indeksa Belex 15 na dan 15.06.2018. godine.

**Tabela 1.** Matrica varijansi-kovarijansi prinosa akcija sa Beogradske berze

	Aero	Niis	Kmbn	Fito	Mtlc	Tgas	Alfa	Enhl	Jesv	Sjpt	Impl
Aero	0,00024	0,00005	0,00002	0,00001	0,00001	0,00003	0,00001	0,00004	0,00001	0,00002	0,00000
Niis	0,00005	0,00018	0,00002	0,00001	0,00001	0,00000	0,00000	0,00003	0,00001	0,00003	0,00001
Kmbn	0,00002	0,00002	0,00042	0,00002	0,00003	0,00002	0,00001	0,00002	0,00001	0,00003	0,00001
Fito	0,00001	0,00001	0,00002	0,00056	0,00001	0,00001	0,00002	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002
Mtlc	0,00001	0,00001	0,00003	0,00001	0,00048	0,00003	0,00000	0,00001	0,00001	0,00001	0,00000
Tgas	0,00003	0,00000	0,00002	0,00001	0,00003	0,00059	0,00001	0,00000	0,00002	0,00000	0,00004
Alfa	0,00001	0,00000	0,00001	0,00002	0,00000	0,00001	0,00033	0,00001	0,00000	0,00001	0,00001
Enhl	0,00004	0,00003	0,00002	0,00001	0,00001	0,00000	0,00001	0,00042	0,00000	0,00004	0,00000
Jesv	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002	0,00000	0,00000	0,00031	0,00000	0,00002
Sjpt	0,00002	0,00003	0,00003	0,00002	0,00001	0,00000	0,00001	0,00004	0,00000	0,00062	0,00002
Impl	0,00000	0,00001	0,00001	-0,00002	0,00000	0,00004	0,00001	0,00000	0,00002	0,00002	0,00098

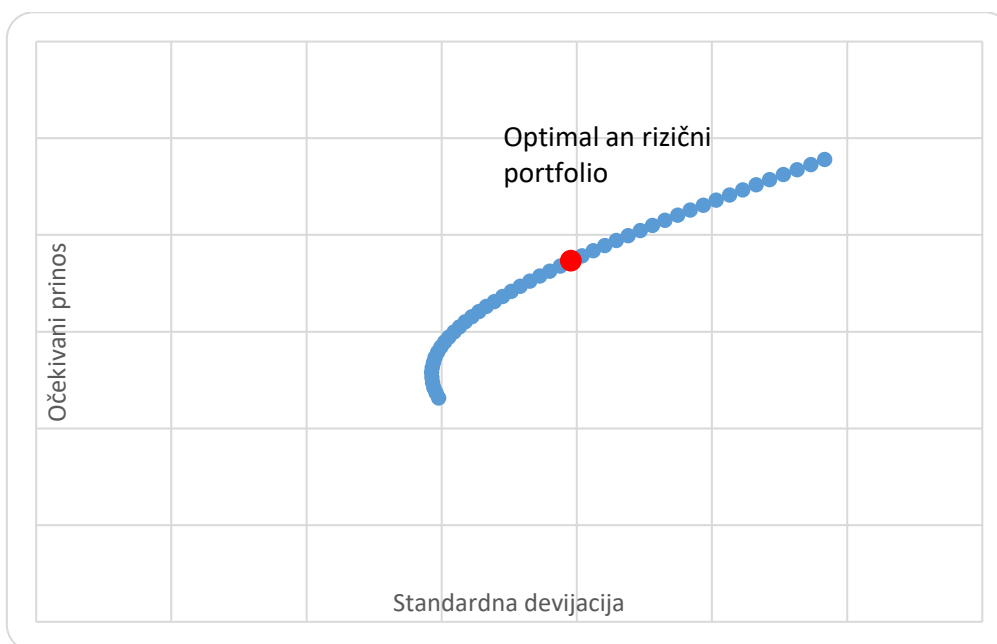
Izvor: Kalkulacija autora na bazi podataka sa Beogradske berze

Tabela 2. Korelaciona matrica prinosa akcija sa Beogradske berze

	Aero	Niis	Kmbn	Fito	Mtlc	Tgas	Alfa	Enhl	Jesv	Sjpt	Impl
Aero	100,0%	25,4%	5,3%	2,9%	4,0%	7,4%	4,7%	13,0%	3,6%	6,2%	0,0%
Niis	25,4%	100,0%	6,1%	3,7%	4,1%	0,7%	1,6%	12,5%	2,3%	8,4%	2,7%
Kmbn	5,3%	6,1%	100,0%	3,3%	6,1%	4,7%	3,5%	3,6%	-2,0%	6,4%	1,4%
Fito	2,9%	3,7%	3,3%	100,0%	2,6%	1,9%	5,8%	1,3%	2,4%	2,9%	-2,5%
Mtlc	4,0%	4,1%	6,1%	2,6%	100,0%	6,2%	0,8%	2,8%	2,5%	2,6%	-0,5%
Tgas	7,4%	0,7%	4,7%	1,9%	6,2%	100,0%	3,0%	0,8%	3,9%	-0,7%	4,8%
Alfa	4,7%	1,6%	3,5%	5,8%	0,8%	3,0%	100,0%	3,1%	0,0%	1,4%	2,0%
Enhl	13,0%	12,5%	3,6%	1,3%	2,8%	0,8%	3,1%	100,0%	-0,2%	8,0%	-0,6%
Jesv	3,6%	2,3%	-2,0%	2,4%	2,5%	3,9%	0,0%	-0,2%	100,0%	-0,2%	4,0%
Sjpt	6,2%	8,4%	6,4%	2,9%	2,6%	-0,7%	1,4%	8,0%	-0,2%	100,0%	1,9%
Impl	0,0%	2,7%	1,4%	-2,5%	-0,5%	4,8%	2,0%	-0,6%	4,0%	1,9%	100,0%

Izvor: Kalkulacija autora na bazi podataka sa Beogradske berze

Na bazi izvršene optimizacije prema definisanom modelu u (3), uz dodato dodatno ograničenje da nema prodaje na kratko, dobijena su prvo dva, a njihovom konveksnom kombinacijom i ostala efikasna portfolija, tj. efikasna granica.



Grafikon 2. Efikasna granica i optimalni rizični portfolio na tržištu kapitala u Srbiji (Izvor: Kalkulacija i prikaz autora)

Konačno, maksimiziranjem nagiba linije alokacije kapitala, dobijen je optimalan rizični portfolio za uzorak hartija od vrednosti na tržištu kapitala u Srbiji.

Tabela 3. Učešća akcija u optimalnom rizičnom portfoliju na tržištu kapitala u Srbiji

Aero	Niis	Kmbn	Fito	Mtlc	Tgas	Alfa	Enhl	Jesv	Sjpt	Impl
0,258992	0	0	0	0	0,005908	0,563185	0	0	0	0,171915

Izvor: Kalkulacija autora

Izvršena analiza upućuje na zaključak da je optimalni rizični portfolio moguće identifikovati i na manje razvijenim finansijskim tržištima. Međutim, dobijene rezultate je potrebno posmatrati sa oprezom. Analizirani podaci za tržište kapitala u Srbiji daju kao rezultat portfolio koji se sastoji od samo četiri akcije, tj. suštinski izrazito nisko diversifikovan portfolio. Reč je o tržištu kapitala koje je u razvoju, još uvek nedovoljno likvidno, plitko i, u vlasničkom smislu, visoko koncentrisano. Poboljšanja regulatornog okvira, bolje korporativno upravljanje, zaštita prava manjinskih akcionara i veća uloga institucionalnih investitora, samo su neki od mogućih pravaca za reforme koje će podstaći razvoj lokalnog finansijskog tržišta. U međuvremenu, investitorima se može sugerisati usmerenje na međunarodnu diversifikaciju i formiranje portfolija koja kombinuju instrumente sa razvijenih i manje razvijenih tržišta. Pri tome, potrebno je voditi računa o dodatnim ograničenjima u postupku optimizacije nametnutim u formi transakcionih troškova, poreskog tretmana i drugih aspekata od značaja za proces efikasnog investiranja.

5. ZAKLJUČAK

Predmet analize u ovome radu bila je efikasna diversifikacija i mogućnosti za pronalaženje efikasne granice na finansijskim tržištima u nastajanju. U radu su sagledani i izazovi sa kojima se investitori susreću kada pokušaju da definišu optimalni portfolio rizičnih hartija od vrednosti na takvom tržištu. Empirijska provera izvršena je na uzorku najlikvidnijih akcija sa Beogradske berze. Rezultati analize pokazuju da je optimalni rizični portfolio moguće naći, ali da je nivo njegove efikasnosti suštinski ograničen nivoom razvijenosti lokalnog finansijskog tržišta.



LITERATURA

- [1] Huang, Chi-Fu., & Litzenberger, R.H. (1988). Foundations for Financial Economics. New York: Elsevier Science Publishing Co., Inc.
- [2] Markowitz, H.M. (1952). Portfolio Selection. *Journal of Finance*, 7 (1), 77-91.
- [3] Markowitz, H.M. (1959). Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Markowitz, H.M. (1991). Foundations of Portfolio Theory. *The Journal of Finance*, 46 (2), 469-477.
- [5] Rubinstein, M. (2002). Markowitz's "Portfolio Selection": A Fifty-Year Retrospective. *Journal of Finance*, 57 (3), 1041-1045.
- [6] www.belex.rs
- [7] www.nbs.rs



MEASURING ADEQUACY OF UNEARNED PREMIUM RESERVE

JELENA KOČOVIĆ¹, MARIJA KOPRIVICA²

¹ Faculty of Economics, University of Belgrade, kocovic@ekof.bg.ac.rs

² Faculty of Economics, University of Belgrade, marijajovovic@ekof.bg.ac.rs

Abstract: *The unearned premium reserve, as a part of the insurance premium that is intended to cover the claims and expenses expected to arise from the policies in-force during the unexpired coverage period, is one of the key elements of technical reserves in non-life insurance. The ability to settle liabilities towards the policyholders, which is the main purpose of the insurance business, is endangered by the risk of inadequate unearned premium reserve, as a possible cause of insolvency of insurance companies. This paper deals with the liability adequacy test (LAT), as an instrument for measuring the adequacy of the unearned premium reserve. If the test indicates that the unearned premium reserve is underestimated, then the unexpired risk reserve, which was introduced as an element of technical reserves of insurance companies operating in Serbia by the 2014 legislation, shall be formed. In this paper we identify the main problems that arise in practice when calculating unexpired risk reserve and propose possible ways of overcoming or mitigating them. Reliability of the results of testing unearned premium reserve adequacy is dependent on the accuracy of projections of future claims and expenses, level of contract grouping, treatment of acquisition costs and the credibility of the loss and the expense ratio.*

Keywords: *unearned premium reserve, risk of inadequate unearned premium reserve, liability adequacy test, unexpired risk reserve.*

1. INTRODUCTION

By assuming risks from their policyholders in exchange for the premium, as the price of the insurance service, insurance companies are exposed to technical risks arising from the nature of their business. An important place among these risks belongs to the risk of inadequate unearned premium reserve, as the possible inability to cover claims and expenses that might occur under the insurance policies in-force during the unexpired coverage period. Managing this risk contributes to preserving the insurer's solvency, which is in the interest of individual policyholders, but also of the entire national economy.

The paper deals with the liability adequacy test, as an instrument for measuring the adequacy of the unearned premium reserve. The liability adequacy test (LAT) was established in insurance by the International Financial Reporting Standard 4 - *Insurance contracts*, which is applicable from 1 January 2005. The aim of the test is to check sufficiency of technical reserves shown in the balance sheet of the insurer in relation to the current projection of future cash flows arising from insurance contracts. The test should demonstrate that the carrying amount of these reserves less related assets (deferred acquisition costs and related intangible assets arising from business combinations or portfolio transfer) are not underestimated. If the test indicates the inadequacy of insurance liabilities, the entire deficiency shall be recognized in the insurer's income statement and the carrying amount of the given insurance liabilities increased or the carrying amount of the related assets decreased in the balance sheet (IASB 2004, article 17).

The adequacy test for unearned premium reserve is performed through the calculation of an unexpired risk reserve. The formation of reserves for unexpired risks, as the complement to unearned premium reserves for potentially unprofitable insurance contracts, was regulated at the European Union level back in the early '90s (91/647/EEC). In the new regulatory framework, Solvency II, the unearned premium reserve and the reserve for unexpired risks are merged into the premium reserve (2009/138/EC). In Serbia, the unexpired risk reserve is introduced for the first time by the Law on Insurance of 2014 (article 116), from when their importance is steadily growing. At the end of 2017, reserves for unexpired risks of insurance companies operating on the Serbian insurance market reached 5.5% of the unearned premium reserves (National bank of Serbia). Insufficiently precise regulatory and financial reporting requirements leave room for inconsistent calculation of unexpired risk reserves in practice. The aim of the paper is to highlight the key problems that arise when implementing the adequacy test for unearned premium reserve and to propose possible ways to overcome or mitigate them.



2. RISK OF INADEQUATE UNEARNED PREMIUM RESERVE

The unearned premium reserve is the portion of the insurance premium written in one reporting period which must be transferred to another reporting period according to the insurance contract duration (Kočović *et al.* 2010). Since insurance policies are issued throughout the whole year, their maturity does not have to coincide with the date of the reporting period completion. The amount of premium pertaining to the period from the valuation date until the date of the contract expiration serves to cover risks in that period and is still not earned by the insurer.

Breakdown of total premium into the earned and unearned parts, as a way of revenue deferment, is important primarily from the accounting point of view, in order to eliminate the influence of the unearned premium to the reported operating result of the current period. The unearned premium reserve is calculated at the end of each reporting period in the manner defined by the insurance company's appropriate regulations which is in accordance with the relevant by-law regulations. The basis for calculation of unearned premium reserve is the gross written premium. The unearned premium reserve is usually calculated in proportion to the remaining period of insurance coverage using *pro rata temporis* (lat.) method and for each insurance contract separately. In non-life insurance, the insured event can arise at any time during the period of validity of the insurance contract. It is therefore logical to consider that the likelihood of the insured event is reduced over time in proportion to the ratio of the remaining and the entire period of the insurance contract duration. The unearned premium reserve, as a measure of the insurer's obligations for possible claims and expenses after the balance sheet date under existing insurance contracts, is also reduced in the same proportion (Jovović 2015). The *pro rata temporis* method assumes that the insurance risk is evenly spread throughout the policy period. Thus the premium is earned and recognized as revenue uniformly during the life of the insurance contract. In other words, at any time, the share of the earned premium in the total written premium is proportional to the share of the expired period in the total period covered by the insurance contract. At the end of the current period, the unearned premium reserve for the insurance contract j (UPR_j) is calculated by applying the following formula:

$$UPR_j = P_j \cdot \frac{n_j - m_j}{n_j} = P_j \cdot \left(1 - \frac{m_j}{n_j}\right), \quad (1)$$

where P_j denotes gross written premium of insurance contract j with duration (expressed in days) n_j and m_j is the number of days from the beginning of the contract to the valuation date.

The risk of inadequate unearned premium reserve is the possibility that the booked unearned premium reserve will not be sufficient to cover the corresponding losses and expenses over the unexpired policy term. This risk arises from the inverse nature of the business cycle flow in insurance. In non-life insurance, the insurance premium is determined and charged in advance, while claims and connected expenses are known and paid only if and after the insured event occurs. The amount of insurance premium and therefore, of the unearned premium reserve, is based on the projection of claims and expenses that will arise in the future. Actual claims and expenses may deviate from their expected values due to the random fluctuations, the wrong statistical model describing their behaviour and/or the incorrectly estimated values of its parameters. Even if the given projection is statistically correct, the premium may not be adequate if circumstances change in relation to initial actuarial assumptions and previous experience (Kočović & Jovović 2018). However, the premium rate set at the beginning of the insurance contract validity, which determines the amount of the unearned premium reserve, cannot be changed during the duration of that contract. It is therefore important to periodically check the sufficiency of the unearned premium reserve under insurance contracts in-force in order to timely manage the risk of its inadequacy.

3. UNEARNED PREMIUM RESERVE ADEQUACY TEST

The adequacy of the unearned premium reserve is tested through the calculation of the unexpired risk reserve (i.e., premium deficiency reserve), as an integral element of insurers' technical reserves. This reserve represents a surplus above the calculated unearned premium reserve that needs to be set aside in order to cover claims and expenses expected to arise from the policies in-force after the balance sheet date. At the valuation date, the expected claims and expenses pertaining to the remaining period of insurance contract validity are compared with the part of the premium payable in that period (if the premium is paid in instalments) and the



related unearned premium reserve minus the deferred acquisition costs (DAC).¹⁷ Any excess amount is recognized as the unexpired risk reserve.

The simplest way to determine the unexpired risk reserve (URR) is in relation to the unearned premium reserve (UPR) in proportion to the excess of the combined ratio of the given type of insurance in relation to 1 (Bellando 2003). In accordance with domestic regulations (Decision on technical provisions), for contracts under which it may be assumed that the combined ratio (CR) represents an adequate approximation of expected claims and expenses in the future period arising from contracts in force during the current period, the unexpired risk reserves may be calculated by applying the following formula:

$$URR = \max\{(CR - 1), 0\} \cdot UPR \quad (2)$$

Thus, if $CR < 1$, the UPR is considered as adequate. Otherwise, if $CR > 1$, it is a signal for unearned premium deficiency, and the insurance company should either create unexpired risk reserve or amortize deferred acquisition costs (Zsoldos 2014). More precisely, following the logic of the liability adequacy test, the calculation of the unexpired risk reserve can be presented in algebraic form:

$$URR = \max\{(expected\ claims + expected\ expenses + DAC - UPR), 0\} \quad (3)$$

In order to estimate expected future cash flows from the existing insurance contracts, the loss ratio and the expense ratio, as profitability indicators of insurance business, are used. Their values are determined by three variables: earned premiums, incurred claims and insurance administration expenses. Let t denote a calendar year during which policies are issued at different times. Since the gross written premium (P_t) does not contribute entirely to profit in year t , it should be reduced by the ending unearned premium reserve (UPR_t). In addition, for policies in-force during year t that are issued in previous years, part of the written premium contributing to profit in current year is measured by the unearned premium reserve at the beginning of year t (UPR_{t-1}). Thus the earned premium as a measure of premium revenue in year t (\tilde{P}_t) is defined as:

$$\tilde{P}_t = P_t + UPR_{t-1} - UPR_t \quad (4)$$

On the other hand, a part of the claim amount paid in year t (S_t) refers to claims incurred in previous years, whose estimate was already included in the claim reserve at the beginning of year t (R_{t-1}). At the same time, the insurer is liable for the compensation of claims known or presumed to have been incurred during the current period which are not settled by the end of that period, but their estimate is included in the ending claim reserve t (R_t). Thus the incurred claim amount in year t (\tilde{S}_t) is defined as:

$$\tilde{S}_t = S_t + R_t - R_{t-1} \quad (5)$$

The loss ratio (s_t) in year t represents the ratio between the incurred claims (\tilde{S}_t) and the earned premium (\tilde{P}_t) in that year:

$$s_t = \frac{S_t + R_t - R_{t-1}}{P_t + UPR_{t-1} - UPR_t} = \frac{\tilde{S}_t}{\tilde{P}_t} \quad (6)$$

The expense ratio represents the part of the earned premium which must be used to cover insurer's operating expenses (Olivieri & Pitacco 2011). Value of the expense ratio (e_t) in year t is determined by dividing insurance administration expenses pertaining to year t (E_t) with the earned premium \tilde{P}_t :

$$e_t = \frac{E_t}{P_t + UPR_{t-1} - UPR_t} = \frac{E_t}{\tilde{P}_t} \quad (7)$$

It is assumed that the total claims and expenses under the existing non-life insurance contracts are distributed between the current and the subsequent reporting periods in proportion to the distribution of the total written premium between the earned and the unearned part. Thus, estimate of claims expected to be incurred under existing policies after the valuation date (including the related costs of claim settlement) is equal to:

¹⁷ When issuing new policies, insurance companies face large acquisition costs, such as commissions to sales agents, underwriting costs and other costs of acquiring new clients. Respecting the accounting matching principle, these costs are spread out over the period in which revenues are earned. Thus, deferred acquisition costs (DAC) are treated as an asset and amortized over the insurance contract duration.



$$\text{expected claims} = \tilde{S}_t \cdot \frac{UPR_t}{\bar{p}_t} = s_t \cdot UPR_t \quad (8)$$

Similarly, the expected expenses related to the same policies are estimated on the basis of:

$$\text{expected expenses} = E_t \cdot \frac{UPR_t}{\bar{p}_t} = e_t \cdot UPR_t \quad (9)$$

By inserting (8) and (9) into (3) it follows that the unexpired risk reserve at the end of year t is:

$$URR_t = \max\{s_t \cdot UPR_t + e_t \cdot UPR_t + DAC_t - UPR_t, 0\} \quad (10)$$

from where we obtain:

$$URR_t = \max\left\{UPR_t \left(s_t + e_t + \frac{DAC_t}{UPR_t} - 1\right), 0\right\} \quad (11)$$

Thus we proved that the unexpired risk reserve is estimated in relation to the unearned premium reserve in the same proportion in which the combined ratio (i.e., the sum of the loss ratio, the ratio of all expenses except DAC and the quotient DAC/UPR_t) is greater than 1.

3.1. Illustrative example

The implementation of the unearned premium adequacy test can be illustrated on a hypothetical example. A relevant dataset relating to one business line for a non-life insurer in the calendar year 2017 is given in Table 1.

Table 1: Available dataset

Variable	Value (in 000 RSD)
Gross written premium in the current year	22,000
UPR at the beginning of the period (31.12.2016.)	12,000
UPR at the end of the period (31.12.2017.)	14,000
DAC at the end of the period (31.12.2017.)	2,000
Claims paid in the current year	12,000
Change of reserves for reported but not settled claims (RBNS)	-500
Change of reserves for incurred but not reported claims (RBNS)	750
Insurance administration expenses in the current year	8,500

Source: Adapted from Zsoldos 2014, *op. cit.*, p. 331.

Based on the methodology explained above, we can quantify adequacy of unearned premium reserve in the given line of business at the end of 2017. The results of the calculation are given in the Table 2.

Table 2: Unearned premium reserve adequacy test

Variable	Calculation	Value
Earned premium in the current year (in 000 RSD)	22,000+12,000-14,000	20,000
Incurred claim amount in the current year (in 000 RSD)	12,000-500+750	12,250
Loss ratio	12,250/20,000	0.6125
Expense ratio	8,500/20,000	0.3750
Expected claims (in 000 RSD)	0.6125*14,000	8,575
Expected expenses (in 000 RSD)	0.3750*14,000	5,250
Unexpired risk reserve (in 000 RSD)	$\max\{(8,575+5,250+2,000-14,000),0\}$	1,825

Source: Authors' calculations.

In the given case, the unearned premium reserve at the end of the year less the deferred acquisition costs is not sufficient to cover expected future claims and expenses under existing insurance policies. Thus, the LAT result is negative, and the insurer shall create the unexpired risk reserve in the amount of 1,825,000 RSD in the given line of business.



4. PROBLEMS IN CALCULATING UNEXPIRED RISK RESERVE

Reliability of the results of testing unearned premium reserve adequacy is dependent on the accuracy of projections of future claims and expenses, level of contract grouping, treatment of acquisition costs and the credibility of the loss and expense ratio. The claims projection should cover all claims that might occur in the unexpired coverage period, including those claims that will be reported or reopened after the expiration of that period. In order for the projection to be complete and reliable, it is necessary to consider the overall development of claims to their ultimate amount, taking into account the expected changes in economic conditions, legal regulations and internal claims handling procedures, with large and catastrophic claims separately treated. As at the valuation date the acquisition expenses associated with the portfolio in-force have already been incurred, the subject of the projection when calculating the URR may be administrative expenses and costs of settling new claims under the existing contracts. In projecting future expenses, the actuary should take into account the expected inflationary growth, budget changes and any circumstances that lead to uneven distribution of administrative costs during the period of insurance coverage (Cyprus Association of Actuaries 2010).

According to IFRS 4, the liability adequacy test is carried out at the level of a portfolio of contracts that are subject to similar risks and managed together (IASB 2004, article 18), which allows different interpretations. If the unexpired risk reserve is calculated at the level of the line of business, deficit of the unearned premium reserve under a single contract may be partially or fully compensated by surplus in other contracts within the same line of business, but not between those lines. The finer the grouping used in the calculation, the higher the unexpired risk reserve, and vice versa (Blanchard 2000). Consequently, choice of aggregation level can affect the amount of inadequacy shown for one portfolio, or even the same portfolio can be shown as adequate because there are greater possibilities for offsetting deficits and surpluses. Also, IFRS 4 does not contain explicit rules which acquisition expenses can be capitalized, how to amortize them and whether they should be presented as an item of assets or as a deductible item of the insurer's liabilities, leading to their inconsistent treatment in the practice of the LAT conducting.

Finally, the loss ratio as a multiplier for the current year's unearned premium reserve (UPR_t) can undermine reliability of the liability adequacy test results. The value of this ratio is partly determined by unearned premium reserves and claim reserves brought forward from the previous year. If the previous year's unearned premium reserve was adequate but the premiums written (and thus the UPR) in the current year are underestimated, then the loss ratio, and hence the URR will be less than really needed. Conversely, underestimation of premium (and thus the UPR) in the previous year together with their adequate level in the current year lead to overestimation of loss ratio, and the creation of the URR, although it is not needed (Rowlandson 1985). Similarly, if the previous year's claim reserves were adequate while the current year's claim reserves are underestimated, the unexpired risk reserve will be less than reasonably needed, and vice versa. The expense ratio may also jeopardize the plausibility of the URR calculation due to the emphasized subjectivity regarding the level of expenses and their delimitation, both between different expense categories, and between different lines of business.

For the above reasons it is recommended to use the average values of these indicators for a number of previous years when calculating unexpired risk reserves (Cyprus Association of Actuaries 2010). In cases when the data lacks statistical credibility, it is convenient to group similar lines of business, with the reasons fully documented by the actuary (Pavlović 2012). Determining the URR is particularly difficult in the first years of claims development in a long tail business. Due to insufficient relevant experience from the past, the required amount of these reserves is approximated by comparing the claims and premiums of the portfolio over time and taking into account the experience of other companies and the entire market in a given business segment (Booth *et al.* 2005).

5. CONCLUSION

The underestimation of technical reserves in insurance directly threatens the possibility of settling liabilities towards the policyholders and represents one of the most important causes of insolvency of insurance companies. The key elements of technical reserves in the field of non-life insurance are the claims reserves and the unearned premium reserves, which are formed from the written premium for the purpose of covering the claims and expenses already incurred in the first case, or the claims and expenses that are expected to be incurred under existing insurance contracts, in the second case. All factors that may cause underestimation of



insurance premium at the same time jeopardize the adequacy of the unearned premium reserve. The paper analyzes the liability adequacy test, as a simple and transparent method to measure adequacy of unearned premium reserve. The components of this test are the expected claims and expenses that will arise during the remaining period of insurance coverage, unearned premium reserve and deferred acquisition costs. The result of the test is the unexpired risk reserve, which plays an important role in managing the risk of inadequate unearned premium reserve.

The most significant problems that arise in calculating unexpired risk reserve refer to ensuring satisfactory precision of projections of future cash flows under insurance contracts, choice of the level of contract grouping, treatment of acquisition costs and impact of diluted values of the loss ratio and the expense ratio. Thus, the actuary performing liability adequacy test in practice will have to consider many factors, and the results will largely depend on his judgment. In order to increase the reliability of the results of testing the adequacy of the unearned premium reserve, it is recommended to use experience from the past as well as market data for greater statistical credibility.

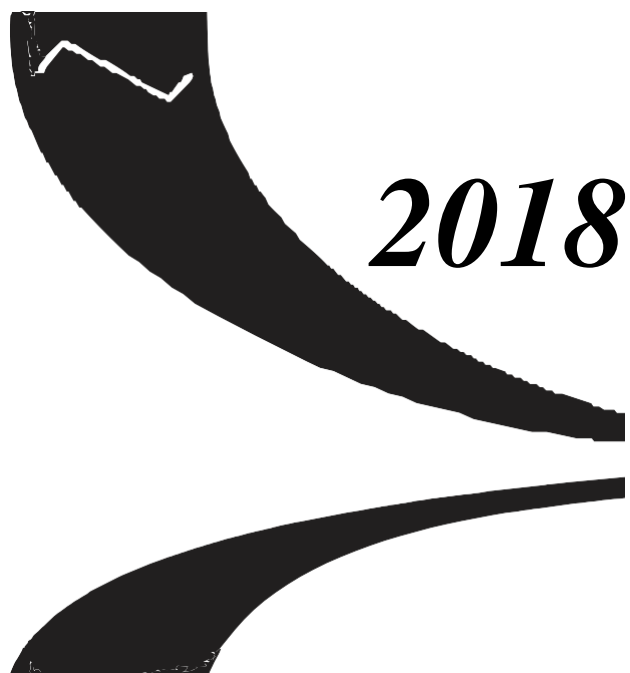
The new International Financial Reporting Standard for insurance contracts - IFRS 17, that will replace IFRS 4 from 2021, brings new challenges for insurers. For short-term contracts, what is the majority of contracts in non-life insurance, IFRS 17 allows an optional simplified measurement approach (Premium Allocation Approach - PAA) which applies to unexpired risks. In addition to a change in nomenclature (the unearned premium reserve will be renamed as the liability for remaining coverage), there are subtle differences between two standards in terms of testing adequacy of liabilities that relate to the unexpired portion of the coverage period. When the LAT is applied at the level of lines of business, inadequacy of the URR under individual contracts is acceptable as long as the portfolio as a whole is adequate. Under IFRS 17, on the other hand, onerous contracts (for which expected outflows exceed expected inflows) need to be separated and losses on them recognized immediately. Thus the future "onerous contract test" will be performed at a more granular level than the current LAT. However, under the PAA measurement approach, insurers can continue to apply the current LAT at portfolio level, and the negative LAT result could serve as a signal for more investigation in order to identify contracts which are onerous.

REFERENCES

- [1] Bellando, J-L. (2003). Assessing the solvency of insurance companies. Policy Issues in Insurance, No. 4, Paris: OECD Publishing.
- [2] Blanchard, R.S. (2000). Considerations in the Calculation of Premium Deficiency Reserves. CAS Forum Fall 2000. Arlington: Casualty Actuarial Society, 1–34.
- [3] Booth, P., Chadburn, C., Haberman, S., James, D., Khorasane, Z., Plumb, R.H., & Rickayzen, B. (2005). *Modern Actuarial Theory and Practice*. (2nd ed.). Boca Raton: Chapman & Hall/CRC.
- [4] Council directive of 19 December 1991 on the annual accounts and consolidated accounts of insurance undertakings. Official Journal of the EC, 91/647/EEC.
- [5] Cyprus Association of Actuaries (2010). Guideline for the Determination of a Proper Unexpired Risk Reserve. Nicosia: Cyprus Association of Actuaries. Retrieved from: <http://www.actuaries.org.cy/ProfessionalGuidance.aspx>
- [6] Decision on technical provisions. RS Official Gazette, No 42/2015.
- [7] Directive 2009/138/EC of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the taking-up and pursuit of the business of Insurance and Reinsurance (Solvency II). Official Journal of the European Communities. 2009/138/EC.
- [8] International Accounting Standards Board (2004). *IFRS 4 Insurance Contracts*. London: IASB.
- [9] Jovović, M. (2015). *Merenje rizika pri utvrđivanju solventnosti neživotnih osiguravača*. Doctoral thesis. Belgrade: Faculty of Economics, University of Belgrade.
- [10] Kočović, J., & Koprivica, M. (2018). An internal model for measuring premium risk when determining solvency of non-life insurers. *Economic Annals*, LXIII(217), 99–127.
- [11] Kočović, J., Šulejić, P., & Rakonjac-Antić, T. (2010). *Osiguranje*. Belgrade: Faculty of Economics, University of Belgrade.



- [12] Law on Insurance. RS Official Gazette, No. 139/2014.
- [13] National bank of Serbia. Tehničke rezerve društava za osiguranje. Retrieved from https://www.nbs.rs/internet/cirilica/60/60_2/index.html
- [14] Olivieri, A., & Pitacco, E. (2011). Introduction to Insurance Mathematics - Technical and Financial Features of Risk Transfers. Springer – Verlag.
- [15] Pavlović, B. (2012). Unexpired Risk Reserve. In J. Kočović, B. Jovanović Gavrilović, & D. Jakovčević (Eds.), Achieved Results and Prospects of Insurance Market Development in Modern World (279–293). Belgrade: Faculty of Economics, University of Belgrade.
- [16] Rowlandson, W. (1985). Unexpired Risk Reserve (URR). Now called "Additional Amount for Unexpired Risks". General Insurance Convention.
- [17] Zsoldos, P. (2014). How to measure adequacy of technical provisions in general insurance – practical perspective. European Scientific Journal, special ed., 325–332.



***PRIMENA OPERACIONIH
ISTRAŽIVANJA U
GRAĐEVINARSTVU***



ANALIZA TAČNOSTI MERENJA RASTOJANJA IZMEĐU DVE NEPRISTUPAČNE TAČKE NA BETONSKOJ KONSTRUKCIJI OBJEKTA

ACCURACY ANALYSIS OF DISTANCE MEASUREMENT BETWEEN TWO INACCESSIBLE POINTS ON THE CONCRETE CONSTRUCTION OF A BUILDING

SLOBODAN PANDŽIĆ¹, SLAVOLJUB TOMIĆ², DRAGAN MACANOVIĆ³

¹ Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, slobodanpandzic@vggs.rs

² Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, tomicslavoljub@vggs.rs

³ Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, dragan.macanovic@aggf.unibl.org

Rezime: U inženjerskoj praksi, često se postavlja zahtev da se što preciznije odredi rastojanje između dve tačke na betonskoj konstrukciji objekta, a koje su nepristupačne za direktno merenje. U radu je na jednom konkretnom primeru prikazan postupak merenja, kao i analiza tačnosti rezultata merenja. Određivanje rastojanja je sprovedeno na osnovu koordinata tačaka dobijenih polarnom metodom. Tačke koje su predmet eksperimenta su materijalizovane samolepljivim markicama na fasadi objekta, a pri merenju je korišćena totalna stanica. Analizom je obuhvaćeno testiranje hipoteze o jednakosti određenih dužina na osnovu rezultata merenja sa tri različita stajališta.

Cljučne reči: rastojanje, nepristupačne tačke, betonska konstrukcija.

Abstract: This Engineering practice often requires to determine the distance between two points on the concrete construction of a building as precisely as possible. These points are usually inaccessible in a sense that a signal (a prism on a pole) cannot be mounted directly on them, which implies that the aforementioned distance has to be determined indirectly. This paper describes a measurement process, as well as an accuracy analysis of measurement results on one specific example. Distance determining was done based on point coordinates obtained using the polar method of surveying. The points used in the experiment were materialized with self-adhesive retro-reflective targets on the building facade, while measurements were performed using a total station. The analysis included hypothesis testing of the equality of corresponding distances determined based on the measurement results obtained from three different station points.

Keywords: distance, inaccessible points, concrete construction.

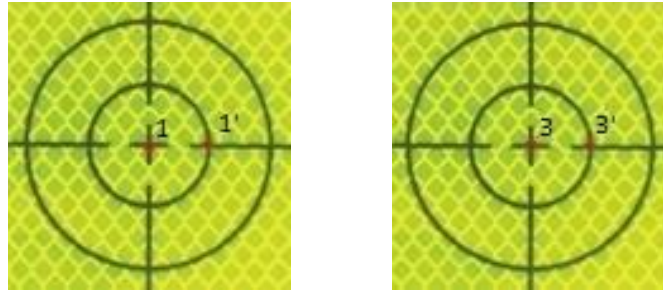
1. UVOD

Geodetskim merenjem se određuju najverovatnije vrednosti merenih veličina. Pri realizaciji tih merenja neminovno dolazi do izvesnih grešaka pa se postavlja pitanje poverenja u rezultat izmerene veličine. Te greške se odnose na greške instrumenata sa kojima se realizuju merenja i greške koje nastaju pri samom merenju [1]. Greške, koje se čine pri merenju, zavise od uslova u kojima se realizuju merenja i iskustva lica koje realizuje to merenje. Kada je reč o grešci instrumenata, ona se iskazuje standardnim odstupanjem koje je navedeno u prospektu instrumenta. Međutim, to nikako ne znači da se pri merenju ne može dobiti bolji rezultat od navedenog, ali to treba dokazati.

Donošenje odluka, odnosno tvrdnji da je neko merenje realizovano sa odgovarajućom tačnošću treba da se obrazloži statističkim testovima. U radu je na jednom konkretnom primeru analizirana tačnost određivanja rastojanja između dve tačke nepristupačne za merenje.

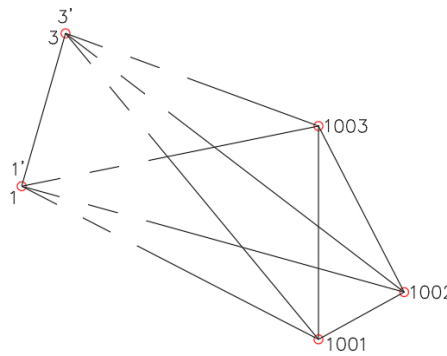
2. FORMATIRANJE RADA EKSPERIMENT

Na fasadi objekta su postavljene odgovarajuće samolepljive reflektujuće markice (Sl. 1.).



Slika 1: Samolepljiva reflektujuća markica

U cilju povećanja pouzdanosti u rezultate određivanja rastojanja između dve fiksne tačke (1-3 odnosno 1'-3'), eksperiment je osmišljen tako da su opažanja markica vršena sa tri stajališta (tačka 1001, 1002 i 1003). Opažanje tačka 1 i 3 je vršeno nezavisno od opažanja tačka 1' i 3' (zauzimana je nova orijentacija).



Slika 2: Skica mreže

Merenja su nezavisno obavile dve osobe pri veoma sličnim uslovima merenja (instrumenti istih karakteristika). U prvom delu eksperimenta su opažani centri markica (tačke 1 i 3), a u drugom presek manjeg kruga sa horizontalnom linijom na markici (tačke 1' i 3'). Prethodno je razmernikom izmeren taj pomak i on iznosi 7 mm. S obzirom da se radi o istom rastojanju (samo translatorni pomak za 7 mm) moguće je provesti testiranje jednakosti dužina 1-3 i 1'-3'.

Za geodetska merenja su korišćene dve totalne stanice Leica TS02 sa standardnim odstupanjem pravaca $\sigma_p = 7''$ i standardnim odstupanjem merenja dužina na markicu $\sigma_d = 2 + 2 ppm$.

2.1 Određivanje koordinata tačaka snimljenih polarnom metodom

Koordinate tačaka koje su snimljene polarnom metodom računaju se prema sledećim formulama:

$$Y_i = Y_A + d_i \cdot \sin v_i, \quad X_i = X_A + d_i \cdot \cos v_i, \quad (1)$$

gde su:

Y_A, X_A - koordinate tačke A sa koje je vršeno merenje,

d_i - merena horizontalna dužina od stajališta (tačke A) do tačke i ,

v_i - mereni direkcionni ugao ka tački i .



Standardna odstupanja koordinata tačaka određenih polarnom metodom, prema [2] će biti:

$$\sigma_{Y_i} = \sqrt{\sigma_{Y_A}^2 + \sin^2 v_i \cdot \sigma_{d_i}^2 + (d_i \cdot \cos v_i)^2 \cdot \frac{\sigma_{v_i}^2}{(\rho^n)^2}}, \quad (2)$$

$$\sigma_{X_i} = \sqrt{\sigma_{X_A}^2 + \cos^2 v_i \cdot \sigma_{d_i}^2 + (-d_i \cdot \sin v_i)^2 \cdot \frac{\sigma_{v_i}^2}{(\rho^n)^2}}, \quad (3)$$

a kovarijansa:

$$\sigma_{X_i Y_i} = \sin v_i \cdot \cos v_i \cdot \sigma_{d_i}^2 + (d_i \cdot \cos v_i) \cdot (-d_i \cdot \sin v_i) \cdot \frac{\sigma_{v_i}^2}{(\rho^n)^2} \quad (4)$$

gde su:

$\sigma_{Y_A}, \sigma_{X_A}$ - standardna odstupanja koordinata tačke A,

σ_{d_i} - standardno odstupanje merenja horizontalne dužine od stajališta (tačke A) do tačke i,

σ_{v_i} - standardno odstupanje merenja direkcionog ugla ka tački i.

Imajući u vidu osnovni cilj, da se odredi horizontalno rastojanje između markiranih tačaka (relativan odnos između tačaka), opažanje tačaka se obično izvodi u lokalnom kordinatnom sistemu. Ako je snimanje tačaka izvršeno samo sa jednog stajališta, može se smatrati da su standardna odstupanja koordinata stajališta, orijentacije, centrisanja instrumenta i signala jednaka nuli pa će standardna odstupanja koodrinata snmljenih tačaka biti:

$$\sigma_{Y_i} = \sqrt{\sin^2 v_i \cdot \sigma_{d_i}^2 + (d_i \cdot \cos v_i)^2 \cdot \frac{\sigma_{v_i}^2}{(\rho^n)^2}}, \quad (5)$$

$$\sigma_{X_i} = \sqrt{\cos^2 v_i \cdot \sigma_{d_i}^2 + (-d_i \cdot \sin v_i)^2 \cdot \frac{\sigma_{v_i}^2}{(\rho^n)^2}}, \quad (6)$$

Pri snimanju, koordinate stajališta i orijentacije su usvajane proizvoljno, tako da je osoba A usvajala vrednosti date u Tabeli 1, a osoba B vrednosti u Tabeli 2. U svim slučajevima, orijentacija instrumenta sa stanica 1001 i 1002 je vršena prema tački 1003, dok je sa stanice 1003 orijentacija vršena prema tački 1001.

**Tabela 1:** Koordinate tačaka sa pripadajućim varijansama i kovarijansama (snimla osoba A)

Stanica	Br. tačke	Y [m]	X [m]	σ_y^2 [mm ²]	σ_x^2 [mm ²]	σ_{xy} [mm ²]
1001	1003	1000.000	515.034			
Y=1000.000	1	978.962	510.798	3.24	0.81	-1.36
X=500.000	3	982.070	521.579	1.69	2.25	-1.52
1002	1003	2000.000	513.189			
Y=2000.000	1	1979.372	519.115	2.25	1.96	-1.54
X=500.000	3	1987.097	527.255	0.81	3.24	-1.14
1003	1001	3000.000	515.034			
Y=3000.000	1	3021.038	504.238	4.00	0.16	0.67
X=500.000	3	3017.930	493.457	3.61	0.49	-1.15
1001	1003	1000.000	515.034			
Y=1000.000	1`	978.965	510.803	3.24	0.81	-1.36
X=500.000	3`	982.074	521.583	1.69	2.25	-1.52
1002	1003	2000.000	513.189			
Y=2000.000	1`	1979.377	519.120	2.25	1.96	-1.54
X=500.000	3`	1987.102	527.259	0.81	3.24	-1.14
1003	1001	3000.000	515.035			
Y=3000.000	1`	3021.039	504.232	4.00	0.16	0.67
X=500.000	3`	3017.929	493.450	3.61	0.49	-1.15

Tabela 2: Koordinate tačaka sa pripadajućim varijansama i kovarijansama (snimla osoba B)

Stanica	Br. tačke	Y [m]	X [m]	σ_y^2 [mm ²]	σ_x^2 [mm ²]	σ_{xy} [mm ²]
1001	1003	1000.000	615.037			
Y=1000.000	1	978.963	610.796	3.24	0.81	-1.36
X=600.000	3	982.071	621.580	1.69	2.25	-1.52
1002	1003	2000.000	613.191			
Y=2000.000	1	1979.372	619.112	2.25	1.96	-1.54
X=600.000	3	1987.095	627.251	0.81	3.24	-1.14
1003	1001	3000.000	613.192			
Y=3000.000	1	3020.627	594.080	3.61	0.36	-0.92
X=600.000	3	3012.905	585.939	1.96	2.25	-1.78
1001	1003	1000.000	615.037			
Y=1000.000	1`	978.965	610.802	3.24	0.81	-1.36
X=600.000	3`	982.076	621.583	1.69	2.25	-1.52
1002	1003	2000.000	613.192			
Y=2000.000	1`	1979.376	619.117	2.25	1.96	-1.54



X=600.000	3`	1987.101	627.255	0.81	3.24	-1.14
1003	1001	3000.000	613.192			
Y=3000.000	1`	3020.627	594.074	3.61	0.36	-0.92
X=600.000	3`	3012.901	585.933	1.96	2.25	-1.78

3. REZULTATI OBRADE PODATAKA MERENJA

3.1 Testiranje hipoteze o jednakosti rastojanja između tačaka 1-3 i 1'-3' čije su koordinate određene polarnom metodom

Za poređenje jednakosti rastojanja između tačaka određenih polarnom metodom se prema [2], mogu se postaviti nulta i alternativna hipoteza:

$$H_0 : M[\mathbf{d}] = 0,$$

$$H_1 : M[\mathbf{d}] \neq 0,$$

gde je:

$$\mathbf{d} = [d_{1-3} - d_{1'-3'}]$$

d_{1-3} - rastojanje između tačaka 1 i 3,

$d_{1'-3'}$ - rastojanje između tačaka 1' i 3'.

Razlike između vrednosti dužina se računaju na sledeći način:

$$f = \sqrt{(Y_3 - Y_1)^2 + (X_3 - X_1)^2} - \sqrt{(Y_{3'} - Y_{1'})^2 + (X_{3'} - X_{1'})^2} \quad (7)$$

Generalno, vrednost test statistike se, prema [3] računa po formuli:

$$T = \frac{\mathbf{d}^T \cdot \mathbf{Q}_d^{-1} \cdot \mathbf{d}}{k \cdot \sigma_o^2} = \frac{\mathbf{d}^T \cdot (\mathbf{H} \cdot \mathbf{Q}_x \cdot \mathbf{H}^T)^{-1} \cdot \mathbf{d}}{k \cdot \sigma_o^2}, \quad (8)$$

gde je:

\mathbf{Q}_x - matrica kofaktora koordinata karakterističnih tačaka,

\mathbf{H} - matrica koeficijenata (parcijalnih izvoda funkcije (7) po koordinatama karakterističnih tačaka),

k - rang matrice \mathbf{H} ,

σ_o - standardno odstupanje jedinice težine.

Matrica \mathbf{Q}_x ima oblik:

$$\mathbf{Q}_x = \frac{1}{\sigma_o^2} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_{X_1}^2 & \sigma_{X_1 Y_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sigma_{Y_1 X_1}^2 & \sigma_{Y_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{X_3}^2 & \sigma_{X_3 Y_3}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{Y_3 X_3}^2 & \sigma_{Y_3}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{X_{1'}}^2 & \sigma_{X_{1'} Y_{1'}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{Y_{1'} X_{1'}}^2 & \sigma_{Y_{1'}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{X_{3'}}^2 & \sigma_{X_{3'} Y_{3'}}^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{Y_{3'} X_{3'}}^2 & \sigma_{Y_{3'}}^2 \end{bmatrix}.$$



Matrica \mathbf{H} (odnosno, u ovom slučaju vektor \mathbf{H}) se dobija kada se potraže parcijalni izvodi funkcije (7) po koordinatama tačaka:

$$\mathbf{H} = \left[\frac{\partial f}{\partial X_1} \quad \frac{\partial f}{\partial Y_1} \quad \frac{\partial f}{\partial X_3} \quad \frac{\partial f}{\partial Y_3} \quad \frac{\partial f}{\partial X_{1'}} \quad \frac{\partial f}{\partial Y_{1'}} \quad \frac{\partial f}{\partial X_{3'}} \quad \frac{\partial f}{\partial Y_{3'}} \right],$$

odnosno, dobija se:

$$\mathbf{H} = \left[-\cos v_1^3 \quad -\sin v_1^3 \quad \cos v_1^3 \quad \sin v_1^3 \quad -\cos v_{1'}^3 \quad -\sin v_{1'}^3 \quad \cos v_{1'}^3 \quad \sin v_{1'}^3 \right].$$

Najčešće se, vrednost test statistike porede sa vrednošću kvantila Fišerove raspodele verovatnoće za nivo značajnosti $\alpha = 0.05$ i broj stepeni slobode k i ∞ . Ako je vrednost test statistike manja od odgovarajućeg kvantila, tj. ako je $T \leq F_{\alpha}(k, \infty)$, tada se sa nivoom značajnosti α može tvrditi da nema osnova za odbacivanje nulte hipoteze. U suprotnom se sa istim nivoom značajnosti odbacuje nulta hipoteza.

Tabela 3: Rezultati testiranja hipoteze o jednakosti dve izmerene dužine

Stanica	Merenje izvršila osoba A			Merenje izvršila osoba B		
	1001	1002	1003	1001	1002	1003
d(1-3)[m]=	11.2201	11.2221	11.2201	11.2229	11.2200	11.2207
d(1'-3')[m]=	11.2194	11.2214	11.2216	11.2209	11.2206	11.2235
d[mm]=	-0.7	-0.7	1.5	-2.0	0.6	2.8
T=	0.147	0.162	1.211	1.198	0.119	2.979
F0.05(1,∞)=	3.841	3.841	3.841	3.841	3.841	3.841
T < F	da	da	da	da	da	da

Tabela 4: Rezultati testiranja hipoteze o jednakosti izmerene dužine od tačke 1 do 3 (merenje obavile dve osobe sa istog stajališta)

Stanica	1001	1002	1003	
d(1-3)[m]=	11.2201	11.2221	11.2201	Osoba A
d(1-3)[m]=	11.2229	11.2200	11.2207	Osoba B
d[mm]=	2.8	-2.1	0.6	
T=	2.347	1.461	0.160	
F0.05(1,∞)=	3.841	3.841	3.841	
T < F	da	da	da	

Tabela 5: Rezultati testiranja hipoteze o jednakosti izmerene dužine od tačke 1' do 3' (merenje obavile dve osobe sa istog stajališta)

Stanica	1001	1002	1003	
d(1'-3')[m]=	11.2194	11.2214	11.2216	Osoba A
d(1'-3')[m]=	11.2209	11.2206	11.2235	Osoba B
d[mm]=	1.5	-0.8	1.9	
T=	0.674	0.212	1.608	
F0.05(1,∞)=	3.841	3.841	3.841	
T < F	da	da	da	

Vrednost test statistike T dobijene na osnovu jednačine (8) je, u svim slučajevima manja od kvantila Fišerove raspodele, za nivo značajnosti $\alpha = 0.05$ i broj stepeni slobode 1 i ∞ .



S obzirom da je $T < F_{0.05}(1, \infty)$, nema osnova da se sa nivoom značajnosti od 0.05 odbaci nulta hipoteza, odnosno može se usvojiti da su izmerene dužine u svim slučajevima međusobno jednake.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata datih u Tabeli 3 razlike u dužinama koje je dobila osoba A se kreću od -0.7 mm do 1.5 mm, a osoba B od -2.00 do 2.8 mm. Na osnovu ovoga se može zaključiti da je osoba A preciznije izvršila merenje od osobe B.

Takođe, prema rezultatima datim u Tabeli 3 može se, uz nivo značajnosti $\alpha = 0.05$, zaključiti da su rastojanja između tačaka 1-3 i 1'-3' jednaka.

U Tabeli 4 i 5 su poređene vrednosti dužina koje su nezavisno odredile dve osobe. Prema tim rezultatima uz nivo značajnosti $\alpha = 0.05$, može se zaključiti da ne postoji značajna razlika u rezultatima koje su dobile ove dve osobe.

Konačno, može se zaključiti da uz pažljiv rad na terenu i upotrebu odgovarajuće merne opreme može postići zadovoljavajuća tačnost određivanja rastojanja između nepristupačnih tačaka na konstruktivnim delovima objekta.

LITERATURA

- [1] S. Pandžić: „Osnove inženjerske geodezije“, Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, 2011, 71-81 str.
- [2] S. Pandžić, J. Pandžić: „Inženjerska geodezija“, Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd, 2017, 205-215 str.
- [3] S. Ašanin, S. Pandžić, Z. Gospavić, B. Milovanović: „Zbirka odabranih zadataka iz inženjerske geodezije“, Geokarta d.o.o., Beograd, 2007, 138-142 str.



ANALIZA POJAVE PRSLINA U AB ELEMENTIMA PRIMENOM GRUBIH SKUPOVA

CONCRETE CRACK ANALYSIS IN RC ELEMENTS USING ROUGH SET THEORY

DRAGAN NIKOLIC¹, GORAN ĆIROVIĆ², SNEŽANA MITROVIĆ³

¹ Visoka građevinsko-geodetska škola Beograd, nikolic@vggs.rs

² Visoka građevinsko-geodetska škola Beograd, cirovic@sezampro.rs

³ Visoka građevinsko-geodetska škola Beograd, mitrozs@sezampro.rs

Rezime: Teorija grubih skupova predstavlja jedan od relativno novijih matematičkih pristupa u definisanju i analizi nepreciznosti, neodređenosti i neizvesnosti i pogodan je alat za sisteme podrške u odlučivanju. U radu je predstavljen model definisanja pravila odlučivanja u neizvesnom okruženju pri klasifikaciji i analizi uzroka pojave prslina u armirano-betonskim konstrukcijama u odnosu na vreme (u svežem ili očvrslom betonu) i uzrok (fizički, hemijski, termički i statički) pojave prslina. Tabela odlučivanja je dobijena na osnovu razmatranja karakteristika prslina kao atributa uslova, a sam model je baziran na stohastičkom pristupu. Pokazano je da se primenom teorije grubih skupova objektivno mogu formulirati pravila odlučivanja za date parametre koji se odnose na kategorizaciju prslina.

Ključne reči: Prslina, kategorizacija, podrška pri odlučivanju, teorija grubih skupova.

Abstract: The rough set theory is a relatively recent mathematical approach to definition and analysis of vagueness, ambiguity and uncertainty, and it is suitable tool in data mining system. The paper presents a decision rule modeling for classification and analysis the cause of concrete cracking in relation to time (in fresh or hardened concrete) and physical, chemical, thermal and load impact in uncertain environment. The model is based on stochastic approach and decision table is obtained by considering cracks characteristic as attribute set. It is shown that the objective decision rules for given parameters related to cracks classification can be formulated.

Keywords: concrete cracks, cracks classification, data mining system, rough set theory

1. UVOD

Prisustvo prslina u armirano-betonskim (AB) konstrukcijama je gotovo nezaobilazna pojava. Formiranje mikroprslina je moguće još u ranom periodu hidratacije betona usled delimične segregacije ili plastičnog skupljanja betona (Sivakumar i Santhanam, 2007). Tokom perioda eksploatacije objekta defekti u strukturi očvrslom betonu se mogu javiti usled delovanja opterećenja, agresivne sredine ili nekog od ostalih uticaja (promena temperature, sleganje oslonaca tokom vremena, zemljotres ili sl.).

Pri razmatranju trajnosti AB konstrukcija veoma je bitno ustanoviti uzrok pojave oštećenja u betonu. U zavisnosti od uzroka pojave prslina potrebno je razmotriti da li se navedena oštećenja mogu dopustiti bez primene sanacionih mera, odnosno potrebno je odrediti granicu prihvatljivog oštećenja. Ukoliko primećene prslina u betonu i ne utiču značajno na dostizanje graničnog stanja upotrebljivosti, ono svakako predstavlja vidljivo upozorenje. Sa druge strane, pojava prslina u betonskoj konstrukciji ima mnogo manji značaj u odnosu na pojavu prslina u metalnoj konstrukciji (Pavišić, 2007).

U odnosu na način pristupa vlasnika objekta tokom eksploatacionog perioda oceni stanja i rešavanju nastalih problema sa pojavom oštećenja betona zavisiće trajnost i ponašanje konstrukcije tokom prirodnih nepogoda (Folić, 1991). Nepredvidive prirodne nepogode (jake kiše, poplave, izuzetno jake snežne padavine, zemljotresi...) će očekivano biti učestalije pojave u narednim decenijama. Time pregledi i ocena stanja AB konstrukcija dodatno dobijaju na značaju.

Teorija grubih skupova je našla važnu ulogu u ekspertskim sistemima, sistemima za podršku u odlučivanju, prepoznavanju oblika, ali i tretiranju različitih problema u građevinarstvu (Ćirović i Plamenac, 2005) (Ćirović i Cekić, 2002). Primenom ove metode mekog programiranja Attor-Okine je predstavio sisteme za podršku u odlučivanju za rehabilitaciju i održavanje kolovoznih konstrukcija (Attor-Okine, 1997). Takođe, Min Kim i dr. su predložili model kategorizacije prslina u armirano-betonskim konstrukcijama (Min Kim i dr, 2009).



U radu je prikazan model analize uzroka pojave prslina u betonu primenom gubih skupova na osnovu 21 slučaja pojave prslina na izvedenim AB konstrukcijama. Za proračun relevantnih karakteristika podataka u tabelama i generisanje pravila za razvrstavanje korišćeno je softversko rešenje Rosetta. Softver je projektovan da podrži proces otkrivanja znanja, obrade podataka i generisanja pravila u okviru teorije grubih skupova. Eksperimentalni podaci su prikupljeni tokom pregleda AB konstrukcija koje su izvršili autori rada.

2. PRIMENA TEORIJE GRUBIH SKUPOVA

Tretiranje problema neizvesnosti, nejasnosti i nepreciznosti je jedna od ključnih aktivnosti u uspešnoj realizaciji inteligentnih sistema za podršku u odlučivanju. Do sada su razvijeni brojni pristupi za rešavanje tog problema, a jedan od najnovijih matematičkih prilaza pruža teorija grubih skupova. Bazira se na istraživanjima grupe autora na čelu sa prof. Pavlakom sprovedenim na Varšavskom Univerzitetu, Institutu za kompjuterske nauke krajem 80-tih godina prošlog veka (Pawlak, 1982).

Elementarni skup je bilo koji skup svih objekata koji se ne razlikuju i predstavljaju granule znanja o univerzumu. Oštar (precizan) skup je bilo koja unija nekih elementarnih skupova, a u suprotnom slučaju skup je grub. Pretpostavka da objekti mogu da se "vide" samo kroz dostupne informacije o njima, dovodi do stanovišta da je struktura znanja granularna. Zbog granularnosti znanja neki objekti koji nas interesuju, ne mogu se prepoznati i pojavljuju se kao isti ili slični. Kao posledica toga neodređeni pojmovi, suprotno preciznim pojmovima, ne mogu se okarakterisati u smislu informacija o njihovim elementima.

Pristup teorije grubih skupova ovaj problem rešava pretpostavkom da se bilo koji neodređeni objekat može opisati parom određenih pojmova koji se nazivaju donja i gornja aproksimacija. Donja i gornja aproksimacija su dve osnovne operacije u teoriji grubih skupova. *Donja aproksimacija* se sastoji iz svih objekata koji sigurno pripadaju skupu, a gornja aproksimacija sadrži sve objekte koji mu verovatno pripadaju (oni koji sigurno pripadaju i oni za koje se ne može sa sigurnošću tvrditi da pripadaju). Razlika između gornje i donje aproksimacije čini granično područje neodređenog pojma (objekta) (Ćirović i Plamenac, 2005).

U cilju matematičke formulacije grubih skupova polazi se od tabele podataka. Podrazumeva se upotreba pojma atribut, umesto pojma kriterijum jer je prvi pojam znatno uopšteniji od drugog. Kao tabela podataka podrazumeva se četvorostruka grupa podataka:

$$S = (U, A, V, f) \quad (1)$$

gde su:

U – konačan skup objekata

A – konačan skup atributa

Uz svaki atribut $a \in A$ pridružen je skup V_a njegovih vrednosti ili procene. Svaki atribut a determiniše funkciju $f_a: U \rightarrow V_a$. Uz svaki podskup B od A, pridružuje se relacija nerazlikovanja I na U, označena kao I(B) i shodno tome definisana kao:

$$I(B) = \{(x, y) \in U \times U : f_a(x) = f_a(y), \forall a \in B\} \quad (2)$$

Neka je U konačan skup objekata – univerzum i neka postoji X takvo da je $X \subseteq U$, pri čemu $x \in X$.

Uvodi se binarna relacija B na U, odnosno relacija nerazlikovanja. Neka je B podskup od A.

Definišu se sledeće operacije na skupovima:

$B * (X)$ -donja aproksimacija od X definisana je kako sledi:

$$B * X = \{x \in U : B(x) \subseteq U\} \quad (3)$$

$B * (X)$ -gornja aproksimacija od X definisana je kako sledi:

$$B * X = \{x \in U : B(x) \cap X \neq \emptyset\} \quad (4)$$

Granično područje X je skup

$$BN_B(X) = B * (X) - B * X \quad (5)$$

Ako je granično područje X prazan skup:

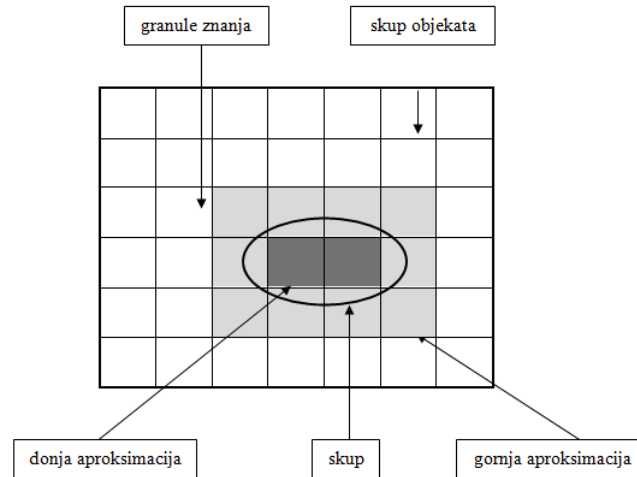
$$BN_B(X) = \emptyset \quad (6)$$

skup je oštar u odnosu na B, a u suprotnom slučaju

$$BN_B(X) \neq \emptyset \quad (7)$$

skup X je grub u odnosu na B

Prema tome, donja aproksimacija skupa je unija svih granula znanja koje su potpuno uključene, odnosno sadržane u skupu. Gornja aproksimacija je unija svih granula koje imaju ne-prazan presek sa skupom. Granično područje je razlika između gornje i donje aproksimacije.



Slika 1: Granule znanja, skupovi i aproksimacije

Mogu se definisati četiri osnovne klase grubih skupova, odnosno četiri kategorije nepreciznosti:

1. $B^*(X) \neq 0$ i $B^*(X) \neq U$, akko je X grubo B - određena
2. $B^*(X) \neq 0$ i $B^*(X) \neq U$, akko je X unutrašnje B - neodređena
3. $B^*(X) \neq 0$ i $B^*(X) = U$, akko je X spoljašnje B - određena
4. $B^*(X) \neq 0$ i $B^*(X) = U$, akko je X totalno B - neodređena

U teoriji grubih skupova postoje elementi (objekti) univerzuma koji se ne mogu sa sigurnošću svrstati u elemente nekog određenog skupa, i koji čine grubi skup. Zbog toga, da bi se problem nesigurnosti definisao, treba uvesti funkciju pripadnosti elemenata grubom skupu koja se naziva funkcija grube pripadnosti.

$$\alpha_B(X) = \frac{|B^*(X)|}{|B^*(X)|} \quad \text{pri čemu } 0 \leq \alpha_B(X) \leq 1 \quad (8)$$

gde je $|X|$ kardinalnost skupa X , $X \neq 0$. Koeficijent $\alpha_B(X)$ je tačnost aproksimacije pojma X .

Ukoliko je: $\alpha_B(X) = 1$ skup je oštar u odnosu na B , a ukoliko je: $\alpha_B(X) < 1$ skup je grub u odnosu na B

Funkcija grube pripadnosti objekta x grubom skupu se definiše na sledeći način

$$\mu_X^B(x) = \frac{|X \cap B(x)|}{|B(X)|} \quad \text{pri čemu je } 0 \leq \mu_X^B(x) \leq 1 \quad (9)$$



3. ALGORITMI ODLUČIVANJA ZA OCENU UZROKA POJAVE PRSLINE

U Tabeli 1. prikazane su vrednosti atributa uslova i atributa odluke za izabrane parametara pomoću kojih je analizirana mogućnost pojave prsline u AB elementima usled neadekvatne ugradnje ili nege betona. Usvojeno je 10 kriterijuma za vrednovanje i analizu konkretnog slučaja:

- vreme pojave prsline (A)
- oblik prsline (B)
- mesto pojave (C)
- kvalitet komponentnih materijala (D)
- vodocementni faktor ugrađenog betona (E)
- hidrometeorološki faktor rizika pri ugradnji negi betona (F)
- faktor agresivne sredine (G)
- potvrđeno pravilno armiranje (H)
- uticaji od spoljašnjeg opterećenja (I)
- privremeno preopterećenje (J)

Navedeni parametri predstavljaju atribute uslova, a parametar nepravilna ugradnja i nega betona predstavlja atribut odluke. Za atribut odluke usvojene su dve diskretne vrednosti (1-ugradnja i nega betona je uzrok pojave prsline; 2-ugradnja i nega betona nije uzrok pojave prsline).

Tabela 1. Tabela odlučivanja

	Atributi uslova										Atribut odluke
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	-	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	1	2
3	1	3	1	1	3	3	1	1	1	1	1
4	2	3	1	1	1	1	1	1	2	1	2
5	2	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1
6	2	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1
7	3	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1
8	-	3	1	3	3	1	1	2	3	1	2
9	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1
10	3	3	3	1	-	1	2	1	3	1	2
11	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
12	2	3	3	1	1	2	1	1	3	1	2
13	2	3	2	1	3	3	1	1	1	1	1
14	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	2	3	2	1	2	3	1	1	1	1	1
16	1	3	2	1	3	3	1	1	1	1	1
17	2	3	2	1	3	3	1	1	1	1	1
18	3	3	2	2	3	1	1	1	3	1	2
19	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1
20	2	3	3	1	2	1	2	1	2	1	1
21	1	1	2	1	-	2	1	1	1	1	1

A - *vreme pojave prsline*: opisuje vreme kada je primećena pojava prsline i usvojene su tri diskretne vrednosti (1-manje od 24h; 2-od1 do 10 dana; 3-preko 10 dana). U slučaju kada vreme pojave prsline nije bilo poznato, polje u tabeli je naznačeno sa '-'.
B - *oblik prsline*: definiše oblik prsline, pri čemu su date tri diskretne vrednosti (1-formirana mreža prsline na površini; 2-linijske prsline na površini; 3-linijske prsline u strukturi betona)

C - *mesto pojave*: opisuje oblast ili površinu na kojoj je primećena prslina. Usvojene su tri diskretne vrednosti (1-lokalno, samo na delu AB elementa; 2-duž celog AB elementa; 3-po celoj konstrukciji)

D - *kvalitet komponentnih materijala*: navedenim atributom uslova razmatra se mogućnost pojave prsline usled primene agregata sa svojstvima koja nisu podobna za primenu u betonu, ali i u retkim slučajevima kada kvalitet cementa ili vode nije zadovoljen. Usvojene su tri diskretne vrednosti (1-potvrđen kvalitet; 2-nisu ispitana svojstva komponentnih materijala; 3-komponentni materijali su potencijalni uzrok pojave prsline)

E - *vodocementni faktor*: definiše tri diskretne vrednosti za vodocementni faktor (1-za $w/c < 0.4$; 2- $0.4 < w/c < 0.5$; 3- $w/c > 0.5$)

F - *hidrometeorološki faktor rizika pri ugradnji i nege betona*: ovim atributom uslova razmatran je uticaj temperature vazduha tokom transporta, ugradnje i nege betona, brzine vetra, padavina... Usvojene su tri diskretne vrednosti (1- rizik nije prisutan; 2-rizik postoji; 3-rizik je izražen)

G - *faktor agresivnosti sredine*: opisuje mogućnost pojave prsline usled delovanja hemijskih agenasa na beton. Usvojene su dve diskretne vrednosti (1- ne postoji uticaj; 2-postoji uticaj)

H-*potvrđeno pravilno armiranje*: navedenim atributom se razmatra mogućnost pojave prsline usled neadekvatnog armiranja, odnosno postavljanja armature u položaj različit od projektovanog. Usvojene su dve diskretne vrednosti (1-potvrđeno pravilno armiranje; 2-nije potvrđeno pravilno armiranje)

I - *uticaji od spoljašnjeg opterećenja*: ovim atributom se pre svega analizira uticaj pojave prsline usled eksploatacionog opterećenja koja je u dozvoljenim granicama, ali se uzima u obzir i uticaj tečenja betona na moguću pojavu prsline. Usvojene su tri diskretne vrednosti (1-spoljašnji uticaji nisu relevantni; 2-spoljašnji uticaji su prisutni; 3-spoljašnji uticaji su izraženi, mogu uzrokovati pojavu prsline)

J - *privremeno preopterećenje*: definiše mogućnost pojave prsline usled privremenog preopterećenja (1-ne; 2-da).

Često se postavlja pitanje da li se može ukloniti neki od podataka iz tabele odlučivanja uz uslov očuvanja njenih osnovnih karakteristika. Reduktori predstavljaju minimalni podskup atributa koji omogućava istu klasifikaciju elemenata univerzuma kao kompletan skup atributa. Drugim rečima, attribute koji ne pripadaju reduktorima su suvišni u pogledu klasifikacije elemenata u univerzumu. Pronalaženje redukcija je esencijalni zadatak u teoriji grubih skupova. Za redukciju podataka i generisanje pravila odlučivanja u radu je korišćen *genetic algorithm reducer*.

Vreme_duz_merjenje	Oblik	Domeni_klasifikacije	Kvalitet_komponentnih_materijala	Vodocementni_faktor	Hidrometeorološki_faktor_rizika	Faktor_agresivnosti_sredine	Potvrđeno_armiranje	Faktor_spoljašnjih_uticaja	Privremeno_preopterećenje	Reprazentativnost
1	Undefined	1	2	2	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
4	2	3	1	1	1	1	1	1	2	1
5	2	1	1	2	2	3	3	1	1	1
6	2	1	2	2	3	3	1	1	1	1
7	3	1	1	2	3	3	1	1	1	1
8	Undefined	3	1	3	3	1	1	2	3	1
9	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1
10	3	3	3	3	1	1	2	1	3	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	2	3	3	3	1	1	2	1	1	3
13	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1
14	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	3	2	1	1	2	3	1	1	1
16	1	3	2	1	1	2	3	1	1	1
17	2	3	2	1	1	2	3	1	1	1
18	2	2	1	1	1	2	3	1	1	1
19	2	3	3	1	1	2	1	2	1	1
20	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1

Slika 2. Tabela odlučivanja - Rozeta

Reduct	Support	Length
{Vodocementni_faktor, Faktor_spoljašnjih_uticaja}	100	2
{Domeni_pojave, Faktor_spoljašnjih_uticaja}	100	2
{Faktor_agresivnosti_sredine, Faktor_spoljašnjih_uticaja}	100	2

Slika 3. Atributi nakon redukcije - Rozeta

Prikaz funkcija cilja algoritma, kao i način izbora minimalnog podskupa atributa detaljno je prikazan u radu Vinterbo i Øhrn [18]. Nakon primene *genetic algorithm reducer-a*, dobijene su tri grupe redukovanih atributa (Vodocementni_faktor, Faktor_spoljašnjih_uticaja); (Mesto_pojave, Faktor_spoljašnjih_uticaja); (Faktor_agresivnosti_sredine, Faktor_spoljašnjih_uticaja). Generisana pravila odlučivanja, kao krajnji cilj modelovanja imaju sledeću formu:

- Vodocementni_faktor(2) AND Faktor_spoljašnjih_uticaja(1) => Nepravilna_ugradnja_nega(1)
- Vodocementni_faktor(1) AND Faktor_spoljašnjih_uticaja(3) => Nepravilna_ugradnja_nega(2)
- Vodocementni_faktor(3) AND Faktor_spoljašnjih_uticaja(1) => Nepravilna_ugradnja_nega(1)
- Vodocementni_faktor(1) AND Faktor_spoljašnjih_uticaja(2) => Nepravilna_ugradnja_nega(2)
- Vodocementni_faktor(3) AND Faktor_spoljašnjih_uticaja(3) => Nepravilna_ugradnja_nega(2)
- Vodocementni_faktor(1) AND Faktor_spoljašnjih_uticaja(1) => Nepravilna_ugradnja_nega(1)



Vodocemetni_faktor(2) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(2) => Nepravilna_ugradnja_nega(1)
Mesto_pojave(2) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(1) => Nepravilna_ugradnja_nega(1)
Mesto_pojave(2) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(3) => Nepravilna_ugradnja_nega(2)
Mesto_pojave(1) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(1) => Nepravilna_ugradnja_nega(1)
Mesto_pojave(1) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(2) => Nepravilna_ugradnja_nega(2)
Mesto_pojave(1) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(3) => Nepravilna_ugradnja_nega(2)
Mesto_pojave(3) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(3) => Nepravilna_ugradnja_nega(2)
Mesto_pojave(3) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(2) => Nepravilna_ugradnja_nega(1)
Faktor_agresivne_sredine(1) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(1) => Nepravilna_ugradnja_nega(1)
Faktor_agresivne_sredine(1) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(3) => Nepravilna_ugradnja_nega(2)
Faktor_agresivne_sredine(1) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(2) => Nepravilna_ugradnja_nega(2)
Faktor_agresivne_sredine(2) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(3) => Nepravilna_ugradnja_nega(2)
Faktor_agresivne_sredine(2) AND Faktor_spoljasnji_uticaji(2) => Nepravilna_ugradnja_nega(1)

4. ZAKLJUČAK

Slike, Prikazana je mogućnost primene grubih skupona u podršci pri odlučivanju pri analizi pojave prslina u AB konstruktivnim elementima. Model je zasnovan na stohastičkom pristupu pri čemu su analizirani podaci u uslovima nepreciznosti i nesigurnosti sa nedostajućim podacima. Prikazana su pravila odlučivanja na osnovu ekspertskih odluka čime je dat doprinos tumačenju, analizi i klasifikaciji uzoraka pojave prslina, odnosno uticaja ugradnje i nege betona na pojavu prslina u AB konstrukciji.

Grubi skupovi predstavljaju pogodnu metodu za analizu kvantitativnih i kvalitativnih parametara kada usled nedovoljnog broja empirijskih ili eksperimentalnih podataka, konvencionalne statističke metode nisu primenljive. Kao jedna od savremenih tehnika mekog programiranja, pokazuje izuzetnu uspešnost u tretiranju problema u svakodnevnoj inženjerskoj praksi.

U tabeli odlučivanja prikazani su atributi uslova i atributi odluke, uz napomenu da pri modeliranju nije bilo neophodno poznavanje raspodele verovatnoće za usvojene attribute, kao ni predznanje o međusobnim relacijama. Nakon redukcije atributa, izdvojene su ključne grupe atributa (Vodocemetni_faktor, Faktor_spoljasnjih_uticaja), (Mesto_pojave, Faktor_spoljasnjih_uticaja),(Faktor_agresivne_sredine, Faktor_spoljasnjih_uticaja) za koje je analitički pokazano da imaju najveći uticaj na donesene odluke. Nakon primene grubih skupova interesantno je uporediti stav eksperata o atributima uslova nakon redukcije.

Na osnovu generisanih pravila odlučivanja, za definisane attribute uslova moguće je generisati attribute odluke uz napomenu da proširivanjem broja analiziranih događaja postoji mogućnost promene u strukturi podataka, odnosno postoji mogućnost promene atributa uslova nakon redukcije.

ZAHVALNICA

Autori zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci u okviru projekata TR-36017.

LITERATURA

- [1] ACI 224.1R-07, Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures.
- [2] Attoh-Okine, N., *Rough set application to data mining principles in pavement management database*, Journal of Computing in Civil Engineering (ASCE), 11(4),1997,231–237.
- [3] Cirovic, G., Cekic, Z., *Case-based reasoning model applied as a decision support for construction projects*, Kybernetes – The International Journal of Systems & Cybernetics, 31(6), 2002, 896-908.
- [4] Ćirović, G., Plamenac, D., *Rough sets – application in the construction industry*, Operational Research Society, Belgrade, 2005, 224.
- [5] EN 1504(1-10), Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity
- [6] Folić, R., *A classification of damage to concrete buildings in earthquakes, illustrated by examples*, Materials and Structures, 24(4), 1991,286-292.



- [7] Folić, R., Durability design of concrete structures - Part 1: Analysis fundamentals, FACTA UNIVERSITATIS, Series: Architecture and Civil Engineering, 7(1), 2009, 1-18
- [8] Glinicki, M., Litorowicz, A., Crack system evaluation in concrete elements at mesoscale, Bulletin of the Polish academy of sciences technical sciences, 54(4), 2006, 371-379
- [9] <http://www.lcb.uu.se/tools/rosetta/>, zvanična internet prezentacija softvera Rosetta
- [10] Kim, Y.M., Kim, C.K., Lee, J., C., *Rough set algorithm for crack category determination of reinforced concrete structures*, Advances in Engineering Software, 40, 2009, 202–211.
- [11] Pavišić, M., *Ocena integriteta betonskih konstrukcija na osnovu rizika*, Integritet i vek konstrukcija, 7(1), 2007, str. 29-36.
- [12] Pawlak, Z., *Rough Sets*, International Journal of Computer and Information Science, 11, 1982, 341-356
- [13] Sivakumar, A., Manu Santhanam, M., *A quantitative study on the plastic shrinkage cracking in high strength hybrid fibre reinforced concrete*, Cement and Concrete Composites, 29(7), 2007, str. 575–581.
- [14] Vinterbo, S., Øhrn, A., *Minimal approximate hitting sets and rule templates*, International Journal of Approximate Reasoning, 25(2), 2000, 123–143.



ZNAČAJ GEOGRAFSKE ORJENTACIJE I NAGIBA PANELA NA ENERGETSKU EFIKASNOST SOLARNIH PANELA

SIGNIFICANCE OF THE GEOGRAPHICAL ORIENTATION AND INCLINATION OF THE PANELS TO THE ENERGY EFFICIENCY OF SOLAR PANELS

DRAGOLJUB MIRJANIĆ¹, LJUBIŠA PRERADOVIĆ², DARKO DIVNIĆ¹

¹ Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, Banja Luka, Republika Srpska, mirjanicd@gmail.com, divnic@gmail.com

² Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska, ljubisa.preradovic@aggf.unibl.org

Rezime: Koristeći fotonaponsku tehnologiju i solarne panele za konverziju energije Sunca u električnu energiju dobijamo najčistiji oblik obnovljivih izvora energije. Geografska lokacija, orijentacija i nagib su parametri koji najviše utiču na energetska efikasnost fotonaponskih panela. Rezultati u ambijentalnim uslovima rada se razlikuju od onih dobijenih mjerenjem u kontrolisanim laboratorijskim uslovima. Zbog toga su u ovom radu, u radnim ambijentalnim uslovima, ispitivani uticaji intenziteta sunčevog zračenja, na fizičke karakteristike polikristalnih silicijumskih panela koji su različito orijentisani i imaju različit ugao nagiba. Budući da se oni mogu koristiti kao zidni, fasadni i krovni elementi građevinskih objekata možemo ih posmatrati kao dio BIPV sistema..

Ključne reči: energetska efikasnost, geografska orijentacija, nagib panela, solarni panel.

Abstract: Using photovoltaic technology and solar panels for converting solar energy to electricity, we get the cleanest form of renewable energy sources. Geographical location, orientation and inclination are the parameters that most affect the energy efficiency of photovoltaic panels. The results in ambient operating conditions differ from those obtained by measurement in controlled laboratory conditions. In this work are investigated, the effects of intensity of solar radiation on the physical characteristics of polycrystalline silicon panels, which are differently orientated and have different angle of inclination, in working ambient conditions. Since they can be used as wall, façade and roof elements of buildings, we can consider them as part of the BIPV system..

Keywords: energy efficiency, geographical orientation, panel inclination, solar panel.

1. UVOD

Solarna energija predstavlja najčišći oblik obnovljivih izvora energije, pri čemu fotonaponske (PV) tehnologije omogućuju jednostavno pretvaranje takve energije u električnu energiju pomoću PV solarnih panela[1-3].

Fotonaponski sistem su u posljednje vrijeme veoma zastupljeni u razvoju novih oblika gradnje fasada, instalacije krovni sistema, i kao takvi mogu pružiti sve više i više ekoloških, estetskih, socioekonomskih i tehničkih prednosti[3-5].

PV se koriste kao građevinski materijali, koji omogućuju inovativne arhitektonske projekte, a razni tipovi panela imaju nekoliko zanimljivih estetskih efekata. Nadalje, oni mogu ponuditi različite prozirnosti svjetlosti, zavisno o zahtjevima i dizajnu. Polikristalne silikonske solarne ćelije koje imaju nešto manju energetska efikasnost od monokristalnih, ali i nižu cijenu po m² i prepoznatljiv izgled čine ih popularnim izborom za relativno velike, instalacije koje služe kao jaki dizajnerski element. Opsežno se koriste u fasadnim pločama i ostalim elementima za na komercijalnim zgradama[2-8].

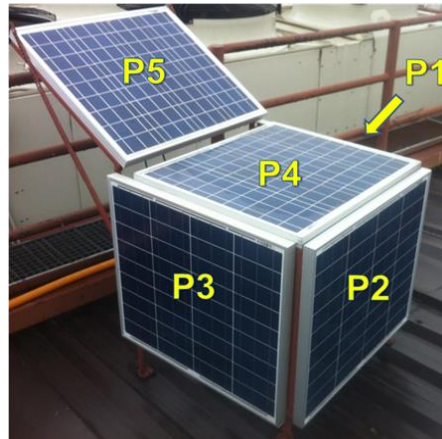
Građevinski integrirani fotonaponski sistemi (BIPV) su PV materijali koji zamjenjuju konvencionalne građevinske materijale u vanjskim dijelovima zgrade, poput krovova ili fasada. BIPV se smatra funkcionalnim dijelom građevinske strukture, ili su arhitektonski integrirani u dizajn zgrade[5-12].

2. EKSPERIMENTALNA MJERENJA

Eksperimentalna mjerenja parametara u radu su vršena u Laboratoriji za solarnu energetiku Akademije nauka i umjetnosti Republike Srpske u Banjoj Luci u trajanju od 1. septembra 2014. godine zaključno sa 31. decembrom 2017. godine, u intervalima od 15 minuta. Eksperimentalni sistem, na slici 1, je sastavljen od pet

polikristalnih panela snage 50Wp i površine 0,407 m², pričvršćenih na krovnu čeličnu konstrukciju i orijentisanih na sljedeći način: Panel 1 – sa vertikalnim nagibom orijentisan prema Istoku, Panel 2 – sa vertikalnim nagibom orijentisan prema Jugu, Panel 3 – sa vertikalnim nagibom orijentisan prema zapadu, Panel 4 – horizontalno postavljeni panel, Panel 5 – orijentisan prema jugu pod nagibom 33° što predstavlja optimalan godišnji nagib i orijentaciju fiksnih solarnih panela za Banja Luku (Latitude 44°46'0" North, Longitude 17°10'59" East)[9-14].

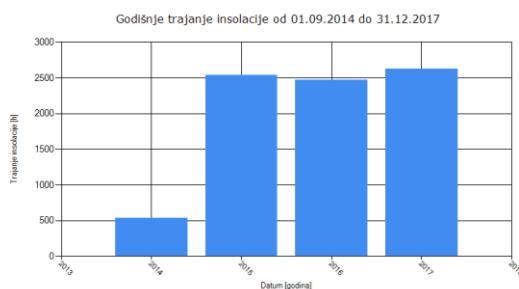
Fizičke karakteristike solarnih panela (energetska efikasnost, snaga, strujno naponske karakteristike) su mjereni pomoću UV analizatora PV-KLA (Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeye, Germany) i uređaja za automatsku kontrolu mjerenja SolarUsb[7-12].



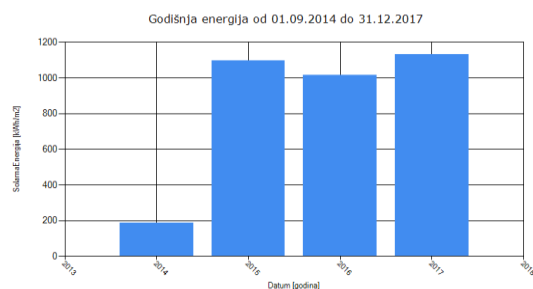
Slika 1. Eksperimentalni sistem (SolarBox) sa pet različito orijentisanih solarnih panela

3. REZULTATI MJERENJA I DISKUSIJA

Prosječno izmjereno godišnje trajanje insolacije tokom mjernog perioda je 2513 sata, a prosječno godišnje sunčevo zračenje koje pada na kvadratni metar površine je 2167.46 kW/m². Trajanje ukupne insolacije izmjerene po godinama prikazano je na slici 2, najveće je u 2017. godini i iznosi 2640h, a intenzitet solarnog zračenja po godinama, koji je pao na kvadratni metar horizontalne površine prikazan je na slici 3. i dostiže najveću vrijednost 2.279.45 kW/m².

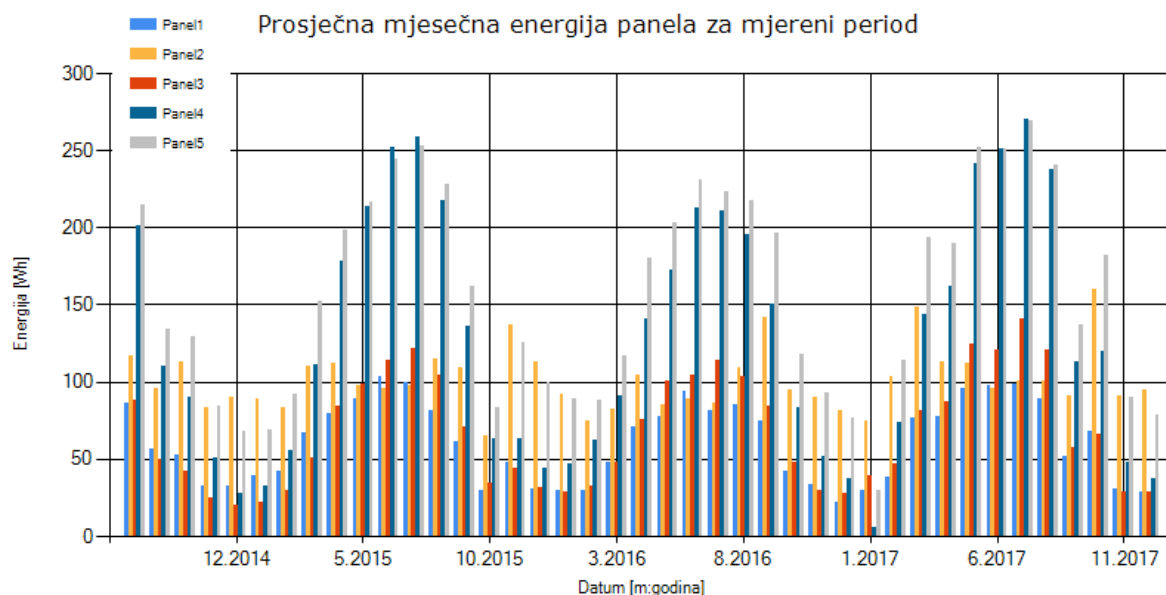


Slika 2. Ukupna insolacija po godinama za mjerni period

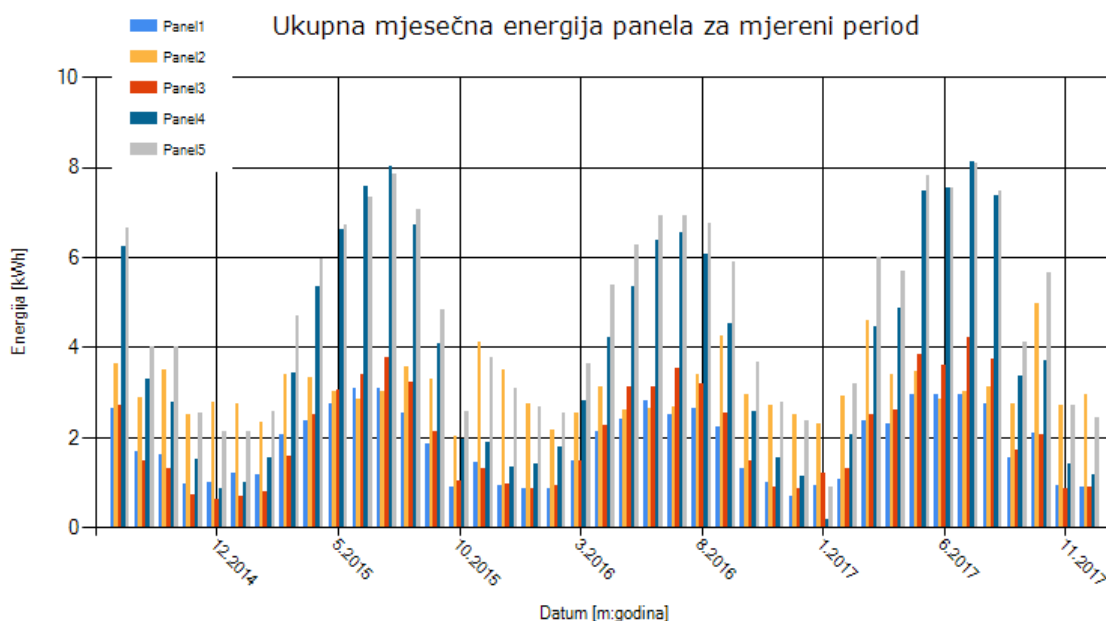


Slika 3. Ukupna solarna radijacija po godinama za mjerni period

Prosječna mjesečna električna energija (slika 4), horizontalno postavljenog panela je samo u mjesecu junu i julu veća od prosječne mjesečne energije idealno postavljenog panela i dostiže maksimalnu vrijednost u julu 2017. od 270,41Wh (slika 5). Najviša prosječna vrijednost energije idealno orijentisanog panela 5 je 269,66Wh u mjesecu julu 2017, panela 2 u oktobru 2017 je 160,50Wh, a panela1 je 103.41Wh u junu i panela 3 je 140,78Wh u julu 2017. Horizontalni panel je u mjesecu julu generiše prosječno 6,7 puta više energije negu u mjesecu decembru, a idealno orijentisani panel u julu generiše 3.07 puta više energije nego u decembru. Ukupna električna energija koju je generisao svaki od panela u mjernom periodu prikazana je na slici 5.

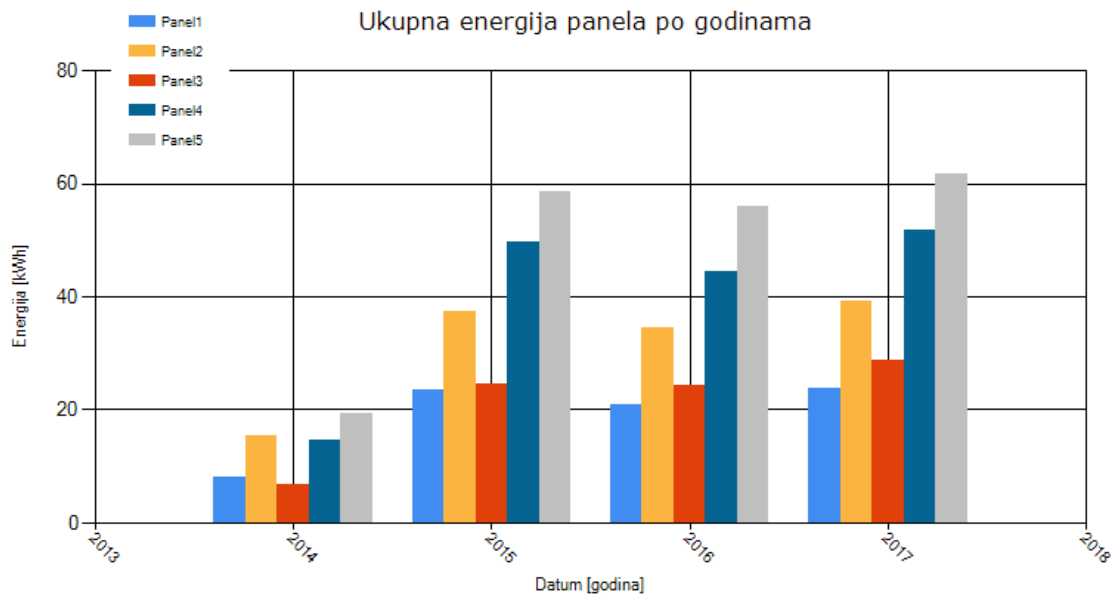


Slika 4. Izmjerena prosječna mjesečna električna energija svakog panela u mjernom periodu



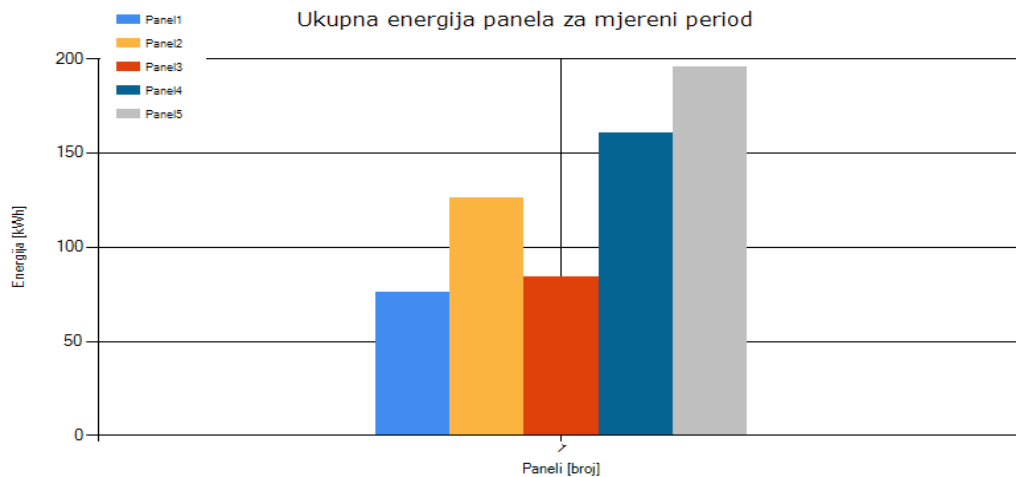
Slika 5. Izmjerena ukupna mjesečna električna energija svakog panela u mjernom periodu

Sa slike se vidi da u ljetnim mjesecima najveći prinos energije imaju idealno orjentisan panel 5, prosječno 7,6kWh mjesečno i horizontalni panel 4 - 7.5kWh, dok u zimskom periodu panel 2 sa vertikalnim nagibom orjentisan prema jugu 2,9kWh i idealno orjentisani panel sa mjesečnim prosjekom 2.5kWh. Ukupna proizvedena energija po godinama za mjereni period prikazana je na slici 6.



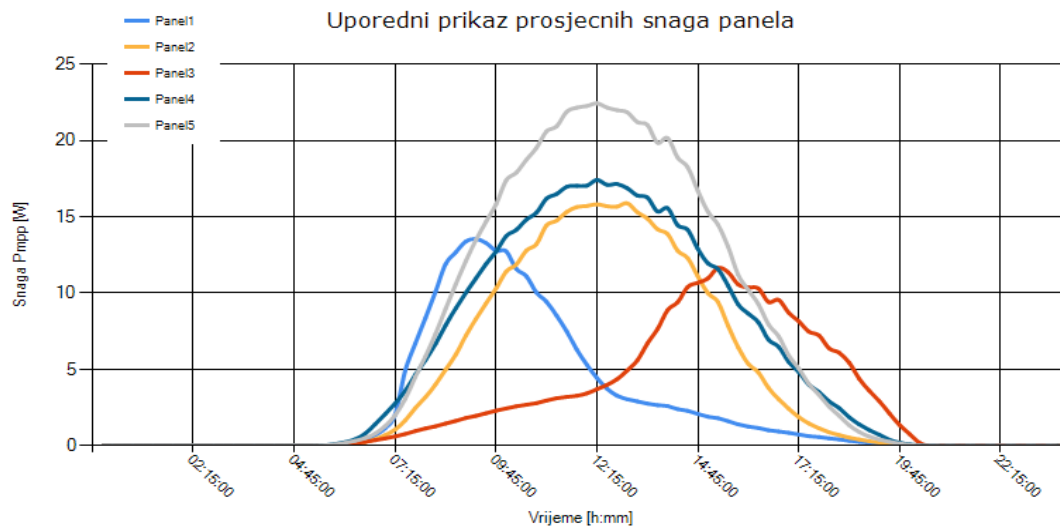
Slika 6. Izmjerena ukupna mjesečna električna energija svakog panela po godinama za mjerni period

Ukupna električna energija koju je generisao svaki od panela u mjernom periodu prikazana je na slici 7. Idealno orijentisani panel 5 je generisao najviše energije: 195.4kWh, slijede horizontalno postavljeni panel 4 sa 160.42kWh i vertikalno prema jugu postavljeni panel 2 sa 126,06kWh, panela 1 sa 76.30kWh i panel 3 sa 23.91kWh. Dok prosječno godišnje Panel 5 proizvede 58,7kWh, Panel 4 – 48,57kWh, Panel 2 – 36,91 kWh, Panel 3 – 25.84 kWh i panel 122,77kWh energije, respektivno.



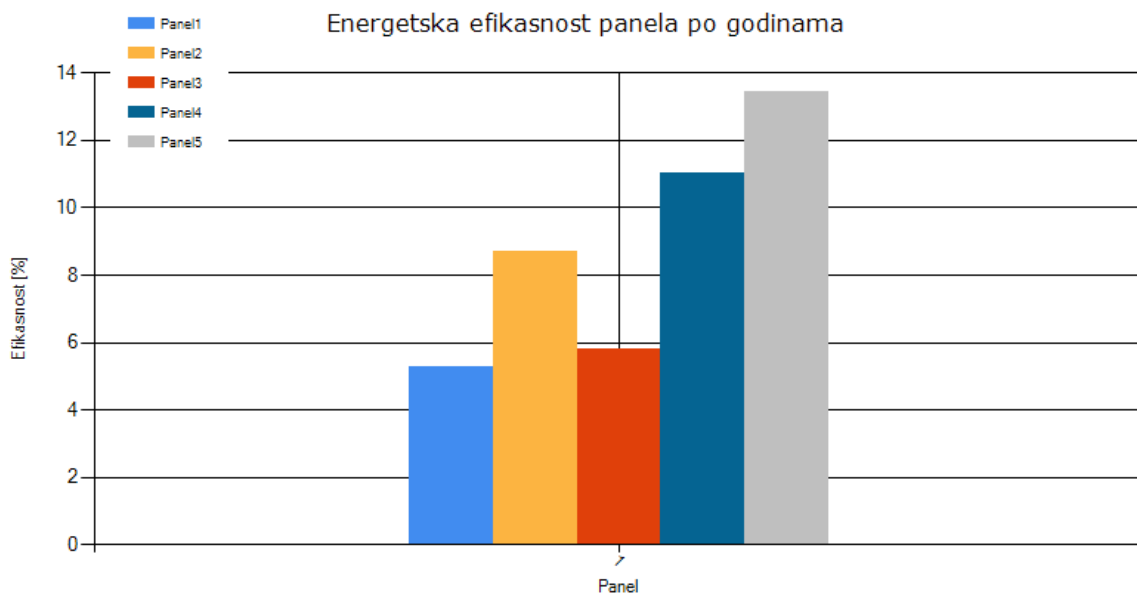
Slika 7. Ukupna električna energija koju je generisao svaki od panela u mjernom periodu

Prosječni iznosi izmjerenih snaga Pmpp svih pojedinačnih panela tokom dana za cijeli mjerni period prikazani su na slici 8. Prosječna snaga u toku dana dostigne maksimalnu vrijednost na idealno orijentisanom panelu P5 u 12:15h i iznosi 22.42W, panela 4 u isto vrijeme 17.41W, panela 2 u 13:00h 15.89W, panela 1 u 9:15h 13.54W i panela3 u 15:15W iznosi 11.95W.



Slika 8. Grafički prikaz prosječnih iznosa snaga Pmpp pojedinačnih panela za svaki interval vremena tokom mjernog perioda

Energetska efikasnost panela za mjerni period prikazana je na slici 9 i za idealno orijentisani panel 1 je najveća i iznosi 13.44%, slijede horizontalni panel 4 sa 11.03%, te panel 2 sa 8.67%, panel 3 sa 5,81% i za panel 1 iznosi 5.26%.



Slika 9. Grafički prikaz ukupne energetske efikasnosti pojedinačnih panela za mjerni period

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata mjerenja u periodu od 1. septembra 2014. do 31. decembra 2017.god, najveći prinos električne energije P5-195.4kWh, je generisao panela optimalne orijentacije i ugla nagiba, dok su ostali paneli redom generisali horizontalno postavljene panel P4-160.42kWh, južno orijentisani sa vertikalnim nagibom P2-126,06kWh, istočno orijentisani sa vertikalnim nagibom P1-76.30kWh, i najmanje zapadno orijentisani sa vertikalnim nagibom P3-23.91kWh. Dok su prosječno godišnje panel 5 proizvede 58,7kWh, Panel 4 – 48,57kWh, Panel 2 – 36,91 kWh, Panel 3 – 25.84 kWh i panel 122,77kWh energije, respektivno.



Prosječna energetska efikasnost u jednogodišnjem periodu mjerenja optimalno orijentisanog panela je najveća i iznosi P5-13.44%, slijede horizontalni P4-11.03%, zatim respektivno, paneli sa vertikalnim nagibom orijentisani prema: jugu P2-8.67%, istoku P3-5,81% i prema zapadu P1-5.26%. Prosječno izmjereno trajanje insolacije tokom mjernog perioda od godinu dana je 2513 sata sa ukupnim sunčevim zračenjem koje pada na kvadratni metar površine 2167.46kWh/m².

Na osnovu prezentovanih rezultata može se zaključiti da se pomoću solarnog panela orijentisanom prema jugu, pod nagibom od 33° dobijaju najveće vrijednosti proizvedene energije tako je i njegova energetska efikasnost najveća, dok paneli orijentisani prema jugu sa vertikalnim nagibom daju najbolje rezultate u zimskom periodu. Energetska efikasnost solarnih panela se povećava shodno povećanju intenziteta sunčevog zračenja koje pada na solarne panele, a smanjuje pri porastu ambijentalne temperature i temperature solarnih panela.

Ovakvo orijentisani solarni paneli se koriste u fasadnim pločama i ostalim elementima za na komercijalnim zgradama i dio su BIPV sistema. Sistem BIPV služi kao zidni materijal i generator energije jer PV paneli mogu smanjiti upotrebu građevinskog materijala i ostvariti značajne uštede u pogledu troškova montaže. Pravnom orijentacijom i nagibom možemo učiniti da ovakvi BIPV sistemi rade sa najvećom mogućom energetskom efikasnošću.

5. ZAHVALNICA

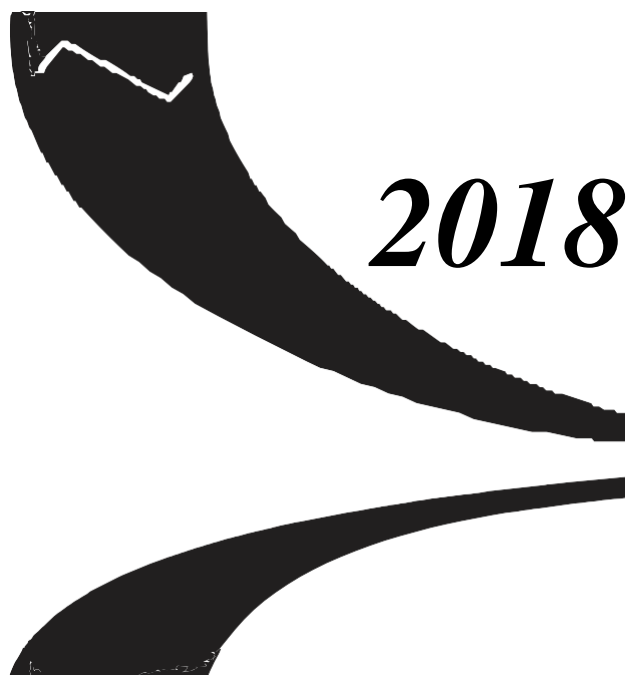
Rad je izrađen uz podršku Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srpske.

LITERATURA

- [1] Pavlović T., Milosavljević D., Mirjanić D., *Obnovljivi izvori energije [Renewable Energy Sources]*, Banja Luka, Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, 2013, pp. 1-364.
- [2] S. Pless, M. Deru, P. Torcellini, and S. Hayter, *Procedure for Measuring and Reporting the Performance of Photovoltaic Systems in Buildings*, Technical Report NREL/TP-550-38603, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado USA, 2005
- [3] Antonio Luque, Steven Hegedus, *HANDBOOK OF PHOTOVOLTAIC SCIENCE AND ENGINEERING*, Second Edition, 2011, John Wiley & Sons, str. 1-1166. ISBN: 978-0-470-72169-8
- [4] Maria Carmela Di Piazza, Gianpaolo Vitale, *PHOTOVOLTAIC SOURCES MODELING AND EMULATION*, Springer-Verlag London 2013, DOI 10.1007/978-1-4471-4378-9
- [5] Pless S., Deru M., Torcellini P., Hayter S., *Procedure for Measuring and Reporting the Performance of Photovoltaic Systems in Buildings*, 2005, National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA
- [6] Haberlin H. *Photovoltaics: system design and practice*, 2012, John Wiley & Sons, UK
- [7] I.S.Radonjić, T.M.Pavlović, D.Lj.Mirjanić, M.K.Radović, D.D.Milosavljević, L.S.Pantić *INVESTIGATION OF THE IMPACT OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS ON SOLAR MODULE ENERGY EFFICIENCY*, Thermal Science, Vol.21, No.5(2017)2021-2030.
- [8] I.S.Radonjić, T.M.Pavlović, D.Lj.Mirjanić, M.K.Radović, *INVESTIGATION OF THE ENERGY EFFICIENCY OF SOILED SOLAR MODULE MOUNTED AT THE OPTIMAL ANGLE*, Journal of the Technical University of Gabrovo, Vol. 56 (2018) 134-137.
- [9] D. D. Milosavljević, D. Lj. Mirjanić, T. M. Pavlović, D. Divnić, *PHOTOVOLTAIC SOLAR PLANTS IN THE REPUBLIC OF SRPSKA – CURRENT STATE AND PERSPECTIVES*, Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol.62 (2016) 546-560.
- [10] D. D. Milosavljević, D. Lj. Mirjanić, T. M. Pavlović, D. M. Divnić, D. S. Piršl, *ENERGY EFFICIENCY OF PV SOLAR PLANT IN REAL CLIMATE CONDITIONS IN BANJA LUKA*, Thermal Science, Vol.19(2015)331-338.
- [11] L. S. Pantić, T. M. Pavlović, D. D. Milosavljević, D. Lj. Mirjanić, I. S. Radonjić, M. K. Radović *ELECTRICAL ENERGY GENERATION WITH DIFFERENTLY ORIENTED PHOTOVOLTAIC MODULES AS FAÇADE ELEMENTS*, Thermal Science, Vol.20, No.4(2016)1377-1386.



- [12]T. M. Pavlović, D.D. Milosavljević, D.Lj. Mirjanić, L. S. Pantić, I. S. Radonjić, D. Piršl, Assessments and perspectives of PV solar power engineering in the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina), *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18 (2013) 119–133.



2018

***PRIMENE OPERACIONIH
ISTRAŽIVANJA U
MENADŽMENTU***



DIGITALNA ORGANIZACIJA

DIGITAL ORGANIZATION

ANA ALEKSIĆ MIRIĆ¹

MIRJANA PETKOVIĆ²

¹²Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, anaa@ekof.bg.ac.rs

Rezime: *Digitalne tehnologije transformišu globalnu ekonomiju, menjaju pravila poslovanja, uvode nove oblike ponašanja zaposlenih i redefinišu kategoriju poslovnog uspeha. One menjaju način na koji organizacije rade: kompanije prepoznaju da im digitalne tehnologije omogućavaju da obavljaju svoje poslovanje sa većom brzinom i nižim troškovima i, u mnogim slučajevima, svojim kupcima nude mogućnost da učestvuju u dizajniranju i stvaranju proizvoda i usluga. Iznutra, digitalizacija daje mogućnost za drugačijom podelom poslova i otvara čitavu paletu novih mehanizama koordinacije koji su zasnovani na modernoj informaciono-komunikacionoj tehnologiji. U ovom radu bavićemo se digitalnom organizacijom – organizacijom koja ima sposobnosti da pametno kombinuje napredne tehnologije i znanje, koje imaju njeni zaposleni, kako bi svoje poslove obavljala sa boljim učinkom. Analiziraćemo karakteristike dizajna digitalne organizacije, implikacije koje digitalna organizacija ima na ponašanje zaposlenih i upravljanje ljudima u organizaciji i kako organizacije koriste digitalne tehnologije kako bi povećale svoju efikasnost i efektivnost.*

Ključne reči: *Digitalna organizacija, organizacioni dizajn, digitalne tehnologije, upravljanje znanjem*

Abstract: *Digital technologies transform the global economy, change business rules, introduce new forms of employee behavior and redefine the category of business success. They change the way organizations work: companies recognize that digital technologies allow them to perform their business at higher speeds and lower costs and, in many cases, offer their customers the opportunity to participate in the design and creation of products and services; from the inside, digitization provides the opportunity for a different task design and enables a whole new portfolio of coordination mechanisms based on a modern information and communication technology. In this paper we deal with a digital organization - an organization that has the ability to smartly combine the advanced technologies and knowledge that its employees have in order to perform their tasks with better effect. We will analyze the characteristics of digital organization design, the implications digital organization has on the behavior of employees and management of people in the organization, and how organizations use digital technologies to increase their efficiency and effectiveness.*

Keywords: *digital organization, organization design, digital technologies, knowledge management*

1. UVOD

Organizacija rada ljudi u najrazličitijim kontekstima, vremenima i kulturama, uvek je bila pod dominantnim uticajem tehnologije. Način na koji su ljudi radili u organizovanim radnim sredinama, uticao je da se pojedine civilizacijske epohe razlikuju jedna od druge. Taj način na koji se radi predstavlja tehnologiju, koja uključuje mehaničke komponente (mašine, oruđa, alate, ono što danas nazivamo hardver), kao i procedure, pravila i standarde, kojima se definiše postupak obavljanja operacija, odnosno pisanu dokumentaciju koja objašnjava kako se radi (softver). Takođe, u eri porasta značaja ljudskih resursa, tehnologija uključuje i socijalne aspekte, koji objašnjavaju prirodu odnosa u procesu obavljanja operacija, odnosno koliko su zaposleni u procesu rada samostalni, koliko imaju autoriteta da utiču na proces obavljanja operacija, ili su puki privezak mašini.

Od perioda klasičnog menadžmenta i organizacije, tehnologija je prešla dug razvojni put, koji je imao velike uzlete sa značajnim implikacijama na menadžment i organizaciju. Mehanička tehnologija je imala dramatičan uticaj na razvoj ekonomije, doprinela je da se razvije efikasan model organizacije, sa elementima hijerarhije, standardizovanim inputima, operacijama i autputima. Takozvani *model mašinske birokratije* dugo je bio



okosnica uspešnog razvoja velikih svetskih kompanija. Međutim, danas informaciona tehnologija je u osnovi promenila mnoge definicije, pa i definiciju organizacije, biznisa, radnog mesta, zaposlenog i njegov status i položaj u organizaciji.

Digitalne tehnologije transformišu globalnu ekonomiju. Govoreći o ovoj transformaciji, mnogi su zagovarali da će nova digitalna ekonomija da „pojede“ staru industrijsku ekonomiju. Za razliku od starijih tehnologija, koje uglavnom proizvode fiksne fizičke autpute, digitalne tehnologije su intenzivne informacijama, sa velikim potencijalom da generišu značajno znanje a pri tome generativne i mogu se kombinovati i rekombinovati beskrajno u nove svrhe [13]. U mnogim slučajevima, digitalne tehnologije takođe mogu omogućiti replikaciju i distribuciju proizvoda i usluga po skoro nultim marginalnim troškovima [13, 15].

Nije prvi put da se to dešava civilizaciji i poslovnom svetu [3, 7]. Tehnologija je oduvek imala ulogu jednog od najvažnijih faktora organizacionih promena. Civilizacija je iskoračila iz sveta elektromehaničkih mašina u svet u kojem se digitalni signali kreiraju, čuvaju i prenose na velike udaljenosti. Kompjuterski zasnovani sistemi upravljanja i kontrole doveli su do velikih ušteda u vremenu, tako da su menadžeri i zaposleni oslobođeni brojnih rutinskih i monotonih poslova, a time, smatra se, treba da imaju više vremena za kreativnost i slobodne aktivnosti. Razvoj tehnologije, a naročito one koja je zasnovana na informacijama, u mnogome je promenio tradicionalni način upravljanja, pre svega tradicionalni princip organizacione kontrole kroz hijerarhiju i afirmisao fleksibilnost kao imperativ. Da li su organizacije spremne? Zapravo, neka istraživanja [4] koja su obuhvatila više od 1.000 izvršnih direktora (iz 131 zemlje i 27 industrija, u organizacijama različitih veličina), pokazuje da 90% rukovodilaca smatra da su njihovi poslovi ozbiljno pogođeni ili promenjeni digitalnim poslovnim modelima, a 70% smatra da nemaju odgovarajuće veštine, lidere ili operativnu strukturu kako bi se prilagodili. Dakle, i pored brojnih prednosti digitalizacije koje nalazimo u literaturi, treba biti realan i zapitati se, a kako stvari stoje na terenu? Koliko je kompanija u svetu digitalizovano? Koliko je banaka uvelo u primenu blokčejn tehnologiju, koliko je trgovinskih, ugostiteljskih i drugih uslužnih organizacija uspelo da implementira i efektivno koristi big data? Koliko to košta organizacije? Da li su sve i po svaku cenu spremne za digitalizaciju? Ovo pitanje ima smisla jer smo svedoci da mnoge inovacije u organizaciji i menadžmentu nisu masovno prihvaćene upravo zbog troškova (kupovina tehnologije, održavanje, budžet zarada, itd).

U ovom radu fokus je na uticaju digitalizacije na organizacioni dizajn i upravljanje ponašanjem zaposlenih u organizaciji. Područje digitalne tehnologije uključuje “kompjuterski hardver, softver, prenosne mreže, protokole, programske jezike, kompleksne algoritme i sve komponente i prakse koje pripadaju ovim različitim tehnologijama” [13]. Digitalna tehnologija omogućava da se ogromne količine informacija lako integrišu, čuvaju i prenose i podaci pokazuju da ona ubrzano menja način na koji se posao obavlja i kako se ljudi ponašaju na poslu [8, 9, 10, 15, 16]. U radu analiziramo (1) kako digitalizacija utiče na strukturu organizacije, koje se promene u dizajnu organizacionih jedinica i/ili dizajnu posla mogu očekivati ili koje promene treba sprovesti da bi se proces digitalizacije adekvatno podržao i (2) da li postoje i ako postoje kakve su implikacije digitalizacije na liderstvo i ponašanje zaposlenih u organizacijama.

2. KAKO DIGITALNA ORGANIZACIJA UTIČE NA STRUKTURU ORGANIZACIJE I ŠTA NAM NOVO DONOSI?

Od prvih napisa o informatizovanoj organizaciji kao organizaciji budućnosti do danas, organizaciona teorija i praksa generisale su značajnu bazu znanja o međuzavisnosti informacione tehnologije i organizacije. Ali konstantan napredak tehnologije i njen vrlo često revolucionaran uticaj na poslovanje postavlja potrebu stalnog praćenja i obogaćivanja ovih saznanja, tako da je ovo vrlo živo područje nauke o organizaciji, koje postaje i izrazito interdisciplinarno. Digitalizacija je svakako pokrenuta i podržana razvojem informaciono-komunikacionih tehnologija. Tehnologija je omogućava i unapređuje. Ali, digitalizacija je daleko više od primene tehnoloških novina jer digitalna tehnologija ne menja samo način na koji organizacije funkcionišu, već i način na koji razmišljamo o organizovanju. Poslednjih godina, digitalna tehnologija menja jednu industriju za drugom [8, 9, 10, 13] i brzo transformiše način na koji ljudi komuniciraju, uče i rade. Mnogi proizvodi i usluge su u potpunosti ili delimično digitalizovani, a potrošači digitalizaciju doživljavaju kao konkurentsku prednost organizacije i neretko ona je faktor odlučujući za potrošačev izbor [8].



Organizacioni odgovori na tehnološke promene su bili uglavnom postepeno i delom omogućeni IT poboljšanjima koja su dopuštala veći obim i dimenzionalnost organizacione kontrole i koordinacije. Digitalne tehnologije igraju ulogu u svim aspektima rada, kontrole i koordinacije aktivnosti organizacija [5,13]. U širem smislu, koriste se za automatizaciju i povećavanje zadataka, komunikaciju interno među članovima organizacija i eksterno sa klijentima i partnerim. IT i na njoj zasnovana organizaciona rešenja unela su potpuno nove uslove za rad, prevazilazeći značaj prostornih i vremenskih granica i podržavajući razvoj novih strukturnih formi, poslovnih procesa i odnosa među ljudima, a to se može sagledati kako na intraorganizacionom, tako i na interorganizacionom nivou [4, 5, 13].

Intraorganizacioni dizajn. Osnovna implikacija primene informacione tehnologije na organizacionu strukturu ogleda se u smanjenju broja hijerarhijskih nivoa i tanjenju organizacije, s obzirom na to da IT smanjuje potrebu za menadžerima srednjeg nivoa kao posrednicima između vrha i operative. Pre kompjuterskog doba organizaciona hijerarhija je bila osnovni način prikupljanja informacija [4, 5, 13]. Do razvitka modernih, na kompjuterima zasnovanih informacionih sistema (IS) nije bilo očigledne alternative organizacionoj hijerarhiji [7]. Danas je IT ponudila alternativu hijerarhizovanoj birokratskoj strukturi kao mehanizmu prikupljanja informacija i kao rezultat njene primene došlo je do smanjenja organizacione hijerarhije i povećanja horizontalnih tokova informacija unutar i između organizacija. Na taj način što je menadžerima obezbedila odgovarajuće, blagovremene i potpune informacije, IT je smanjila potrebu za brojnim hijerarhijskim nivoima, ubrzala protok informacija kroz organizaciju i doprinela značajnim uštedama vremena potrebnog za komuniciranje. Većina ovih adaptivnih odgovora su postignuti unutar postojećih hijerarhijskih oblika organizovanja [13]. Posledično, IT je u literaturi i praksi opravdala epitet razbijača birokratije [7]. Menadžeri na vrhu organizacione hijerarhije uvođenjem na informacijama zasnovanih tehnologija, dobijaju moćno oružje u svojim rukama: povećavaju sopstveni raspon kontrole i bogatstvo informacija koje su im neposredno dostupne. Na taj način gubi se potreba za glomaznom hijerarhizovanim strukturom kao tradicionalnim mehanizmom za prikupljanje informacija i menadžment nivoima koji su u tom sistemu imali ulogu posrednika.

Interorganizacioni dizajn. IT je podržala razvoj interorganizacionih formi i brojnih oblika interorganizacionih odnosa, kao što su mreže, partnerstva, alijanse, klasteri, i sl. Sa razvojem IT razvijeni su vrlo sofisticirani sistemi, danas zasnovani na big data logici, koji značajno uvećavaju bogatstvo informacija koje su menadžerima na raspolaganju. Primena IT je podržala razvoj fleksibilnih, mrežnih organizacionih formi, kojima su povezane organizacije koje autorsuju veći deo svojih aktivnosti u lancu vrednosti, u kojima organizacija lider zadržava ulogu centrale kao stratega i koordinatora kao svoju bazičnu kompetentnost [13]. Danas je tu blokčejn tehnologija, koja obećava da tektonskim pokretima može da promeni način na koji funkcionišu lanci vrednosti i snabdevanja. Tehnološke manifestacije ovih tektonskih pokreta u dizajnu organizacije su jasno vidljive, kao i promene na radnom mestu i promene u interorganizacionim odnosima. Prevazilazeći i ne osvrćući se na primenu blokčejna u domenu kriptovaluta, evidentno je da on ima potencijal da interorganizacione odnose izgradi na principima demokratske decentralizacije, realnog (mašinski generisanog) poverenja i transparentnosti. Njene primene u tom domenu mogu da izazovu revoluciju sličnu onoj koju je svojom pojavom doneo sam Internet.

Šta digitalna agenda donosi novo načinu organizacije posla?

- *Potpuno digitalno preduzeće je moćna kombinacija ljudi, tehnologije i organizacione sposobnosti koja je dobro prilagođena današnjem ekonomskom i društvenom okruženju.* Principi novog organizacionog dizajna su slični onima koji se koriste u dizajnu same digitalne tehnologije. Njihovi koreni nalaze se u sistemima orijentisanim na objekat i u arhitekturi Interneta [4, 13].
- Digitalno organizovanje znači saradnju sa više entiteta i manje oslanjanja na hijerarhiju u cilju kontrole i koordinacije. Ono takođe podrazumeva *osnaživanje zaposlenih, partnera i korisnika digitalnih alata za stvaranje i produkciju proizvoda i usluge, kao i pružanje digitalnih platformi za samoorganizovanu saradnju.* Kao agilni organizacioni oblik, digitalna organizacija će biti popunjena pojedincima i timovima koji umeju vešto barataju tehnologijom i koji mogu saradivati kako unutar tako i izvan organizacija u cilju poboljšanje procesa i razvoja novih rešenja [4, 13].



- U organizacionim terminima, ovi principi su otelotvoreni u arhitekturama orijentiranim na aktere. Arhitektura orijentisana na aktere sastoji se od tri elementa: (1) aktera koji imaju sposobnosti i vrednosti za samoorganizaciju; (2) zajedničkog vlasništva gde akteri akumuliraju i dele resurse; i (3) protokola, procesa i infrastrukture koji omogućavaju saradnju sa više aktera. Zajedničko vlasništvo se odnosi na resurse koji su kolektivno u vlasništvu i dostupni akterima (članovima organizacije). Jedna vrsta zajedničkog vlasništva je zajedničko znanje, repozitorij znanje kome članovi organizacije mogu doprineti i koje mogu koristiti. Zajednička svest o situaciji je zajedničko vlasništvo koje olakšava samoorganizaciju. Protokoli su "Kodeks ponašanja" koje koriste organizacioni akteri u svojim razmenama i aktivnostima saradnje. Važan kategorija protokola se bavi podelom rada, mobilizacijom i povezivanjem aktera za određeni projekat ili zadatak [4, 13].
- Organizacije orijentisane na aktere uglavnom se oslanjaju na protokole, zajedničko vlasništvo i infrastrukturne objekte da održavaju kontrolu i koordinaciju, umesto na hijerarhijske mehanizme.
- *Pozicija IT jedinice u organizacionoj strukturi se menja i njena moć raste, kao i potrebe organizacije da u ova znanja ulažu.*
 - IT jedinica u ne IT preduzećima takođe mora da bude negovana. Njeno funkcionisanje treba da bude izgrađeno da principima (1) konsolidacije svih specifičnih veština i znanja, (2) ekonomije obima, (3) ravne strukture i jednostavnosti i (4) posledično, fleksibilnost.
 - Poželjno je da ona bude centralizovana iz sledećih razloga: strateško vođstvo, kontrola troškova, jasna komunikacija, akumulacija iskustava i znanja i jasna politika koja se odnose na sve. Koliko god to zvučalo paradoksalno, centralizacija IT jedinice u ne-IT preduzećima poželjna je da bi se obezbedila decentralizacija, demokratičnost, transparentnost i fleksibilnost.
 - Specijalista za informatiku koji radi u IT sektoru treba da poboljša svoje ostale kompetencije i da pređe sa uloge stručnjaka koji je sposoban da pronade rešenje, u stratega, arhitektu, monitora i evaluatora - što znači tranziciju od funkcionalnog stručnjaka u strateškog partnera najvišeg menadžmenta, sa predstavnikom koji direktno izveštava generalnog direktora. Ovo nije mala promena, jer je IT u organizacijama tradicionalno bio primer za jedinstvenu subkulturu, drugačiju od ostalih organizacionih jedinica.
- Sa digitalizacijom dolazi u punoj meri do izražaja sve ono o čemu se već decenijama unazad pisalo i govorilo – da su informacije ključni resurs organizacije [3]. Organizacije već nekoliko decenija unazad koriste velike baze podataka i analitike, podaci o njihovom poslovanju se čuvaju i analiziraju pomoću algoritama za rukovanje podacima kako bi se stekao bolji uvid u poslovanje. Ovi podaci su uglavnom bili iz transakcija i sačuvani su u vidu redova i kolona velikih eksel tabela. Međutim, promena koju digitalizacija donosi je u tome što daje organizacijama pristup neverovatnoj količini nestrukturiranih podataka koje nije nimalo lako niti jednostavno protumačiti, sortirati, strukturirati i iz njih izući zaključke za donošenje odluka [8, 16]. U prošlosti su to bili strukturirani podaci. Sposobnosti organizacije da razviju procese kojima će ove dostupnosti učiniti produktivnim i korisnim za svoje poslovanje, postaju kritične. U protivnom, investicije u ovu vrstu resursa postaju mrtav kapital i čist gubitak mogućnosti za unapređenje poslovanja. Sposobnost organizacije da razvija kapacitete kojima će moći da odgovori izazovu digitalizacije zavisi od organizacione spremnosti da da investira u pravu, za nju prilagođenu tehnologiju, ali jednako tome i u ljude koji tu tehnologiju treba da umeju da koriste. Organizacija treba da investira i u svoju svest da se pozicije moći menjaju i da organizaciona struktura to treba da isprati.
- Digitalna organizacija takođe znači i investicije sposobnost u organizacije da radi u realnom vremenu i da reaguje u skladu sa tempom odvijanja događaja. Međutim, ova nova mogućnost je izvodljiva samo ako imamo organizaciju koja je dizajnirana da radi u realnom vremenu [2, 13], a to je ravno nemogućoj misiji za organizacije dizajnirane danas. Najveći broj njih ovoj mogućnosti se dovija na taj način što opterećenje prebacuje na ljude – koji iako rasterećeni nekih sada već rutinskih aktivnosti koje su u prošlosti uzimale mnogo više vremena i energije – sada postaju dodatno opterećeni time da imaju nove zahteve i nove poslove kojima moraju da odgovaraju odmah, promptno i spremno. Ovakva situacija dovodi do postavljanja velikih zahteva pred zaposlene u pogledu mikroorganizacije, veština upravljanja vremenom i fokusiranja pažnje na aktivnost koja je trenutno od značaja, bez obzira što je obavljanje više poslova u isto vreme visoko vrednovan kvalitet.



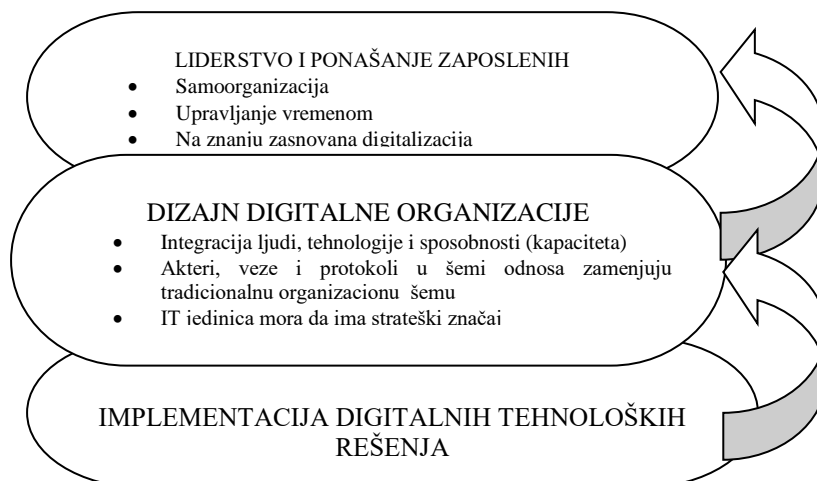
3. KAKVE SU IMPLIKACIJE DIGITALIZACIJE NA LIDERSTVO I PONAŠANJE ZAPOSLENIH?

Nesumnjivo je da IT predstavlja izazov za ljudske resurse [1]. Zaposleni u organizacijama sa primenjenom IT treba da poseduju određene sposobnosti, ma gde se nalazili u organizacionoj strukturi svoje kompanije: visoki nivo obrazovanja, sposobnost da kontinuirano uče, samostalnost, interpersonalne veštine, analitičnost i kreativnost. Pored ovih koje su već deceniju dobro poznate, danas se ističu i [13]:

Samoorganizacija. Tradicionalna organizacija je organizovana hijerarhijski, to jest, kontrola i koordinacija se postižu preko strukture autoriteta u kojoj nadređeni planiraju i koordiniraju aktivnosti podređenih, dodeljuju resurse i rešavaju probleme i sukobe. Danas hijerarhija pokazuje da blede i da pada pod zahtevima novog doba. Sve veći broj zaposlenih dolazi u kategoriju takozvanih *knowledge-workers* i *golede collars* zaposlenih. U takvim uslovima u punoj meri važi krilatica koja se vezuje za počivšeg osnivača Epla, Stiva Džobsa, koji je smatrao „...*da je suludo da angažujemo pametne ljude i da im onda govorimo šta oni treba da rade; mi angažujemo (govorio je) pametne ljude da oni nama kažu šta treba da radimo*“. Ali samoorganizacija zahteva veliku disciplinovanost i fokus zaposlenih, kao i master veštine upravljanja vremenom. Međutim, digitalne tehnologije često ometaju utvrđene načine organizovanja i zahtevaju prilagođavanje kroz saradnju, kao i samoorganizaciju kroz svest o situaciji, kao i zajednička znanja [13].

Upravljanje vremenom. Sposobnost upravljanja vremenom je danas mnogo napredovala u odnosu na poznatu nam matricu hitno-bitno, koja je postala jedan od nezaobilaznih alata samoorganizacije. Najveći izazov upravljanja vremenom danas predstavlja sposobnost da upravljamo „prekidačima“ odnosno distraktorima koji su ujedno i sastavni deo našeg posla. Mnogi će se prepoznati u tome da svako jutro novi radni dan započinju sa „obećanjem“ datim sebi da će održati svoj dnevni plan i da će to uspeti da urade na vrlo organizovan i smiren način. Međutim, kako dan odmiče, tako prepoznaju da ispunjenje dnevnog plana postaje nemoguće jer umesto fokusa na jednu planiranu aktivnost završe sa beskrajnim multitaskingom odgovarajući da brojne pristigle mejlove ili druge digitalizovane poruke – sms, viber, društvene mreže, najnovije vesti... Kontrola sopstvenog fokusa i samodisciplina u rukovanju distraktorima je veoma važna veština koju zaposleni moraju da razviju kako ne bi ugrozili svoju efikasnost i efektivnost, umesto da je korišćenjem tehnologije povećaju.

Samoorganizacija i dobro upravljanje vremenom, kao adaptivni odgovor, jesu brže i efikasnije od hijerarhijskog odgovora. Štaviše, digitalna tehnologija omogućava članovima organizacije da se samoorganizuju, čime se izbegavaju kašnjenja, pogrešne interpretacije i drugi štetni efekti hijerarhijski organizovanih sistema. Uslov za to je da su članovi organizacije dovoljno disciplinovani i da imaju samokontrolu. Da bi razvile te sposobnosti kod svojih zaposlenih, organizacijama će biti potrebno da prihvate promene koje se moraju desiti u pozicijama moći, stilu liderstva i upravljanja zaposlenima. Nove pozicije kao što Chief Knowledge Officer, Chief Digital Officer ili Chief Information Officer ne mogu da budu pomodarska kvazi-rešenja već pozicije sa realnom moći, preciznim zadacima i što je moguće više prilagođenim sistemom praćenja učinaka i efekata. Organizacijama će biti potreban najbolji za podatke i analitiku u liderskom timu. Bez obzira da li je to glavni direktor za digitalne poslove ili onaj koji rukovodi bazom znanja, digitalni lider treba da promoviše podatke kao strateški resurs koji može pomoći razvoju kompanije i učiniti je uspešnijom. Ove dve oblasti – upravljanje organizacionim znanjem i digitalizacija moraju da idu ruku pod ruku kako bi imale uticaj, ostvarile efekat i svoj puni smisao.



Slika 1. Nivoi izgradnje digitalne organizacije

Sve to u srži onda vodi ka potrebi redefinisavanja kulturnih vrednosti organizacije – digitalizacija mora da prodre u „prihvaćeni način na koji mi ovde radimo, kako razmišljamo o biznisu i kako vidimo svoju budućnost" jer ako nije u glavama zaposlenih i načinu na koji oni razumeju biznis, ne može da zaživi.

4. ZAKLJUČAK

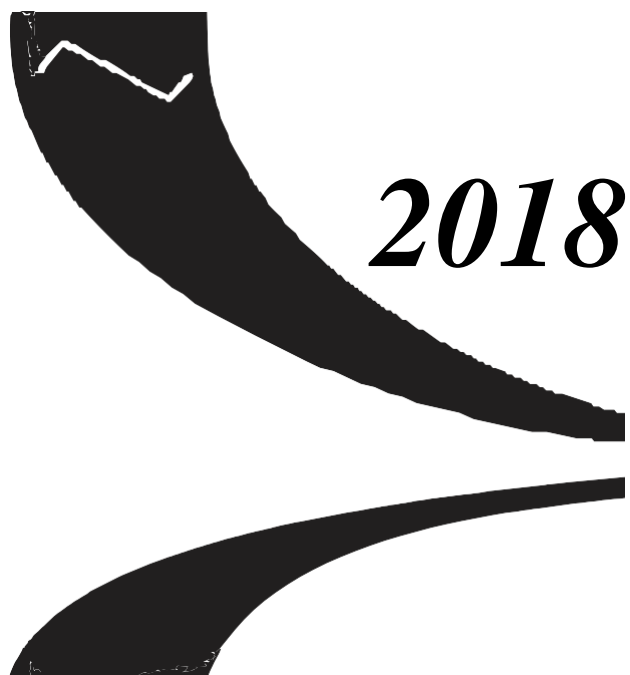
Definitivno, nove tehnologije su transformisale organizaciju, omogućile zamenu ljudi u obavljanju određenih operacija, unapredile kontrolu poslovanja, uvele nove metode koordinacije procesa rada i efikasno upravljanje praktično svim operacijama u organizaciji, uz minimalno prisustvo ljudi. Takođe, informacione tehnologije se koriste i kao strateška mogućnost za transformaciju informacija u znanje za potrebe organizacionog učenja. Inženjerska elita je ponovo dobila na značaju, a umanjeno je značaj drugih struka u organizaciji. Digitalna revolucija dovela je do toga da organizacije iskuse do skora zaista neslućene mogućnosti u pogledu informacionih kapaciteta, automatizacije i dostupnosti kako podataka, tako i tehnika i sredstava koje mogu koristiti. Istovremeno, suočila je organizacije sa pitanjem adekvatnosti njihovih strategija, organizacionih struktura i sistema podrške, menadžerskih sposobnosti da znanjima i veštinama odgovore na zahteve tih savremenih tehnologija, potreba da menjaju organizacione kulture kako bi imali koristi od novih tehnologija u punoj meri.

LITERATURA

- [1] Bradshaw, L.D., (1999), The human factor in information technology. *Business Source Premium; special sector: Information Technology*.
- [2] Davenport, T. (2006). Competing on Analytics, *Harvard Business Review*, 2006.
- [3] Drucker, P., (1998). *The Coming of the New Organizations*, *Harvard Business Review*.
- [4] G. C. Kane, D. Palmer, A. N. Phillips, D. Kiron and N. Buckley. (2016). Aligning the Organization for its Digital Future. *MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press*.
- [5] Hunter, S., (1999). Information Technology & Centralization: An Empirical Investigation. Workshop on Organizational design. European Institute for Advanced Studies in Management, Belgium, March
- [6] Klein, E.E., (2001). Using information technology to eliminate layers of bureaucracy. *National Public Accountant*, Jun.
- [7] Leavitt, J.E., Whisler, P.E., (1958). *Management in the 1980s*. *Harvard Business Review*.
- [8] Manyika, J. et al. *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*, McKinsey Global Institute, 2011, www.mckinsey.com.
- [9] McAfee A., Brynjolfsson E. *Big Data: The Management Revolution*, *Harvard Business Review*, 2012.



- [10]Morley, M.J., Garavan, T., N., (1995). Current themes in organizational design: implications for human resource development, *Journal of European Industrial Training*.
- [11]Petković, M., (2004). *Organizaciono ponašanje*, CID Ekonomski fakultet, Beograd
- [12]Simons, R. (2005): *Levers of Organizational Design*, School Publishing, Massachusetts.
- [13]Snow, C., Fjeldstad, D., Langer, A.M. (2017). Designing the digital organization, *Journal of Organization Design*. 6:7.
- [14]Soldić-Aleksić J. Stankić R, „*Business Intelligence*“, International Encyclopedia of Statistical Science. Springer, New York, 2011.
- [15]Turban E., *Electronic Commerce*, Prentice Hall, 2012.
- [16]Zikopoulos P. et al. „*Understanding Big Data*“, New York: McGraw Hill, 2012.



2018

***PRIMENE OPERACIONIH
ISTRAŽIVANJA U ODBRANI***



PROCENA RIZIKA NA RADNOM MESTU PRIMENOM SISTEMA ZA PODRŠKU ODLUČIVANJU

RISK ASSESSMENT IN THE WORKPLACE USING DECISION SUPPORT SYSTEMS

NENAD KOVAČEVIĆ¹, MITAR KOVAČ², ANTONIO MAK³

¹ Vojna akademija/Univerzitet odbrane, inz.84kula@gmail.com

² Fakultet za projektni i inovacioni menadžment/Univerzitet „Educons“, mitar.kovac21@gmail.com

³ Vojna akademija/Univerzitet odbrane, antoniomak3@gmail.com

Rezime: Procena rizika za radno mesto i radnu okolinu svake organizacije uređena je aktom o proceni rizika, koji zapravo predstavlja svojevrsan projekat upravljanja rizikom u određenom polju inženjerstva zaštite. Rad prezentuje jedan deo akta o proceni rizika sa osvrtom na metodologiju procene rizika za jedno radno mesto sa povećanim rizikom primenom sistema za podršku odlučivanju, odnosno jednog alata, softverskog paketa Expert Choice 2000.

Ključne reči: procena rizika, sistemi za podršku odlučivanju.

Abstract: Risk assessment for the workplace and work environment of an organization governed by the document on risk assessment, which actually is a project risk management in the specific field of protection engineering. This paper presents document on risk assessment with special reference to the methodology of risk assessment for each workplace with increased risk of application of decision support systems, especially one tool, a software package Expert Choice 2000.

Keywords: risk assessment, decision support systems.

1. UVOD

U vremenu od 2005. do 2007. godine najviši zakonodavni organi u Republici Srbiji (RS) doneli su set zakona kojima je uređena oblast inženjerstva zaštite (Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu /BZNR/, Zakon o zaštite od požara /ZOP/ i Zakon o zaštiti životne sredine /ZŽS/). Zakon o BZNR, zapravo je esencija za podzakonska akta iz ove oblasti. Predmet našeg interesovanja je Pravilnik o načinu i postupku procene rizika na radnom mestu i u radnoj okolini, odnosno podzakonski akt kojim se reguliše izrada akta o proceni rizika, konkretno navedenim pravilnikom regulisana je metodologija izrade akta o proceni rizika.

Za potrebe ovog rada uzet je samo jedan segment iz akta o proceni rizika koji je rađen za potrebe Vojne akademije (VA), a odnosi se na radno mesto nastavnika taktike inženjerskih jedinica, odnosno u radu smo nastojali da optimiziramo postojeći rizik na navedenom radnom mestu upotrebom jednog od sistema za podršku odlučivanju. Delatnost nastavnika taktike inženjerskih jedinica posmatrali smo kroz prizmu realizacije jedne od vežbi pojedinca sa bojnim minsko-ekslozivnim sredstvima (MES). Navedena vrsta vežbi je obavezan sadržaj nastavno-obrazovnog procesa u VA, i ovaj sadržaj obučavanja trebaju da savladaju svi kadeti VA.

Rad je podeljen u tri celine koje daju prikaz primene jednog od sistema za podršku odlučivanju u valorizaciji rizika pri realizaciji jednog segmenta obučavanja kadeta VA koji ujedno predstavlja i segment delatnosti zaposlenog u VA. Akt o proceni rizika objašnjen je u prvom delu rada, dok se u drugom delu prezentuje jedna od vežbi sa bojnim MES. U trećem i ujedno poslednjem delu dat je prikaz primene softvera Expert Choice 2000 (EC) u kontekstu procene rizika na radnom mestu.

2. AKT O PROCENI RIZIKA

Upravljanje rizikom obuhvata proces indentifikacije rizika, analize rizika i planiranje reakcije. Pod ovim se podrazumeva i izrada plana upravljanja rizikom projekta, kvantifikacija rizika, rangiranje rizika, razvoj strategije i plana preventivnih mera i reaktivnih akcija, kao i kontrola izvođenja predviđenih akcija. (Petrović, 2011)



Da bismo mogli razumeti koncepciju i metodologiju akta o proceni rizika, moramo najpre razumeti pojam procene rizika u inženjerstvu zaštite. Procena rizika predstavlja proces ocenjivanja svih rizika po bezbednosti i zdravlje radnika uslovljenih opasnostima i štetnostima na radnom mestu i/ili radnoj okolini. To je sistematska analiza svih aspekata rada koja objedinjuje razmatranje sledećih elemenata:

- (1) šta sve može prouzrokovati povredu ili oboljenje na radnom mestu i/ili radnoj okolini,
- (2) da li se uočene opasnosti i štetnosti mogu eliminisati ili ne i
- (3) ukoliko ne mogu koje se preventivne ili zaštitne mere mogu i trebaju primeniti kako bi se utvrđeni rizici držali pod kontrolom.

Ukratko, procena rizika je upoređivanje postojećeg stanja sa bezbednosnim „treba stanjem”, a rezultat procene treba da budu, da „nema potrebe za smanjenjem rizika” ili „rizik se ne može prihvatiti”, pa treba sprovesti mere za njegovo smanjenje. (Kovačević, Dimitrijević & Karović, 2016)

Način i postupak procene rizika na radnom mestu i u radnoj okolini je definisan Pravilnikom o načinu i postupku procene rizika na radnom mestu i u radnoj okolini. Navedeni Pravilnik strogo nedeterminiše izradu Akta, već se radi o dokumentu koji postavlja polazne osnove za izradu Akta, a isti se prilagođava konkretnoj supoziciji na terenu, odnosno delatnosti koju poslodavac obavlja. Pravilnikom je regulisano da su svi poslodavci u RS dužni da donesu akt o proceni rizika do 06.09.2007. godine. U prethodnih 11 godina u RS je mnogo urađeno po pitanju uvođenja procene rizika u bezbednosnu praksu, ali je procena i da postoji još dosta prostora za dalja unapređenja posebno u delu koji se odnosi na mala i srednja preduzeća.

Izrada i primena akta o proceni rizika sastoji se od dve zasebne, ali uzročno-posledično povezane celine, a to su:

- (1) metodologija - definiše algoritam, alate i način sprovođenja postupka procene i
- (2) procedura - definiše standardizovani niz koraka koje obezbeđuje sprovođenje postupka u skladu sa preporukama odgovarajućih zakona propisa kao i preporuka pozitivnih iskustava iz prakse.

Metodologija izrade akta o proceni rizika proističe iz procene rizika i obuhvata sledeće korake:

- (1) opšte podatke o poslodavcu,
- (2) opis tehnološkog i radnog procesa, opis sredstava za rad, i njihovo grupisanje i opis sredstava i opreme za ličnu zaštitu na radu,
- (3) snimanje organizacije rada,
- (4) prepoznavanje i utvrđivanje opasnosti i štetnosti na radnom mestu i u radnoj okolini,
- (5) *procenjivanje rizika u odnosu na opasnosti i štetnosti*,
- (6) utvrđivanje načina i mera za otklanjanje, smanjenje ili sprečavanje rizika,
- (7) zaključak i
- (8) izmene i dopune akta o proceni rizika. (Službeni glasnik, 2010)

Centralni i po mnogim analitičarima i ključni deo Akta predstavlja njegov 5. deo, a to je procena rizika u odnosu na opasnosti i štetnosti. Shodno odabranoj metodi, odnosno oblasti inženjerstva zaštite kojom se bavimo, razlikuje se pristup izradi Akta. Posebnu pažnju posvetićemo primeni jedne od vodećih svetskih metoda višekriterijumske analize, metodi Analitičkih hijerarhijskih procesa (Analytic Hierarchical Process – /AHP/), odnosno njene softverske aplikacije u vidu programa EC. Ovde je bitno naglasiti da je Akt dokument koji iziskuje permanentno redefinisavanje, u zavisnosti od promena na radnom mestu i u radnoj okolini, što je ujedno i obaveza poslodavca shodno članu 69. Zakona o BZNR.

3. VEŽBE SA BOJNIM MINSKO-EKSPLOZIVNIM SREDSTVIMA

Sa vojnicima i starešinama, a pod uslovom da je to u skladu sa planovima i programima obuke, odnosno nastavnim planovima i programima, mogu se izvoditi sledeće vežbe pojedinca:

- (a) Vežba 6 – Izrada i aktiviranje sporogorećeg upaljača;
- (b) Vežba 7 – Aktiviranje eksplozivnog punjenja sporogorećim upaljačem;
- (v) Vežba 8 – Aktiviranje električne detonatorske kapisle;
- (g) Vežba 9 – Aktiviranje eksplozivnog punjenja električnom detonatorskom kapislom;
- (d) Vežba 10 – Aktiviranje eksplozivnog punjenja detonirajućim štapinom;
- (đ) Vežba 11 – Aktiviranje eksplozivnog punjenja laserskim uređajem;
- (e) Vežba 12 – Pojedinačno postavljanje i uklanjanje bojnih protivpešadijskih mina i
- (ž) Vežba 13 - Pojedinačno postavljanje i uklanjanje bojnih protivtenkovskih mina. (Generalštab Vojske Jugoslavije [GŠ VJ], 1995)



Organizacija rada prilikom izvođenja vežbe se odvija prema sledećem: izvršioци jedne smene odlaze u poljsko skladište materijala, uzimaju ašovčić i vrećicu za zemlju, odlaze u skladište MES, uzimaju jednu PT minu i ulaze u vežbalište. Na komandu „NA POLAZNU LINIJU U JEDNOVRNSNI STROJ SA JEDNOM MINOM NA RASTOJANJU OD 15 m - ZBOR". Izvršioци sa minama i priborom za miniranje postrojavaju se na liniji postrojavanja. Slede komande: „20 KORAKA – NAPRED"; „PORED DESNE NOGE MINU POLOŽI"; STAV ZA UKOPAVANJE LEŽEĆI – MINU UKOPAJ". Izvršioци iskoračuju 20 koraka do linije postrojavanja, polažu minu pored desne noge, zauzimaju ležeći stav, vade ašovčić, vrše izradu iskopa i polažu telo mine u izrađeni iskop. Pod kontrolom rukovodioca vežbe vrši se podela upaljača za minu, izvršilac naoružava i maskira minu, a zatim zauzima ležeći stav na 5 m iza mine. Rukovodilac vežbe svakog učesnika pojedinačno kontroliše u postavljanju mine. Kada su svi izvršioци postavili mine, na komandu „NA POLAZU LINIJU – NAPRED" izvršioци odlaze na liniju postavljanja, a zatim izlaze van vežbališta na odmor od 15 minuta.

Nakon odmora izvršioци odlaze u skladište materijala, uzimaju pipalicu, značku za minu, osigurače, vrećicu za zemlju i ašovčić i odlaze iza linije za razminiranje. Slede komande: „NA LINIJU ZA RAZMINIRANJE NA RASTOJANJU OD 15 m - ZBOR"; „SA RAZMINIRANJEM POČNI". Izvršioци se postrojavaju na liniji za razminiranje, zauzimaju ležeći stav i počinju sa razminiranjem dobijene površine. Nailaskom na minu, obeležavaju je postavljajući značku, a zatim pod kontrolom vrše razminiranje mine. Kad svi izvršioци završe razminiranje pakuje se upaljači, izvršioци odlaze na čišćenje i vraćanje mine van prostora za miniranje. Posle prve smene sa radom počinje druga smena. Nakon završetka vežbe vrši se analiza vežbe, odnosno analiza posle aktivnosti (after action review). Rukovodilac vežbe, i ujedno najdogovornije lice za primenu preventivnih mera za bezbedan i zdrav rad u realizaciji vežbe (pre, u toku i posle vežbe) je nastavnik taktike inženjerskih jedinica, a njegov zamenik je formacijski komandir kadetskog voda, odnosno komandir jedinice čiji su izvršioци vežbe.

4. PRIMENA SOFTVERA EC U VALORIZACIJI RIZIKA NA RADNOM MESTU

Osnovni problem koji rešavamo primenom softvera EC je izbor izrade minskog polja u kontekstu nivoa rizika koji se javlja prilikom izrade istog. Minska polja izrađuju izvršioци vežbe, a ideja procene rizika se odnosi na opasnosti kojima je izložen rukovodilac vežbe prilikom realizacije. Imamo izbor od četiri alternative, odnosno izradu četiri minska polja u različitim meteorološkim uslovima sa nejednakim nivoom obučenosti ljudstva. U toku proračuna nivoa rizika rukovodićemo se načelom proračuna najvećeg mogućeg rizika, odnosno najgorom mogućom varijantom događaja. Kriterijumi u posmatranom problemu su sledeći:

- (1) dužina minskog polja,
- (2) meteorološki uslovi izvođenja vežbe,
- (3) nivo obučenosti izvršioca vežbe,
- (4) pedološki sastav zemljišta na kojem se izvodi vežba i
- (5) širina minskog polja.

Potkriterijumi su vrednosti navedenih kriterijuma. Izbor jednog od ova četiri minska polja je „globalni cilj“ u projektu koji realizujemo pomoću EC. Dobijeni rezultati predstavlja samo smernicu rukovodiocu vežbe u pogledu izrade određenog minskog polja vrednujući navedene kriterijume, a sa aspekta vrednosti rizika koji se javlja. *Dužina minskog polja* je kvantitativni kriterijum i njegov uticaj na nivo rizika ogleđa se u tome što se sa povećanjem dužine minskog polja povećava i površina na kojoj se izvodi vežba, a samim time raste i broj izvršilaca, odnosno broj korišćenih PT mina, a sledstveno tome dolazi i do povećanja nivoa rizika.

Meteorološki uslovi su kvalitativni kriterijum i njegov uticaj na nivo rizika ogleđa se u tome što sa pogorošanjem meteoroloških uslova raste i rizik pri izvođenju vežbe. Radi kvantifikacije ovog kriterijuma formiramo vrednosnu interval skalu, kao što je to prikazano u Tabeli 1.

Tabela 1: Kvantifikacija meteoroloških uslova

Kvalitativna ocena	Vedro vreme	Oblačno	Oblačno kiša	Oblačno sneg	Oblačno grmljavina	Tip kriterij.
Kvantitativna ocena	1	3	5	7	9	max
	9	7	5	3	1	min

Nivo obučenosti izvršioca vežbe je kvalitativni kriterijum i odnosi se na nivo obučenosti izvršioca vežbe. Kao što smo videli u prethodnom delu rada, jedan od uslova za početak vežbe je da svi izvršioци budu obučeni u rukovanju sa bojnim PT minama, ali i kod obučenih izvršilaca postoje određeni nivoi obučenosti koji imaju



neposredan uticaj na nivo rizika – slabije obučen izvršilac implicira veći rizik od nastanka povrede. Kvantifikacija ovog kriterijuma izvršena je preko vrednosne interval skale, kao što je to prikazano u Tabeli 2.

Tabela 2: Kvantifikacija obučenosti izvršioca

Kvalitativna ocena	Dovoljno obučen	Dobro obučen	Vrlo dobro obučen	Odlično obučen	Izvanredno obučen	Tip kriterij.
Kvantitativna ocena	1	3	5	7	9	max
	9	7	5	3	1	min

Pedološki sastav tla je kvalitativni kriterijum i njegov uticaj na nivo rizika ogleda se u tome što se menja nivo rizika sa promenom sastava tla, odnosno postavljanje PT mina u nepogodnom (tvrdom, kamenitom i sličnom) tlu iziskuje mnogo više časova rada, a direktno proporcionalno vremenu provedenom sa bojnim MES raste i nivo rizika. Prema pedološkom sastavu, zemljište se klasifikuje sedam kategorija, i to po sledećem: (a) I i II kategorija meka zemlja, (b) III kategorija zemlja srednje tvrdoće, (c) IV kategorija tvrda zemlja, (d) V kategorija meka stena, (e) VI kategorija čvrsta stena i (f) VII kategorija vrlo čvrsta stena. Na osnovu načela upotrebe roda inženjerije i njenih sredstva u koja spadaju i bojna MES, odnosno PT mine, iste se postavljaju ukopavanjem u zemljište do IV kategorije, dok se za ostale kategorije PT mine postavljaju sejanjem. Sledstveno tome ovaj tip vežbe ne možemo realizovati u zemljištu IV, V, VI i VII kategorije. Radi kvantifikacije ovog kriterijuma formiramo vrednosnu interval skalu, kao što je to prikazano u Tabeli 3.

Tabela 3: Kvantifikacija pedološkog sastava zemljišta

Kvalitativna ocena	I kategorija	II kategorija	III kategorija	Tip kriterij.
Kvantitativna ocena	1	5	9	max
	9	5	1	min

Širina minskog polja je kvantitativni kriterijum i njegov uticaj skoro identičan uticaju kriterijuma A_1 , s time da nije izražen u tolikoj meri, jer se linije postavljanja mina ne mogu menjati, bez obzira na izgled i potencijale zemljišne prostorije na kojoj se izvodi vežba.

Nakon izvršene kvantifikacije kvalitativnih kriterijuma formiramo kvantifikovanu matricu odlučivanja, u kojoj svaka od alternativa predstavlja po jedno minsko polje (MP) čije su karakteristike određene vrednostima kriterijuma:

		A_{1max}	A_{2max}	A_{3max}	A_{4min}	A_{5max}
O=	MP 1	125	3	1	1	50
	MP 2	100	5	5	9	45
	MP 3	150	1	3	5	55
	MP 4	135	7	7	1	60

Nakon formiranja prikazane matrice njene vrednosti unosimo u softver EC i nakon obrade zadatih vrednosti za kriterijume i potkriterijume direktnim poređenjem po dva kriterijuma pomoću Satijeve skale, dobijamo kako je to prikazano na slici 2., a to je „stablo događaja“ sa svim kriterijumima i potkriterijumima, a na slici 1. vrednovanje-rang alternativa i prikaz indeksa inkonzistentnosti u problemu koji rešavamo.



Model Name: IZBOR MINSKOG POLJA

Synthesis: Summary

Synthesis with respect to:

Goal: Izbor minskog polja

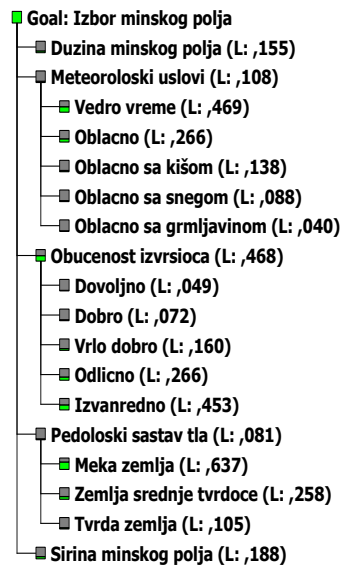
Overall Inconsistency = .05



Slika 1: Vrednovanje alternativa

Model Name: Izbor minskog polja

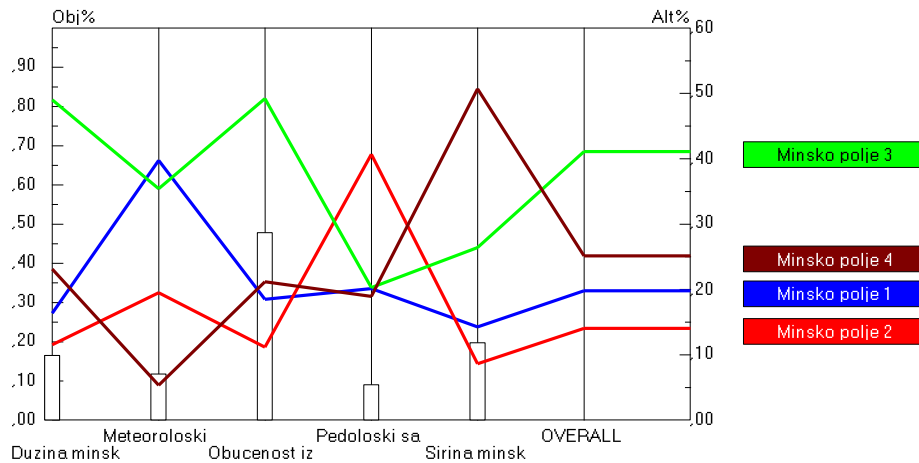
Treeview



Slika 2: Početno „stablo događaja“

Nakon vrednovanja alternativa možemo izvršiti i analizu osetljivosti. Birajući opciju *Performance* iz menija *Sensitivity-Graphs* dobijamo pregled kretanja alternativa u odnosu na svaki kriterijum kao i ukupan rang alternativa, a takođe se u vidu pravouganika može videti vrednost pondera svakog kriterijuma, direktno iznad samog naziva istog, što je i prikazano na slici 3.

Performance Sensitivity for nodes below: Goal: Izbor minskog polja



Slika 3: Grafik osetljivosti performansi

U prezentovanom primeru su pored elemenata procesa planiranja sadržani i elementi procesa inicijalizacije projekta, jer softver EC nam daje rešenje gradaciju izrade minskih polja sa aspekta nivoa rizika, odnosno vidimo da je izrada minskog polja 3 ili 3. alternative najrizičnije, a izrada minskog polja 2 ili 2. alternative najmanje rizično. Presudnu ulogu svakako ima kriterijum nivoa obučenosti izvršioca vežbe, jer među kadetima VA ima i pripadnika stranih oružanih snaga i bivših profesionalnih pripadnika Vojske Srbije (podoficiri i profesionalni vojnici), sledstveno tome nivo obučenosti nije isti za sve izvršioce.

Međutim promenom vrednosti ovog kriterijuma, ali i kriterijuma vezanih za fizičke dimenzije određenog minskog polja, odnosno vrednosti njihovih potkriterijuma došlo bi do promene u ukupnom rangju alternativa. Softverski paket EC kroz opciju *Sensitivity-Graphs* pruža mogućnost preciznije analize uticaja promene vrednosti svakog kriterijuma pojedinačno na konačno rešenje. Ako se za malu promenu važnosti kriterijuma menja i konačna odluka, kažemo da je rešenje osetljivo na promenu ocene. U takvim slučajevima ne možemo sa sigurnošću tvrditi da je rešenje jedinstveno, već razmatramo i druge alternative kao približno jednako dobre.

5. ZAKLJUČAK

Softver EC je u konkretnom primeru korišćen za izbor minskog polja čija izrada predstavlja najmanje rizičnu aktivnost u odnosu na rukovodioca vežbe-nastavnika taktike inženjerskih jedinica. Mogli smo sagledati kauzalnost odnosa jednog od elemenata na prostora i nivoa obučenosti izvršioca vežbe, odnosno najmanji nivo rizika za određenu aktivnost. Konkretni rezultati mogu se koristiti isključivo kao pomoć rukovodiocima vežbi, njihovim pretpostavljenim, ali i procenjivačima rizika da donesu ispravnu odluku, ali nikako kao osnovno sredstvo rada koje preuzima njihovu ulogu i odgovornost u pogledu donošenja odluka. Sledstveno tome, primena sistema za podršku odlučivanju u procesu donošenja vojnih odluka veoma je korisna, pogotovo za lica (DO) sa manje iskustva, jer i pored vežbi i simulacija koje se realizuju u mirnodopskim situacijama, realnost ima svoju *differentia specifica*, koja se veoma teško može sagledati kroz usavršavanje i uvežbavanje.

Primenom softvera EC došli smo do podataka koji su predmet dalje obrade u kontekstu upravljanja rizicima u procesu obučavanja kadeta VA, ali i za radno mesto-nastavnik taktike inženjerskih jedinica. Stvarna korisnost primene softvera EC u rešavanju ovog problema jeste što na efikasan, efektivan i egzaktan način daje rešenja koja su zapravo esencija, odnosno polazna osnova za dalje analize ovog problema koje bi se kretale u sledećim pravcima:

- (1) planiranje realizacije navedene vežbe u određenom vremenskom okviru (ovo opet posredno determiniše i izradu rasporeda nastave u VA, odnosno angažovanje nastavnog kadra);
- (2) sistematsko praćenje i komparativna analiza nastanka povreda upravnih i/ili izvršnih organa prilikom realizacije vežbe u skladu sa zadatim kriterijumima i



- (3) uzimanje u obzir i drugih uticajnih faktora (na primer: starost bojnih PT mina, vegetativno stanje tla, stanje borbene opreme, koliko su puta izvršioi vežbe realizovali vežbe ovog tipa – nivo iskustva i slično);

Osnovni nedostatak primene ovog softvera ogleda se u određivanju vrednosti važnosti kriterijuma, odnosno mogućnosti greške DO prilikom vrednovanja samih kriterijuma (velika pomoć je mogućnost softvera EC u pogledu konstantnog praćenja vrednosti indeksa inkonzistentnosti). Međutim, *bona fide* primene prikazanog softvera u procesu donošenja vojnih odluka i procene rizika na radnom mestu je neupitna. Na kraju, možemo zaključiti da je softver EC primenjiv u procesu procene rizika za konkretno radno mesto, prevashodno kao pomoćni alat DO, odnosno procenjivačima rizika. Međutim dobijene rezultate nikako ne smemo uzimati kao obavezujuće u procesu donošenju odluka, već isključivo kao smernicu za što ispravniju odluku.

LITERATURA

- [1] Kovačević, N., Dimitrijević, N., & Karović, S. (2016). Jedan pristup upravljanju rizikom u zaštiti od požara. XX Internacionalni simpozijum iz projektnog menadžmenta, Beograd, 171-176
- [2] Petrović, D., i drugi, (2011). *Menadžment i organizacija*, Beograd, Fakultet organizacionih nauka.
- [3] Pravilnik o načinu i postupku procene rizika na radnom mestu i u radnoj okolini, (2006). Beograd, „Službeni glasnik RS“, broj 72/06 i 84/06.
- [4] Uputstvo i program vežbi sa bojnim minsko-eksplozivnim sredstvima, (1995). Beograd, Generalštab Vojske Jugoslavije



PRIMENA A'WOT METODE U UNAPREĐENJU EKOLOŠKE BEZBEDNOSTI U MINISTARSTVU ODBRANE I VOJSCI SRBIJE

APPLICATION OF THE A'WOT METHOD IN THE IMPROVEMENT OF ECOLOGICAL SECURITY IN MINISTRY OF DEFENCE AND SERBIN ARMED FORCES

ZORAN MAČAK¹, SRĐAN MARKOVIĆ²

¹ Ministarstvo odbrane Republike Srbije, zoran.macak@mod.gov.rs

² Ministarstvo odbrane Republike Srbije, srdjan.markovic@mod.gov.rs

Rezime: Ekološka bezbednost predstavlja savremenu formu bezbednosti koja je sve zastupljenija u raznorodnim organizacionim sistemima. U radu autori ukazuju na mogućnost, da kombinovanjem dve metode – SWOT i AHP, top menadžment Ministarstva odbrane i Vojske Srbije donese najprihvatljivije odluke o unapređenju ekološke bezbednosti u svojim organizacionim celinama.

Ključne reči: Ekološka bezbednost, Ministarstvo odbrane i Vojska Srbije, primena A'WOT metode.

Abstract: Ecological safety is a modern form of security that is increasingly represented in diverse organizational systems. In this paper, the authors point out the possibility that by combining two methods - SWOT and AHP, the top management of Ministry of Defense and Serbian Armed Forces will make the most acceptable decisions on improving environmental security in their organizational units.

Keywords: Ecological Safety, Ministry of Defense and Serbian Army Forces, application of A'WOT methods.

1. UVOD

Proučavanje ekološke bezbednosti je pojava novijeg datuma. Tokom istorijskog razvoja, bezbednost se najčešće vezivala za vojnu i državnu sferu. Značajna transformacija i složeniji (sektorski) pristup poimanju bezbednosti nastupila je krajem prošlog veka, kada su pojavili novi subjekti i objekti bezbednosti. Jedno od njenih značenja koje se u savremenom svetu ne sme ignorisati, tiče se ekološke sfere. Sektorski pristup nalaže da ekološku bezbednost treba posmatrati kao sadržaj integralne bezbednosti. Shodno tome ekološka bezbednost mora predstavljati zajednički poduhvat mnogih društvenih aktera. Vojna organizacija, kao neko kom je bezbednost *de facto* i *de jure* osnovno polje rada (zanimanje), nije izuzetak.

Iako se tokom istorije ciljevi vojnih aktivnosti najčešće nisu poklapali sa ciljevima ekologije, danas su sve vidljiviji razlozi zainteresovanosti odbrambenih struktura za ekološku bezbednost. Vojne organizacije i danas teško postižu mir u ekološkoj sferi, čak i kad nema oružanih sukoba, jer tokom priprema za njih grade smeštajne kapacitete, koriste poligone i vežbališta, proizvode, skladištite i transportuju naoružanje i vojnu opremu, što je povezano sa izraženim ekološkim rizicima za sopstvene sastave – videti Mačak at all (2018). Pritom je ranjiva i šira društvena zajednica, jer potreba za što kompleksnijim i višenamenskim vojnim bazama često nosi rizike od raznih ekoloških degradacija (Lawrence at all, 2015).

Ministarstvo odbrane i Vojska Srbije predstavljaju važne aktere ekološke bezbednosti Republike Srbije, koji intenzivno rade na minimizaciji šteta u životnom okruženju i neprekidno tragaju za unapređenjima.

Potreba da se kvalitetno analizira postojeće stanje, formulišu moguće strategije (alternative) i donesu najprihvatljivije korektivne odluke, uz težnju da se minimizira subjektivnost donosioca odluke (bilo pojedinca ili tima), dovela je do integracije dve, u naučnoj javnosti relativno značajno zastupljene metode, jedne izrazito kvalitativne (SWOT) i druge kvantitativne (AHP). U svetlu činjenice da gotovo ne postoje naučni radovi koji A'WOT vezuju za konkretne aktivnosti Ministarstva odbrane i Vojske Srbije, poput Dimić i ostali (2013), rad koji sledi ukazuje na to da A'WOT metoda može unaprediti razne složene procese odlučivanja i unaprediti stanje u mnogim zahtevnim oblastima, kakva je nesumnjivo ekološka bezbednost.

2. NASTANAK I OSNOVE INTEGRACIJE SWOT I AHP METODE

Metoda poznata kao SWOT (eng. Strengths–snage, Weaknesses–slabosti, Opportunities–šanse, Threats pretnje) je često korišćena metoda za analizu unutrašnjih (internih) i spoljašnjih (eksternih) faktora koji



opredeljuju bitisanje organizacije. Sama analiza najčešće je početni korak u formulisanju strategija za unapređenje stanja i opstanak organizacije koje su poznate kao TOWS matrice (od MINI – MINI do MAKSI - MAKSI strategije).

Metodi SWOT u izvornoj formi je svojstvena jednostavnost upotrebe, brzina rada, laka primenljivost, kao i izraziti kvalitativni pristup. Problem sa kojim se metoda suočava ogleda se u nemogućnosti kvantitativnog analitičkog pristupa, odnosno isključenja subjektivnosti pri proceni relativne važnosti SWOT faktora i izboru najprihvatljivijih TOWS strategija u odnosu na SWOT faktore. U cilju anuliranja te slabosti, u stručnim krugovima i teorijskim razmatranjima postoje objašnjeni pojedini načini kvantifikovanja SWOT faktora i unapređenja SWOT metode. Jedan od načina odnosi se na primenu tzv. IE (Internal-Exsternal) matrice zasnovane na rezultatima IFE (engl. Internal Factors Evaluation) i EFE (engl. External Factors Evaluation) matrice (Forca i ostali, 2016), a drugi na razmatranja ruskih teoretičara o matrici izmerenih procena koja nastaje rangiranjem koeficijenta uticaja, verovatnoće pojave šansi i pretnji, kao i inteziteta snaga i slabosti – videti Гольдштейн 2003.

Prva primena kombinovanog AHP–SWOT pristupa (A’WOT hibridnog metoda) vezuje se za radove finskih teoretičara početkom XXI veka, (Kurttila at all, 2000, Kangass at all, 2001).

Uvažavajući zakonitosti AHP – matematičke metode višekriterijumske analize u kojoj se problem velike složenosti razlaže na hijerarhiju, uz razrađene metode očuvanja objektivnosti (Saaty 1980, Saaty and Sodenkamp 2008, Čupić i Suknović 2010), u A’WOT metodi hijerarhija se može predstaviti na sledeći način:

- CILJ – izbor najprihvatljivije od alternativnih strategija;
- KRITERIJUMI – četiri elementa SWOT metoda (S–snage, W–slabosti, O–šanse, T–pretnje);
- PODKRITERIJUMI – faktori u okviru svake SWOT grupe (S_1, S_2, \dots, S_n ; W_1, W_2, \dots, W_n ; O_1, O_2, \dots, O_n ; T_1, T_2, \dots, T_n) i
- ALTERNATIVE (A_1, A_2, \dots, A_n) – strategije dobijene iz TOWS matrica.

Postupak primene A’WOT metode može se hronološki iskazati na sledeći način:

- sprovođenje SWOT analize, odnosno definisanje unutrašnjih i spoljašnjih faktora i formiranje alternativnih strategija (preko TOWS matrica);
- međusobno poređenje parova faktora u okviru svake SWOT grupe i dobijanje težinskih vrednosti, odnosno prioriteta SWOT faktora unutar svake grupe;
- određivanje relativnog značaja svake SWOT grupe;
- ocenjivanje alternativnih strategija u odnosu na svaku SWOT grupu, odnosno faktore unutar grupa i
- izračunavanje prioriteta alternativnih strategija, odnosno izbor najprihvatljivije.

U početnoj primeni A’WOT metode (Kurttila at all, 2000) poslednje dve aktivnosti nisu primenjivane jer je cilj bio izračunavanje težina važnosti, odnosno rangiranje eksternih i internih faktora, a ne izbor najprihvatljivije strategije za unapređenje stanja.

3. STUDIJA SLUČAJA – IZBOR STRATEGIJE ZA UNAPREĐENJE EKOLOŠKE BEZBEDNOSTI U MINISTARSTVU ODBRANE I VOJSCI SRBIJE

Pred top menadžmentom Ministarstva odbrane i Vojske Srbije je: 1) potreba kvalitetne i što objektivnije analize stanja u oblasti ekološke bezbednosti, 2) formulisanje mogućih akcija za prevazilaženje detektovanih negativnosti i unapređenje postojećeg stanja i, na kraju 3) odlučivanje – „izbor jedne, iz skupa mogućih alternativa (akcija)“ – (Čupić i Suknović, 2010), pri čemu je optimalna ona odluka sa više pozitivnih, a manje negativnih efekata od bilo koje druge odluke, što je vidljivo iz njihovog rangiranja.

Konkretan problem odnosi se na višeatributivno odlučivanje. Sa višeatributivnim odlučivanjem izdvaja se najprihvatljivija alternativa a , iz skupa alternativa A , na osnovu poznatih vrednosti prethodno definisanih kriterijuma (atributa) za svaku od alternativa. Opšti matematički model višeatributivnog odlučivanja može biti predstavljen kao (Čupić i Suknović 2010):

$$\text{Max}\{ f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x), n \geq 2 \} \quad (1)$$

uz ograničenje

$$x \in A = [a_1, a_2, \dots, a_m] \quad (2)$$



gde je: n – broj kriterijuma, m – broj alternativa i A – poznati konačan skup alternativa. Pri tome su poznate vrednosti f_{ij} svakog razmatranog kriterijuma f_j dobijen sa svakom od mogućih alternativa a_i :

$$f_{ij} = f_j(a_i) \quad \forall (i,j); i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n. \quad (3)$$

Tipičan način prikazivanja problema višeatributivnog odlučivanja je matricna forma. U matrici se prikazuju vrednosti kriterijuma za pojedine alternative.

$$O = \begin{matrix} & f_1 & f_2 & \dots & f_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ \dots \\ a_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

Rad ukazuje na to da je sve naznačene aktivnosti moguće realizovati upotrebom A'WOT metode. Zbog poverljivog karaktera i selektivne dostupnosti pojedinih podataka (uglavnom podkriterijuma i alternativa) u radu se prikazuje delimično smanjeni, no dovoljno obiman obuhvat, koji je autore opredelio da za potrebna matematička izračunavanja koriste, u stručnim krugovima relativno zastupljeni alat za podršku odlučivanju – softversko rešenje Expert Choice.

Iznalaženje najprihvatljivije akcije za unapređenje ekološke bezbednosti (CILJ u dekompozicionom dijagramu AHP), počinje sa SWOT analizom.

Zbog kvalitativnog pristupa, sprovođenje SWOT analize treba biti u nadležnosti eksperata. U konkretnom slučaju interne i eksterne faktore ekološke bezbednosti u MO i VS definisala su kompetentna lica zaposlena u organizacijskoj celini MO i VS nadležnoj za zaštitu resursa odbrane, gde spadaju i poslovi zaštite životne sredine. Analizu (u smanjenom obimu) prikazuje sledeća tabela.

Tabela 1: SWOT analiza ekološke bezbednosti u MO i VS

Okruženje	Kriterijumi	Podkriterijumi	Kratak opis
INTERNO	SNAGE <u>S</u>	S_1 – Normativna uređenost	Pravilnik (2015).
		S_2 – Kompetentnost nosioca poslova	Nadležna OJ.
		S_3 – Trend povećanja uništenja otpada	4x opasnog, 13x radioaktivnog.
	SLABOSTI <u>W</u>	W_1 – Finansijski aspekt	Kvantitativno mala sredstva, kvalitativno nedovoljno iskorišćenje.
		W_2 – Kadrovi	Broj i edukovanost.
		W_3 – Infrastruktura	Nedostatak skladišnog prostora.
EKSTERNO	ŠANSE <u>O</u>	O_1 – Kooperativnost organa RS	Spremnost na saradnju.
		O_2 – Dostupnost IS NRIZ	Nac. registar izvora zagađivanja.
	PRETNJE <u>T</u>	T_1 – Opšte stanje ekološke bezbednosti u RS	Teškoće ispunjenja obaveza po poglavlju 27 za pristup EU.
		T_2 – Pojačana „ranjivost“ na ekološke katastrofe	Obaveze iz 3. misije VS – pomoć civilnom stanovništvu.
		T_3 – Uključenost vojnih zdravstvenih ustanova u zdravstveni sistem RS	Povećanje količine medicinskog otpada.

Tabela je prilagođena principima AHP, odnosno prikazani su kriterijumi i podkriterijumi (drugi i treći nivo hijerarhije u AHP metodi).



Četvrti nivo hijerarhije predstavljaju alternative, odnosno strategije za unapređenje. Eksperti koji su uradili SWOT analizu izdvojili su iz TOWS matrica tri najizvesnije iz kojih će se AHP pravilima izabrati najprihvatljivija. Alternative su:

- A1 – finansiranje skladištenja i uništenja medicinskog otpada od strane ministarstva zdravlja RS – strategija WT,
- A2 – edukovanje kadra iz MO i VS u nadležnim institucijama RS – strategija WO i
- A3 – inteziviranje saradnje kompetentnih nosioca poslova sa nadležnim telima RS (uključivanje u radna tela, zajedničke obuke, poslovi licenciranja...) – strategija SO.

U sledećem koraku vršeno je upoređivanje atributa u parovima na nivou podkriterijuma u cilju određivanja njihovih težina (prioritetnosti), a nakon toga i određivanje težine grupa (kriterijuma). Za definisanja i međusobna poređenja podkriterijuma eksperti su za svaki podkriterijum utvrdili uslovne skale vrednovanja, što je pojašnjeno na primeru tri podkriterijuma u kriterijumu „slabosti”.

Finansijski deo sagledavan je dvojako. Prvo, kroz ukupnu količinu odobrenih finansijskih sredstava za poslove ekologije (koja mogu biti dovoljna, delimična ili nedovoljna) u okviru konta ekonomske klasifikacije „4246”, i ukoliko ta vrednost nije 80 i više procenata, sredstva se smatraju nedovoljnim. Drugi aspekt predstavlja stepen realizacije sredstava od potpunog, delimičnog i nepotpunog (u slučaju kada je ispod 50%). I kadrovi su posmatrani kroz dva dela. Prvi se tiče broja, odnosno popunjenosti, gde je mala (negativna) popunjenost ispod 40%, a drugi na edukovanost, odnosno posedovanje neophodnih sertifikata, gde je negativna u slučaju da više od 60 % zaposlenih nema potrebne oblike usavršavanja za poverene poslove. Kod infrastrukture opredeljujući činilac je posedovanje skladišnog prostora, gde je nezadovoljavajući procenat svaki ispod 70%.

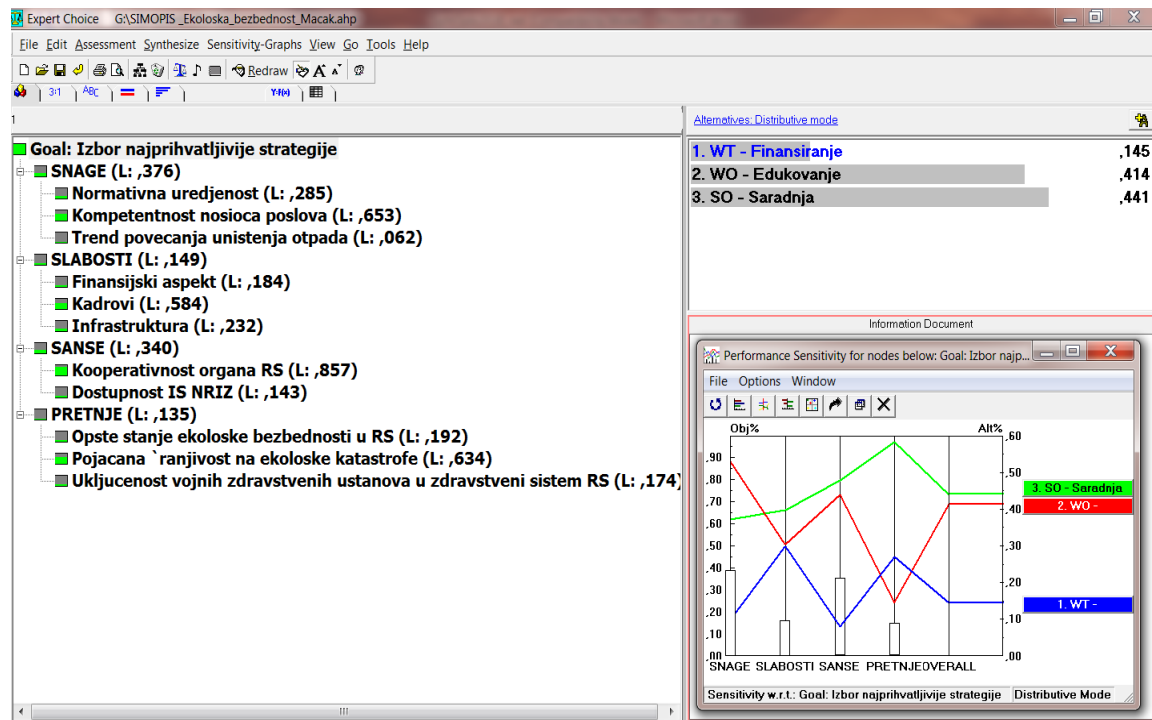
Napred navedeno olakšalo je međusobna poređenja podkriterijuma, gde je zaključeno da finansijski aspekti i infrastruktura podjednako utiču na „slabosti”, da su problemi kadrova dominantni u odnosu na probleme finansija, a neznatno dominantni u odnosu na infrastrukturne probleme.

Tokom rada koristile su se skale poređenja (Satijeva skala devet tačaka), uz poštovanje pravila koji pritom važe (poput recipročnosti), upotrebljavali poznati algoritmi rešavanja (normalizovne matrice) i proveravala konzistentnost preko stepena konzistentnosti (Saaty 1980, Saaty and Sodenkamp 2008, Čupić i Suknović 2010).

U konkretnom primeru, korišćenjem softverskog paketa Expert Choise, rezultat obrade podataka pokazuje da su prioritetni podkriterijumi kompetentnost nosioca poslova u okviru kriterijuma „Snage”; kadrovi u okviru kriterijuma „Slabosti”; kooperativnost republičkih organa u okviru kriterijuma „Šanse“ i pojačana osetljivost MO i VS na ekološke katastrofe u okviru kriterijuma „Pretnje”. Po pitanju grupa (kriterijuma), prioritetan uticaj ispoljavaju „Snage”, a najmanje značajan „Pretnje”.

U završnom delu, pristupilo se ocenjivanju alternativnih strategija u odnosu na faktore (podkriterijume), unutar svake SWOT grupe, čime je izračunat prioritet tri alternativne strategije, odnosno izvršio se izbor najprihvatljivije. Po sprovođenju kompletnog postupka, strategija A3 – inteziviranje saradnje kompetentnih nosioca poslova sa nadležnim telima RS (uključivanje u radna tela, zajedničke obuke, poslovi licenciranja...) iz grupe MAKSI - MAKSI pokazala se kao najprihvatljiviji izbor.

Pregledan prikaz navedenih rezultata dat je na slici 1.



Slika 1: Prikaz rezultata A'WOT metode i analiza osetljivosti rešenja

Na istoj slici ukazuje se i na korisnu opciju unutar softverskog paketa Expert Choise, odnosno mogućnost analize osetljivosti rešenja. Konkretno, primena „Performans” analize osetljivosti, ukazuje na to da relativno povećanje težinske vrednosti kriterijuma „Snage” (za više od 10%), za posledicu ima to da bi se promenila odluka, odnosno najprihvatljivija strategija. Tada bi to bila to bi bila strategija A2 – edukovanje kadra iz MO i VS u nadležnim institucijama RS, iz grupe MINI - MAKSI. Što se tiče strategije A1, sprovedena analiza osetljivosti ukazuje na to da promene težinskih vrednosti kod bilo kog SWOT kriterijuma, tu strategiju ne mogu pozicionirati kao najprihvatljiviju.

4. ZAKLJUČAK

Ministarstvo odbrane i Vojska Srbije značajno su uključeni u oblast ekološke bezbednosti. Oblast je opterećena raznim problemima unutrašnje i spoljašnje prirode. Iz tog razloga, pred sve nivoe rukovođenja nameće se zadatak unapređenja postojećeg stanja.

U radu su autori dali mogući način objektivnijeg analiziranja postojećeg stanja i donošenja najprihvatljivije korektivne odluke u predmetnoj oblasti, na način da su kombinovali široko rasprostranjenu metodu kvalitativne analize (SWOT) i poznatu kvantitativnu metode višekriterijumskog odlučivanja (AHP).

Pristup prikazan u ovom radu može doneti višestruke benefite i odbrambenim strukturama i životnoj sredini, a Ministarstvo odbrane i Vojsku Srbije pozicionirati kao još važnije aktere ekološke bezbednosti Republike Srbije.

Kako primena A'WOT metode umanjuje rizik od pogrešne odluke i njenih negativnih posledica, stimuliše kvalitet, dalje razvija teoriju odlučivanja i uvećava fond ukupnog znanja o teoriji odlučivanja, ista je pogodna za unapređenje stanja i u drugim oblastima rada organizacionih celina Ministarstva odbrane i Vojske Srbije.

LITERATURA

- [1] Čupić, M., Suknović, M. (2010). Odlučivanje. Beograd: Fakultet organizacionih nauka.
- [2] Dimić, S., Ljubojević, S., Kankaraš, M. (2013). Izbor strategije razvoja multimodalnog transporta u Vojski Srbije primenom A'WOT metode, SYMOPIS 2013, Zbornik radova, str. 685 – 690.
- [3] Forca, B., Sekulović, D., Maćak, Z. (2016). Bezbednosno okruženje Republike Srbije - SWOT analiza i TOWS matrice, SYMOPIS 2016, Zbornik radova, str. 495-498.



- [4] Гольдштейн Г. Я. (2003). Стратегический менеджмент, Учебное пособие, Таганрок, ТРТУ.
- [5] Kangas, J., Pesonen, M., Kurttila, M. and Kajanus M. (2001). "A'WOT: Integrating AHP with SWOT Analysis", Proceedings of the Sixth International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Bern, Switzerland, p. 189-198.
- [6] Kurttila, M., Pesonen, M., Kangas, J. and Kajanus, M. (2000), Utilizing the analytical hierarchy process (AHP) in SWOT analysis – A hybrid method and its application to a forest–certification case. Forest Policy and Economics, 1, 41-52.
- [7] Lawrence, J. M., Holly, L. J. S., Zolderdo J. A., Struther, P. D. and Cook, J. S. (2015). The effects of modern war and military activities on biodiversity and the environment, Environmental Reviews, 2015, 23(4), p. 443-460.
- [8] Mačak, Z., Kankaraš M., Đorđević, D. (2018). Ecological Security and Military Organization in the Digital Age, Vojno delo 1/2018 – International Edition, Beograd, Medija centar „Odbrana”, p. 50-62.
- [9] Saaty, T.L. (1980). Analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill.
- [10] Saaty, T.L., Sodenkamp, M. (2008). Making decisions in hierarchic and network systems. Int. J. Applied Decision Sciences, Vol. 1, No. 1, p. 24-79.



ANALIZA STUDIJSKIH PROGRAMA ŠKOLOVANJA INŽENJERA TEHNOLOGIJE U VOJNIM VISOKOŠKOLSKIM USTANOVAMA U PERIODU OD 1993. DO 2018. GODINE

ANALYSIS OF STUDY PROGRAMMES FOR EDUCATION OF CHEMICAL TECHNOLOGY ENGINEERS IN MILITARY ACADEMIES BETWEEN 1993 AND 2018

JOVICA BOGDANOV¹, ZORAN BAJIĆ², MIHAEL BUČKO³

¹ Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, jovica.bogdanov@va.mod.gov.rs

² Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, zoran.bajic@va.mod.gov.rs

³ Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, mihael.bucko@va.mod.gov.rs

Rezime: Vojne visokoškolske ustanove u našoj zemlji imaju dugotrajnu i bogatu tradiciju školovanja kadra za potrebe oružanih snaga i preduzeća odbrambene industrije. Potrebe za školovanjem kadra različitih obrazovnih profila se stalno menjaju, prvenstveno u skladu sa razvojem sredstava naoružanja i vojne opreme, ali i drugih faktora (političkih, društvenih, ekonomskih i dr.). Period od 1993. do 2018. godine karakterisan je vrlo značajnim društvenim i političkim promenama, koje su uticale i na vojno visoko obrazovanje. Studijski programi su jedan od parametara, koji značajno utiču na kvalitet školovanja. Izvršena je analiza strukture i sadržaja četiri studijska programa na osnovu kojih je u vojnim akademijama vršeno školovanje inženjera tehnologije sa ciljem upoređivanja kvaliteta novog studijskog programa sa starim i daljeg unapređenja studijskog programa. Zbog potpunosti analize, zajedno su razmatrani studijski programi osnovnih i master studija. Korišćena je metoda analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP).

Cljučne reči: Višekriterijumsko ocenjivanje, studijski program, tehnološko inženjerstvo.

Abstract: Institutions of military higher education in our country have long and rich traditions in education of military and defence industry personnel. There is a constant need for changes in education of different profiles, mainly due to the development of weapon systems and military equipment, but other factors too (political, social, economical etc.). The period between 1993 and 2018 was characterised by very significant social and political changes, which had influenced on military higher education. Study programmes are one of the significant parameters of education quality. The structures and contents of four study programmes for education of chemical technology engineers were analysed to obtain the information whether the newest one is with higher degree of excellence and if there is a room for its further improvement. In order to make a comprehensive analysis, the study programmes of bachelor and master academic studies were considered integrally. The analytical hierarchy processes method (AHP) was used in this analysis.

Keywords: Multi-criteria decision making, study program, chemical technology engineering.

1. UVOD

Prva savremena vojna visokoškolska ustanova u našoj zemlji bila je Artiljerijska škola, osnovana 1850. godine u Kragujevcu. Međutim, manje je poznato da je organizovano školovanje oficira u Kneževini Srbiji započelo znatno ranije, o čemu postoji obimna literatura (Maksimović 1925, Pršić 2000). Prvi organizovani oblik školovanja prvih kadeta bio je od 1830. do 1833. godine u „Gvardijskoj školi“ u Požarevcu. Naredni pokušaj školovanja oficira bio je od 15. decembra 1837. do 15. juna 1838. godine, kada su pitomci, posle preseljenja iz Požarevca u Beograd i Kragujevac i konačnog zatvaranja „Knjaževsko-serbske voenne akademije“, nastavili školovanje u Kragujevačkoj gimnaziji. Time je ponovo odložena ideja o sopstvenom školovanju stručnog kadra za potrebe vojske (Pršić 2000).

Put ka samostalnoj srpskoj državi nametnuo je potrebu razvoja i domaće vojne industrije, sposobne za obezbeđenje najznačajnijih vojnih materijalnih potreba. Zabeležen je predlog Jovana Rajića od 23. juna 1832. godine za osnivanjem prve vojnotehničke škole, gde bi se za četiri do pet godina mladići školovali za „taktičeske vojnike i inženire“, koji bi po završetku postajali nastavnici u pukovskim „vojnim školama“ ili inženjeri za premeravanje zemlje, uređenje mesta i građenje vojnih objekata. Nažalost, predlog tada nije usvojen, ali se može smatrati začetkom razvoja savremenog vojnog obrazovanja kod nas (Pršić 2000.).



Potrebe Kneževine Srbije za sopstvenom proizvodnjom naoružanja i školovanjem stručnog kadra dovele su do konačne odluke da se osnuje odgovarajuća obrazovna ustanova. Na predlog Ilije Garašanina i po završetku „Projekta o ustrojstvu Artiljerijske škole“, knez Aleksandar Karađorđević je 18. marta 1850 godine pri Topolivnici u Kragujevcu osnovao „Artiljerijsku školu“, gde će se pitomci nakon završenog Liceja (gimnazije) školovati ne samo da budu „prosti radnici za pravljenje kalupa i livenje đuladi i topova“ (Maksimović 1925). Iz Garašaninovog predloga, propisa o ustrojstvu i svih struktura predmeta u nastavnim planovima i programima Artiljerijske škole i Vojne akademije do 1914. godine uočava se da je školovanje pružalo vrlo temeljna i obimna znanja iz prirodnih i tehničkih nauka (Pršić 2000).

Na osnovama snažne tradicije ali i realnih potreba, u našoj zemlji postoje vojne obrazovne ustanove, gde je školovan veliki broj vojnih lica, oficira i podoficira, ali i inženjera različitih oblasti tehničkih nauka. U proteklih 50 godina, u vojnim visokoškolskim ustanovama vršeno je i školovanje inženjera tehnologije, prvenstveno za rad sa opasnim materijama. U cilju određivanja osobina studijskih programa školovanja inženjera tehnologije u periodu od 1993. do 2017. godine, izvršeno je istraživanje sadržaja četiri nastavna plana i programa (NPP) i studijskih programa (SP):

- NPP smera Tehničke službe, specijalnosti Municija i eksplozivne materije (Vojnotehnička akademija Vojske Jugoslavije 1993. godine),
- NPP smera Tehničke službe, specijalnosti Ubojna sredstva i Pogon i zaštita (Vojnotehnička akademija Vojske Jugoslavije 1997. godine),
- SP osnovnih i master akademskih studija Vojnohemijsko inženjerstvo, modul Ubojna sredstva i Atomska-biološko-hemijska služba (Vojna akademija 2009. godine), i
- SP osnovnih i master akademskih studija Vojnohemijsko inženjerstvo, specijalnosti Ubojna sredstva i Pogon i zaštita (Vojna akademija Univerzitet odbrane u Beogradu 2017. godine).

Radi potpunije analize, analizirani su programi u ukupnom trajanju pet godina školovanja, nakon čega se sticao stručni naziv diplomirani inženjer hemijske tehnologije (NPP iz 1993. i 1997. godine) ili master inženjer tehnologije (SP iz 2009. i 2017. godine). Programi su analizirani sa ciljem upoređivanja kvaliteta novog studijskog programa sa starim i sagledavanja potreba i mogućnosti daljeg unapređenja studijskog programa.

2. PARAMETRI I KRITERIJUMI ANALIZE SADRŽAJA PROGRAMA ŠKOLOVANJA

Kvalitet školovanja zavisi od mnogih faktora, na koje se može uticati u određenoj meri. Taj uticaj je uglavnom moguć samo u pojedinim fazama primene programa školovanja. Mnoge uticajne faktore, kao što su nastavno angažovanje nastavnika, ispunjavanje nastavnih i ispitnih obaveza studenata, dostupnost nastavnih sredstava i literature, naučnoistraživački rad i dr., moguće je stalno pratiti i vršiti odgovarajuće uticaje u cilju poboljšanja kvaliteta školovanja (Mbajiorgu and Reid 2006, Kawser 2014).

Može se reći da su sadržaji određenog programa školovanja ključni uticajni faktor, na koji se uticaj pretežno vrši tokom faze razvoja programa. Visoko obrazovanje za potrebe vojnih organizacija ima određene specifičnosti u odnosu na odgovarajuće programe školovanja, čiji značaj je potrebno uključiti u analizu.

Analizu sadržaja programa školovanja moguće je izvršiti pomoću metoda višekriterijumskog odlučivanja (Melon *et al.* 2007, Erkan and Rouyendegh 2013). U svrhu analize sadržaja izvršen je izbor odgovarajućih parametara programa školovanja, kojima se jasno i jednoznačno opisuju:

- nastavni sadržaji iz oblasti tehnološkog inženjerstva,
- nastavni sadržaji iz oblasti vojnog obrazovanja,
- nastavni sadržaji iz drugih oblasti nauka,
- mogućnosti izbora nastavnih sadržaja i
- nastavno opterećenje kadeta i studenata.

U skladu sa navedenim, definisano je 12 pogodnih kriterijuma, prikazanih u Tabeli 1, dok su vrednosti kriterijuma x_i prikazani u Tabeli 2.

Kriterijumima C1-C3 mogu se jednoznačno odrediti nastavni sadržaji, koji su izuzetno značajni za budući rad i usavršavanje inženjera tehnologije. Razmatran je obim aktivne nastave (predavanja, vežbe i drugi oblici nastave) naučno-stručnih (NS) predmeta iz naučnih oblasti hemijskih i fizičko-hemijskih nauka, kao i stručno-aplikativnih (SA) predmeta iz oblasti tehnološkog inženjerstva, metalurškog inženjerstva i inženjerstva zaštite životne sredine (ZŽS). Zbog velikog značaja praktičnih znanja i veština budućih inženjera tehnologije, odvojeno je razmatran i obim vežbi iz navedenih NS i SA predmeta. Vrednosti ovih kriterijuma izražene su u časovima.



Nastavni sadržaji vojnog obrazovanja određeni su kriterijumima C4 i C5, odn. obimom aktivne nastave vojnog obrazovanja (taktika, upotreba sredstava naoružanja i vojne opreme, upravljanje, rukovođenje i komandovanje, vojna istorija, geografija, topografija, psihologija, andragogija, etika i dr.) i odgovarajućih praktičnih oblika školovanja, osposobljavanja i obuke, koji se realizuju u obliku stručnih praksi u vojnim jedinicama ili ustanovama, stažiranja na dužnostima vojnih lica i posebnih oblika nastave (PON). Ovim kriterijumima moguće je opisati njihov značaj na ukupne osobine razmatranih programa školovanja.

Tabela 1: Kriterijumi sadržaja programa školovanja inženjera tehnologije

Parametri	Kriterijumi	
Nastavni sadržaji iz oblasti tehnološkog inženjerstva	C1	Obim nastave iz NS predmeta
	C2	Obim nastave iz SA predmeta
	C3	Obim vežbi iz NS i SA predmeta
Nastavni sadržaji iz oblasti vojnog obrazovanja	C4	Obim nastave vojnog obrazovanja
	C5	Obim stručne prakse i PON
Nastavni sadržaji iz ostalih oblasti nauka	C6	Obim nastave iz ostalih oblasti TT i PMN
	C7	Obim nastave stranih jezika
	C8	Obim nastave iz ostalih oblasti DHN
Mogućnost izbora nastavnih sadržaja	C9	Faktor izbornosti
	C10	Obim izborne nastave
Nastavno opterećenje kadeta i studenata	C11	Prosečan obim aktivne nastave u semestru
	C12	Prosečan broj ispita u semestru

Nastavni sadržaji iz ostalih oblasti nauka imaju određen značaj za obrazovanje budućih vojnih lica i inženjera tehnologije, koji se ne sme izostaviti iz analize. Njihov značaj određen je kriterijumima C6-C8, gde se u cilju potpunije analize odvojeno razmatraju obimi aktivne nastave iz ostalih naučnih oblasti tehničko-tehnoloških i prirodno-matematičkih nauka (TT i PMN, pretežno matematičke, fizičke i organizacione nauke, kao i mašinskog, elektrotehničkog i računarskog inženjerstva), stranih jezika i društveno-humanističkih nauka (DHN, pretežno sociološke, ekonomske i političke nauke).

Savremeni studijski programi odlikuju se mogućnošću izbora određenih nastavnih sadržaja. Na taj način se omogućava školovanje za uži izbor radnih mesta, gde se usvajaju specijalizovana namenska znanja i veštine. U savremenim zahtevima za akreditaciju studijskih programa je propisan najmanji udeo izborne nastave, što u ranijem periodu nije bio slučaj. Radi potpunije analize se u kriterijumu C10 (Obim izborne nastave) izbornim predmetima smatraju i svi obavezni predmeti specijalnosti (Ubojna sredstva i Pogon i zaštita) i modula školovanja.

**Tabela 2:** Vrednosti kriterijuma za razmatrane programe školovanja inženjera tehnologije

Kriterijumi	NPP Tehnička služba, VTA 1993.	NPP Tehnička služba, VTA 1997.	SP Vojnohemijsko inženjerstvo, VA 2009.	SP Vojnohemijsko inženjerstvo, VA 2017.
C1	705	735	435	555
C2	825	885	840	975
C3	630	705	555	615
C4	1050	915	705	495
C5	910	910	652	1034
C6	1410	1335	825	1055
C7	120	120	240	360
C8	195	90	90	120
C9	0	2	2	2,72
C10	0	990	905	1620
C11	460	432	342	410
C12	5,5	6,1	4,8	5,6

Kriterijum C9 (Faktor izbornosti) direktno ukazuje na mogućnost izbora. To je količnik broja svih predmeta, koji se mogu birati, i broja izbornih predmeta. Na primer, najveći faktor izbornosti je kod SP Vojnohemijsko inženjerstvo iz 2017. godine, gde je omogućen izbor jednog predmeta od prosečno 2,72 ponuđena izborna predmeta (Tabela 2).

Jedan od ključnih parametara uspešnosti školovanja je nastavno opterećenje kadeta i studenata, čiji se uticaj u ovoj analizi razmatra pomoću kriterijuma C11 i C12. Prosečan obim nastave u semestru (C11) ukazuje na opterećenje kadeta i studenata za vreme realizacije nastave, dok se prosečnim brojem ispita u semestru ukazuje na opterećenje za vreme ispitnih rokova.

3. ANALIZA PROGRAMA ŠKOLOVANJA

Metode višekriterijumskog odlučivanja mogu se uspešno koristiti u procesima analize složenih sistema i pojava. Značajnu pomoć pružaju pri proceni više sličnih rešenja i donošenju odluke o izboru najpovoljnijeg.

Definisani kriterijumi analize su vrlo precizno određeni svojim vrednostima (Tabela 2). U cilju određivanja značajnosti kriterijuma za razmatrana četiri slična programa školovanja inženjera tehnologije korišćena je metoda analitičkog hijerarhijskog procesa (Analytical Hierarchy Process, AHP), koja je uspešno korišćena u sličnim analizama u različitim oblastima (Saati 1980, Melon *et al.* 2007, Erkan and Rouyendegh 2013, D'Urso and Masi 2015, Gigović *et al.* 2017). Vrednosti međusobnog uticaja svih kriterijuma određene su u skladu sa osnovnom skalom metode AHP (Saati 1980), na osnovu kojih su izračunate težinske vrednosti koeficijenta i prikazane su u Tabeli 3.

**Tabela 3:** Matrica poređenja i težinske vrednosti koeficijenata

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	w_i
C1	1	1/3	1/3	1	1/3	1	3	3	1/3	1/3	1/3	1/5	0,0434
C2	3	1	1	1	1	3	5	9	1	5	3	3	0,1439
C3	3	1	1	3	1	3	7	7	1	3	5	5	0,1588
C4	1	1	1/3	1	1/3	1	5	9	1/2	1	1	3	0,0791
C5	3	1	1	3	1	3	7	9	1	1	5	5	0,1517
C6	1	1/3	1/3	1	1/3	1	5	7	1/2	1	3	3	0,0737
C7	1/3	1/5	1/5	1/5	1/7	1/5	1	3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,0235
C8	1/3	1/9	1/7	1/9	1/9	1/7	1/3	1	1/5	1/3	1/5	1/5	0,0143
C9	3	1	1	2	1	2	3	5	1	3	5	3	0,1313
C10	3	1/5	1/3	1	1	1	3	3	1/3	1	3	1	0,0692
C11	3	1/3	1/5	1	1/5	1/3	3	5	1/5	1/3	1	1/5	0,0453
C12	5	1/3	1/5	1/3	1/5	1/3	3	5	1/3	1	5	1	0,0657

 $\lambda_{\max} = 13,6303$; $CI = 0,1482$; $CR = 9,62\%$.

Na osnovu vrednosti kriterijuma x_i (Tabela 3) izračunati su udeli pojedinih vrednosti kriterijuma X_i pomoću izraza:

$$X_i = \frac{x_i}{(x_i)_{\max}} \quad (1)$$

Pomoću dobijenih vrednosti su izračunati konačni rezultati metodom ponderisane linearne kombinacije (Weighted Linear Combination, WLC):

$$S_j = \sum(w_i \cdot X_i) \quad (2)$$

za sve razmatrane programe školovanja ($j = 4$) i prikazani u Tabeli 4.

Tabela 4: Rezultati analize programa školovanja inženjera tehnologije

NPP Tehnička služba, VTA 1993.	NPP Tehnička služba, VTA 1997.	SP Vojnohemijsko inženjerstvo, VA 2009.	SP Vojnohemijsko inženjerstvo, VA 2017.
71,83%	86,66%	70,95%	89,29%

4. ZAKLJUČAK

Analizirana su četiri programa školovanja inženjera tehnologije u vojnim visokoškolskim ustanovama od 1993. do 2018. godine. Svi programi su razmatrani u ukupnom trajanju od pet godina, odnosno zajedno su razmatrani studijski programi osnovnih i master akademskih studija iz 2009. i 2017. godine. Zbog složenosti problema rešavanja korišćene su metode višekriterijumskog odlučivanja. Definisano je 12 kriterijuma analize studijskih program sa poznatim vrednostima, za koje su metodom AHP određene vrednosti težinskih koeficijenata.

Najpovoljniji rezultat ostvaren je kod SP Vojnohemijsko inženjerstvo iz 2017. godine, gde su visoke vrednosti obima stručno-aplikativnih predmeta iz oblasti tehnološkog inženjerstva i izborne nastave uz istovremeno srednje vrednosti najvećeg dela ostalih kriterijuma, između ostalog i nastavnog opterećenja kadeta i studenata. NPP Tehnička služba iz 1997. godine ostvario je nešto slabiji rezultat.

Najslabiji rezultat ostvaren je kod SP Vojnohemijsko inženjerstvo iz 2009. godine. Razlog tome su zasigurno i vrlo niske vrednosti najvećeg dela kriterijuma, iako postoji povoljna ravnoteža vrednosti najvećeg dela kriterijuma i vrlo nisko opterećenje kadeta i studenata.

Uočava se i slab rezultat kod NPP Tehnička služba iz 1993. godine, uprkos vrlo visokim vrednostima kriterijuma obima nastave iz oblasti tehničko-tehnoloških i prirodno-matematičkih nauka.



LITERATURA

- [1] D'Urso, D.M., & Masi, D. (2015). Multi-criteria decision-making methods and their applications for human resources. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-6/W1, 31-37.
- [2] Erkan, T.E., & Rouyendegh, B.D. (2013). Curriculum change parameters determined by multi criteria decision making (MCDM). *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 116, 1744–1747.
- [3] Gigović, Lj., Regodić, M., & Drobnyak, S. (2017). Primena GIS modela u izradi mape hazarda od poplava. *Zbornik radova 44. simpozijuma o operacionim istraživanjima (SymOpIs 2017)*, Zlatibor, Srbija, 116-121.
- [4] Kawser, M.A. (2014). *Curriculum Development in Higher Education*. University of Oslo, Oslo: Reprosentralen.
- [5] Maksimović, V. (1925). Artileriska škola i Vojna akademija. In *Spomenica sedamdesetpetogodišnjica Vojne akademije 1850–1925*. Beograd: Štamparska radionica Ministarstva Vojske i Mornarice.
- [6] Mbajorgu, N., & Reid, N. (2006). *Factors Influencing Curriculum Development in Higher Education Physics*. University of Glasgow, Hull: Higher Education Academy Physical Sciences Centre.
- [7] Melon, M.G., Zambrano, J.A.A., Beltran, P.A., & Bautista, R.P. (2007). A methodological approach for the selection of an undergraduate curriculum in design based on AHP and PROMETHEE multicriteria techniques. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED'07)*, Paris, France, 53, 1-12.
- [8] Pršić, M. (2000). Vojne škole u Srbiji. In B. Ljušić, S. Bojković, M. Pršić, & B. Jovović, *Oficiri u visokom školstvu Srbije 1804-1918*. (201-340), Vojnoizdavački zavod, Beograd.
- [9] Saati, T. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*. Pittsburgh: RWS Publications.



OSNOVNE DETERMINANTE IZDATAKA ZA ODBRANU REPUBLIKE SRBIJE

MAJOR DETERMINANTS OF DEFENSE EXPENDITURE OF THE REPUBLIC OF SERBIA

DEJAN STOJKOVIĆ¹,

¹ Ministarstvo odbrane - Uprava za strategijsko planiranje; Univerzitet odbrane u Beogradu - Vojna akademija, dej.stojkovic@gmail.com

Rezime: Izdaci za odbranu Republike Srbije određeni su delovanjem brojnih činilaca. U radu su dati osnovni ekonomski pokazatelji Republike Srbije i osnovni podaci o finansiranju odbrane. Primenom regresione analize testirano je više različitih modela kod kojih su izdaci za odbranu Republike Srbije nezavisna varijabla, dok su zavisne varijable različite kombinacije parametara koji se odnose na političke, bezbednosne, ekonomske i druge činioce. 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.

Ključne reči: Odbrana, bezbednost, izdaci za odbranu, analiza.

Abstract: Defence expenditures of the Republic of Serbia are determined by many factors. Major economic indicators and basic defence expenditures data are given in this paper. Regression analysis was applied in order to test various models in which Serbian defence expenditures was an independent variable. Predictors were different combination of other variables that are related to political, security, economical and other factors. The regression analysis pointed out that Serbian defence expenditures are mainly influenced by economic strength, the level of national security as well as military expenditure of neighbouring countries and NATO Europe.

Keywords: Defence, security, defence expenditures, analysis.

1. UVOD

Republika Srbija je država koja se suočava sa brojnim političkim, ekonomskim, socijalnim, bezbednosnim i drugim izazovima. Poseban izazov predstavlja zaštita nacionalnih i odbrambenih interesa u složenom međunarodnom okruženju.

Radi zaštite svojih vitalnih interesa Republika Srbija je donela odluku o vojnoj neutralnosti, specifičnom političkom, bezbednosnom i odbrambenom konceptu. Vojna neutralnost podrazumeva da se u zaštiti svojih nacionalnih i odbrambenih interesa Republika Srbija oslanja isključivo na sopstvene snage i resurse. Međutim, vojna neutralnost ne isključuje saradnju sa drugim državama i međunarodnim organizacijama u skladu sa interesima Republike Srbije.

Tradicionalno neutralne države u Evropi su ekonomski razvijene i uspešne u zaštiti svojih nacionalnih interesa. U međunarodnim odnosima uživaju visok ugled i daju veliki doprinos zaštiti međunarodnog mira i stabilnosti.

Izdaci za odbranu određeni su brojnim činionicima. U radu se istražuju osnovne determinante izdataka za odbranu Republike Srbije. Cilj rada je da se utvrde osnovni činioци koji određuju visinu izdataka za odbranu.

Za potrebe rada korišćeni su isključivo podaci iz otvorenih izvora. Podaci su preuzeti iz baze podataka SIPRI (engl. Stockholm International Peace Research Institute, SIPRI) i Svetske banke (engl. World Bank). Istraživanje je sprovedeno za period od 2007. do 2016. godine, a imajući u vidu da je Republika Srbija 2006. godine postala nezavisna država.

Iznosi za bruto domaći proizvod (BDP) i izdataka za odbranu iskazani su u stalnim cenama (internacionalni dolar 2011) i prilagođeni paritetu kupovne moći (engl. Purchasing Power Parity, PPP), što je eliminisalo uticaj inflacije i omogućilo poređenje podataka u datom periodu. Takođe, to je omogućilo i poređenje podataka za Republiku Srbiju i druge države, odnosno međunarodne organizacije.



Radi određivanja glavnih determinanti izdataka za odbranu Republike Srbije primenjene su korelaciona i regresiona analiza. Podaci su obrađeni korišćenjem statističkih softvera IBM SPSS Statistics verzija 20 i R software verzija 3.2.5.

2. OSNOVNI EKONOMSKI POKAZATELJI REPUBLIKE SRBIJE

Tokom građanskog rata na prostoru bivše SFRJ protiv Savezne Republike Jugoslavije odnosno Republike Srbije primenjene su drastične ekonomske i druge sankcije. One su proizvele velike posledice po srpsku ekonomiju i društvo u celini. Nakon ukidanja sankcija i poboljšanja međunarodnog položaja Republike Srbije započeo je proces ekonomskog oporavka i opšte društvene reforme.

Nakon sticanja nezavisnosti Republika Srbija se suočavala sa brojnim ekonomskim problemima od koji su se posebno izdvajali visok javni dug, fiskalni deficit i nezaposlenost. U tabeli 1 prikazani su osnovni ekonomski indikatori Republike Srbije u periodu od 2007. do 2016. godine.

Tabela 1: Osnovni ekonomski indikatori Republike Srbije

Godina	BDP, PPP (stalni 2011 intl \$,milioni)		BDP po stanovniku, PPP (stalni 2011 intl \$)		Inflacija (%)	Javni dug (% of BDP)	Nezaposlenost (%)
	Rast BDP (%)	Rast BDP po stanovniku (%)					
2007.	90.099	5,89	12.206	6,32	6,39	29,90	18,10
2008.	94.935	5,37	12.916	5,82	12,41	28,30	13,60
2009.	91.976	-3,12	12.564	-2,73	8,12	32,80	16,10
2010.	92.514	0,58	12.688	0,99	6,14	41,80	19,20
2011.	93.811	1,40	12.968	2,21	11,14	45,40	23,00
2012.	92.858	-1,02	12.899	-0,53	7,33	56,20	23,90
2013.	95.246	2,57	13.295	3,07	7,69	59,60	22,10
2014.	93.502	-1,83	13.113	-1,37	2,08	70,40	18,90
2015.	94.210	0,76	13.278	1,26	1,39	74,70	17,70
2016.	96.828	2,80	13.720	3,35	1,12	71,90	15,30

U periodu između 2007. i 2016. godine BDP je realno porastao svega 7,48% ili prosečno 0,83% po godini. U isto vreme rast BDP po stanovniku iznosio je 12,45% ili 1,38% godišnje. Razlika u stopi rasta ukupnog BDP i BDP po stanovniku u velikoj meri je posledica depopulacije, jer se broj stanovnika Republike Srbije smanjio za oko 324.000 ili 4,39% (World Bank 2016).

Prosečan BDP po stanovniku u Republici Srbiji je relativno nizak. U 2007. godini samo je šest evropskih zemalja (Moldavija, Ukrajina, Jermenija, Gruzija, Bosna i Hercegovina, Albanija i Makedonija) imalo niži BDP po stanovniku od Srbije. BDP po stanovniku Republike Srbije je iznosio svega 12,47% BDP po stanovniku Luksemburga, koji je bio najviši u Evropi. Vremenom, situacija se nije značajno promenila, osim razlike u visini BDP po stanovniku između Srbije i Luksemburga koja je neznatno smanjena. U 2016. godini BDP po stanovniku Srbije iznosio je oko 14,48% BDP po stanovniku Luksemburga.

Javni dug Republike Srbije se konstantno povećavao tako da je u 2015. godini dostigao 74,70% BDP. Trend je promenjen u 2016. godini kada je javni dug smanjen na 71,9% BDP, a nastavljen i u 2017. godini tako da je na kraju te godine iznosio 61,5% BDP. To je rezultat snažne fiskalne konsolidacije koja je uključivala smanjenje plata u javnom sektoru, penzija, subvencija i drugih oblika pomoći državnim i javnim preduzećima (VRS 2015).

3. IZDACI ZA ODBRANU REPUBLIKE SRBIJE

Izdaci za odbranu Republike Srbije određeni su delovanjem brojnih političkih, ekonomskih, socijalnih, bezbednosnih i drugih faktora. Svaki od tih činilaca ostvaruje specifične uticaje na odbrambene izdatke, ali i zajedno proizvode složene hibridne uticaje koji su komplikovani za prepoznavanje i objašnjenje.

U periodu od 2007. do 2016. godine izdaci za odbranu Republike Srbije kontinuirano su smanjivani, tako da su 2016. godine iznosili 84,9% izdataka iz 2007. godine (Tabela 2). Takođe, smanjivan je i udeo odbrambenih izdataka u BDP Republike Srbije tako da je 2016. godine taj udeo iznosio 1,91% BDP što je za oko 20,7% manje nego u 2007. godini.

**Tabela 2:** Izdaci za odbranu Republike Srbije

Godina	BDP, PPP (stalni 2011 intl \$, milioni)	Izdaci za odbranu, PPP (stalni 2011 intl \$, milioni)	Izdaci za odbranu (% of BDP)	Izdaci za odbranu po stanovniku, PPP (stalni 2011 intl \$)	Brojno stanje vojske
2007	90.099	2.172,72	2,41	294,34	24.000
2008	94.935	2.142,37	2,26	291,47	24.000
2009	91.976	2.102,74	2,29	287,23	29.125
2010	92.514	2.045,18	2,21	280,49	29.125
2011	93.811	1.992,55	2,12	275,44	28.150
2012	92.858	1.945,54	2,10	270,25	28.150
2013	95.246	1.924,63	2,02	268,65	28.150
2014	93.502	1.931,69	2,07	270,90	28.150
2015	94.210	1.868,45	1,98	263,33	28.150
2016	96.828	1.845,32	1,91	261,47	28.150

U posmatranom periodu smanjeni su i izdaci za odbranu po stanovniku. To smanjenje je niže od smanjenja ukupnih izdataka ili smanjenja udela izdataka za odbranu u BDP Republike Srbije, što je takođe posledica smanjenja broja stanovnika, o čemu je već bilo reči.

4. DETERMINANTE IZDATAKA ZA ODBRANU

U literaturi postoje različiti modeli koji objašnjavaju determinante odbrambenih izdataka (Hartley and Sandler 1990, Chletsos and Kollias 1995, Ball 2014, Dunne and Nikolaidou 2001). Radi identifikacije varijabli koje utiču na izdatke za odbranu Republike Srbije uspostavljena je baza podataka o različitim ekonomskim, socijalnim, političkim, bezbednosnim i drugim pitanjima. Nakon sprovedenog testa korelacije između tih varijabli i odbrambenih izdataka Republike Srbije izdvojeno je sedam varijabli sa odgovarajućim nivoom korelacije radi provere da li se pomoću njih može izraditi model koji objašnjava odbrambene izdatke Republike Srbije. Kratak opis tih varijabli dat je u tabeli 3.

Tabela 3: 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 je 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).

Regresiona analiza je sprovedena radi testiranja različitih modela kod kojih su izdaci za odbranu Republike Srbije zavisna varijabla, a regresori različite kombinacije varijabli datih u tabeli 3. U tabeli 4 dati su modeli



koji imaju odgovarajuće vrednosti prilagođenog koeficijenta determinacije i značajnosti. Analiza je pokazala da, sa raspoloživim podacima, nije moguće dobiti regresioni model koji objašnjava izdatke za odbranu Republike Srbije u posmatranom periodu, a da sadrži više od četiri varijabli.

Tabela 4: Rezultati regresione analize

Model	Statistika koeficijenata					Statistika modela				
	Nestandardizovani koeficijenti		Standardizovani koeficijenti	t	Znač.	Statistika kolinearosti		Prilagođen R ²	DW	Znač.
	B	Standardna greška	Beta			Toler.	VIF			
1 (Konstanta)	1881,535	19,459		96,691	0,000			0,875	0,588	0,000
NB	-393,780	49,170	-0,943	-8,009	0,000	1,000	1,000			
2 (Konstanta)	1428,932	117,099		12,203	0,000			0,955	1,388	0,000
NB	-300,783	38,062	-0,720	7,903	0,000	0,604	1,655			
U ₁	0,038	0,010	0,354	3,885	0,006	0,604	1,655			
3 (Konstanta)	2585,747	439,627		5,882	0,001			0,976	2,126	0,000
NB	-389,129	43,050	-0,932	-9,039	0,000	0,251	3,990			
U ₁	0,033	0,007	0,307	4,472	0,004	0,565	1,770			
U ₂	-0,004	0,001	-0,232	-2,682	0,036	0,357	2,798			
4 (Konstanta)	3147,851	435,991		7,220	0,001			0,985	2,532	0,000
BDPps	-0,050	0,023	-0,168	-2,140	0,085	0,270	3,708			
NB	-328,596	44,288	-0,787	-7,420	0,001	0,148	6,741			
U ₁	0,030	0,006	0,278	4,959	0,004	0,531	1,882			
U ₂	-0,003	0,001	-0,202	-2,898	0,034	0,343	2,912			

Najviši prilagođen koeficijent determinacije je u četvrtom modelu što ukazuje na vrlo dobru vezu između nezavisne varijable i regresora. Dodatno, nivo značajnosti je 0,000 i Durbin-Votson koeficijent modela je iznad kritične vrednosti koja odgovara modelu sa četiri varijable i deset opservacija ($DL = 0,376/DU = 2,414$).¹⁸ Na osnovu prethodnog može se istaći da se izdaci za odbranu Republike Srbije (SRBIzdO), kao zavisna varijabla, mogu opisati sledećim regresionim modelom:

$$SRBIzdOd = 3147,851 - 0,05BDPps - 328,596NB + 0,03U_1 - 0,003U_2 \quad (1)$$

Važno je istaći i to da su koeficijenti u modelu različiti od nule i, sa izuzetkom konstante i U₁, svi su negativni. To ukazuje na direktan odnos između izdataka za odbranu Republike Srbije kao zavisne varijable i ukupnih vojnih izdataka susednih država. Inverzni odnosi postoje između izdataka za odbranu Republike Srbije i BDP po stanovniku, nacionalne bezbednosti i ukupnih vojnih izdataka država NATO u Evropi.

5. ZAKLJUČAK

Republika Srbija suočava se brojnim političkim, bezbednosnim, socijalnim, ekonomskim i drugim izazovima. Za uspešan odgovor na te izazove potrebno je da njen sistem odbrane bude sposoban za zaštitu nacionalnih i odbrambenih interesa.

Na sposobnosti sistema odbrane u velikoj meri utiču finansijska sredstva koja se izdvajaju za potrebe odbrane, a visina izdvajanja predstavlja rezultat interakcije velikog broja činilaca. Prepoznavanje tih činilaca i prirode njihovog uticaja je važno za razumevanje odluka nadležnih držanih organa u vezi sa finansiranjem sistema odbrane, ali i za eventualno predviđanje budućeg finansiranja.

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. Ekonomski problemi i percepcija poboljšane nacionalne bezbednosti bili su razlozi za redukciju izdvajanja za odbranu u periodu od 2007. do 2016. godine.

¹⁸ P vrednost za F-test ukupne značajnosti je 0,000 što ukazuje da je grupa regresora zajednički značajna. P vrednost za BDPps je 0,085, što ukazuje da je značajna na 0,1 nivou.



Radi potpunog razumevanja problema od velike koristi bilo bi utvrđivanje uzročnosti između izdvajanja za odbranu Republike Srbije i drugih varijabli. U tom smislu, dalje analize trebalo bi usmeriti ka Grejndžerovom testu kauzalnosti (engl. Granger causality test).

LITERATURA

- [1] Ball, N. (2014). *Security and Economy in the Third World*. New Jersey: Princeton University Press.
- [2] Chletsos, M. & Kollias, C. (1995). Defence spending and growth in Greece 1974–90: some preliminary econometric results. *Applied Economics*, 27 (9), 883-890. doi:10.1080/00036849500000042
- [3] Dunne, P. & Nikolaidou, E. (2001). Military expenditure and economic growth: A demand and supply model for Greece, 1960–96. *Defence and Peace Economics*, 12(1), 47-67. doi:10.1080/10430710108404976
- [4] VRS (Vlada Republike Srbije). (2015). Fiskalna strategija za 2015. godinu sa projekcijama za 2016. i 2017. godinu. Beograd. <http://www.mfin.gov.rs/>
- [5] VRS (Vlada Republike Srbije). (2016). Fiskalna strategija za 2016. godinu sa projekcijama za 2017. i 2018. godinu. Beograd. <http://www.mfin.gov.rs/>
- [6] Hartley, K. & Sandler, T., eds. (1990). *The Economics of Defence Spending: An International Survey*. London: Routledge.
- [7] Stockholm International Peace Research Institute. *Različite godine. SIPRI Military Expenditure Database*. Stockholm: Stockholm International Peace Research Institute. <https://www.sipri.org/databases/milex>
- [8] World Bank. *Različite godine. World Development Indicators*. Washington, DC: The World Bank. <http://databank.worldbank.org/data>



ПРИМЕНА АХП МЕТОДЕ У ИЗРАДИ МОДИФИКАТОРА КРЕТАЊА ЈЕДИНИЦА КОПНЕНЕ ВОЈСКЕ У РАТНИМ ИГРАМА

APPLICATION OF THE AHP METHOD IN DEVELOPING THE MODIFICATOR OF MOVEMENT OF LEND UNITS IN WAR GAMES

ВЛАДА МИТИЋ¹, ДЕЈАН НИКОЛИЋ²

¹ Управа за стратегијско планирање, Сектор за политику одбране, Министарство одбране, vlada.mitic@mod.gov.rs

² Гарда, Генералштаб Војске Србије, ana65@ptt.rs

Резиме: Практична примена ратних игара у процесу оперативног планирања у Војсци Србије указала је на велике недостатке. Највећи број недостатака се односи на недефинисана правила ратних игара. У овом раду је приказан предлог могућег начина успостављања правила ратних игара, на пример утврђивања модификатора кретања различитих јединица. За утврђивање утицаја различитих модификатора кретања на умањење основних правила кретања различитих јединица употребљена је АХП метода. Предложени начин успостављања правила кретања омогућава унапређење ратних игара, њихову већу тачност и научну заснованост.

Кључне речи: Ратне игре, правила ратних игара, АХП метода, модификатори кретања.

Abstract: The practical application of war games in the process of operational planning in the Serbian Armed Forces has highlighted major shortcomings. The greatest number of shortcomings relates to undefined rules of war games. This paper presents a proposal for a possible way of establishing rules of war games, on the basis of determining the modifier of the movement of different units. AHP method was used to determine the influence of different movement modifiers on the reduction of the basic rules of movement of different units. The proposed method of establishing the rule of movement allows improvement of war games, their greater accuracy and scientific conception.

Keywords: War games, war game rules, AHP method, movement modifiers.

1. УВОД

Ратне игре су један од метода развоја сценарија, а који се тежишно примењује у процесу планирања операција. Ратним играма се могу проигравати различите варијанте употребе јединице, чиме се могу прикупити и анализирати подаци о исходима, те утврдити оптималне опције употребе јединица. У Војсци Србије ратне игре се употребљавају у ток процеса оперативног планирања, када се сучељавају различити развијени курсеви акција (варијанте употребе) плавог и црвеног. Анализом садржаја Упутства за оперативно планирање и рад команди у Војсци Србије, ако и на основу искуства аутора овог рада, утврђено је да ратне игре које се примењују у Војсци Србије немају утврђена правила. Такође, у Војсци Србије не постоји ни један доктринарни документ који ближе уређује област ратних игара.

Неутврђена правила ратних игара које се примењују у Војсци Србије, доводе до необјективности игре, те доминације судијских одлука о исходима и правилима игре. Последице оваквог стања могу се одразити у недовољном сагледавању исхода ратних игара, а нарочито губитака, доношењу лоших одлука од стране команди јединица, те у крајњем и неадекватној употреби јединица у операцијама и неуспеха у операцијама.

Како ратне игре имају дугу историју примене у војскама широм света, као и у хоби играма, извршена је анализа садржаја различите литературе, како професионално-војне, тако и хоби. Анализом литературе утврђено је да постоје многобројне категорије правила ратних игара које је потребно укључити приликом дизајнирања ратних игара. Једна од категорија правила ратних игара се односи на правила кретања.

У раду је предложен начин утврђивања модификатора кретања у ратним играма применом АХП методе. Модификаторима кретања се умањују основна правила кретања. Основна правила кретања је потребно утврдити за сваку јединицу посебно у идеалним условима. Применом АХП методе, могу с



утврдити утицаји појединих модификатора кретања на умањење основних правила кретања, чиме се правила кретања могу приближити реалним условима извођења борбених дејстава. Истраживање је реализовано на примеру пешадијских и оклопних јединица, а наведени начин се може применити и на друге јединице, као и на друга правила ратне игре.

2. ПОЈАМ И ЕЛЕМЕНИ РАТНИХ ИГАРА

Ратна игра се може посматрати као посебан научни метод истраживања оружане борбе, када се оружана борба не може истражити као реална појава (Радиновић, 1983). Узимајући у обзир класификацију научних метода, нарочито у оквиру општих научних (Милосављевић & Радосављевић, 2000; Сакан, 2006), о ратној игри се може говорити као о методи моделовања и методи симулације (Радиновић, 1983). Ратним играма се могу моделовати ранији, односно већ одиграни сукоби, када има претежно дескриптивни карактер, или неки будући сукоби, када има претежно прогностички карактер. Дескриптивни карактер ратних игара користи се за потврђивање дугогодишњег практичног искуства или објашњење раније стечених знања (Радиновић, 1983). Прогностички карактер ратних игара наглашава усмереност ратних игара на предвиђање исхода у моделованим сукобима увођењем различитих варијабли, те мерењем њиховог деловања доносе се научни закључци (Радиновић, 1983).

Ратне игре су еволуирале кроз историју, а имају и широку примену која превазилази војну делатност, те данас постоје ратне игре развијене за забаву (хоби ратне игре), као и професионалне ратне игре намењене искључиво за потребе војне делатности (Perla, 1990).

Управо је експанзија хоби ратних игара довела и до унапређења професионалних ратних игара тако што су алати и начин игре хоби игара прилагођени и употребљени за унапређење професионалних ратних игара (Perla, 1990).

Неопходни елементи сваке ратне игре су (Perla, 1990; United Kingdom Ministry of Defense, 2017):

- циљеви,
- сценарио,
- база података,
- модели,
- правила,
- играчи и
- анализа.

Циљеви ратних игара требају бити усмерени на прикупљање искуства и информација које су потребне за реализацију процеса планирања. Циљеви на тај начин постају усмерења за креирање игре, а нарочито за усмеравање играча у игри.

Сценарио ратне игре представља специфичну ситуацију у којој су играчи смештени, а која кључно утиче на све факторе ратне игре (Perla, 1990).

База података се састоји из информација које су играчима потребне за доношење одлука у току играња ратне игре (Perla, 1990). Када су у питању кључни фактори и њихове могуће вредности, њихов избор у највећој мери ће зависити од нивоа извођења операција, а приказан је у табели 1.

Табела 1: Типови фактора који се налазе у бази података у односу на нивое ратних игара (Weiner, 1959)

Типови фактора укључени у ратну игру	Тип (интензитет) конфликта			
	Дуел	Битка	Кампања	Рат
Ресурси	X	X	X	X
Циљеви	X	X	X	X
Војне обавештаје информације	X	X	X	X
Карактеристике окружења		X	X	X
Информације о позадини сукоба (енг. Background)		X	X	X
Логистика			X	X
Економија			X	X
Психологија			X	X
Политика				X
Друге стране				X



Модели ратних игара су намењени да податке из базе података, као и одлуке играча трансформишу у догађаје у ратној игри (Perla, 1990). Моделима се повезују међусобно акције играча и утврђује начин прорачунавања, односно одређивања исхода преузетих акција. У теорији ратних могу се наћи следећи модели (Weiner, 1959):

- математички;
- машински (рачунарске симулације);
- игре на табли;
- судијске.

Правила су следећи елемент ратне игре којим је утврђује како ће играчи играти игру и који ће се модели када примењивати.

Играчи су један од обавезних елемената игре, без обзира који се модел примењује. Чак и када су у питању машинске игре, односно рачунарске симулације, улога човека као играча који доноси одлуке о акцијама које ће предузети је неизбежна. У односу на број играча, ратне игре могу бити са једним играчем- најчешће рачунарске симулације где улогу другог играча игра рачунар, са два играча- најчешће ратне игре у војсци типа црвени-плави и са више играча- црвени, плани, савезници, неутрални и слично.

Анализа је елемент ратне игре који је неизбежан за професионалне игре, а фокус ратних игара треба управо бити на анализи (Perla, 1990). Анализа ратних игара се може фокусирати на два аспекта, и то: процес одлучивања, када је фокус анализе на акцијама играча; и на прикупљању доказа о одређеним догађајима, када је фокус анализе на исходима, односно ефектима (Perla, 1990).

3. ПРАВИЛА РАТНИХ ИГАРА

Избор различитих модела ратних игара имплицираће и различита правила, те се развој правила реализује паралелно са избором и израдом модела ратних игара. Сврха правила у ратним играма је да: диктирају који модели и када ће бити употребљени; успостављају правила повезаности акције, реакције и противакције; обезбеђују достављање потребних информација играчима, као и могуће грешке у информацијама а у вези са њиховом поузданошћу; утврђују улоге играча у ратној игри и слично (Weiner, 1959).

Анализирајући велики број извора који се баве правилима, како професионалним, тако и хоби ратних игара (Exercise Aldershot Skirmish, 2016; Martin, 1982; KDV Technology & Consulting, 2004-2018; United Kingdom Ministry of Defense, 2017; McHugh, 1966; War games research group, 1972; First Battle Basic Rules, 1989), може се закључити да су нека од основних правила ратних игара следећа:

- проток времена, којим се регулише колико временски траје један круг и који је однос протеклог времена и кретања по координатном систему;
- секвенце играња, којима се регулише који играч и када игра први, колико потеза има један круг¹⁹ као и када се прорачунавају исходи круга;
- величина базе прецизира колико простора на мапи у односу на елементе координатне мреже заузима одређени тип и величина јединице;
- радијус откривања и модификатори радијуса откривања;
- кретање и модификаторе кретања;
- правила директне и индиректне ватре и блиске борбе и модификатори отварања ватре;
- како се у игри уважава вероватноћа;
- погодци и модификатори погодка. Када су у питању правила погодака, морају се прецизирати правила за директну и индиректну ватру, као и блиску борбу;
- радијуси ватре и модификатори радијуса;
- домети и модификатори домета;
- остварени ефекти на циљ и модификатори ефеката;
- када се играчима дају информације и које, као и са којим степеном поузданости и тачности;
- када се доносе судијске одлуке и од чега сависи одлучивање и слично.

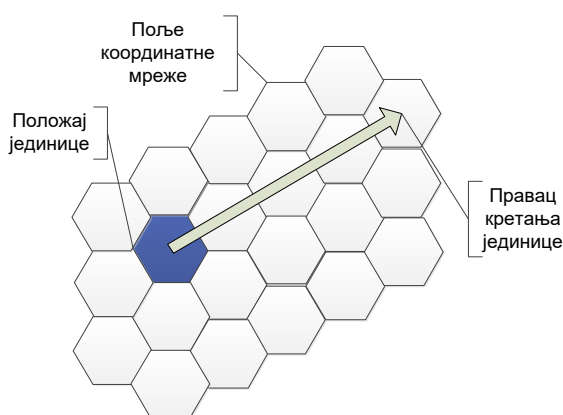
¹⁹ Два: акција-реакција, или три: акција-реакција-противакција.

Применом и разрадом наведених правила, ратна игра се усмерава и приближава реалности, а могуће деловање играча се ограничава. Основни недостатак ратних игара које се играју у Војсци Србије је управо недостатак правила, која нису прецизирана Упутством за оперативно планирање и рад команди (Генералштаб Војске Србије, 2017), као ни посебним упутствима и правилима којима би се регулисала област ратних игара.

4. МОДИФИКАТОРИ КРЕТАЊА ЈЕДИНИЦА КОПНЕНЕ ВОЈСКЕ У РАТНИМ ИГАРАМА

Правилима кретања се регулише колико елемената координатног система може одређени тип јединице да пређе у јединици времена, док се модификаторима мења број могућих елемената координатног система који се може прећи у зависности од терена и других оперативних услова.

Предуслови успостављања правила кретања су успостављена правила величине координатне мреже кретања (Слика 1), као и правила протока времена. Правилима протока времена се утврђује колико временски траје један круг игре и у директној је вези са величином поља у координатној мрежи.



Слика 1: Пример координатне мреже ратне игре и њена повезаност са правцем кретања

Такође, код утврђивања правила кретања, прво је потребно утврдити основна правила кретања за сваку врсту јединице, без утицаја фактора који могу умањити или увећати број поља које одређена јединица може прећи. Основна правила кретања се изражавају као број поља координатне мреже које јединица може прећи у једном кругу ратне игре (Слика 1). Основна правила кретања се морају утврдити у два сценарија, и то ван борбеног додира (које може бити на путевима и ван њих) и у току сукоба са другим играчем у непосредном борбеном додиру.

Анализом различите литературе која се бави ратним играма (Exercise Aldershot Skirmish, 2016; Martin, 1982; KDV Technology & Consulting, 2004-2018; United Kingdom Ministry of Defense, 2017; McNugh, 1966; War games research group, 1972; First Battle Basic Rules, 1989), могу се уочити следећи основни модификатори кретања:

- растиње, односно вегетација- којима се квантификује утицај различитих типова растиња, као на пример шума, грмље, степе и слично,
- састав тла, односно врста тла- на пример црница, гајњача, смоница, алувијалне равни, пешчаре, стеновито тло, дубина снежног покривача, мочварно тло и слично,
- нагиб тла- најчешће у степенима или процентима,
- вештачке препреке- квантификација утицаја различитих вештачких препрека као што су различита насеља, минско-експлозивне препреке, фортификацијске препреке и слично,
- хидрографија- на пример реке, потоци, језера и слично, различитих ширина и нагиба корина
- температура и атмосферски притисак- квантификација утицаја различитих температурних опсега и опсега атмосферских притисака,
- падавине- на пример заличити опсеги количине кишних падавина, снег, град и слично,
- морал- квантификација стања морала,
- физичка оспособљеност- стање физичке оспособљености у односу на потребан ниво, односно ниво утврђен стандардима,
- замор- утицај претходних активности јединице на замор људства и технике.



Наведени модификатори ће различитим интензитетом утицати на различите врсте јединица. С тим у вези, потребно је утврдити утицај наведених модификатора на основна правила кретања различитих врста јединица. У циљу постизања веће прецизности ратних игара могу се одредити и други модификатори, као и различити модификатори за различите јединице (на пример за авијацију били би другачији модификатори). Како је циљ рада приказ могућег начина утврђивања правила кретања ратних игара, а не предлог решења за правила кретања, рад ће се у даљем заснивати на примеру модификатора наведених у листи.

5. ПРИМЕР УТВРЂИВАЊА УТИЦАЈА МОДИФИКАТОРА КРЕТАЊА ЈЕДИНИЦА КОПНЕНЕ ВОЈСКЕ НА ОСНОВНА ПРАВИЛА КРЕАЊА

Како би се утврдио различити утицај појединих модификатора кретања на умањење основних правила кретања примењена је АХП метода. Узимајући у обзир да модификатори кретања имају различити утицај на умањење основних правила кретања код различитих јединица, у раду су као пример узете пешадијске и оклопне јединице.

За потребе примене АХП методе, у истраживању је коришћен софтвер Expert Choice. Узимајући у обзир да је циљ рада предлог начина утврђивања модификатора, а не предлог вредности модификатора, приликом избора експерата није примењен велики обухват, већ су као експерти коришћена војна лица рода пешадије и оклопних јединица запослени у Управи за стратегијско планирање. Ради постизања поузданијих података за потребе дизајнирања будућих ратних игара, неопходно је укључити већи број експерата са практичним искуствима са терена, а у вези употребе пешадијских и оклопних јединица. Резултати примене АХП методе приказани су у табели 2.

Tabela 2: Naziv tabele

Модификатор	Значај модификатора за пешадијске јединице	Значај модификатора за оклопне јединице
<i>Вегетација</i>	0,020	0,320
<i>Врста (састав) тла</i>	0,024	0,084
<i>Нагиб тла</i>	0,182	0,164
<i>Већтачке препреке</i>	0,033	0,181
<i>Хидрографија</i>	0,052	0,154
<i>Температура и прит.</i>	0,058	0,035
<i>Падавине</i>	0,112	0,024
<i>Морал</i>	0,074	0,017
<i>Физичка способност</i>	0,317	0,016
<i>Замор</i>	0,128	0,016

Анализом резултата примене АХП методе може се потврдити да различити модификатори различито утичу на умањење основних правила кретања, а што зависи од врсте јединице. Такође, резултати примене АХП методе могу се применити за елиминисање оних критеријума који имају веома мали утицај, те се на тај начин може допринети и једноставности правила у ратним играма. У табели 1 су црвеном позадином означени модификатори са веома малим утицајем, под условом да је праг веома малог утицаја узет са вредношћу значаја од 0,050. Променом прага вредности, може се утицати на број модификатора који ће бити укључени у правила кретања. Одређивањем могућих вредности за сваки модификатор, као и квантификавањем тих вредности могу се конструисати правила кретања у ратним играма за различите јединице.

6. ЗАКЉУЧАК

Применом научних метода могу се унапредити ратне игре у процесу оперативног планирања који се спроводи у Војсци Србије. Од нарочитог значаја за унапређење ратних игара је утврђивање правила. У раду је приказан један од могућих начина утврђивања правила кретања у ратним играма за различите јединице. Применом АХП методе могуће је утврдити утицаје појединих модификатора кретања на



основна правила кретања, чиме се умањују основна правила кретања, те приближавају реалним условима извођења борбених дејстава.

Осим значаја АХП методе за утврђивање утицаја различитих модификатора, утврђивањем прага вредности значаја могу се елиминисати они модификатори са малим значајем, чиме се постиже поједностављивање правила ратних игара. Једностава правила у ратним играма, иако умањују њену објективност, доприносе бољем схватању правила од стране играча, те се подиже употребна вредност ратне игре.

Даље истраживање на пољу правила ратних игара треба спроводити у три правца и то: укључивањем већег броја експерата повећати тачност и поузданост процене значаја различитих модификатора; утврдити могуће вредности за сваки модификатор, а утврђене вредности квантификовати како би могле да се примене у АХП методи за утврђивање коначних вредности модификатора кретања; проширити обухват истраживања на већи број врста јединица, као и на сва остала правила у ратним играма, а која су наведена у овом раду.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *First Battle Basic Rules*. (1989). Преузето Јун 23, 2018, са Connections UK: <http://professionalwargaming.co.uk/FirstBattleRules.pdf>
- [2] *Exercise Aldershot Skirmish*. (2016). Преузето Јун 9, 2018, са Connections UK: <http://professionalwargaming.co.uk/RMASExerciseAldershotSkirmish.pdf>
- [3] KDV Technology & Consulting. (2004-2018). *Combat Table Card*. Преузето Јун 18, 2018, са GHQ: <http://www.ghqmodels.com/pdf/CombatTableCard.pdf>
- [4] Martin, J. (1982). *RECON- Roleplaying Game of the Viet nam war*. Преузето са Free Wargames Rules: <http://web.archive.org/web/20031117000119/http://www.palladiumbooks.com/stuff/recon/originalrecon.pdf>
- [5] McHugh, F. (1966). *Fundamentals of war gaming*. The United States War College.
- [6] Perla, P. (1990). *The art of wargaming*. Annapolis: Naval institute press.
- [7] United Kingdom Ministry of Defense. (2017, Август). *Wargaming Handbook*. Преузето Јун 9, 2018, са Connections UK: http://professionalwargaming.co.uk/DCDC_Doctrine_UK_Wargaming.pdf
- [8] War games research group. (1972). *War games rules- Infantry action*. Преузето Јун 19, 2018, са Wargames Research Group Ltd: <http://www.wrg.me.uk/WRG.net/History/OLDWRG/InfantryAction.pdf>
- [9] Weiner, M. (1959). *An Introduction to War Games*. Santa Monica: RAND corporation.
- [10] Генералштаб Војске Србије. (2017). *Унутштво за оперативно планирање и рад команди у Војсци Србије*. Београд.
- [11] Милосављевић, С., & Радосављевић, И. (2000). *Основи методологије политичких наука*. Београд: Службени гласник.
- [12] Радиновић, Р. (1983). *Метода ратне вештине*. Београд: Војноиздавачки завод.
- [13] Сакан, М. (2006). *Методологија војних наука*. Београд: Војноиздавачки завод.



ИЗБОР ДОДАТНИХ КРИТЕРИЈУМА ЗА СЕЛЕКЦИЈУ ЉУДСКИХ РЕСУРСА У СИСТЕМУ ОДБРАНЕ

THE CHOICE OF ADDITIONAL CRITERIA FOR SELECTION OF DEFENCE HUMAN RESOURCES

МИЛАН КАНКАРАШ¹, ИВАН ПЕТРОВИЋ², ЗОРАН МАЧАК³

¹Министарство одбране Републике Србије, Управа за стратегијско планирање, kankaras.s.milan@gmail.com

²Универзитет одбране, Војна академија, ivanpetrovic1977@gmail.com

³Министарство одбране Републике Србије, Управа за стратегијско планирање, zoran.macak@mod.gov.rs

Резиме: *Запослени су један од најзначајнијих извора конкурентности савремених организација, а самим тим и система одбране. С тим у вези, руководство система одбране улаже напоре да запосли кандидате који у потпуности или у знатној мери одговарају захтевима посла. У том процесу примењују различите методе и технике, а критеријуме за избор базирају на опису посла. Повећањем броја критеријума, односно применом додатних критеријума омогућава се избор квалитетнијих кандидата. Међутим, превелики број критеријума може бити контрапродуктиван, те је потребно изабрати критеријуме који ће омогућити испуњавање основне улоге процеса селекције људских ресурса. У вези са тим, основни циљ овог рада јесте приказ модела избора додатних критеријума за селекцију људских ресурса у систему одбране, као и практична провера предложеног модела. Предложени модел може бити примењен и профитним и у непрофитним организацијама. Конкретна решења представљају визију аутора до које се дошло на основу резултата истраживања.*

Кључне речи: *селекција, људски ресурси, модел, критеријуми.*

Abstract: *Employees are one of the most important sources of competitiveness of modern organizations, as well as in defence. In this regard, defence management makes efforts to hire candidates who fully or substantially correspond to job requirements. In this process they apply different methods and techniques, as well as the selection criteria based on the job description. By increasing the number of criteria, especially applying additional criteria, the selection process is better. However, too many criteria can be counterproductive, and it is necessary to choose criteria that will enable fulfilment of the basic role of the selection process. In connection with this, the main goal of this paper is to present a model of selection of criteria for selection of defence human resources, as well as practical testing of the proposed model. The proposed model can be applied both in profit or non-profit organizations. Concrete solutions represent the vision of the authors that came from the results of the research.*

Keywords: *selection, human resources, model, criteria.*

1. УВОД

Успех савремених организација, а самим тим и система одбране зависи од више различитих фактора, а један од најзначајнијих фактора јесу људи, односно запослени. Укупна знања, способности и вештине запослених – људски ресурси – представљају извор конкурентности савремених организација. Избор одговарајућих људских ресурса реализује се у процесу селекције.

Имајући у виду суштину процеса селекције, субјективан утицај заинтересованих лица је неизбежан. У претходном периоду спроведен је знатан број истраживања са циљем повећања објективности применом различитих научних метода. Критеријуми за избор људских ресурса углавном су базирани на захтевима посла, односно опису посла. Међутим, поред критеријума који су директно условљени описом посла, у пракси се примењују и додатни критеријуми који доприносе бољем диференцирању кандидата.

С тим у вези, циљ овог рада јесте опис предлог модела избора додатних критеријума за селекцију људских ресурса у систему одбране и провера његове примене у пракси. Поред увода и закључка, рад се састоји из два дела. У првом делу детаљно је описан предложени модел, као и начин примене предложених метода у свакој фази процеса. Предложени модел практично је проверен у другом делу

рада на примеру избора допунских критеријума за избор кандидата за запослење у министарству надлежном за послове одбране.

2. МОДЕЛ ИЗБОРА ДОДАТНИХ КРИТЕРИЈУМА ЗА СЕЛЕКЦИЈУ ЉУДСКИХ РЕСУРСА

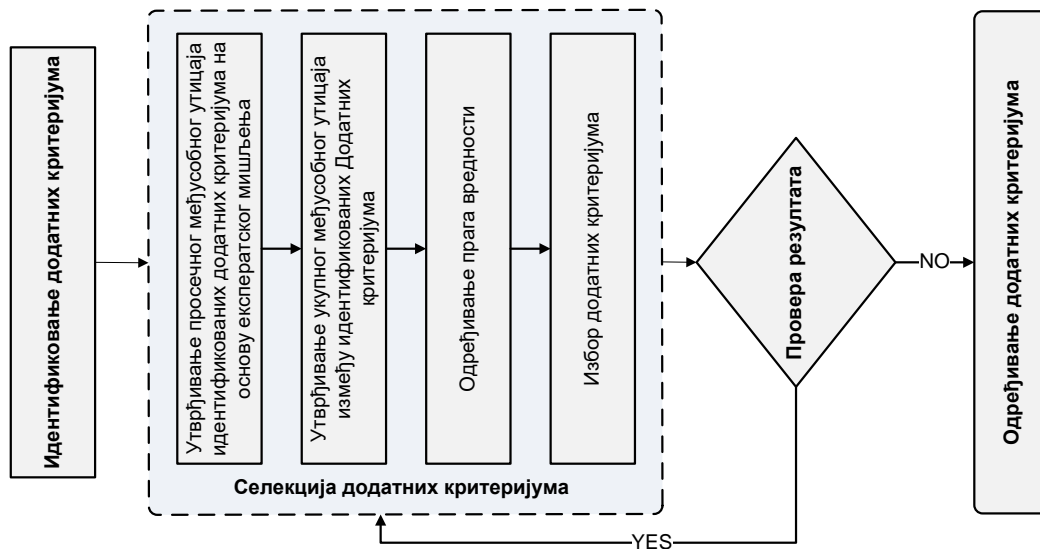
Селекција људских ресурса представља процес којим се, применом унапред утврђених и стандардизованих метода и техника, врши избор између више квалификованих кандидата, а ради заснивања радног односа са кандидатима који највише одговарају захтевима радног места (Канкараш, Лојић, & Ђурић, 2011). На основу дефиниције селекције људских ресурса може се закључити да су за квалитетну селекцију потребни одговарајући методи и технике, са једне стране и критеријуми које треба да испуне кандидати. На основу испуњености тих критеријума рангирају се кандидати и најбоље рангираном кандидату нуди заснивање радног односа.

Избор критеријума (стручна спрема, искуство и конкретне вештине) првенствено се заснива на опису посла, односно захтевима радног места. Међутим, у процесу селекције људских ресурса у систему одбране потребни су и додатни критеријуми који нису директно везани за конкретно радно место, али су потребни и/или пожељни за успешно извршавање радних задатака. Ти критеријуми углавном нису саставни део описа посла и накнадно се одређују у процесима регрутовања и селекције људских ресурса. Додатни критеријуми повећавају објективност избора јер омогућавају боље диференцирање кандидата, смањење броја кандидата који испуњава све предвиђене услове и прецизније рангирање кандидата у процесу селекције (слика 1).



Слика 1: Утицај броја критеријума на избор кандидата (прилагођено: Лојић & Кулић, 2009)

Као што се види на слици 1 највише кандидата испуњава само један додатни критеријум, али повећањем броја додатних критеријума тај број се смањује (само кандидати у пресеку скупова испуњавају све додатне критеријуме). Један од проблема који се уочава у процесу селекције људских ресурса јесте избор тих критеријума. Избор додатних критеријума у великој мери заснован је на субјективној процени руководства или службе надлежне за људске ресурсе. Примена научних и менаџерских метода може у знатној мери смањити субјективност избора додатних критеријума. У том смислу предложен је модел који је заснован на примени више различитих метода и састоји се из четири фаза: идентификовање додатних критеријума; селекција додатних критеријума; провера података и одређивање додатних критеријума. На слици 2 приказан је модел избора додатних критеријума за селекцију људских ресурса.


Слика 2: Модел избора додатних критеријума

Прва фаза је релативно једноставна и обухвата идентификовање свих додатних критеријума за које се сматра да су потребни и/или пожељни за успешно извршавање радних задатака на конкретном радном месту. У тој фази не треба размишљати о нивоу значајности тих критеријума, а погодна метода за прикупљање података јесте олуја мозга (енгл. Brainstorming). Излазни резултат те фазе јесте списак свих додатних критеријума.

Друга фаза је кључна и садржи четири корака. У првом кораку прикупљају се мишљења експерата²⁰ о међусобном утицају идентификованих додатних критеријума. Циљ процене међусобног утицаја јесте утврђивање додатних критеријума који немају знатан утицај на остале, а самим тим и на извршавање радних задатака. Мишљења експерата представљају појединачне матрице преференције експерата, а израчунавањем аритметичке средине елемената појединачних матрица формира се просечна матрица преференције испитаних експерата.

Укупни међусобни утицај између додатних критеријума утврђује се у другом кораку и представља производ нормализоване матрице просечне преференције и инверзне вредности разлике јединичне матрице ранга и нормализоване матрице (Sumrit & Anuntavoranich, 2013; Ou Yang, Shieh, Leu, & Tzeng, 2008; Wu & Lee, 2007; Yi Wu, 2012; Kankaraš, Unapredjenje funkcije upravljanja ljudskim resursima u sistemu odbrane (Improving the functions of the defence human resource management), 2016; Kankaraš, Radović, & Petrović, Assessment of the Belt and Road Initiative's Bilateralism, 2017). Излазни резултат другог корака јесте матрица укупних утицаја додатних критеријума и формира се применом израза 1.

$$T = D(I - D)^{-1} \quad (1)$$

где је:

T – матрица укупних утицаја

D – нормализована матрица

I – јединична матрица

Нормализована матрица формира се према изразу 2, а чини је разлика елемената и максималног износа суме редова и колона просечне матрице преференције (Sumrit & Anuntavoranich, 2013; Ou Yang, Shieh, Leu, & Tzeng, 2008; Wu & Lee, 2007; Yi Wu, 2012; Kankaraš, Unapredjenje funkcije upravljanja ljudskim resursima u sistemu odbrane (Improving the functions of the defence human resource management), 2016; Kankaraš, Radović, & Petrović, Assessment of the Belt and Road Initiative's Bilateralism, 2017).

$$D = \frac{x}{\max(\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n x_{ij}, \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{i=1}^n x_{ij})} \quad (2)$$

где је:

X – елемент просечне матрице преференције

²⁰ Под експертом, у смислу овог рада, подразумева се руководиоца, стручњак за људске ресурсе, запослени, и друго лице којепознаје задатке радног места и/или има директан контакт са запосленим на конкретном радном месту.



Да би се утврдили додатни критеријуми који су значајни за процес селекције људских ресурса, у трећем кораку одређује се праг вредности (α) који представља аритметичку средину свих елемената матрице укупних утицаја (израз 3).

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [t_{ij}]}{N} \quad (3)$$

где је:

t_{ij} – елемент просечне матрице преференције

N – укупан број елемената матрице укупних утицаја

У последњем кораку врши се избор додатних критеријума, односно критеријума који имају бар један елемент одговарајућег реда већи од одређеног прага вредности. Додатни критеријум чији су сви елементи одговарајућег реда мањи од прага вредности првенствено примају утицај, што значи да нису значајни за процес селекције људских ресурса.

Предложени модел предвиђа и проверу резултата. У трећој фази, када руководство располаже списком додатних критеријума, уколико сматра да је потребно може да захтева проверу података. То значи да је потребно поновити другу фазу, односно поново извршити прорачуне и упоредити резултате. Уколико постоји одступање потребно је идентификовати проблем и тачно израчунати вредности, а уколико су подаци идентични значи да су прорачуни коректно извршени. У последњој фази одређују се додатни критеријуми који ће бити употребљени у процесу селекције људских ресурса. Додатни критеријуми практично представљају резултат друге фазе.

3. ПРИМЕНА МОДЕЛА ИЗБОРА ДОДАТНИХ КРИТЕРИЈУМА ЗА СЕЛЕКЦИЈУ ЉУДСКИХ РЕСУРСА

Предложени модел избора додатних критеријума за селекцију људских ресурса проверен је на примеру избора додатних критеријума за заснивање радног односа у министарству надлежном за послове одбране. На основу мишљења пет експерата формирана је листа од пет допунских критеријума:

- заинтересованост за службу у министарству (К-1);
- информатичка писменост (К-2);
- знање енглеског језика (К-3);
- кореспонденција на српском језику (К-4);
- познавање система одбране (К-5).

Експерти су предложене критеријуме упоредили у паровима, а на основу појединачних матрица преференције израђена је просечна матрица преференције експерата (табела 1).

Табела 1: Просечна матрица преференције експерата

Додатни критеријум	К-1	К-2	К-3	К-4	К-5
К-1	0,000	3,000	3,000	2,750	2,450
К-2	2,800	0,000	3,100	2,700	1,900
К-3	3,350	3,450	0,000	3,250	2,000
К-4	3,050	2,500	3,250	0,000	2,650
К-5	2,050	2,250	3,050	2,950	0,000

Применом израза 1 формирана је матрица укупних утицаја предложених додатних критеријума за селекцију кандидата за службу у министарству надлежном за послове одбране (табела 2).



Табела 2: Матрица укупних утицаја

Додатни критеријум	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5
K-1	1,690	1,845	1,975	1,876	1,522
K-2	1,798	1,574	1,895	1,795	1,422
K-3	2,008	1,974	1,890	2,005	1,578
K-4	1,924	1,852	2,023	1,730	1,556
K-5	1,726	1,696	1,866	1,780	1,267

С обзиром на то да праг вредности износи 1,771, односно да нема додатних критеријума чији су сви елементи у одговарајућем реду мањи од прага вредности, сви предложени критеријуми су прихватљиви. Праг вредности одређен је применом израза 3.

Као што се види, предложени модел у потпуности омогућава одређивање додатних критеријума. Предложени модел омогућава примену више критеријума и може да се прилагоди различитим захтевима корисника (различит број критеријума, различите вредности критеријума и слично).

5. ЗАКЉУЧАК

Основни циљ рада био је приказ модела избора критеријума за селекцију људских ресурса који ће омогућити смањење субјективности у процесу селекције људских ресурса. Провера предложеног модела реализована је на примеру избора додатних критеријума за избор кандидата за запослење у министарству надлежном за послове одбране.

Сагледавањем могућности примене предложеног модела утврђена је његова практична применљивост. Такође, на конкретном примеру утврђено је да предложени модел омогућава објективнији избор додатних критеријума.

Поред предности предложеног модела потребно је нагласити да предложени модел захтева одређен ниво познавања примене различитих метода, али и техничку подршку. Значај рада огледа се у могућности примене предложеног модела у решавању оваквих и сличних проблема без обзира на број критеријума, врсту радног места, као и врсту организације.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kankaraš, M. (2016). *Unapredjenje funkcije upravljanja ljudskim resursima u sistemu odbrane (Improving the functions of the defence human resource management)*. PhD Thesis, University of Defence, Military Academy, Belgrade.
- [2] Kankaraš, M., Radović, B., & Petrović, I. (2017, December 11). Assessment of the Belt and Road Initiative's Bilateralism. 3. Budapest, Hungary: China-CEE Institute. Retrieved April 10, 2018
- [3] Kankaraš, M., Stojković, D., & Kovač, M. (2014). Application of the Balanced Scorecard in Defence Performance Management. *Symorg 2014*, (pp. 1357-1362). Zlatibor.
- [4] Ou Yang, Y.-P., Shieh, H.-M., Leu, J.-D., & Tzeng, G.-H. (2008). A Novel Hybrid MCDM Model Combined with DEMATEL and ANP with Applications. *International Journal of Operations Research*, 5 (3), 160-168.
- [5] Sumrit, D., & Anuntavoranich, P. (2013). Using DEMATEL Method to Analyze the Causal Relations on Technological Innovation Capability Evaluation Factors in Thai Technology-Based Firms. *International Transaction Journal of Engineering, Management, Applied Sciences, Technologies*, 81-103.
- [6] Wu, W.-W., & Lee, Y.-T. (2007). Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method. *Expert Systems with Applications*, 32 (2), 499-507.
- [7] Yi Wu, H. (2012). Constructing a strategy map for banking institutions with key performance indicators of the balanced scorecard. *Evaluation and program planning*, 35, 303-320.



- [8] Канкараш, М., Лојић, Р., & Ђурић, Н. (2011). Утицај селекције и регрутовања људских ресурса на персонал као елемент функционалне способности. *Војно дело* (Пролеће), 194-209.
- [9] Лојић, Р., & Кулић, Ж. (2009). *Управљање људским ресурсима*. Београд: Војно-издавачки завод.



ПОРЕЂЕЊЕ РАНГОВА СТРАТЕГИЈСКИХ ОПЦИЈА ДОБИЈЕНИХ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИМ ОДЛУЧИВАЊЕМ

COMPARISON OF RANKS OF STRATEGIC OPTIONS OBTAINED BY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING

СРЂАН ДИМИЋ¹, СРЂАН ЉУБОЈЕВИЋ², РАДИША САКОВИЋ³

¹ Министарство одбране, Универзитет одбране Војна академија, Београд, srdjan.dimic@mod.gov.rs

² Универзитет одбране, Војна академија, Београд, srdjan.ljubojevic@va.mod.gov.rs

³ Министарство одбране, Београд, radisa.sakovic@mod.gov.rs

Rezime: У раду је приказан поступак поређења и синтезе резултата добијених применом различитих метода вишекритеријумског одлучивања. Приказ синтезе резултата извршен је на примеру вредновања стратегијских опција развоја мултимодалног транспорта у Војсци Србији. Полазећи од карактеристика појединих метода вишекритеријумског одлучивања, избор оптималне стратегијске опције извршен је применом методе Аналитичких хијерархијских процеса, fuzzy TOPSIS методе, PROMETHEE II методе и методе fuzzy вишекритеријумског одлучивања. Одступања међу ранговима опција анализирана су применом корелационе анализе.

Кључне речи: одлучивање, вишекритеријумска оптимизација, корелација рангова.

Abstract: The paper presents the procedure of comparison and synthesis of results obtained using different multi-criteria decision making methods. The synthesis of the results is presented in case of evaluating the strategic options for the development of multimodal transport in the Army of Serbia. Starting from the characteristics of certain multi-criteria decision making methods, the choice of the optimal strategic option was carried out using the Analytical hierarchical processes, fuzzy TOPSIS, PROMETHEE II and a fuzzy multi-criteria decision making method. Deviations among ranks are analyzed using correlation analysis.

Keywords: decision making, multi-criteria optimization, correlation of ranks.

1. УВОД

Проблеми изналажења оптималног решења, односно, задаци оптимизације, срећу се и анализирају готово свакодневно. Све сложенији услови у којима функционишу савремене организације захтевали су и од доносилаца одлука да се прилагоде тим захтевима. Од једне особе (менаџера) и једног критеријума (профита), одлучивање је пренесено на више особа и вишекритеријумске ситуације. У складу са тим, вишекритеријумско одлучивање се односи на ситуације одлучивања у којима постоји већи број, често конфликтних критеријума на основу којих треба донети оптималну одлуку.

У свим проблемима вишекритеријумске оптимизације доносилац одлуке имплицитно настоји да пронађе решење које у највећој могућој мери задовољава све критеријуме, а да се при томе не крше ограничења која постоје. У пракси, такви проблеми немају јединствено и глобално решење, односно, не постоји решење које је оптимално за све критеријуме истовремено.

Како су проблеми одлучивања разноврсни, то су разноврсне и методе и технике за њихово решавање. За велики број метода и техника развијена је одговарајућа софтверска подршка, имплементирана у различитим облицима: у виду система за подршку одлучивању, информационих система, експертских система, хибридних система и сл.

У раду је применом метода вишекритеријумског одлучивања извршено вредновање стратегијских опција развоја мултимодалног транспорта у Војсци Србије, а затим је предложен начин поређења и синтезе резултата. Добијени резултати вредновања по више метода и поступак синтезе резултата показују како се вишекритеријумском анализом могу добити меродавне оцене стратегијских опција развоја мултимодалног транспорта у Војсци Србије и исте мерити на јединственој скали вредности.



2. ПРИМЕНА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА У ВОЈСЦИ СРБИЈЕ

Доношење одлука најчешће подразумева вредновање скупа могућих решења или опција. Када се вредновање врши у односу на један критеријум, одређује се решење које екстремизира циљну функцију, а поступак се означава као једнокритеријумска оптимизација, или само оптимизација. Ствари се компликују када постоје два или више критеријума и када треба наћи најбоље решење. Сваки вид обједињавања критеријума у један и свођење проблема на једнокритеријумски уноси недостатке који лимитирају домете анализе и тачност резултата (Памучар и др., 2011).

Вишекритеријумско одлучивање односи се на ситуације одлучивања када је присутан већи број критеријума, који често могу бити и конфликтни. То је уједно и највећа предност вишекритеријумског одлучивања, јер је у пракси врло мали број проблема на које утицај има само један фактор, односно у чију оптимизацију би се укључио само један критеријум. Основни циљ вишекритеријумских метода је одређивање приоритета између појединих варијанти или критеријума у ситуацијама где учествује већи број доносилаца одлуке и где је присутан већи број критеријума одлучивања.

Постоје разни начини класификације метода вишекритеријумског одлучивања, али се због сличности модела по којима ове методе раде прибегава само њиховом набрајању. Најпознатије вишекритеријумске математичке методе које се користе у процесу одлучивања су: метода доминације, метода TOPSIS, метода ELECTRE, метода PROMETHEE, метода SAW, метода Аналитичких хијерархијских процеса и метода Аналитичког мрежног процеса.

Која ће метода бити примењена у датом тренутку зависи од:

- карактера, односно значаја одлуке која се доноси на основу вредновања,
- места на којима се доноси одлука,
- врсте одлуке ради које се врши вредновање, и
- начина финансирања спровођења новог решења.

Присуство различитих критеријума, од којих неке треба максимизирати, а неке минимизирати, значи да се одлуке доносе у конфликтним условима и да се морају применити инструменти који су флексибилнији од строго математичких техника везаних за чисту оптимизацију (Срђевић и др., 2002).

У новије време паралелно се користе стандардне и fuzzy верзије метода да би се обухватио комплекс проблема повезаних са људском субјективношћу, експертским знањем и склоношћу да се користе вербалне уместо бројчаних оцена. Методе којима се моделирају субјективизам, апроксимативно резоновање и експертско знање доносилаца одлука, као и разни облици хеуристике, само су део релативно новог амбијента одлучивања у Војсци Србије. Тај амбијент је донео и нову терминологију и на одређени начин нову примену математике и теорије оптимизације у реалним условима планирања и одлучивања. Данас се у Војсци Србије паралелно користе стандардне, fuzzy верзије вишекритеријумских метода, али се развијају и нови модели вишекритеријумског одлучивања који су засновани на fuzzy логичком моделирању и neuro-fuzzy моделирању (Памучар и др., 2011).

3. ВРЕДНОВАЊЕ СТРАТЕГИЈСКИХ ОПЦИЈА РАЗВОЈА МУЛТИМОДАЛНОГ ТРАНСПОРТА У ВОЈСЦИ СРБИЈЕ

Проблем дефинисања стратегије развоја мултимодалног транспорта у Војсци Србије у надлежности је стручног органа саобраћајне службе. Проблем је мултидисциплинарног карактера и има импликације на широк спектар делатности у домену саобраћајне подршке, али и ван ње. Значајан је услед своје актуелности и ургентности решавања, с обзиром на организационе промене и захтеве да Војска Србије развије нове способности, ради унапређења свог функционисања и остваривања интероперабилности у мултинационалном окружењу. Проблем егзистира током протеклих 20 до 30 година и, иако је било одређених покушаја његовог решавања, још увек нема адекватно решење (Љубојевић и др., 2014).

Два основна појавна облика овог проблема огледају се у непотпуном искоришћењу предности присутних технологија мултимодалног транспорта (доминантан је систем палетизације) и у релативно статичном систему логистичке подршке. Последице се осећају у функционисању свих сегмената Војске Србије, а највише у процесима снабдевања. У случају нерешавања проблема мултиплицирали би се проблеми у будућем функционисању (првенствено у раду у мултинационалном окружењу и при сарадњи са оружаним снагама других држава).

Ради решавања наведеног проблема, кроз истраживање спроведено у (Љубојевић, 2010), формулисане су три стратегијске опције развоја мултимодалног транспорта у Војсци Србије.



- Стратегијска опција 1 - *Интензивно инвестирање у средства и опрему палетне технологије и увођење нових технологија мултимодалног транспорта, првенствено технологије контејнеризације,*
- Стратегијска опција 2 - *Повећање ефикасности примене развијеног палетног система и стварање предуслова за брзу имплементацију других технологија мултимодалног транспорта, у скорој будућности,*
- Стратегијска опција 3 - *Веће ослањање на капацитете друштва, уз одржавање постојећег нивоа развијености мултимодалног транспорта.*

Критеријуми на основу којих органи саобраћајне службе евалуирају алтернативна решења, начелно се могу груписати у три категорије, као: општи, посебни и специфични критеријуми. Наведене категорије критеријума са подкритеријумима детаљно су описане у (Љубојевић, 2010). За потребе овог рада и вредновање предложених опција развоја мултимодалног транспорта коришћени су општи и посебни критеријуми. Специфични критеријуми нису коришћени јер немају значајну улогу у избору стратегије развоја мултимодалног транспорта, с обзиром на то да се односе на ванредне услове функционисања.

Природа проблема избора оптималне стратегијске опције развоја мултимодалног транспорта у Војсци Србије упућује на вишекритеријумски приступ. Полазећи од карактеристика појединих метода вишекритеријумског одлучивања, за избор оптималне стратегијске опције изабране су: метода Аналитичких хијерархијских процеса (АHP), fuzzy TOPSIS метода, PROMETHEE метода и метода fuzzy вишекритеријумског одлучивања (FMM).

Као коначан резултат рангирања стратегијских опција развоја мултимодалног транспорта у Војсци Србије добијају се рангови који су изражени кроз вредности критеријумских функција, табела 1.

Табела 1: Рангови опција по различитим методама вишекритеријумског одлучивања

Опције	Методe вишекритеријумског одлучивања					
	АHP	FUZZY TOPSIS	PROMETHEE	FMM		
				($\alpha = 0$)	($\alpha = 0,5$)	($\alpha = 1$)
Стратегијска опција 1	2	1	2	2	2	2
Стратегијска опција 2	1	2	1	1	1	1
Стратегијска опција 3	3	3	3	3	3	3

Анализирајући резултате приказане у табели 1 може се закључити да је стратегијска опција 2 код три методе рангирана као најбоља, док је код fuzzy TOPSIS методе на другом месту. По тој методи најбоље рангирана опција је стратегијска опција 1. Стратегијска опција 3 је од стране свих метода најлошије рангирана. Као што се види из табеле 1, различите вишекритеријумске методе дају различите резултате рангирања. Према препорукама из литературе најбоље је користити неколико метода и доносиоцу одлуке предочити разлоге одступања међу ранговима, тако да коначну одлуку о томе који ће резултат рангирања бити усвојен, треба препустити доносиоцу одлуке.

4. ПОРЕЂЕЊЕ РАНГОВА ПРИМЕНОМ КОЕФИЦИЈЕНТА КОРЕЛАЦИЈЕ РАНГОВА

Анализа литературе, која третира проблематику вишекритеријумског одлучивања, показује да је у процесу доношења одлука добро користити више метода вишекритеријумског одлучивања, јер неретко различите методе вишекритеријумског одлучивања дају различите резултате рангирања. Том приликом се поставља питање избора оптималне опције. Једно од могућих решења је да се изврши синтеза резултата рангова опција добијених по различитим методама и да се на основу тога идентификују најбоље, или бар доминантне опције. У ту сврху могуће је користити корелациону анализу.



Корелационом анализом показује се степен зависности између променљивих, односно, корелацијом се мери јачина већ утврђене повезаности између две променљиве. Степен интензитета повезаности између променљивих, које су у линеарном односу мери се:

- коваријансом као апсолутном мером интензитета корелације и
- коефицијентом просте линеарне корелације, као релевантном мером интензитета корелационе везе.

Коваријанса представља заједничку меру варијабилности, једне и друге варијабле, па се математички може представити као збир варијанси једне и друге варијабле:

$$C_{xy} = SD_x^2 + SD_y^2 \rightarrow C_{xy} = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n} + \frac{\sum(y-\bar{y})^2}{n} \quad (1)$$

Из претходног израза добија се формула за коваријансу:

$$C_{xy} = \frac{\sum xy}{n} - \bar{x}\bar{y} \quad (2)$$

где је n величина узорка, односно, број корелационих парова вредности.

Међутим, коваријанса као апсолутна мера степена повезаности није погодна за процену, па се приступа израчунавању релативне мере тј. израчунава се коефицијент просте линеарне корелације (Pearson-ов коефицијент). Коефицијент просте линеарне корелације показује степен зависности између променљивих и он одређује величину дисперзије (растурања) података око регресионе линије.

Са друге стране, када је у питању анализа конфликта рангова главни проблем представља мала величина узорка која лимитира употребу статистичких техника. Једна од малог броја могућности је коришћење Spearman-овог коефицијента којим се и на мањем узорку исказује степен корелације рангова (Срђевић и др., 2002). Spearman-ов коефицијент ранга корелације је непараметријски еквивалент Pearson-овом коефицијенту линеарне корелације. Разлика је у томе што се рачунске операције не изводе из нумеричких вредности зависне и независно променљиве појаве, већ из њихових релативних односа тј. рангова.

Spearman-ов коефицијент се примењује ако је испуњен један или више следећих услова:

- барем једна варијабла, x или y , мерена је ординалном скалом;
- ниједна од варијабли, x или y , нема нормалну расподелу;
- ако је узорак мали, и
- када повезаност између две варијабле није линеарна.

Spearman-ов коефицијент дефинише меру сличности рангирања по различитим методама. Ако су U_a и V_a рангови добијени за опцију A_i по две различите методе, Spearman-ов коефицијент рачуна се применом израза:

$$R = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_a^2}{n(n^2-1)} \in [-1,1] \quad (3)$$

где је $D_a = U_a - V_a$, а n је број алтернатива.

Вредност Spearman-овог коефицијента теоријски може да варира у интервалу $[-1,1]$. Када се вредност приближава броју 1, индикација је да су рангови слични или исти, а када је вредност мања од нуле и приближава се броју -1, рангови су обрнути, односно негативно корелирани.

Разлика између Pearson-овог коефицијента просте линеарне корелације и Spearman-овог коефицијента ранга корелације је у томе што Spearman-ов коефицијент може да се израчунава из података када је мерење вршено на ординалној скали. Spearman-ов коефицијент може да замени Pearson-ов коефицијент ако се интервални подаци преведу у ординалне, тј. ако се рангирају по величини. Ако су подаци дати само у ординарној скали може се применити само Spearman-ов коефицијент. Статистичка снага Pearson-овог коефицијента је знатно већа него Spearman-овог, па зато ако су подаци дати интервално предност треба дати Pearson-овом коефицијенту (Памучар и др., 2011).

Имајући у виду да у реалним условима доношења одлука није могуће говорити о најбољој ранг листи опција, у раду је примењен прилаз да се листа добијена једном методом усвоји као референтна, а да се резултати осталих метода упореде са референтном листом и изврши синтеза такве анализе. За



израчунавање коефицијента корелације рангова стратегијских опција развоја мултимодалног транспорта у Војсци Србије, добијених различитим методама вишекритеријумског одлучивања, коришћен је Spearman-ов коефицијент јер се ради о варијаблама које су мерене ординалном скалом, које немају нормалну расподелу и чија повезаност није линеарна.

Применом израза (3) извршена је анализа рангираних опција и коначна синтеза рангова применом Spearman-овог коефицијента приказана је у табели 2.

Табела 2: Вредности Spearman-овог коефицијента корелације рангова

Методe	Методe					
	АНР	FUZZY TOPSIS	PROMETHEE	FMM		
				($\alpha = 0$)	($\alpha = 0,5$)	($\alpha = 1$)
АНР	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00
FUZZY TOPSIS	-	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50
PROMETHEE	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00
($\alpha = 0$)	-	-	-	1.00	1.00	1.00
FMM ($\alpha = 0,5$)	-	-	-	-	1.00	1.00
($\alpha = 1$)	-	-	-	-	-	1.00

Из табеле 2 се види да Spearman-ов коефицијент за све методе варира од 0.5 до 1, што указује на високу позитивну корелацију тако да се може закључити да је процес вредновања био конзистентан и да коначни рангови опција не одступају битно од методе до методе, односно да могу бити прихваћени као коначни.

5. ЗАКЉУЧАК

Вишекритеријумско одлучивање постало је незаобилазно у процесу управљања савременим организацијама. Методолошки конзистентне, једноставне за коришћење и софтверски подржане, неке од метода вишекритеријумског одлучивања константно привлаче пажњу планера, менаџера и других доносилаца одлука, док наука и даље истражује најефикасније видове њихове примене, тумачи резултате у разним областима и врши анализе њихове конзистентности и поузданости. У складу са тим и у процесима доношења одлука у Војсци Србије све више се користе како класичне, тако и методе вишекритеријумског одлучивања које се заснивају на примени fuzzy логике.

Имајући у виду да је у пракси врло мали број проблема на које утицај има само један фактор, односно у чију оптимизацију би се укључио само један критеријум, у раду је приказана примена различитих метода вишекритеријумског одлучивања за решавање проблема избора стратегије развоја мултимодалног транспорта у Војсци Србије.

С обзиром на то да различите методе вишекритеријумског одлучивања неретко дају различите резултате рангирања, поставља се питање избора оптималне опције. Да би се указало на предности примене приступа описаног у раду, приказана је примена четири познате методе за решавање вишекритеријумског проблема рангирања опција развоја мултимодалног транспорта у Војсци Србије. Сprovedени поступак рангирања служи као илустрација могућег упоредног третирања истог или сличног проблема у различитим методолошким окружењима.

Резултати показују да је у процесу доношења одлука добро користити више метода вишекритеријумског одлучивања и да се синтезом рангова опција добијених по различитим методама могу идентификовати најбоље, или бар доминантне опције. Добијени резултати, у приказаном примеру избора стратегије развоја мултимодалног транспорта у Војсци Србије, показују да постоји висока позитивна корелација рангова опција и да могу бити прихваћени као коначни, односно да уколико треба изабрати најбољу опцију то је свакако стратегијска опција 2.



ЛИТЕРАТУРА

- [1] Љубојевић, С. (2010) Модел процеса одлучивања органа саобраћајне подршке система одбране, магистарски рад, Саобраћајни факултет, Београд.
- [2] Љубојевић, С., Димић, С., Луковић, Н. (2014). Аналитичност у дефинисању стратегијских опција на примеру развоја мултимодалног транспорта у Војсци Србије, Војнотехнички гласник, 62(2), 74-95.
- [3] Памучар, Д., Ђоровић, Б., Луковац, В., Љубојевић, С., Димић, С. (2011). Поређење рангова алтернатива у процесу вишекритеријумског одлучивања, 14. Међународна конференција Управљање квалитетом и поузданошћу - ICDQM 2011, зборник радова, 3–13, Београд.
- [4] Срђевић, Б., Срђевић, З., Зорановић, Т. (2002). Promethee, Topsis и CP у вишекритеријумском одлучивању у пољопривреди. *Летопис научних радова Пољопривредног факултета*, 26(1), 5-23.



МОГУЋНОСТИ УНАПРЕЂЕЊА ПРОЦЕСА РАНГИРАЊА ОФИЦИРА У МИНИСТАРСТВУ ОДБРАНЕ И ВОЈСЦИ СРБИЈЕ

POSSIBILITIES FOR IMPROVING THE OFFICIAL RANGE PROCESS IN THE MINISTRY OF DEFENSE AND SERBIAN ARMED FORCES

РАДИША САКОВИЋ¹, СРЂАН ДИМИЋ²

¹Министарство одбране, Београд, radisa.sakovic@mod.gov.rs

²Министарство одбране, Универзитет одбране Војна академија, Београд, srdjan.dimic@mod.gov.rs

Резиме: Развој савремених технологија поставио је пред припаднике система одбране захтеве за поседовањем широког дијапазона знања и вештина како би били у стању да искористе све предности нових технологија. Ради одговора на нове захтеве неопходно је, између осталог, променити услове и критеријуме за селекцију кадра. Имајући у виду да су официри једна од најзначајнијих категорија лица у Министарству одбране и Војсци Србије, у раду су предложени критеријуми за објективније вредновање официрског кадра. На тај начин значајно се утиче и на унапређење читавог процеса управљања људским ресурсима у Министарству одбране и Војсци Србије.

Кључне речи: унапређење процеса, рангирање официра, критеријуми.

Abstract: In the terms of modern technologies development and for the usage of new technologies the members of defense system should possess a wide range of knowledge and skills. Bering in mind new requirements, changing the conditions and criteria for selection of personnel is necessary. Also, taking into account that officers are one of the most important personnel categories in the Ministry of Defense and the Serbian Armed Forces, the paper proposes criteria for an objective evaluation of the staffing officers. In this way, there is significant impact on the whole procedure of human resources management in the Ministry of Defense and the Serbian Armed Forces.

Keywords: process improvement, ranking officers, criteria.

1. УВОД

Управљање људским ресурсима у систему одбране има за циљ да обезбеди запослене одговарајућих компетенција, мотивисаних за рад и коришћење својих знања, вештина и способности за постизање организационих и индивидуалних циљева. Имајући у виду да официри представљају једну од најзначајнијих категорија лица у Министарству одбране и Војсци Србије (у даљем тексту: МО и ВС) посебно је значајан њихов правилан избор и постављење на командне и руководеће дужности.

Имајући у виду комплексност и значај питања управљања људским ресурсима, у раду су предложени критеријуми на основу којих се може вршити свеукупно вредновање и рангирање официра. Предложени критеријуми представљају резултат синергије знања лица која раде на пословима људских ресурса у МО и ВС и искуственим сазнањима аутора у току рада у командама и јединицама оперативно-тактичког нивоа. Идеја је била да се утврде објективно мерљиви критеријуми, на основу којих би се објективније вредновао официрски кадар.

Ради тестирања предложених критеријума у раду је приказана могућност њихове примене приликом избора официра за упућивање на Командно-штабно усавршавање. Сам избор официра извршен је применом методе Аналитичко хијерархијских процеса (у даљем тексту: АХП) уз коришћење софтвера Expert Choice. Оваквим приступом, обезбеђено је делимично унапређење процеса рангирања официра у МО и ВС и смањење субјективности доносиоца одлуке.

2. УПРАВЉАЊЕ ЉУДСКИМ РЕСУРСИМА У МИНИСТАРСТВУ ОДБРАНЕ И ВОЈСЦИ СРБИЈЕ

Значај људских ресурса препознат је и истакнут у свим у стратешким документима у МО и ВС. Управљање људским ресурсима у МО и ВС карактерише, између осталог, и непрестана флукуација запослених пре свега официра, који напредовањем у служби мењају своје положаје и радне задатке као



и места рада-службовања. Све то се одражава на потребу за успостављањем ефикасног система управљања људским ресурсима, као и развојем концепта предвидиве каријере. Ефикасно управљање људским ресурсима веома је значајно за функционисање МО и ВС јер људски ресурси, као најважнији ресурс система одбране, знатно утичу на функционисање система и његову способност да одговори на изазове, ризике и претње безбедности, односно да заштити одбрамбене интересе земље.

Процес управљања људским ресурсима у МО и ВС, неминовно се мења и под утицајем промена стратегијског окружења, али углавном задржава процедуру планирања и запошљавања кадра која обухвата следеће активности: планирање понуде и потреба за људским ресурсима; анализу посла; регрутовање потенцијалних кандидата за попуну радних места и селекцију пријављених кандидата (Лојић, 2011).

Питања људских ресурса која се односе на избор, постављење, унапређење и рангирање кадра, у последње време побуђују велико интересовање официра. Кључни проблеми настају у ситуацијама када не постоје егзактно мерљиви критеријуми за свеобухватно вредновање и рангирање официра или ако се објективно мерљиви критеријуми, због субјективизма и непотпуне операционализације, доведу до нивоа смањене употребљивости. Тада се у расправи (званичне и незваничне) уносе личне оцене појединаца које нису засноване на објективно измереним вредностима, што постаје главни разлог за различита, често супротстављена мишљења.

Имајући у виду наведене чињенице, неопходно је да се област управљања људским ресурсима целовито и прецизно регулише и тако осигура објективност у рангирању официра, тј. да се обезбеди постојање адекватних критеријума за рангирање.

3. ПРЕДЛОГ КРИТЕРИЈУМА ЗА РАНГИРАЊЕ ОФИЦИРА У МИНИСТАРСТВУ ОДБРАНЕ И ВОЈСЦИ СРБИЈЕ

Рангирање официра у МО и ВС је сталан процес и реализује се на свим нивоима управљања, руковођења и командовања. Примера ради, оно се обавља при избору кандидата за: командно-штабно и генерал-штабно усавршавање, пријем на мастер и докторске академске студије, упућивање на разне курсеве и семинаре и слично. У наведеним случајевима, ранг официра углавном се одређује на основу резултата на пријемном испиту, средње оцене успеха у Војној академији и службене оцене. Предност приликом пријема на школовање има кандидат који има бољу службену оцену, који је континуирано у дужем периоду оцењиван бољом службеном оценом, који има бољу оцену са школовања, који је постављен на формацијско место вишег чина и који је успешније обављао више различитих дужности. У процесу рангирања официра, посебно је индикативан начин оцењивања и вредност добијених службених оцена, јер су оне најчешће производ субјективне процене претпостављеног старешине (Надовеза, 2001).

Опште запажање из претходног, а и садашњег правилника (уредбе) о оцењивању је да се мала пажња поклања праћењу рада официра, односно приметно је да оцењивачи на прави начин не евидентирају податке о успешности њиховог рада. Овакав приступ у раду оцењивача, представља један од основних проблема при оцењивању официра, јер се не евидентирају показатељи и описна запажања о карактеристикама лица које се оцењује, а које су битне за вођење у каријери.

У циљу унапређења процеса вредновања резултата рада официра, а и осталих категорија кадра у МО и ВС, односно ради смањивања субјективности у процесу оцењивања њихових резултата рада, неопходно је унапред утврдити критеријуме и примењивати одговарајуће методе и технике.

Критеријуми представљају значајан проблем који се испољава у многим областима војне организације: анализи радних места, селекцији људства, службеном оцењивању припадника МО и ВС, пројектовању, планирању итд. Да би један критеријум био адекватан, осим метријских особина које се захтевају, мора да буде и „практичан“. То значи да мерење не захтева неко ново, додатно оптерећење људства ван уобичајеног радног процеса. Колико је год могуће мора се избећи губитак времена, материјала и прекид радног процеса приликом мерења критеријума. Најбоље је када се мерења критеријума не разликују од прикупљања уобичајених информација о људству, радном процесу и његовим резултатима (Николић, 2007).

Руководећи се тежњом за свеобухватним приступом, а на основу извршене анализе садржаја доступне литературе и искуствене праксе, предложено је 6 критеријума и 24 подкритеријума за рангирање официра у МО и ВС (табела 1).

**Табела 1:** Критеријуми и подкритеријуми за рангирање официра у МО и ВС

К1 - Предиспозиције за официрске дужности		К4 - образовање	
К1.1	Особине вође	К4.1	Степен образовања
К1.2	Способност предвиђања	К4.2	Усавршавања од интереса за систем одбране
К1.3	Комуникативност	К4.3	Научни радови значајни за систем одбране
К1.4	Организационе способности	К4.4	Знање светских језика
К2 - Професионалне особине		К5 - Однос према вредностима друштва	
К2.1	Приврженост послу	К5.1	Патриотизам
К2.2	Креативност	К5.2	Однос према породици
К2.3	Способност за тимски рад	К5.3	Однос према традицији народа
К2.4	Време проведено у трупи	К5.4	Однос према култури нације
К3 - Особине личности		К6 - Социјалне диспозиције:	
К3.1	Интелектуална способност	К6.1	Моралност
К3.2	Радна способност	К6.2	Здравствено стање
К3.3	Емоционална стабилност	К6.3	Службене оцене
К3.4	Темперамент	К6.4	Друштвеност

4. РАНГИРАЊЕ ОФИЦИРА У ВОЈСЦИ СРБИЈЕ ПРИМЕНОМ ПРЕДЛОЖЕНИХ КРИТЕРИЈУМА

Ради тестирања предложених критеријума узет је пример упућивања официра из Мешовите артиљеријске бригаде на усавршавање другог степена (Командно-штабно усавршавање). Том приликом из базе *Кадровског аутоматизованог информационог система* (КАИС) Одсека за људске ресурсе (Б-1) команде Мешовите артиљеријске бригаде, изабрано је 10 официра које је требало рангирати и од којих је требало изабрати кандидате који би били предложени за упућивање на наведено усавршавање.

Анализирајући проблем избора официра за упућивање на Командно-штабно усавршавање и могућности метода вишекритеријумског одлучивања, као најпогоднија се издвојила метода АХП, јер пружа потпуни поредак опција на основу већег броја критеријума уз могућност декомпоновања проблема на више нивоа.

Проблем избора официра за упућивање на Командно-штабно усавршавање хијерархијски је структуриран у четири нивоа, тако да је на првом нивоу постављен главни циљ – *Избор официра за упућивање на Командно-штабно усавршавање*. На другом нивоу приказани су критеријуми, а на трећем подкритеријуми, на основу којих се врши избор. Критеријуми и подкритеријуми су утврђени у претходном поступку и приказани су у табели 1. На четвртном нивоу су приказане опције, у овом случају кандидати које треба рангирати. Хијерархијска структура описаног проблема приказана је на слици 1.

**Слика 1:** Хијерархијска структура проблема



Имајући у виду да у процесу вишекритеријумског одлучивања одређивање релативних тежина критеријума представља највећи проблем и најосетљивије место, које може пресудно да утиче на коначне резултате вредновања, тежиште рада је усмерено ка одређивању њиховог значаја. У односу на специфична обележја, критеријуми и подкритеријуми наведени у табели 1 могу се разврстати у три целине:

- 1) *Фактографски критеријуми* су критеријуми чија је вредност подкритеријума објективан податак, нумеричке природе, а која се ради компарације са субјективним критеријумима, интерполацијом своди на скалу од 1 до 10, где је 10 највиша, а 1 најнижа могућа вредност. У ову групу спадају *образовање* (четири подкритеријума: степен образовања, усавршавања од интереса за систем одбране, научни радови значајни за систем одбране, знање светских језика), *социјалне диспозиције* (два подкритеријума: здравствено стање – физичко и ментално, службене оцене) и *професионалне особине* (подкритеријум: време проведено у трупи);
- 2) *Критеријуми добијени применом резултата психолошких тестова*, који се користе у МО и ВС као стандардни тестови (Cattell тест особина личности, проблемски тест интелигенције, тест типологије темперамента и др.). Индивидуално и групно психолошко тестирање спроводи трупни психолог Мешовите артиљеријске бригаде, при чему резултате тестова своди на оцене особина од 1 до 10. У ову групу спадају *предиспозиције за официрске дужности* (четири подкритеријума: особине вође, способност предвиђања, комуникативност и организационе способности), *особине личности* (четири подкритеријума: интелектуална способност, радна способност, емоционална стабилност, темперамент), *професионалне особине* (подкритеријум: креативност) и *социјалне диспозиције* (два подкритеријума: моралност, друштвеност). Највећи број подкритеријума трупни психолог оцењује на основу Cattell-овог теста личности, за подкритеријум интелектуална способност користити проблемски IQ тест, а за темперамент, неки од типолошких тестова.
- 3) *Критеријуми добијени експертском оценом* су критеријуми код којих група компетентних старешина доноси оцену о заступљености поједине особине код конкретног кандидата према скали од 1 до 10 (у наведеном примеру, експертски тим чини колегијум команданта Мешовите артиљеријске бригаде). У ову групу спадају *однос према вредностима друштва* (четири подкритеријума: патриотизам, однос према породици, однос према традицији народа и однос према култури нације) и *професионалне особине* (два подкритеријума: приврженост послу, способност за тимски рад).

На успостављену хијерархијску структуру примењује се стандардна АХП метода, односно врши се међусобно поређење елемената успостављене хијерархије на сваком нивоу. У складу са описаним предлогом оцењивања и рангирања професионалних војних лица основу за поређење елемената представљају вредности које су утврђене за сваког кандидата по сваком критеријуму.

С обзиром да су поједини критеријуми квалитативног, а поједини квантитативног карактера предлог је да се изврши њихово приказивање на јединственој скали од 1 до 10. На тај начин врши се оцењивање сваког кандидата по сваком критеријуму. При томе, вредности критеријума које су квантитативне (фактографски критеријуми), су вредности које се релативно лако утврђују и добијају из већ постојећих база података о кандидатима. Већи проблем су вредности које се добијају кроз одговарајућа психолошка тестирања, јер је њих потребно на неки начин квантификовати ради даљег поређења. Највећи проблем представљају критеријуми чије се вредности утврђују експертском проценом, због највећег утицаја субјективности.

Ради појашњења поступка, у табели 2 приказане су оцене свих кандидата по критеријуму *Предиспозиције за официрске дужности*. На основу описаног поступка утврђују се оцене и по осталим критеријумима/подкритеријумима.

Табела 2: Оцене официра по критеријуму *Предиспозиције за официрске дужности*

Критеријуми / Алтернативе		Оф-1	Оф-2	Оф-3	Оф-4	Оф-5	Оф-6	Оф-7	Оф-8	Оф-9	Оф-10
К ₁ - Предиспозиције за официрске дужности:											
К _{1.1}	Особине вође	8	7	6	7	5	8	9	10	8	9
К _{1.2}	Способност предвиђања	10	7	9	6	8	7	9	8	7	8
К _{1.3}	Комуникативност	5	7	6	7	8	6	8	9	7	8
К _{1.4}	Организационе способности	9	7	8	9	6	8	9	7	9	8

Поређење елемената у паровима, на сваком нивоу хијерархије, врши се помоћу Saaty-јеве скале (Боровић, Николић, 1998). Бројне вредности у распону од 1/9 до 9 уносе се у матрицу A тако да важи $a_{ji}=1/a_{ij}$, при чему су елементи на главној дијагонали једнаки 1.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Да би се одредио вектор тежинских коефицијената елемената дате матрице неопходно је извршити нормализацију елемената сваке колоне, а затим израчунати средњу вредност нормализованих вредности по врстама. Математички модел овог поступка представљају релације (2) и (3), а добијене вредности представљају тражени вектор w (Срђевић, 2002).

$$a_{ij} = a_{ij} [\sum_{i=1}^n a_{ij}]^{-1}, \quad i, j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$w_i = (1/n) \sum_{j=1}^n a_{ij} = (1/n) \sum_{j=1}^n a_{ij} [\sum_{i=1}^n a_{ij}]^{-1}, \quad i, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

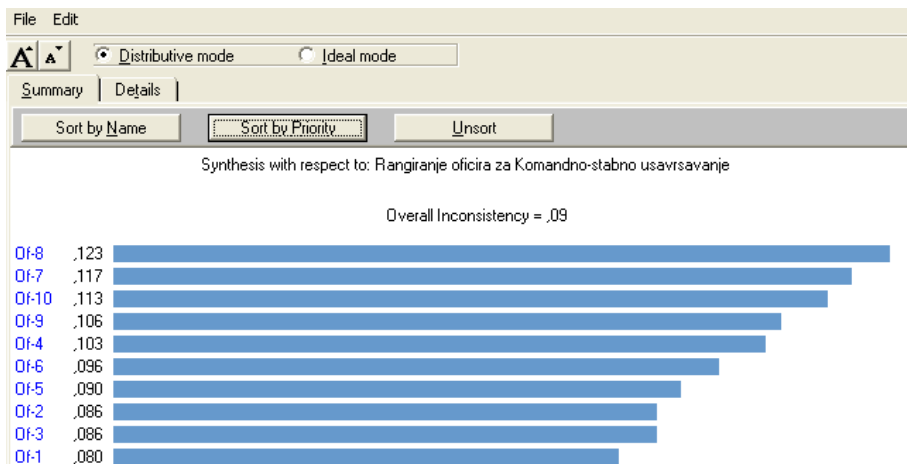
Вектор тежинских коефицијената се најпре одређује за све критеријуме, а затим се све опције пореде у паровима у односу на утврђене критеријуме и одређују им се парцијални тежински коефицијенти. Овако утврђени коефицијенти се у фази синтезе резултата множе са тежинским коефицијентима критеријума. Коначан резултат представљају тежински коефицијенти опција чији је збир 1, при чему је опција са највећим тежинским коефицијентом најбоља.

За примену АХП методе развијена је програмска апликација у софтверском пакету Expert choice која значајно олакшава њену примену. На слици 2 приказано је међусобно поређење кандидата у софтверу Expert choice по критеријуму *Предиспозиције за официрске дужности*.

	Of-1	Of-2	Of-3	Of-4	Of-5	Of-6	Of-7	Of-8	Of-9	Of-10	
Of-1		3,0	5,0	3,0	5,0	1,0	3,0	5,0	1,0	3,0	
Of-2			3,0	1,0	5,0	3,0	5,0	7,0	3,0	5,0	
Of-3				2,0	3,0	5,0	6,0	7,0	5,0	6,0	
Of-4					5,0	3,0	5,0	7,0	3,0	5,0	
Of-5						5,0	6,0	8,0	5,0	6,0	
Of-6							3,0	5,0	1,0	3,0	
Of-7								3,0	3,0	1,0	
Of-8									5,0	3,0	
Of-9										3,0	
Of-10											3,0

Слика 2: Међусобно поређење два кандидата

Након спроведених свих корака АХП методе, у софтверском пакету Expert Choice, добијају се тежински коефицијенти кандидата, слика 3.



Слика 3: Резултати рангирања официра у Expert Choice-у

Резултат примене АХП методе показује потпуни поредак алтернатива, односно добија се ранг листа кандидата за упућивање на Командно-штабно усавршавање. На основу предложених критеријума и подкритеријума, командант Мешовите артиљеријске бригаде добија потребне информације за доношење објективније одлуке о официрима које ће предложити за упућивање на усавршавање.

5. ЗАКЉУЧАК

Постојећи начин оцењивање и рангирања официра у МО и ВС има одређене недостатке које је највећим делом могуће отклонити. Без обзира на циљ *Уредбе о оцењивању професионалних војних лица* (Уредба, 2016), да се искорени субјективизам приликом оцењивања и рангирања професионалних војних лица, он је и даље присутан у МО и ВС.

Рад представља покушај да се у значајној мери умањи субјективизам у процесу оцењивања и рангирања професионалних војних лица. На основу анализе постојећег система управљања људским ресурсима у МО и ВС, као и појединих страних искустава (*Officer career development handbook - OCDH*, Академија за одбрану Велике Британије, 2005), дошло се до предлога критеријума који би се користили за рангирање официра приликом разматрања њиховог даљег професионалног развоја. Предложени критеријуми представљају значајан подстицај да се учини квалитативни корак даље у приступу овој проблематици. Предност описаног приступа у селекцији кадра, огледа се у томе што се у односу на постојећи начин рангирања официра стварају реалнији услови за успостављање „предвидиве каријере“.

Критеријуми који су презентовани у раду нису идеални и свакако се могу даље развијати и дограђивати. У даљем истраживању, треба јасно указати на могућу „предвидиву каријеру“ кадра како би се, касније, могао проценити и развојни пут сваког појединца. То значи да треба изградити шеме могућег кретања кадра у току читаве каријере и утврдити број бодова за сваки сегмент развоја. Полазећи од тога, треба сачинити систем бодовања на основу којег ће се ценити развојни пут сваког официра. Такође, треба доградити постојеће прописе којима се регулише вођење кадра, како би се обезбедило да се при сваком постављењу и унапређењу обавља селекција и рангирање кадра према егзактно мерљивим критеријумима. Оваквим начином управљања људским ресурсима, створили би се услови да на најважнија места у систему одбране долазе најквалитетнији официри.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Боровић, С., Николић, И. (1998). Вишекритеријумска оптимизација: методе, примена у логистици, софтвер, Сектор ШОНИД ГШ ВЈ, Београд.
- [2] Лојић Р. (2011). Управљање људским ресурсима у систему одбране, Медија центар „Одбрана“, Београд.
- [3] Надовеза Б. (2001). Оцењивање и рангирање старешина, Војно дело бр. 1, Београд.
- [4] Николић Н. (2007). Примена операционих истраживања у рангирању официра, Војно дело број 3, Београд.



- [5] Срђевић, Б. (2002). Вишекритеријумско вредновање намена акумулације, *Водопривреда*, 34(2002), стр. 35-45.
- [6] Уредбе о оцењивању професионалних војних лица (2016). Службени војни лист број 6, Београд.
- [7] *Officer career development handbook (OCDH)*, Академија за одбрану Велике Британије, 2005.



MOGUĆNOST PRIMENE AHP METODE U IZBORU DOBAVLJAČA OD STRANE ORGANA LOGISTIKE U VOJSCI SRBIJE

POSSIBILITY OF APPLICATION OF THE AHP METHOD FOR THE SELECTION OF SUPPLIERS BY AUTHORITY OF LOGISTICS IN SERBIAN ARMY

DEJAN NIKOLIĆ¹, MILOŠ VASKOVIĆ², MILAN KOVAČEVIĆ³

¹ Garda, Generalštab Vojska Srbije, ana65@ptt.rs

² Garda, Generalštab Vojska Srbije, milosvaskovic@hotmail.com,

³ Uprava za obaveštajno-izviđačke poslove, Generalštab Vojska Srbije, kacaiaca@ptt.rs

Rezime: *Unapređenje kvaliteta je jedan od osnovnih zahteva standarda QMS. U radu je dat prikaz mogućnosti primene AHP (Analytic Hierarchy Process) metode u izboru dobavljača u procesu realizacije nabavki za potrebe jedinica Vojske Srbije.*

Ključne reči: *Izbor dobavljača, kvalitet, AHP metoda*

Abstract: *Improving quality is one of the basic requirements of the QMS standard. The paper presents the possibility of applying the AHP (Analytic Hierarchy Process) method in the choice of suppliers in the process of realization for the needs of the units of the Army of Serbia.*

Keywords: *Supplier selection, quality, AHP method*

1. UVOD

Izbor dobavljača predstavlja kritičnu funkciju za svaku organizaciju (Kagnicioglu, 2006). Poboljšanje kvaliteta u okviru snabdevanja logističkih jedinica Vojske Srbije leži u samom izboru dobavljačima PS, r/d i repromaterijala kao prvom kontaktu u lancu snabdevanja (Lazarević, 2005). U svakodnevnom radu organa logistike donošenje odluka koje će s jedne strane obezbediti uštedu troškova, a s druge strane zadovoljenje potreba korisnika svakako predstavlja izazov.

Problem istraživanja predstavlja efikasan način izbora dobavljača pri realizaciji nabavke, koji podrazumeva uzimanje u obzir svih relevantnih faktora koji na direktan ili indirektan način utiču na njihovo ocenjivanje.

Predmet istraživanja podrazumeva adekvatan način vrednovanja i izbora dobavljača od strane organa logistike primenom odgovarajućeg metoda i pristupa.

Osnovni cilj istraživanja podrazumeva mogućnost unapređenja procesa nabavke kroz identifikaciju potencijalnih dobavljača, utvrđivanje poželjnih dobavljača, te izvršavanje njihove evaluacije primenom metoda višekriterijumskog odlučivanja.

Pravilan izbor dobavljača u startu obezbeđuje mogućnost za pravovremenu, kontinuiranu i kvalitetnu logističku podršku jedinica Vojske Srbije u realizaciji namenskih zadataka (Ballou, 2004).

2. DEFINISANJE KRITERIJUMA ZA IZBOR DOBAVLJAČA

Pošto se analitički hijerarhijski proces (AHP – Analytic Hierarchy Process), odnosi se na analizu odlučivanja i zasniva se na konceptu balansa za određivanje sveukupne relativne značajnosti skupa atributa, logično je da prvi korak u izboru dobavljača predstavlja utvrđivanje kriterijuma za njihovo rangiranje odnosno procenu.

U literaturi i različitim publikacijama koje se bave istim ili sličnim problemima može se naći veliki broj kriterijuma za vrednovanje dobavljača. Kao pionir u ovoj oblasti smatra se Dickson, (1966) koji je prvi izvršio studiju o evaluaciji dobavljača u kojoj je definisao set od 23 kriterijuma na osnovu kojih bi se moglo izvršiti ocenjivanje i izbor najpovoljnijeg dobavljača (Stević, 2018).

Analizom dostupnih studija o evaluaciji i izboru dobavljača (Wind i dr., 1968; Lehmann i O'shaughnessy, 1974; Perreault i Russ, 1976; Billesbach i dr., 1991; Min i Galle, 1999; Pi i Low, 2005; Pi and Low, 2006; Teeravaraprug, 2008; Liao, 2010; Parthiban i dr., 2012; Mehralian i dr., 2012; Cristea i Cristea, 2017; Fallahpour i dr., 2017) finansijski pokazatelji, kvalitet i isporuka su u skoro svim istraživanjima prisutni kao dominantni kriterijumi za ocenjivanje dobavljača (Stević, 2018; Damjanović,



2013). Ovi kriterijumi se mogu posmatrati kao glavni kriterijumi koji se dalje dele na podkriterijume ukoliko se razmatra veći broj, ili kao kriterijumi bez podkriterijuma kada je reč o vrednovanju dobavljača na osnovu manjeg skupa kriterijuma.

Na izbor kriterijuma za potrebe ovog rada uticala je i diskusija sa kompetentnim licima koja se bave nabavkama u jedinicama Garde VS. Iz diskusija je izvučen sledeći zaključak koji upućuje da dobavljač treba:

- da obezbedi proizvod po konkurentnoj ceni,
- da obezbedi proizvod koji ispunjava standard kvaliteta propisan od strane nabavljača,
- da dostavi proizvod u najkraćem mogućem roku u okviru dogovorenog vremenskog perioda,
- da obezbedi tehničku podršku nakon isporuke proizvoda i odgovori na reklamaciju u najkraćem roku,
- da bude finansijski stabilan kako bi obezbedio pravovremeno kompletiranje porudžbine.

Na osnovu razgovora i dostupne literature definisani su kriterijumi koji su najodgovornijim licima komande Garde po pitanju logistike, nabavke i održavanja PS dati radi ocene važnosti svakog pojedinačnog kriterijuma. Upitnik sa kriterijumima i definisanim sistemom vrednovanja prosleđen im je uz napomenu da ako smatraju da bi trebalo još neki kriterijum da se uzme u obzir isti unesu u ponudenu listu kriterijuma. Na raspolaganju imali su sledeće grupe odgovora: „Nije važno (1 – 3)“, „Manje važno (4, 5)“, „Važno (6,7)“ i „Veoma važno (8,9)“ (Tam & Tummala, 2001).

Obrađeni rezultati dobijeni upitnikom prikazani su u tabeli broj 1.

Prisustvo prevelikog broja kriterijuma u procesu ocenjivanja dobavljača dodatno komplikuje sam proces i zahteva više vremena za realizaciju evaluacije dobavljača. Zbog navedenog se pristupilo uvođenju granične vrednosti (prosečna ocena iznad 7) čime se redukovao broj kriterijuma na optimalan broj (Tam & Tummala, 2001).

Tabela 1: Lista definisanih kriterijuma sa ocenama ispitanika

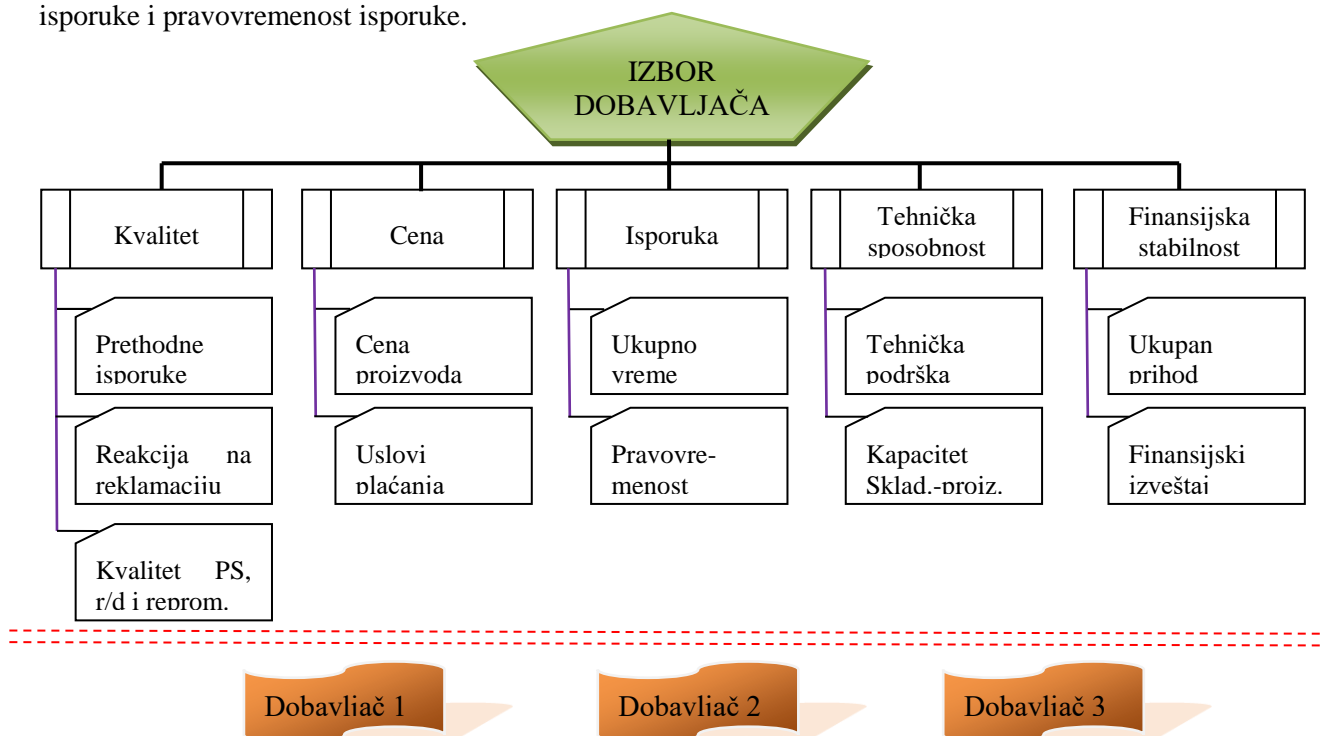
Kriterijumi	Lice odgovorno za funkcionisanje logistike	Lice odgovorno za snabdevanje	Lice odgovorno za održavanje	Lice odgovorno za opštu logistiku	Prosek
Kvalitet	9	8	9	9	8,75
Cena	8	8	7	7	7,50
Tehnologija	6	7	7	6	6,50
Isporuka	8	8	8	8	8,00
Disciplina	8	6	7	5	6,50
Organizacija	6	6	5	3	5,00
Tehnička sposobnost	7	8	9	7	7,75
Finansijska stabilnost	7	8	7	7	7,25
Odnos sa dobavljačem	3	4	5	3	3,75

Zaključak, izveden na osnovu vrednovanja kompetentnih lica jedinica Garde, je da su sledeća pet kriterijuma najvažnija prilikom ocenjivanja dobavljača (Slika 1):

- Kvalitet,
- Isporuka;
- Cena;
- Tehnička sposobnost;
- Finansijska stabilnost

Kvalitet se odnosi na usklađenost isporučenih PS, r/d ili repromaterijala sa dostavljivim zahtevima i specifikacijama. Mora se naznačiti da se moraju uzimati u obzir iskustvene činjenice prethodne izvršenih isporuka u cilju predviđanja eventualnog budućeg angažovanja dobavljača. Vremenski interval posmatranog kriterijuma obuhvata i kvalitet ispunjenja obaveza vezanih za otklanjanje uočenih nedostataka na isporučena pokretna sredstva, rezervne delove i repromaterijal. U okviru kriterijuma uočeni su sledeći podkriterijumi: prethodne isporuke, reakcija na reklamaciju i kvalitet isporučenih PS, r/d i repromaterijala.

Isporuca kao kriterijum podrazumeva mogućnost dobavljača da u predviđenom vremenu i na predviđeno mesto dostavi tražena PS, r/d ili repromaterijal. Važnost kriterijuma je implicirana tehnološkim procesom sistema logistike koji zahteva pravovremeni dotur r/d i repromaterijala. Podkriterijumi: Ukupno vreme isporuke i pravovremenost isporuke.



Slika 1: Hijerarhija izbora dobavljača

U okviru cene, pored visine novčanih sredstava za traženo PS, r/d ili repromaterijal, se vrednuju i ustupci dobavljača u vidu pogodnosti prilikom plaćanja (odloženo plaćanje po dostavljenoj robi, avansno plaćanje dela ili celokupne narudžbine, rabat itd.). Prethodno navedenim su definisani sledeći podkriterijumi: cena proizvoda i uslovi plaćanja.

Tehnička sposobnost iskazuje sposobnost dobavljača da izlazi u susret zahtevima naručioca pre isporuke kao i tehničku podršku nakon isporuke PS i r/d. U podkriterijume spada tehnička podrška i kapacitet uskladištenih ili proizvodnih kapaciteta.

Finansijska stabilnost dobavljača je važan kriterijum sa aspekta procene rizika bankrotstva i dužine opstanka na tržištu radi ostvarenja praćenja i ocene dobavljača u dužem vremenskom intervalu (loše finansijsko poslovanje ne garantuje opstanak dobavljača pa samim tim i stabilnost isporuka). Podkriterijumi: Ukupan prihod i finansijski izveštaj.

3. PRIMENA AHP METODE U IZBORU DOBAVLJAČA

U uslovima vrlo oštih zahteva koji se postavljaju prema upravnim organima logistike probleme je neophodno rešavati uz pomoć različitih metoda i modela. Rad prikazuje mogućnost primene AHP metoda za ocenjivanje, poređenje i izbor najpovoljnijeg dobavljača. Cilj je da se na bazi prethodno navedenih pet kriterijuma, a uz pomoć AHP metode, izvrši ocenjivanje i izabere dobavljač sa najkvalitetnijom uslugom.

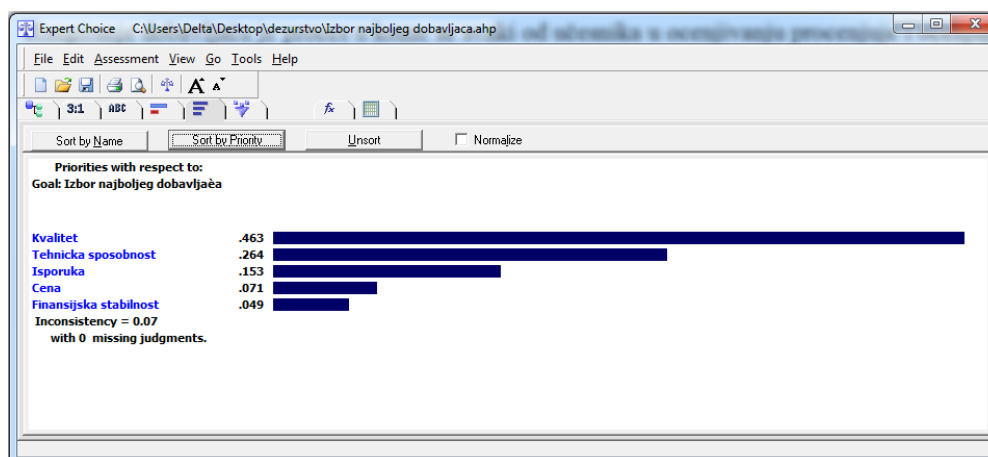
Nakon određivanja i strukturiranja kriterijuma i podkriterijuma, sledeći korak predstavlja utvrđivanje relativnih težina svakog kriterijuma.

Tabela 2: Satijeva skala vrednovanja

Značaj	Definicija	Objašnjenje
1	Istog značaja	Dva elementa su indentičnog značaja u odnosu na cilj
3	Slaba dominantnost	Iskustvo ili rasuđivanje neznatno favorizuje jedan element u odnosu na drugi
5	Jaka dominantnost	Iskustvo ili rasuđivanje znatno favorizuje jedan element u odnosu na drugi
7	Demonstrirana dominantnost	Dominantnost jednog elementa potvrđena u praksi
9	Apsolutna dominantnost	Dominantnost najvišeg stepena
2,4,6,8	Međuvrednosti	Potreban kompromis ili dalja potreba

Sušтина utvrđivanja relevantnih težina leži u međusobnoj oceni definisanih kriterijuma i podkriterijuma u parovima, gde se svi kriterijumi jedne hijerarhije porede jedan sa drugim. U radu ocena kriterijuma, odnosno njihovih težinskih koeficijenata u odnosu na opšti cilj, je određena korišćenjem Satijeve skale (Tabela 2.)

Poređenje parova je izvršeno korišćenjem softvera Expert Choice 11. Ocena kriterijuma u navedenom paketu izvršena je grupnom metodom rešavanja problema – Brainstorming u kojem su učestvovala lica koja vrše izbor dobavljača u toku realizacija javnih nabavki za potrebe jedinica Garde.



Slika 2: Prikaz kriterijuma rangiranih po prioritetu sa njihovim težinskim koeficijentom

Oceni kriterijuma se pristupilo pomoću opcije „3:1“ softvera Expert Choice koja nam omogućava direktno upoređivanje dva kriterijuma pomoću Satijeve skale.

Pri ocenjivanju kriterijuma vodilo se računa o indeksu inkonzistentnosti, koji mora biti manji ili jednak 0,1. Njegova vrednost se automatski računa pri unosu ocena kriterijuma i ista se nalazi u donjem levom uglu matrice.

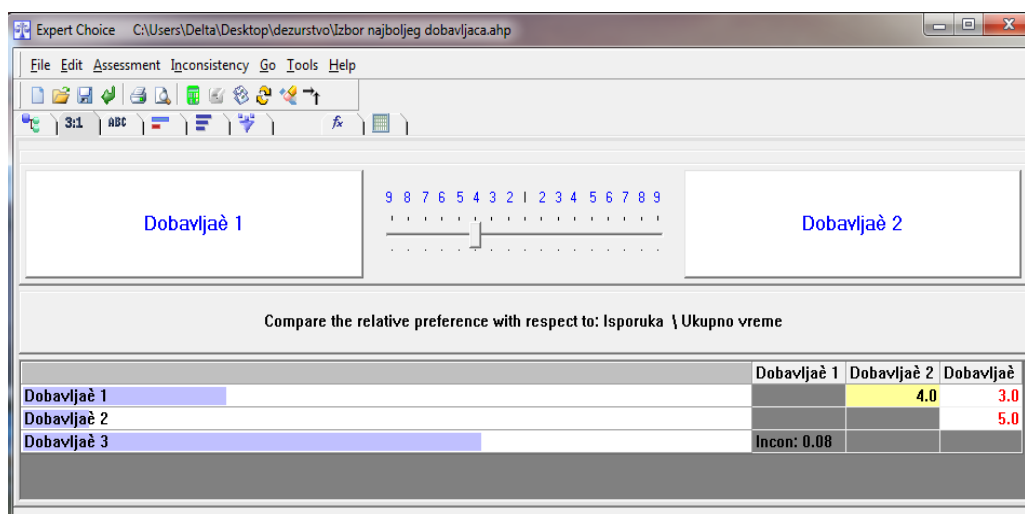
Rezultati dobijeni nakon izvršenog poređenja kriterijuma prvog nivoa su prikazani na slici 2.

Nakon rangiranja kriterijuma prvog nivoa pristupilo se rangiranju kriterijuma drugog nivoa na istovetan način.

Nakon rangiranja kriterijuma prvog i drugog nivoa sledeći korak predstavlja rangiranje dobavljača. Rangiranje dobavljača predstavlja proces u kome se svaki od učesnika u ocenjivanju procenjuje i ocenjuje na osnovnu svakog kriterijuma drugog nivoa (Slika 3).

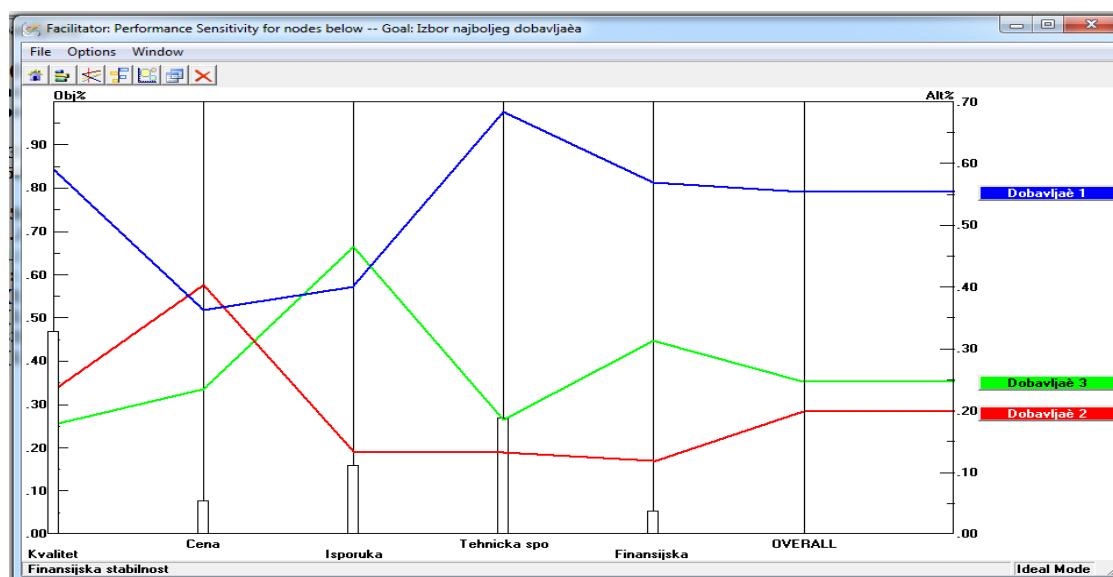
U radu su uzeta tri dobavljača elektromaterijala sa kojima su se nabavljači jedinica Garde susretali u postupcima javnih nabavki u periodu od 2010. do 2018. godine. U cilju zaštite imidža preduzeća nazivi dobavljača se ne navode u radu. Za potrebe rada deklarisali smo ih kao Dobavljač 1, 2 i 3.

Ocena Dobavljača izvršena je primenom Brainstorming metoda u kojem su učestvovala lica koja su imala kontakt sa navedenim dobavljačima u toku realizacija javnih nabavki za potrebe svojih jedinica.



Slika 3: Određivanje prioriteta Dobavljaèa za podkriterijum „Ukupno vreme“ u okviru „Isporuke“

Analizom rezultata uoèavamo da je Dobavljaè 1 najbolji dobavljaè sa znaèajnom razlikom u odnosu na konkurente (Slika 4). Uèinak Dobavljaèa 1 je bolji od druga dva dobavljaèa u 3 od 5 kriterijuma i 6 od 11 podkriterijuma, iz tog razloga može se doći do zakljuèka da bi Dobavljaè 1 i bio preporuèeni dobavljaè.

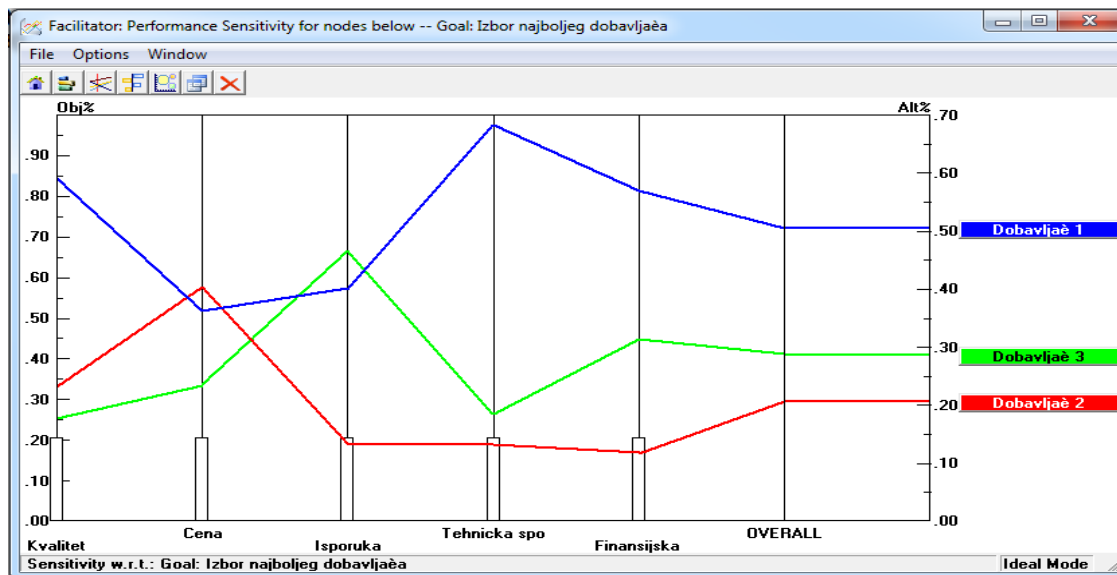


Slika 4: Grafièki prikaz evaluacije dobavljaèa

Nakon prethodno navedenih koraka pristupilo se analizi osetljivosti. Zadatak analize osetljivosti je pre svega eliminisanje rizika izbora neadekvatnog dobavljaèa zbog nepreciznog poređenja u okviru određivanja težinskih koeficijenata kriterijuma. Analiza prikazuje reakciju postojećeg rangiranja dobavljaèa na promenu relativnih težina svakog primarnog kriterijuma. Njome se mogu sagledati sve posledice usled varijacije težinskih koeficijenata kriterijuma. Sveobuhvatna analiza osetljivosti osigurava kredibilitet izbora dobavljaèa.

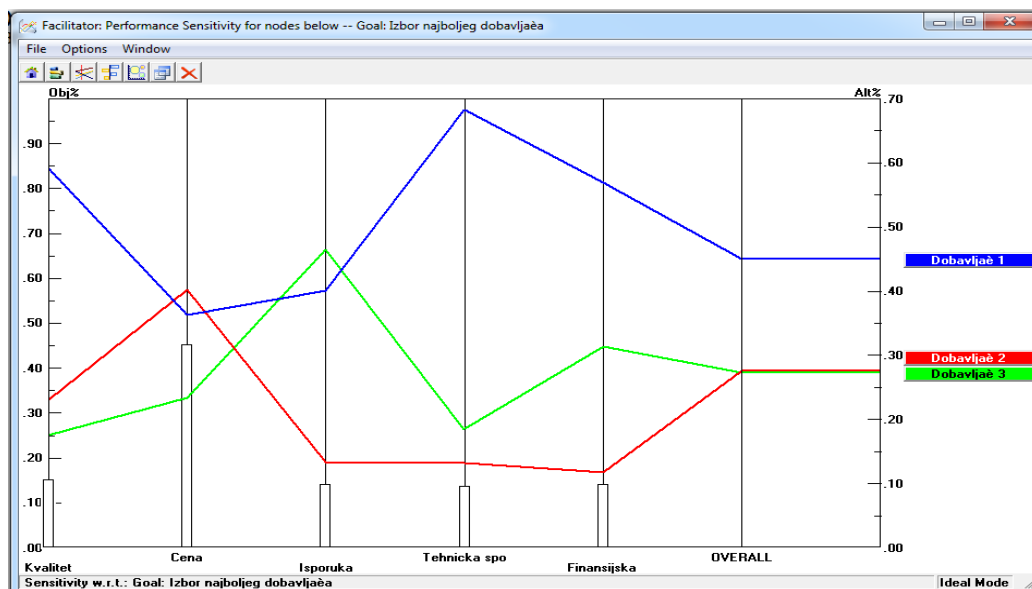
U okviru programa Expert Choice postoje pet metoda analize osetljivosti: Performance, Head to Head, Gradient, Dynamic i Two-Dimensional. U okviru rada prikazaèe se analiza osetljivosti izmenom težina primarnih kriterijuma i njihov uticaj na ukupno rangiranje. Mora se istaèi da se na ovaj naèin pruža moguènost analize beskonaènih kombinacija prioriteta.

U prvom scenariju izvršeno je izjednaèavanje svih kriterijuma pri èemu se ukupni prioriteta dobavljaèa nisu promenili. Dobavljaè 1 predstavlja i dalje najbolji izbor (Slika 5).



Slika 5: Performance analiza osetljivosti za Scenario 1

Ako uzmemo u obzir da je Cena najvažniji kriterijum, odnosno se poveća težina Cene na 45% (težine ostalih kriterijuma proporcionalno budu umanjene) uvideće se da neće ni tada doći do značajnijih promena, što znači da Dobavljač 1 je i u ovom slučaju najbolji izbor (Slika 6). Došlo je do promena na rangju između Dobavljača 2 koji je sada na drugom mestu, i Dobavljača 3 koji je pao na treće mesto. Pošto je razlika u prioritetima između njih veoma mala, čak i usled blagih promena u težini određenih kriterijuma, vrlo lako može doći do promene u njihovom rangju.



Slika 6: Performance analiza osetljivosti za Scenario 2

4. ZAKLJUČAK

Rezultati rada potvrđuju mogućnost unapređenja u pogledu vrednovanja i izbora najboljeg dobavljača primenom metoda višekriterijumskog odlučivanja.

Takođe rad prikazuje mogućnost razvoja novog pristupa za vrednovanje dobavljača koji bi omogućio smanjenje subjektivnosti i nepreciznosti koje se svakodnevno javljaju pri donošenju odluka.

Rad je potvrdio da je kriterijum sa najvećom važnošću za izbor dobavljača kriterijum kvaliteta proizvoda sa težišnim koeficijentom 0.463, što je usklađeno i sa ocenom (8.75) najodgovornijih lica Garde po pitanju logistike, snabdevanja i održavanja.



U radu se uočava i neslaganje u vrednovanju kriterijuma cene od strane lica koja se bave nabavkama u jedinicama Garde i logističkog menadžmenta Garde što ukazuje na potrebu daljeg rada na definisanju kriterijuma za ocenjivanje dobavljača i procene njihovih relativnih težina.

Na osnovu prethodno navedenog možemo zaključiti da postoji potreba za daljim istraživanjem koji bi trebao da se odnosi na definisanje i vrednovanje kriterijuma za ocenjivanje dobavljača, odnosno formiranje sličnog modela u koji bi bili uključeni upravni organi logistike iz većeg broja logističkih jedinica Vojske Srbije koji se bave poslovima nabavke PS.

LITERATURA

- [1] Ballou, R. (2004). *Business Logistics/Supply Chain Management*. New Jersey: Pearson-Prentice Hall.
- [2] Damjanović, D. (2013). *Primena AHP metode na selekciji i evaluaciji dobavljača*, master rad. Beograd: Univerzitet Singidunum, Deppartman za poslediplomske studije.
- [3] Kagnicioglu, C. (2006). *A fuzzy multiobjective programming approach for supplier selection in a supply chain*. *The Business Review*, 6(1), 107-115.
- [4] Kilibarda, M. (2007). *Logistički kontroling kao podrška upravljanju kvaliteta u logistici*. Zbornik radova festivala kvaliteta 2007.
- [5] Lazarević, P. (2005). *Ocena podobnosti isporučilaca. festival kvaliteta 2005* (str. H-78). Kragujevac: Asocijacija za kvalitet i standardizaciju Srbije.
- [6] Tam, M., & Tummala, V. (2001). *An Application of the AHP in Vendor Selection of a Telecommunication System*. *Omega*, 29 (2), 171-182.
- [7] Stević, Ž. (2018). *Integrisani model vrednovanja dobavljača u lancima snabdevanja*, doktorska disertacija. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka u Novom sadu.



UTICAJ DOSTUPNOSTI INFORMACIJA U VEZI CILJA NA BORBENE MOGUĆNOSTI VAZDUHOPLOVNE PLATFORME

INFLUENCE OF AVAILABILITY OF TARGET INFORMATION ON COMBAT CAPABILITY OF AIRCRAFT PLATFORMS

DALIBOR PETROVIĆ¹, VLADA MITIĆ², NENAD KAPOR³

¹Uprava za stratejsko planiranje, Sektor za politiku odbrane, Ministarstvo odbrane, dalibor.petrovic@mod.gov.rs

²Uprava za stratejsko planiranje, Sektor za politiku odbrane, Ministarstvo odbrane, vlada.mitic@mod.gov.rs

³ Univerzitet Džon Nesbit, Fakultet za civilno vazduhoplovstvo, nkapor@naisbitt.edu.rs

Rezime: U radu je prikazan matematički model određivanja borbenih mogućnosti vazduhoplovnih platformi. Na matematičkom modelu je izvršena simulacija uvođenjem i menjanjem dostupnosti informacija o cilju. Dostupnost informacija o cilju odnosi se na: unapred dodeljivanje ciljeva uz osmatranje efekata na cilju (shoot-look-shoot), gađanje ciljeva uz međusobni dogovor pilota (ili dodeljivanje ciljeva od strane vazduhoplovnog komandira), bez mogućnosti utvrđivanja efekata na cilju (uniformno) i nasumično, kada svaka vazduhoplovna platforma vrši izbor i gađanje ciljeva po sopstvenom nahođenju, bez mogućnosti uvida u efekte dejstva na cilj. Simulacijom je utvrđeno u kojoj meri dostupnost informacija utiče na efekte u sukobu vazduhoplovnih platformi, odnosno na stepen uništenja i preživljavanja vazduhoplovnih platformi u sukobu sa protivnikom istih karakteristika i broja.

Ključne reči: vazduhoplovna platforma, matematički model, dostupnost informacija, verovatnoća preživljavanja.

Abstract: The paper presents a mathematical model for determining the combat capabilities of aircraft platforms. On a mathematical model simulation was made by introducing and changing the availability of target information. The availability of target information refers to: advance target assignment with Shoot-look-shoot; shooting targets with an internal pilot agreement (or assigning targets by an airborne commander), without the possibility of determining effects on the target (uniform); and randomly, when each airborne platform selects and targets targets at its sole discretion, without the possibility of insight into the effects of the action on the target. The simulation showed the extent to which access to information affects the effects of the conflict of aircraft platform, or the degree of destruction and survival of aviation platform in conflict with an opponent of the same characteristics and the number of platform.

Keywords: aircraft platform, mathematical model, the availability of information, the probability of survival.

1. UVOD

Za potrebe planiranja u sistemu odbrane, bilo da je u pitanju planiranje razvoja ili operativno planiranje upotrebe snaga odbrane, neophodno je predviđati i procenjivati upotrebu različitih snaga u sukobu. Na upotrebu snaga u sukobu utiču različiti činioci operativnog okruženja, a krajnji ishod sukoba zavisi od mogućih vrednosti koje faktori (činioci) operativnog okruženja mogu imati, kao i od njihovog međusobnog uticaja.

Sužavanjem predmeta istraživanja, u radu je obuhvaćen sukob vazduhoplovnih platformi u istim uslovima i sa istim karakteristikama, kako bi se utvrdio uticaj dostupnosti informacija o cilju na stepen uništenja istog, odnosno preživljavanja vazduhoplovnih platformi. S tim u vezi izrađen je model sukoba vazduhoplovnih platformi (plavi i crveni) na primeru međusobne sukobljenosti dva, četiri, šest, osam, 10 i 12 platformi. Pretpostavka je da svi vazduhoplovi, kako plavog, tako i crvenog, imaju iste karakteristike, a naročito da su naoružani istim naoružanjem. Uzimajući u obzir uvedene pretpostavke, kao i to da u sukobu učestvuje isti broj vazduhoplova obe strane, očekuje se da će obe strane imati iste efekte uništenja i preživljavanja u sukobu, međutim uvođenjem pretpostavke o dostupnosti informacija u vezi sa ciljem, dolazi se do vrednosti faktora dostupnosti informacija na efekat uništenja i preživljavanja cilja.

Dostupnost informacija u vezi ciljeva govori o tome da li vazduhoplovne platforme imaju sve podatke o ciljevima, a naročito podatke o lokaciji, na koji način se vrši dodeljivanje vazduhoplovnih ciljeva na gađanje, kao i da li postoje informacije o efektu dejstva na cilj. S tim u vezi, mogu se razlikovati sledeće vrste dodeljivanja ciljeva, i to: unapred dodeljivanje ciljeva uz osmatranje efekata na cilju (eng. shoot-look-shoot)



gađanje ciljeva uz međusobni dogovor pilota (ili dodeljivanje ciljeva od strane vazduhoplovnog komandira), bez mogućnosti utvrđivanja efekata na cilj (uniformno) i nasumično, kada svaka vazduhoplovna platforma vrši izbor i gađanje ciljeva po sopstvenom nahođenju, bez mogućnosti uvida u efekte dejstva na cilj.

Može se primetiti da uništenje platformi zavisi od količine informacija u vezi ciljeva, koje se mogu dobiti upotrebom komandnih i informacionih sistema, sistema za elektronsko izviđanje i telekomunikacionih sistema. Sa druge strane, vrednost količine informacija u vezi ciljeva se može degradirati elektronskim ometanjem od strane protivnika.

Cilj ovog rada je bio da se na matematičkom modelu utvrdi u kojoj meri dostupnost informacija u vezi cilja utiče na efekte sukoba, odnosno na borbene mogućnosti vazduhoplovne platforme. Rezultati se mogu upotrebiti za korekciju proračunatih borbenih mogućnosti u procesu operativnog planiranja ili za rangiranje različitih opcija razvoja avijacije kao roda Vojske Srbije.

2. MATEMATIČKI MODEL, USVOJENE HIPOTEZE I SCENARIO

Sagledavanje uticaja komandno-informacionog sistema na efikasnost i sposobnost preživljavanja lovačke avijacije u sukobu koji bi se vodio na velikim daljinama, izvršeno je na osnovu scenarija u kome vazduhoplovne platforme plavog iz zone očekivanja po dobijanja zadatka kreću u presretanje vazduhoplovnih platformi crvenog koji se kreće u grupi praćen avio sistemom upozorenja i kontrole (eng. AWACS). Pretpostavka je da crveni, imajući u vidu pratnju avaksa, ima potpunu informaciju u vezi upotrebe svojih snaga, odnosno da vazduhoplovne platforme, čim se nađu u zoni efikasnog dometa svog naoružanja, mogu da izvrše koordinirano vatreno dejstvo po platformama plavog (Milinovic 2014), kao i da imaju potpuni uvid u ostvareni učinak tako da sledeći plotun upućuju samo na preostali broj plavog (ne postoji mogućnost da se gađa cilj koji u međuvremenu može biti uništen). Pretpostavka je, da plavi u toku dejstva nije u stanju da učini dostupnim sve svoje informacije i koordinira vatrena dejstva po protivničkoj platformi zbog jakog elektronskog ometanja.

Analiza se zasniva na pretpostavci da snage crvenog i plavog imaju vazduhoplovne platforme istih/sličnih karakteristika sa mogućnošću da prate više ciljeva a dejstvuju po dva istovremeno. Sukob se odigrava upotrebom raketa vazduh-vazduh velikog dometa. Pretpostavka je, da plavi u toku dejstva nije u stanju da u potpunosti učini dostupnim sve svoje informacije i koordinira vatrena dejstva po protivničkim platformama tako da će njegova taktika upotrebe biti slučajnim izborom cilja što može da dovede da više vazduhoplovnih platformi istovremeno gađaju jedan cilj, kao i da vazduhoplovna platforma gađa cilj koji će u međuvremenu biti uništen od strane druge vazduhoplovne platforme.

Vazduhoplovne platforme brojčano jednake ispoljavaju istovremeno dejstvo jedna na drugu. Ovakva situacija u kojoj se više vazduhoplovnih platformi (plavog) suprotstavlja brojčano istom ili sličnom neprijatelju (crveni) može se opisati kao „više na više” (Bracken 1995). Kako se sukob odigrava na velikoj daljini, pretpostavlja se da plavi i crveni dejstvuju jedan na drugog nezavisno, to jest da dejstvo jednog ne utiče na dejstvo drugog, imajući u vidu činjenicu da raketama treba više vremena da stignu do cilja nego što je cilju potrebno da izvrši dejstvo. Ukupan efekat zavisice od načina raspodele ciljeva, pa tako za vazduhoplovnu platformu plavog primeniće se nasumičan izbor cilja s obzirom na pretpostavku o velikom elektronskom ometanju. Dok će crveni imati precizno dodeljivanje ciljeva (shoot-look-shoot), pošto je praćen avaksom i da u realnom vremenu ima sve podatke o preostalom broju ciljeva tako da izbegava mogućnost preklapanja cilja i ponovno gađanje cilja za koji postoji mogućnost da bude uništen prethodnim dejstvom ili dejstvom neke druge platforme.

Platforme su naoružane u konfiguraciji namenjenoj za prevlast u vazдушnom prostoru, što znači da nose samo rakete vazduh-vazduh različitog dometa, od kojih su po dve dugog dometa.



Crveni u napadu na plavog koristi taktiku preciznog dodeljivanja ciljeva, to jest komanda crvenog ima potpuni uvid u situaciji na bojištu i može da koordinira dejstvo svojih vazduhoplovnih platformi. Na osnovu ishoda svakog lansiranja, u zavisnosti od činjenice dali je cilj (plavi) nestao ili je uništen, dodeljuju svojim platformama naredno lansiranje ali samo na preživele platforme plavog. Pa je verovatnoća uništenja M_p cilja u napadu sa N lansiranih raketa, data kao:

$$P_c = \binom{N}{M_p} p^{M_p} (1-p)^{N-M_p} \text{ za } N \geq M_p \quad (1)$$

M_p - ukupan broj gađanih platformi plavog

p_c - je verovatnoća uništenja selektovanog cilja u napadu.

Očekivani broj uništenih ciljeva u ovako organizovanom napadu je:

$$m_p = \sum_{i=0}^{M_p} iP_c + \sum_{i=M_p+1}^N M_p P_c \text{ za } N \geq M_p \quad (2)$$

Dok je očekivana verovatnoća preživljavanja plavih na bojištu:

$$S_p = 1 - \sum_{i=0}^{M_p} \frac{i}{M_p} P_c + \sum_{i=M_p+1}^N M_p P_c \quad (3)$$

Očekivani broj preživelih platformi plavog je:

$$E_p = M_p S_p \quad (4)$$

S druge strane u istoj situaciji, kad borbena grupa plavog naiđe na crvenu borbenu grupu, pretpostavka je da će vođa komandovati slobodan izbor ciljeva, što znači da će na crvenu borbenu grupu biti ispaljeno ukupno N raketa, bez uzimanja u obzir koliko je drugih hitaca dodeljeno svakoj pojedinačnoj crvenoj platformi kao i da li je platforma bila oborena od strane drugog hica. Za ovakav slučaj, verovatnoća dodeljena vazduhoplovnoj platformi plavog da uništi crvenog je p_p / M_c . Ovde je $1/M_c$ verovatnoća selektovanja određenog cilja, a p_p je verovatnoća uništenja selektovanog cilja u napadu od strane plavog. Odatle, verovatnoća da selektovani cilj preživi napad od selektovanog napadača je $1 - p_p / M_c$. Konačno, da bi preživeo u napadu određeni cilj, mora da preživi napad od N nezavisnih raketa. Prema tome, verovatnoća preživljavanja crvenog je:

$$S_c = \left(1 - \frac{p_p}{M_c}\right)^N \quad (5)$$

Ovde je:

M_c - ukupan broj gađanih platformi crvenog



Očekivani broj preživelih ciljeva je:

$$E_c = M_c \cdot S_c \quad (6)$$

Jednačinu (8) možemo napisati u binomnom obliku kao:

$$S_c = 1 - \frac{N}{1!} \cdot \frac{p_p}{M_c} + \frac{N(N-1)}{2!} \left(\frac{p_p}{M_c} \right)^2 - \dots + \left(\frac{p_p}{M_c} \right)^N \quad (7)$$

Ako je uporedimo sa:

$$e^{-\frac{p_p N}{M_c}} = 1 - \frac{N \cdot p_p}{M_c} + \frac{1}{2!} \left(\frac{N \cdot p_p}{M_c} \right)^2 - \dots \quad (8)$$

Konačno možemo napisati da je verovatnoća preživljavanja crvenog:

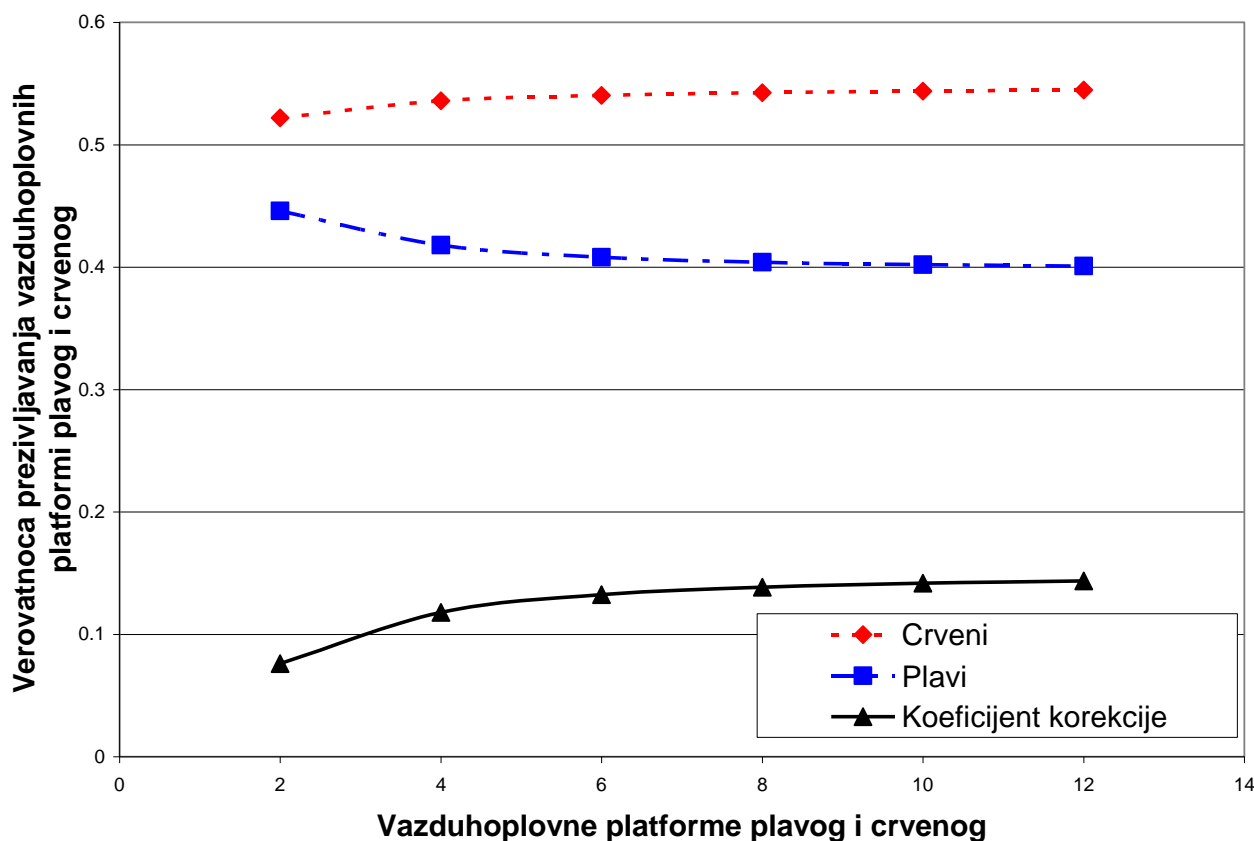
$$S_c \approx e^{-\frac{p_p N}{M_c}} \quad (9)$$

3. REZULTATI SIMULACIJE

Dijagram verovatnoće preživljavanja vazduhoplovnih platformi plavog i crvenog u sukobu sa brojčano istim protivnikom za (dva, četiri, šest, osam, 10 i 12) platformi na obe strane, dat je na slici 1. U simulaciji je pretpostavljeno da su vazduhoplovne platforme plavog i crvenog naoružane raketama velikog dometa i da istovremeno gađaju po dva cilja.

Na osnovu postavljenog modela i jednačina u glavi 2, simulacija je izvedena pod sledećim uslovima:

1. Vazduhoplovne platforme plavog i crvenog mogu da prate više a gađaju dva cilja istovremeno.
2. Dejstvo platformi se ispoljava sa daljine od 100km.
3. Hipotetička verovatnoća pogađanja raketama jednog i drugog je $p=0.38$. (ovu verovatnoću su imale rakete vazduhoplovnih platformi NATO-a korišćene u agresiji na Jugoslaviju 1999. god.)



Slika 1: Verovatnoća preživljavanja

Na dijagramu prikazanom na slici 1, dat je sukob vazduhoplovnih platformi plavog i crvenog u situaciji dva na dva, četiri na četiri, ... i 12 na 12. U sukobima, u kojima jedna strana u sukobu ima potpune informacije, verovatnoća uništenja je veća za: 8% kod sukoba dva na dva, 12% kod sukoba četiri na četiri, za 13% kod sukoba šest na šest i za 14% kod sukoba od osam na osam do 12 na 12 i više, u odnosu na stranu u sukobu koja vrši nasumičan izbor cilja.

4. ZAKLJUČAK

U radu je pokazan matematički model proračuna i međusobnog poređenja dva različita scenarija sukoba, gde je varijabilni faktor *pristup informacijama u vezi cilja*. Simulacija na modelu je realizovana tako što su sve tehničko-tehnološke karakteristike vazduhoplova obe strane u sukobu istovetne, te jedini uticaj na ishod simulacije imala je promena faktora koji se odnosi na pristup informacijama. Kako bi se utvrdio uticaj pristupa informacija na efekte sukoba, crvena strana u sukobu je imala maksimalnu vrednost faktora pristup informacijama u vezi cilja, dok je ta vrednost za plavu stranu bila minimalna.

Simulacija je pokazala da će strana u sukobu koja ima potpunu dostupnost informacija u vezi izbora i dodeljivanja ciljeva ostvariti od 8 do 14 posto veće efekte na cilj u odnosu na stranu koja nema navedene informacije. Nedostatak informacija, kao i nemogućnost sagledavanja efekata dejstva na cilju značajno smanjuje stepen preživljavanja plavog.

Najmanja razlika stepena preživljavanja strana u sukobu je sa dve angažovane platforme na obe strane, i iznosi oko 8%. Povećanjem broja međusobno sukobljenih vazduhoplova, povećava se i razlika stepena preživljavanja sve do angažovanih osam vazduhoplova, kada razlika u stepenu uništenja blago raste sa povećanjem broja vazduhoplova i iznosi nešto više od 14%.

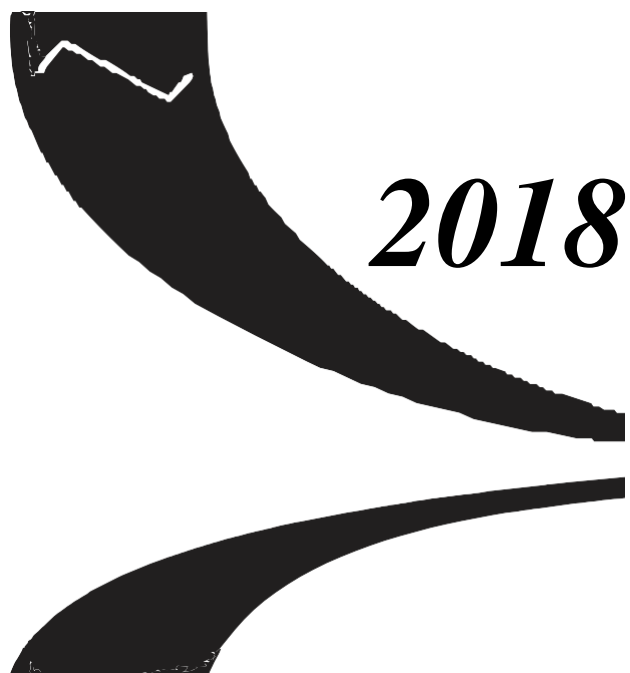
Rezultati simulacije se mogu koristiti u procesu operativnog planiranja radi korekcije proračunatih borbenih mogućnosti u odnosu na dostupnost informacija u vezi ciljeva. Takođe, rezultati eksperimenta mogu se



primeniti u procesu proračuna efikasnosti vazduhoplovnih sistema, kao i na izbor opcija razvoja vazduhoplovnih snaga i sistema odbrane u celini.

LITERATURA

- [1] Air to air weapons effectiveness. Preuzeto 12. jula 2018. godine sa: <https://defenseissues.net/2013/06/15/air-to-air-weapons-effectiveness/>
- [2] Bracken, J., Kress, M., & Rosenthal E. R. (1995). Warfare modeling, MORS, USA
- [3] Kovač, M., Dulanović, Ž., & Stojković D. (2006). Određivanje efikasnosti vojnoorganizacionih sistema, Vojnoizdavački zavod, Beograd.
- [4] Milinovic, M., Petrovic, D., Jeremic, O., & Kovac, M. (2014). Discrete Deterministic Modeling Of Autonomous Missiles Salvos, Defence Science Journal. 64(5), 471-476.
- [5] Milinović, M., Kovač, M., Jeremić, O., & Kokelj T. (October 2011). Threshold efficiency probabilities determination of combat systems for joint capabilities approach planning. 4th International Scientific Conference of defensive technologies, OTEH-2011, Belgrade.
- [6] Przemieniecky, S. J. (2000). Mathematical methods in defense analyses, Third edition, AIAA, Education Series, Redston, Virginia, USA



2018

***PRIMENE OPERACIONIH
ISTRAŽIVANJA U
RUDARSTVU, GEOLOGIJI I
ENERGETICI***



PREGLED OPTIMIZACIONIH PROBLEMA U ELEKTROENERGETSKIM SISTEMIMA

OVERVIEW OF OPTIMIZATION PROBLEMS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

MINJA MARINOVIĆ¹,

¹ University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, marinovic.minja@fon.bg.ac.rs

Rezime: Električna energija predstavlja sastavni deo svakodnevnog života, usled čijeg nestanka ili potpunog prestanka bi funkcionisanje većine segmenata svakodnevnog života bilo onemogućeno. Procesi koji su značajni za efikasno funkcionisanje elektroenergetskih sistema su: proizvodnja, prenos, skladištenje i trgovina električnom energijom. U literaturi se može naći veliki broj istraživanja koja se bave ovim procesima. Pored istraživanja koja se odnose na regulative i uvođenje novih pravila poslovanja, veliki broj istraživanja se odnosi na optimizaciju pojedinih procesa u elektroenergetskim sistemima. Najčešće se optimizuju način proizvodnje, način prenosa električne enrgije, način trgovina na berzi i sl. Ovaj rad predstavlja predleg radova, odnosno matematičkih modela vezanih za optimizaciju procesa vezanih za električnu energiju. Pregled obuhvata period od poslenjih 5 godina.

Ključne reči: Električna energija, Optimizacija, Matematički modeli, Struja.

Abstract: Electricity is a component or part of everyday life, due to its complete failure or disappearance, functioning of most segments of everyday life would be disabled. Processes which are of great importance for electric power systems are: production, transmission, storage and trade of electricity. In literature can be found a lot of papers and researches considering those processes. Beside the researches that aims on regulations and implementation of new rules in electricity business, large number of those researches is dedicated to optimization of those processes in electric power systems. The most common are optimization of production, energy transmission, electricity market trade and etc. This paper represent an overview of papers, exactly mathematical models which are related to optimization processes for electricity. Overview covers period of last five years.

Keywords: Electrical energy, Optimization, Mathematical models, Electricity.

1. UVOD

Električna energija je oduvek bila predmet istraživanja velikog broja istraživača. Njena uloga u svakodnevnom životu je dovela do toga da se izučavaju i proučavaju svi mogući aspekti kada je ovaj pojam u pitanju. Nekada je proizvodnja električne energije bila pod kontrolom država pa joj se nije davalo puno značaja jer se nije moglo uticati na procese unutar elektroenergetskih sistema. 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, kada je pre tridesetak godina došlo do promene i prebacivanja sa bilateralnih sporazuma na otvoreno tržište, otvoren je prostor za nove ideje i nova istraživanja. Jedan od prvih radova koji se bavio ovakvim istraživanjem je rad autora Dowlatabadi i Evans (1986) koji su opisali način trgovine el. energije u to vreme na prostoru Velike Britanije. Nakon toga se pojavio veliki broj radova koji su se razlikovali kako u pristupu rešavanju problema, tako i u odabiru strane iz čijeg ugla se problem posmatra (kupac, trgovac, potrošač). Kao i sve grane privrede, energetika se mora prilagođavati trendovima i poštovanju propisa i zakona. Skoro svake godine dođe do nekih novih pravila ili promena na koje proizvođači, trgovci i potrošači moraju da se prilagođavaju. Otuda i razlog za predstavljanje novih, boljih i prilagođenih modela za električnu energiju. U ovom radu će biti predstavljeni radovi i trendovi u modeliranju i optimizacionim modelima za period od poslednjih pet godina.

2. PREGLED OPTIMIZACIONIH PROBLEMA VEZANIH ZA ELEKTRIČNU ENERGIJU

Postoji nekoliko kategorija u koje se mogu svrstati posmatrani problemi vezani za električnu energiju. Problemi se odnose na: predviđanje cene struje, predviđanje potrošnje za naredni period, količinu proizvedene



energije, način i optimizaciju prenosa, smanjenje rizika trgovine i sl. Sve navedene kategorije se dalje mogu podeliti u zavisnosti od vremenske kategorije na kratkoročne ili dugoročne pristupe.

Kada je u pitanju potrošnja električne energije, u literaturi se može pronaći veliki broj radova na ovu temu. Optimalan plan raspodele el. energije proizvedene u kućnim uslovima za manje zajednice je predstavljen od strane autora Amato i dr, (2016). Model pokušava da maksimizira količinu potrošnje pojedinca na osnovu pretpostavki o proizvodnji i potrošnji i radi na principu reciprociteta. Oliveira Pano i Brito (2018) su predstavili model koji predviđa količinu potrošene el. energije za narednih sat vremena za određenu regiju uz pomoć Monte Karlo simulacije. Istraživanja koji se bave predviđanjem potrošnje električne energije uz pomoć hibridnih modela i modela za predviđanje za teritoriju Kine su predstavljeni od strane Xu i dr, (2017), Ding i dr, (2018) i Wang i dr, (2018). Dobijeni rezultati su se prikazali kao jako dobri i imaju veoma mala odstupanja u odnosu na stvarne vrednosti i stvarnu potrošnju. Oprea i dr, (2018) su predložili model koji bi vrlo lako mogao da nađe primenu i u Republici Srbiji. Formulirali su model za automatsko prepoznavanje i optimalnu potrošnju el. energije za domaćinstva kako bi se smanjili troškovi potrošnje i generalno potrošnja u udarnom periodu. Noviji uređaji i mašine se automatski pale i gase u zavisnosti od trenutne potrošnje struje. Postoje i pristupi koji kombinuju potrošnju i proizvodnju i paralelno prave i regulišu oba procesa uz pomoć modela mešovitog linearnog celobrojnog programiranja (Silvente i dr, 2015).

Danas postoji nekoliko načina proizvodnje struje. I dalje najveći procenat (oko 80%) čini el. energija proizvedena u elektranama. Međutim, u poslednje vreme se sve više koristi energija koja je proizvedena pomoću solarnih panela, vetrenjača i sličnih izvora obnovljive energije. Shodno novim zakonima i uredbama koje sve više favorizuju ovakav tip proizvodnje el. energije obavljen je i veliki broj istraživanja na ovu temu. Problem proizvodnje i alokacije proizvedene struje usled velikog broja promenljivih i ograničenja zahteva i odgovarajući pristup. Uz pomoć nelinearnog modela i kvadratnih kaznenih funkcija, Pereira i dr, (2015) su pokušali da za jako kratko vreme izračunavanja nađu prihvatljivo rešenje. Modeli koji pokušavaju da predvide količinu proizvedene el. energije su jako značajni. Jedan od takvih, koji uz pomoć hibridnog modela, ARIME i *Fruit fly* algoritma je predstavljen od strane Zhang i dr, (2018). Prilikom studija izvodljivosti za otvaranje novih fabrika i postrojenja za električnu energiju treba voditi računa da se nađe optimalan balans između troškova ulaganja i troškova proizvodnje kako bi profit kompanije ostao optimalan. Jedna od takvih studija rađena uz korišćenje višekriterijumskog modela koji traži taj balans i pokušava da ostane konkurentan na tržištu je predstavljena od strane Perković i dr, (2017). Al-Zareer i dr, (2018) su osmislili model koji uz pomoć genetskih algoritama i neuronskih mreža nalazi optimalno rešenje prilikom kombinacije i prevođenja uglja u oblik el. enegrije kako bi mu se povećao kvalitet i cena.

Prenos el. energije je neizbežan proces svakog ciklusa ovog problema. Gonela (2018) je formulirao stohastički celobrojni linearni model da bi pronašao optimalan balans u snabdevanju el. energije uz osvrt tj. pažnju na emisiju ugljen dioksida i nepredviđenih situacija. Model koji daje prioritet u prenosu struje van granica kada dođe do povećanja proizvodnje el. energije u vetro elektranama je predstavljen od strane Higginsa i dr, (2015). Dešava se da zbog jakih vetrova dođe do povećanja proizvodnje usled čega bi zbog zakasnele reakcije moglo doći do gubitaka energije.

Trgovina el. energijom je jedan od najzanimljivijih aspekata optimizacije u elektroenergetskim sistemima, kako zbog najveće i najlakše prilike za zaradu sa strane kupca, tako i zbog osiguranja, novih pravila i smanjenja rizika prilikom nastupa na otvorenom tržištu. Prelaskom na otvoreno tržište i slobodnu razmenu i trgovinu otvoren je veliki prostor za istraživanja (Torriti, 2014). Linearni optimizacioni model koji pomaže trgovcu u donošenju pravih odluka za nastup na tržištu za sledeći dan je predstavljen od strane Marinović i dr, (2013). Hase i Shinomiya (2016) su razvili model tj. algoritam uz pomoć teorije grafova koji komunicira između kupca, prodavca i trgovca, i na osnovu ekvilibrijuma trazi najbolje za sve strane. Model za dvosmernu trgovinu el. energije između zemalja na principu reciprociteta u odnosu na proizvodnju je predstavljen od strane Antweilera (2016). Ekonometrijski model koji prati uticaj novih informacija na proizvodnju i ispituje kako na osnovu tih informacija brokeri reaguju, i kako to utiče na njihov način licitiranja prilikom trgovine je jedan od načina unapređenja trgovine (Kiesel i Paraschiv, 2017). Za uspešno povezivanje i razmenu između dve zemlje treba da postoje određena pravila. Jedan od takvih radova koji ujedno i vrši predviđanje takvog ishoda je predstavljen od strane Redondo i dr, (2018). Optimizacija portfolija je svakako najbitnija za svaku kompaniju. Algarvio i dr, (2017) su predstavili model koji se bavi optimizacijom portfolija i to iz nekoliko uglova, uz preporuku kako da se ponaša na tržištu u odnosu na konkurenciju a da i dalje ostane optimalan. Svaki trgovac na tržištu preuzima određenu dozu rizika za svoje poslovanje. Otuda se vrlo često javlja potreba za rešenjima i modelima koje će taj rizik svesti na neku razumnu meru. Dagoumas i dr, (2017) su predstavili model za



smanjenje rizika prilikom trgovine. Model vrši predviđanje cene struje za okolne sisteme uz korišćenje klaster algoritama. Uz pomoć neuronskih mreža, koristi se da predvidi i rizik i profit. Po trenutnom stanju tj. modelu se ne vodi fer borba na tržištu jer obe strane preuzimaju dosta veliki rizik na sebe prilikom trgovine. Autori (Alshehri i dr, 2017) predlažu nov model i vrstu trzista gde će jedna strana imati pravo na nadoknadu ukoliko je došlo do promena cena u trenutku od prodaje do isporuke. Peng i Tao (2018) su kreirali model za trgovinu strujom iz ugla proizvođača el. energije. Uz korišćenje teorije igara tj. kooperativne igre, deli se ekstra profit između svih učesnika. U novije vreme se javljaju i novi oblici mreža tj. zajednica za razmenu odnosno trgovinu el. energije. Jedan od takvih oblika je i P2P (*peer to peer*). Na tom tržištu su svi učesnici jednaki i obično se odnose na pojedinca tj. na domaćinstvo. Jedan od prvih modela i radova gde su predstavljene ideje, nedostaci i primena ovakvog načina trgovine je prikazan od strane Giotitsas i dr (2015). Nakon toga su autori (Zhang i dr, 2016 i Zhang i dr, 2018) počeli da razvijaju modele, od kojih je jedan model sa četiri nivoa, koji je između ostalog zasnovan i na teoriji igara tj. izboru odgovarajuće strategije kako bi se optimizovao nastup na tržištu. Lang i dr, (2017) su razvili linearni optimizacioni model kojim se pokušava da se napravi što bolji balans između učesnika koji imaju višak i učesnika koji imaju manjak el. energije, a na osnovu grupa kojima pripadaju kao i istorije njihove potrošnje.

Predviđanje cene, proizvodnje ili potrošnje el. energije je jako važan segment celokupnog procesa. Ovo je ujedno i poslednja kategorija koja će biti pokrivena u ovom pregledu. Zbog same raznolikosti pristupa kao i tehnika, u literaturi se na ovu temu može pronaći i najviše radova. Pristupi se takođe razlikuju u predviđanju iz ugla kupca, prodavca ili trgovca. Otuda i postoji nekoliko preglednih radova koji pokrivaju samo predviđanje cene el. energije (Kwon i Frances, 2012, Panapakidis i Dagoumas, 2016). Neki modeli kombinuju tj. ispituju ponašanje proizvođača i prodavaca u odnosu na njihovu procenu proizvodnje za sledeći dan. Nakon toga, uz pomoć teorije odlučivanja u slučaju manjka informacija, pokušavaju da odrede cenu za sledeći dan (Golmohamadi i Keypour, 2017). Liebl (2013) uz pomoć statističkih metoda i tehnika kao što su vremenske serije pokušava da predvidi cenu struje za naredni period. Postoje pristupi kojima autori (Girish i dr, 2018) ispituju i otkrivaju tj. predviđaju cenu struje za pet regiona u Indiji na osnovu podataka za prethodne dve godine. Oni ispituju uticaj te cene u *peak* i *off peak* vremenu i upoređuju ih. Dagoumas i Polemis (2017) kombinuju dva modela da bi predvideli cenu i zaradu. Prvi koji simulira ponašanje berze za dan unapred i drugi ekonometrijski model koji predviđa cenu i zaradu u odnosu na tražnju za sledeći dan. Kao što je poznato, glavni deo trgovine el. energije se obavlja dan unapred. Neki od autora (Vilar i dr, 2018) su pokušali da razviju model za predviđanje potražnje kao i cene struje za naredni dan na osnovu podataka. Koristili su dve odvojene metode, odnosno modela. Prvi neparametarski autoregresioni model i drugi parcijalno linearni parametarski model. Neki pristupi kombinuju fazi skupove, pokrivanje skupova i pravila izbora kako bi na što bolji način izvršili predviđanje i dali bolje rezultate u odnosu na druge pristupe (Jiang i dr, 2016). Neuronske mreže nalaze veliku primenu prilikom modeliranja i nalaženja najboljih rešenja za predviđanje cene struje. U literaturi se može naći nekoliko modela koji uz pomoć neuronskih mreža predlažu modele za predviđanje cene (Anbazhagan i Kumarappan, 2014; Abedinia i dr, 2015; Wang i dr, 2014). Itaba i Mori, (2017) su osmislili model za predviđanje cene el. energije uz korišćenje modela neuronskih mreža sa dodatkom fuzzy tehnike kako bi poboljšali tačnost predviđanja. Autori često naglašavaju da je to teško jer je samo tržište dosta nepredvidivo i dosta varira u zavisnosti od vremena i drugih faktora. Kako je sve veći procenat el. energije koja se koristi potekao od energije stvorene iz obnovljivih izvora, otuda i ideja Ziel i dr, (2015) da kreiraju ekonometrijski model za predviđanje cene struje koji uključuje i obnovljivu energiju tj. energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora. Zagađenost vazduha je nešto o čemu se mora voditi računa. Heredia i dr (2018) prate uticaj promene u načinu proizvodnje el. energije zbog smanjenja zagađenosti na način na koji kompanija vrši licitiranje za kupovinu za sledeći dan. Na osnovu toga su definisali model za predviđanje cene u cilju povećanja profita uz poštovanje ograničenja vezanih za nova pravila trgovanja i zaštitu životne sredine. Činjenica je da će ovakvih pravila biti sve više i da će se u skorijoj budućnosti morati praviti paralela i upoređivanje sve većeg procenta prelaska na el. energiju proizvedenu iz obnovljivih i tkz. ekoloških izvora (Schusser i Jaraite, 2018).

3. ZAKLJUČAK

Električna energija i energetika kao grana privrede će u skorije vreme ponovo morati da se prilagođava novim pravilima i propisima. Iz godine u godinu će nevladine organizacije i organizacije za zaštitu životne sredine imati sve veći uticaj kako na proizvodnju, tako i na potrošnju. Fabrikama, brokerima, agentima i potrošačima ne preostaje ništa drug već da se na vreme pripreme i prilagode tim odlukama. U ovom radu su predstavljeni



modeli koji su se koristili za optimizaciju različitih aspekata poslovanja u elektroenergetskom sektoru. Rad je obuhvatao pregled literature za poslednjih pet godina. Kao buduće istraživanje se izdvajaju modeli za *peer to peer* razmenu kao i modeli i pristupi koji uzimaju u obzir el. energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora.

LITERATURA

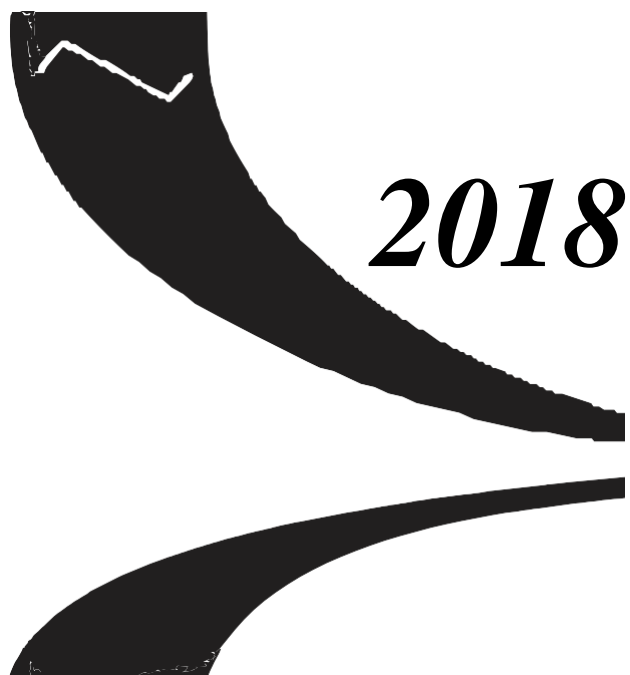
- [1] Abedinia, O., Amjady, N., Shafie-khah, M. & Catalão, J. P. S. (2015). Electricity price forecast using Combinatorial Neural Network trained by a new stochastic search method, *Energy Conversion and Management*, Volume 105, Pages 642-654, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.08.025>.
- [2] Algarvio, H., Lopes, F., Sousa, J. & Lagarto, J. (2017). Multi-agent electricity markets: Retailer portfolio optimization using Markowitz theory, *Electric Power Systems Research*, Volume 148, Pages 282-294, ISSN 0378-7796, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.02.031>.
- [3] Alshehri, K. Bose, S. & Başar, T. (2017). Cash-settled options for wholesale electricity markets, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 50, Issue 1, Pages 13605-13611, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2383>.
- [4] Al-Zareer, M., Dincer, I. & Rosen, M. A. (2018). Multi-objective optimization of an integrated gasification combined cycle for hydrogen and electricity production, *Computers & Chemical Engineering*, Volume 117, Pages 256-267, ISSN 0098-1354, <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2018.06.004>.
- [5] Amato, A., Di Martino, B., Scialdone, M. & Venticinque, S. (2016). Design and evaluation of P2P overlays for energy negotiation in smart micro-grid, *Computer Standards & Interfaces*, Volume 44, Pages 159-168, ISSN 0920-5489, <https://doi.org/10.1016/j.csi.2015.04.004>.
- [6] Anbazhagan, S. & Kumarappan, N. (2014). Day-ahead deregulated electricity market price forecasting using neural network input featured by DCT. *Energy Convers Manage*, 78:711–9.
- [7] Antweiler, W. (2016). Cross-border trade in electricity, *Journal of International Economics*, Volume 101, Pages 42-51, ISSN 0022-1996, <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2016.03.007>.
- [8] Dagoumas, A. S. & Polemis, M. L. (2017). An integrated model for assessing electricity retailer's profitability with demand response, *Applied Energy*, Volume 198, Pages 49-64, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.04.050>.
- [9] Dagoumas, A.S., Koltsaklis, N. E. & Panapakidis, I. P. (2017). An integrated model for risk management in electricity trade, *Energy*, Volume 124, Pages 350-363, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.064>.
- [10] Ding, S., Hipel, K. W. & Dang, Y. (2018). Forecasting China's electricity consumption using a new grey prediction model, *Energy*, Volume 149, Pages 314-328, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.169>.
- [11] Dowlatabadi, H. & Evans, N. (1986). Electricity trade in the UK economic prospects and future uncertainty, *Energy Policy*, Volume 14, Issue 1, Pages 35-44, ISSN 0301-4215, [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(86\)90087-X](https://doi.org/10.1016/0301-4215(86)90087-X).
- [12] Giotitsas, C., Pazaitis, A. & Kostakis, V. (2015). A peer-to-peer approach to energy production, *Technology in Society*, Volume 42, Pages 28-38, ISSN 0160-791X, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2015.02.002>.
- [13] Girish, G. P., Rath, B. N. & Akram, V. (2018). Spot electricity price discovery in Indian electricity market, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 82, Part 1, Pages 73-79, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.009>.
- [14] Golmohamadi, H. & Keypour, R. (2018). A bi-level robust optimization model to determine retail electricity price in presence of a significant number of invisible solar sites, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Volume 13, Pages 93-111, ISSN 2352-4677, <https://doi.org/10.1016/j.segan.2017.12.008>.



- [15]Gonela, V. (2018). Stochastic optimization of hybrid electricity supply chain considering carbon emission schemes, *Sustainable Production and Consumption*, Volume 14, Pages 136-151, ISSN 2352-5509, <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.02.004>.
- [16]Hase, R. & Shinomiya, N. (2016). A mathematical modeling technique with network flows for social welfare maximization in deregulated electricity markets, *Operations Research Perspectives*, Volume 3, Pages 59-66, ISSN 2214-7160, <https://doi.org/10.1016/j.orp.2016.09.003>.
- [17]Heredia, F. J., Cifuentes-Rubiano, J. & Corchero, C. (2018). Stochastic optimal generation bid to electricity markets with emissions risk constraints, *Journal of Environmental Management*, Volume 207, Pages 432-443, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.010>.
- [18]Higgins, P., Li, K., Devlin, J. & Foley, A. M. (2015). The significance of interconnector counter-trading in a security constrained electricity market, *Energy Policy*, Volume 87, Pages 110-124, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.023>.
- [19]Itaba, S., Mori, H. (2017). A Fuzzy-Preconditioned GRBFN Model for Electricity Price Forecasting, *Procedia Computer Science*, Volume 114, Pages 441-448, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.09.010>.
- [20]Jiang, P., Liu, F. & Song, Y. (2016). A Hybrid Multi-Step Model for Forecasting Day-Ahead Electricity Price Based on Optimization, Fuzzy Logic and Model Selection. *Energies*, 9(8), 618. doi:10.3390/en9080618
- [21]Kiesel, R. & Paraschiv, F. (2017). Econometric analysis of 15-minute intraday electricity prices, *Energy Economics*, Volume 64, Pages 77-90, ISSN 0140-9883, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.03.002>.
- [22]Kwon, R. H. & Frances, D. (2012). Optimization-Based Bidding in Day-Ahead Electricity Auction Markets: A Review of Models for Power Producers. In: Sorokin A., Rebennack S., Pardalos P., Iliadis N., Pereira M. (eds) *Handbook of Networks in Power Systems I. Energy Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg
- [23]Liebl, D. (2013). Modeling and forecasting electricity spot prices: A functional data perspective. *Ann. Appl. Stat.* 7, no. 3, 1562--1592. doi:10.1214/13-AOAS652.
- [24]Long, C., Wu, J., Zhang, C., Cheng, M. & Al-Wakeel, A. (2017). Feasibility of Peer-to-Peer Energy Trading in Low Voltage Electrical Distribution Networks, *Energy Procedia*, Volume 105, Pages 2227-2232, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.632>.
- [25]Marinovic, M., Makajic-Nikolic, D., Stanojevic, M. (2013). Optimization in day-ahead planning of energy trading, *Journal of Applied Engineering Science*, 11(4), 201 – 208, doi:10.5937/jaes11-4604
- [26]Oliveira Panão, M. J. N. & Brito, M. C. (2018). Modelling aggregate hourly electricity consumption based on bottom-up building stock, *Energy and Buildings*, Volume 170, Pages 170-182, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.010>.
- [27]Oprea, S. V., Bâra, A. & Ifrim, G. (2018). Flattening the electricity consumption peak and reducing the electricity payment for residential consumers in the context of smart grid by means of shifting optimization algorithm, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 122, Pages 125-139, ISSN 0360-8352, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.053>.
- [28]Panapakidis, I. P. & Dagoumas, A. S. (2016). Day-ahead electricity price forecasting via the application of artificial neural network based models, *Applied Energy*, Volume 172, Pages 132-151, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.089>.
- [29]Peng, X. & Tao, X. (2018). Cooperative game of electricity retailers in China's spot electricity market, *Energy*, Volume 145, Pages 152-170, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.122>.
- [30]Pereira, S., Ferreira, P. & Vaz, A. I. F. (2015). A simplified optimization model to short-term electricity planning, *Energy*, Volume 93, Part 2, Pages 2126-2135, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.040>.



- [31]Perković, L., Mikulčić, H. & Duić, N. (2017). Multi-objective optimization of a simplified factory model acting as a prosumer on the electricity market, *Journal of Cleaner Production*, Volume 167, Pages 1438-1449, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.078>.
- [32]Redondo, J. M., Olivar, G., Ibarra-Vega, D. & Dyer, I. (2018). Modeling for the regional integration of electricity markets, *Energy for Sustainable Development*, Volume 43, Pages 100-113, ISSN 0973-0826, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.12.003>.
- [33]Schusser, S. & Jaraitè, J. (2018). Explaining the interplay of three markets: Green certificates, carbon emissions and electricity, *Energy Economics*, Volume 71, Pages 1-13, ISSN 0140-9883, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.01.012>.
- [34]Silvente, J., Kopanos, G. M., Pistikopoulos, E. N. & Espuña, A. (2015). A rolling horizon optimization framework for the simultaneous energy supply and demand planning in microgrids, *Applied Energy*, Volume 155, Pages 485-501, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.090>.
- [35]Srinivasan, S. (2013). Electricity as a traded good, *Energy Policy*, Volume 62, Pages 1048-1052, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.004>.
- [36]Torriti, J. (2014). Privatisation and cross-border electricity trade: From internal market to European Supergrid?, *Energy*, Volume 77, Pages 635-640, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.057>.
- [37]Vilar, J., Aneiros, G. & Raña, P. (2018). Prediction intervals for electricity demand and price using functional data, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 96, Pages 457-472, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.10.010>.
- [38]Wang, Z., Li, Q. & Pei, L. (2018). A seasonal GM(1,1) model for forecasting the electricity consumption of the primary economic sectors, *Energy*, Volume 154, Pages 522-534, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.155>.
- [39]Wang, Z., Liu, F., Wu, J. & Wang, J. (2014). A Hybrid Forecasting Model Based on Bivariate Division and a Backpropagation Artificial Neural Network Optimized by Chaos Particle Swarm Optimization for Day-Ahead Electricity Price, vol. 2014, Article ID 249208, 31 pages, doi:10.1155/2014/249208
- [40]Xu, N., Dang, Y. & Gong, Y. (2017). Novel grey prediction model with nonlinear optimized time response method for forecasting of electricity consumption in China, *Energy*, Volume 118, Pages 473-480, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.003>.
- [41]Zhang, C., Wu, J., Cheng, M., Zhou, Y. & Long, C. (2016). A Bidding System for Peer-to-Peer Energy Trading in a Grid-connected Microgrid, *Energy Procedia*, Volume 103, Pages 147-152, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.264>.
- [42]Zhang, C., Wu, J., Zhou, Y., Cheng, M. & Long, C. (2018). Peer-to-Peer energy trading in a Microgrid, *Applied Energy*, Volume 220, Pages 1-12, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.010>.
- [43]Zhang, J., Wei, Y., Li, D., Tan, Z. & Zhou, J. (2018). Short term electricity load forecasting using a hybrid model, *Energy*, Volume 158, Pages 774-781, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.012>.
- [44]Ziel, F., Steinert, R. & Husmann, S. (2015). Efficient modeling and forecasting of electricity spot prices, *Energy Economics*, Volume 47, Pages 98-111, ISSN 0140-9883, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.10.012>.



2018

***PRIMENE OPERACIONIH
ISTRAŽIVANJA U
SAOBRAĆAJU,
TRANSPORTU I
KOMUNIKACIJAMA***



SELF-CONNECTING PUTNICI I NJIHOV UTICAJ NA PROMENU POVEZANOSTI MREŽE AVIOKOMPANIJE I AERODROMA

SELF-CONNECTING PASSENGERS AND IMPLICATIONS FOR AIRLINE AND AIRPORT NETWORK CONNECTIVITY

SLAVICA DOŽIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, s.dozic@sf.bg.ac.rs

Rezime: U ovom radu definisan je koncept modela za određivanje povezanosti aerodroma/aviokompanija koje koriste self-connecting putnici. U svrhu ovog rada detaljno je objašnjen koncept self-connectivity, kao nove alternative za putnike u vazdušnom saobraćaju. Takođe, povezanost aerodroma je definisana u funkciji direktnih i indirektnih letova sa i preko aerodroma u vidu indeksa povezanosti. Indeks povezanosti je određen za aerodrom Malpensa u Milanu, kako bi se analizirala promena povezanosti ovog aerodroma nakon implementacije platforme za self-connecting. Na osnovu analize povezanosti aerodroma Malpensa predloženi koncept modela za određivanje povezanosti aerodroma/aviokompanije prilagođen je specifičnostima self-connection trenda.

Ključne reči: Povezanost aerodroma/aviokompanije, self-connectivity, konkurentno tržište.

Abstract: In this paper, we present a concept of an airport/airline self-connectivity model. For the purpose of this paper, the self-connectivity concept is introduced as an alternative for passengers in air transport market. Moreover, the connectivity is defined as all feasible direct and indirect connections to or from an airport in a form of connectivity index. The connectivity index is determined for Milan-Malpensa airport, as the purpose of this paper is illustrative. Based on the connectivity analysis of the Malpensa airport the proposed an airport/airline connectivity model is adapted to the self-connection characteristics.

Keywords: Airport/airline connectivity, self-connectivity, competitive market.

1. UVOD

Self-connectivity koncept podrazumeva da putnik u vazdušnom saobraćaju organizuje svoje putovanje tako što sam kupuje dve odvojene aviokarte i sam povezuje letove umesto da to za njega radi aviokompanija. Razlika između tradicionalnog koncepta povezivanja letova (koji je organizovan od strane aviokompanije) i self-connectivity koncepta je u tome što kod tradicionalnog povezivanja putnik ima samo jednu aviokartu. Pojava niskotarifnih aviokompanija (LCC) koje nude veoma nisku cenu karata i prevoz od tačke do tačke, uticala je na to da putnici samostalno organizuju svoja putovanja kupujući više odvojenih aviokarata, kako bi ostvarili što veće uštede. Ovakvi putnici se nazivaju self-connecting putnici.

Kupovina odvojenih aviokarata podrazumeva izvestan rizik. Naime, ako neki od letova kasni, naredni let može biti propušten. Kada se putovanje obavlja samo sa jednom aviokartom (tradicionalni koncept), aviokompanija nudi rešenje ili novčanu nadoknadu u slučaju propuštanja leta. U slučaju self-connecting putnika, ne postoji mogućnost bilo kakve nadoknade kada je u pitanju propušteni let. Naprotiv, za propuštanje leta je odgovoran samo putnik koji snosi sve troškove i sam mora da pronađe odgovarajuće rešenje za nastavak putovanja.

Koncept self-connectivity je dobio na značaju u Evropi, i to kako za povezivanje letova LCC, tako i za povezivanje letova LCC i tradicionalnih aviokompanija. Na to ukazuje i činjenica da je udeo LCC putnika na unutarevropskom tržištu porastao na preko 40% (CAPA, 2015a), dok su se tradicionalne aviokompanije više fokusirale na dugolinijski saobraćaj. U većini slučajeva u Evropi, self-connectivity uključuje dva ili više unutarevropskih LCC letova ili kombinaciju unutarevropskog i dugolinijskog leta koji obavlja tradicionalna aviokompanija.

U suštini, self-connectivity je nešto što putnik sam organizuje, odnosno bez aktivne uloge aviokompanije ili aerodroma. Međutim, kako bi se smanjio rizik od propuštanja narednog leta i povećao broj ovakvih putnika, aviokompanije i aerodromi su počeli da se uključuju u ovaj proces, i to na dva načina. Jedan od njih je

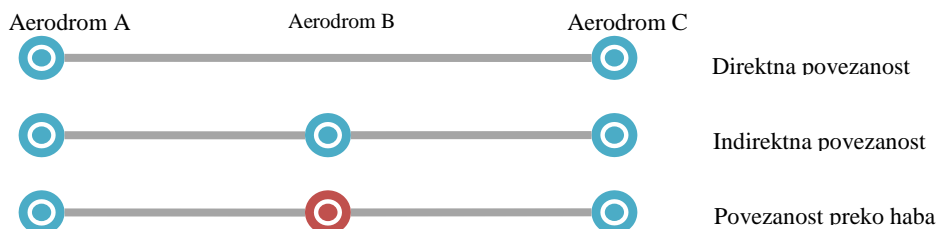
korišćenje posebne digitalne platforme pomoću koje aerodrom ili aviokompanija omogućavaju putniku da rezerviše odvojene karte i na taj način preuzimaju (aerodrom ili aviokompanija) odgovornost za eventualno propušten let. U drugom slučaju to se može postići kroz promenu procedure na aerodromu, tako što se putniku omogućava da se jednostavnije prijavi za naredni let, umesto da ponovo prolazi kroz kompletnu proceduru. Ovaj način zahteva veće investicije od strane aerodroma, ali putnicima značajno olakšava transfer i smanjuje vreme transfera. Aerodromi imaju interes da investiraju ove projekte jer na taj način direktno utiču na unapređivanje svoje povezanosti, kao i na poboljšanje svoje pozicije na konkurentnom tržištu.

Podržavanje i dalje razvijanje self-connecting koncepta može doneti značajne koristi aviokompanijama, putnicima i aerodromima. Za LCC ovaj koncept je vrlo značajan, budući da uz mala ulaganja mogu privući veći broj putnika i povećati broj tržišta koje opslužuju. Self-connecting usluga pruža očiglednu prednost za putnike u vidu smanjenih troškova putovanja ka mnogim destinacijama koje se ne opslužuju direktno. Svakako, možda najveću korist od pružanja self-connecting usluge imaju aerodromi, posebno oni na kojima dominiraju LCC, jer na ovaj način povećavaju broj transfernih putnika. Ovo pruža dodatni razlog za LCC da uvedu dugolinijske letove i tako postanu konkurentni u odnosu na tradicionalne kompanije i njihove habove.

Cilj ovog rada je da ukaže na novi trend (self-connecting) koji se razvija unutar tržišta Evropske unije kao i njegov uticaj na promenu ponašanja LCC i aerodroma. Pre svega u radu je pokazano koliko LCC i self-connecting koncept doprinose povezanosti aerodroma koji nije hab. Budući da self-connecting platforma za putnike postoji samo na dva aerodroma (Malpensa u Milanu i London Gatwick) (Cattaneo i ostali, 2017), u ovom radu je na primeru aerodroma Malpensa pokazano učešće konekcija ponuđenih od strane LCC u ukupnom broju konekcija. Na osnovu analize povezanosti aerodroma Malpensa predložen je koncept modela za određivanje povezanosti aerodroma/aviokompanije koji je prilagođen specifičnostima self-connection trenda.

2. SELF-CONNECTIVITY I POVEZANOST MREŽE LINIJA

U vazдушnom saobraćaju se mogu uočiti tri vrste povezanosti, i to direktna, indirekta i povezanost preko haba (Slika 1).



Slika 1: Vrste povezanosti (Izvor: Burghouwt i Redondi, 2013)

Self-connectivity se odnosi na indirektnu povezanost jer nastaje inicijativom putnika, a ne usklađivanjem redova letenja od strane aviokompanija. Takođe, kod indirektnu povezanosti aviokompanije nisu u bilo kakvim partnerskim odnosima.

Osnovni akteri na koje self-connecting ima uticaja jesu aerodromi, aviokompanije, putnici i kanali prodaje. Aerodromi su veoma važni zato što obezbeđuju potrebnu infrastrukturu za vazdušni saobraćaj. Za self-connecting putnika, aerodromski proces se razlikuje zato što putnik mora da preuzme svoj prtljag sa pokretne trake, prođe carinsku kontrolu, kako bi se prijavio za naredni let, i ponovo prođe kroz bezbednosnu kontrolu. Aviokompanije su važne jer obezbeđuju potrebne resurse za transport i nude mrežu linija. Kako su tradicionalne aviokompanije počele da naplaćuju prtljag koji je ranije bio besplatan, a niskotarifne počele da lete ka primarnim aerodromima i nude programe lojalnosti, može se reći da se modeli poslovanja menjaju i približavaju jedan drugome. Self-connectivity postoji samo zato što LCC nisu u partnerstvu sa drugim aviokompanijama. Putnici su važni zato što su oni korisnici usluga. U zavisnosti od svrhe putovanja, najčešće se izdvajaju tri segmenta putnika, i to poslovni, turisti i putnici koji putuju radi posete prijateljima i rođacima. Svi putnici, uključujući i neke poslovne putnike, poslednjih godina postaju osetljiviji na cenu karte, što stvara mogućnost za self-connectivity. Ipak, self-connectivity pruža više pogodnosti za letove unutar Evropske unije i domaće letove, pošto je u pojedinim transferima neophodna viza. Kanali prodaje su važni zato što predstavljaju sponu između putnika i aviokompanija u distribuciji karata. Treba napomenuti da se pojavljuje



nova veza između aerodroma i kanala prodaje kako bi se putnicima putovanje učinilo jednostavnijim, pružila podrška i preuzeo deo odgovornosti za eventualne rizike zbog propuštanja narednog leta.

Jedan od najboljih primera aerodroma u Evropi koji podržavaju ovaj fenomen je aerodrom Gatwick u Londonu. Aerodrom Gatwick je glavna baza niskotarifne aviokompanije Easyjet, koja na ovom aerodromu poseduje više od 65% ukupnog kapaciteta izraženog u broju ponuđenih sedišta. Kako bi self-connecting putnicima olakšao planiranje putovanja, aerodrom Gatwick je uveo posebnu platformu „Gatwick connects“. Pomoću ove platforme putnicima je omogućeno da istovremeno rezervišu karte za dva leta koja će koristiti na svom putovanju do konačne destinacije. Za ovu uslugu, putnicima se naplaćuje provizija od £27,5 u jednom smeru kako bi se osigurali u slučaju propuštene konekcije. Ako putnik propusti konekciju, obezbeđuje mu se nova karta za naredni let i ako je potrebno smeštaj i vaučeri za hranu. Osim Easyjet, ovu platformu mogu koristiti i putnici drugih aviokompanija na tom aerodromu, kao što su Monarch, Norwegian, Aer Lingus i Virgin Atlantic. Za ostale aviokompanije na aerodromu Gatwick ova platforma još uvek nije dostupna. Primer drugih aerodroma gde se putnicima pruža slična usluga su Milan Malpensa u Evropi, Kuala Lumpur i Singapore Changi u Aziji.

Merenje indirektnih povezanosti. Za aerodrome koji nisu hab ni jednoj aviokompaniji, povezanost se računa kao zbir direktne i indirektnih povezanosti. Direktna povezanost predstavlja broj destinacija ili broj direktnih letova ponuđenih sa posmatranog aerodroma i izražava se u funkciji od frekvencije na svakoj od ponuđenih ruta. Indirektna povezanost aerodroma se meri brojem destinacija na koje putnici mogu da lete sa transferom na posmatranom aerodromu. Kvalitet indirektnih konekcija se može izraziti kao funkcija vremena transfera na aerodromu, i obično se poredi sa vremenom direktnog leta.

Broj indirektnih konekcija na nekom aerodromu u direktnoj je vezi sa brojem direktnih letova koji taj aerodrom povezuje sa ostalim aerodromima u mreži. To je moguće, u opštem slučaju, izračunati i pomoću formule $(n \cdot (n-1))/2$, gde n predstavlja broj aerodroma koji su povezani sa posmatranim aerodromom ili habom. Drugi faktor koji određuje broj mogućih indirektnih konekcija na posmatranom aerodromu je minimalno vreme konekcije, odnosno minimalno vreme za koje taj aerodrom garantuje da će putnik i njegov prtljag uspeti da obave transfer sa dolazećeg na odlazeći let. Svi oni povezani letovi čije je vreme između dolaska prvog i odlaska drugog leta, manje od minimalnog vremena konekcije, ne mogu se smatrati validnim indirektnim konekcijama. Takođe, sve indirektnih konekcije koje su izvodljive, neće biti jednako atraktivne. Minimalno vreme konekcije za sve kontinentalne letove je obično 60 minuta. Međutim za „self-connecting“ putnike ovo vreme je nešto duže budući da ovi putnici moraju da obave dodatne aktivnosti na transfernom aerodromu jer nemaju jednu kartu do krajnje destinacije. U najvećem broju slučajeva, oni moraju da se ponovo registruju za let i da ponovo prođu kroz sigurnosnu proveru (osim na aerodromima Gatwick i Milan Malpensa). U slučaju da putnik putuje samo sa ručnim prtljagom, vreme ovog procesa se značajno umanjuje. Međutim, sve je to uslovljeno organizacijom procesa i kretanja putnika na transfernom aerodromu.

Atraktivnost indirektnih konekcije je u direktnoj vezi sa vremenom čekanja na sledeći let (indirektnih konekcije sa vremenom čekanja između letova od 6h, neće biti atraktivna kao indirektna konekcija sa vremenom čekanja između letova od 1h), i ukoliko je to vreme predugačko, putnik, najverovatnije, takvu konekciju neće uzimati u obzir. Na atraktivnost indirektnih konekcije utiču sledeći faktori, (Burghouwt i De Wit, 2005): a) vreme čekanja na aerodromu; b) faktor rutiranja: ukupno vreme provedeno u letu u slučaju indirektnih konekcije u odnosu na vreme provedeno u letu u slučaju direktnog leta; c) percepcija putnika: putnici generalno vreme transfera doživljavaju da je znatno duže nego vreme koje provedu u letu, čak i kada to nije slučaj; d) cena karte: niža cena karte indirektnih konekcije može donekle da ublaži vreme čekanja u transferu i duže vreme putovanja; e) programi lojalnosti mogu povećati atraktivnost indirektnih konekcija; f) pogodnosti na transfernom aerodromu (gde putnik može da provede višak vremena u transferu) mogu povećati atraktivnost indirektnih konekcija.



Kako bi se izmerila indirektna povezanost na pojedinim aerodromima, treba definisati vremenske okvire kojima bi se obuhvatili dolazeći i odlazeći letovi. Vremenski okvir se definiše maksimalno prihvatljivim vremenom konekcije i minimalnim vremenom konekcije, kako za kontinentalne, tako i za interkontinentalne letove. Na taj način se određuju granice kvaliteta pružene usluge. Pomenuti vremenski okviri su definisani na sledeći način, (Burghouwt i De Wit, 2005):

- Vremenski okvir za dolazeće int. letove: $[C-T_i+0,5\cdot T_c, C-M_i+0,5\cdot M_c]$,
- Vremenski okvir za odlazeće int. letove: $[C+M_i-0,5\cdot M_c, C+T_i-0,5\cdot T_c]$,
- Vremenski okvir za dolazeće kont. letove: $[C-0,5\cdot T_c, C-0,5\cdot M_c]$,
- Vremenski okvir za odlazeće kont. letove: $[C+0,5\cdot M_c, C+0,5\cdot T_c]$,

gde je: C – centar konekcije određen u vremenu; T_i – maksimalno vreme konekcije za interkontinentalne letove; T_c – maksimalno vreme konekcije za kontinentalne letove; M_i – minimalno vreme konekcije za interkontinentalne letove; M_c – minimalno vreme konekcije za kontinentalne letove.

Težinski koeficijent za merenje indirektnih konekcija definisan je brojem direktnih letova, minimalnim vremenom konekcije i kvalitetom konekcija, tj. matematički je formulisan na sledeći način, (Burghouwt i De Wit, 2005):

$$WI = \frac{2,4 \cdot TI + RI}{3,4}, \quad (1)$$

gde je

$$TI = 1 - \frac{T_h}{T_j - M_{i,j}}, \quad \text{gde je } T_h > M_{i,j} \text{ i } TI = 0 \text{ kada je } T_h > T, \quad (2)$$

$$RI = 1 - (2,5 \cdot R - 2,5), \quad R = IDT/DTT, \quad \text{gde je } 1 \leq R \leq 1,4 \text{ i } RI = 0 \text{ kada je } R > 1,4, \quad (3)$$

gde je: WI – težinski koeficijent indirektnih konekcija; TI – indeks transfera (linearna funkcija od vremena transfera); RI – indeks rutiranja (linearna funkcija od faktora rutiranja); $M_{i,j}$ – minimalno vreme konekcije za konekciju j na aerodromu i ; T_j – maksimalno vreme konekcije za konekciju j ; T_h – vreme transfera na aerodromu h ; IDT – stvarno vreme leta, indirektna konekcija; DTT – procenjeno vreme leta za direktan let na osnovu leta po ortodromi; R – faktor rutiranja (odnos između procenjenog vremena na direktnom letu i stvarnog vremena leta indirektna konekcije).

Na osnovu formulacije težinskog koeficijenta indirektnih konekcija može se zaključiti da se kvalitet meri na osnovu broja konekcija na aerodromu (TI) i na osnovu dužine trajanja leta u indirektnoj konekciji u odnosu na direktan let (RI). Kako bi se izračunao koeficijent WI potrebno je uzeti ponderisani prosek za TI i RI pod pretpostavkom da putnici vrednuju vreme transfera 2,4 puta više od vremena letenja. TI i RI su definisani kao linearna funkcija vremena leta i vremena transfera, respektivno. Indeks transfera (TI) je jednak 1 ako je vreme transfera T_h jednako 0, a nula kada vreme transfera T_h prevazilazi maksimalni prag kvaliteta konekcije. Indeks rutiranja (RI) je jednak nuli kada faktor rutiranja prelazi određenu granicu. Maksimalni faktor rutiranja za rastojanje je tipično 1,25. Međutim, pošto se vreme leta uzima kao ulaz za faktor rutiranja umesto vremena leta po ortodromi, potrebno je dodati neko vreme za poletanje i sletanje. Zbog toga se dodaje 0,15 maksimalnom faktoru rutiranja. Ovo je rezultiralo da je maksimalni faktor rutiranja 1,4. Konekcije za koje je $R > 1,4$ nisu validne konekcije i izostavljaju se iz analize. RI je jednak 1 ako je ukupno stvarno vreme provedeno u letu za indirektnu konekciju jednako procenjenom vremenu leta u slučaju direktnog povezivanja. Izračunati WI indeks za svaku indirektnu konekciju se zatim agregira na nivou aerodroma u obliku indeksa WNX koji predstavlja ukupan broj indirektnih konekcija:

$$WNX = \sum(WI) \quad (4)$$

3. PRIMER AERODROMA MALPENSA U MILANU

U ovom radu procenjena je indirektna povezanost aerodroma Malpensa u Milanu na kome ne postoji sistemska organizacija letova (u vidu talasa dolazaka i odlazaka). Kao što je ranije rečeno, indirektna povezanost aerodroma je definisana kroz broj i kvalitet indirektnih konekcija koje je moguće ostvariti za zadati red letenja. Treba napomenuti da je aerodrom Malpensa prestao da bude hab za aviokompaniju Alitalia u martu 2008. godine, što je imalo uticaja na smanjenje povezanosti aerodroma Malpensa. Naime, gubitkom statusa



nacionalnog haba, indirektna povezanost aerodroma se smanjila za 88%, dok se direktna povezanost smanjila za 25,6% (ACI, 2017). Nakon gubitka statusa haba, aerodrom Malpensa počinje da privlači LCC. Rezultat dolaska novih LCC na ovaj aerodrom je povećanje njihovog udela u direktnoj povezanosti je sa 11% u 2007. godini na 44% u 2017. godini (ACI 2017). U 2018. godini aerodrom Malpensa beleži direktnu povezanost 1852, indirektnu 5565 (75%), dok je ukupna povezanost 7417 (ACI 2018). Iako se povezanost aerodroma Malpensa značajno poboljšala nakon odlaska Alitalie, njegov položaj unutar tržišta Evropske unije prema ovom parametru još uvek nije na nivou koji je bio pre 2008. godine. Prema ukupnoj i indirektnoj povezanosti nalazi se tek na 18. mestu u odnosu na ostale aerodrome u Evropskoj uniji, dok je na 29. mestu prema direktnoj povezanosti.

U ovom radu je računata indirektna povezanost prema (4). Istraživanje se odnosi na letnji red letenja, i to prvu nedelju meseca avgusta 2018. godine. Kako je cilj ovog rada bio izračunavanje indirektna povezanosti i ukazivanje na doprinos LCC i self-connecting koncepta na povezanost aerodroma koji nije hab, razmatrani su samo letovi LCC. Ukupno je posmatrano 912 niskotarifnih letova tokom prve nedelje avgusta meseca (ponedeljak – 131, utorak – 133, sreda – 122, četvrtak – 133, petak 139, subota – 121 i nedelja – 133 leta). Za svaki let je određen skup letova koje self-connecting putnici mogu koristiti za nastavak putovanja, tj. povezivani su direktni letovi niskotarifnih aviokompanija uzimajući u obzir minimalno i maksimalno vreme konekcije. Za minimalno vreme konekcije je uzeto 1,5 časova, dok je za maksimalno vreme uzeto vreme od 7,5 časova. Dakle, putnik će razmtrati let samo ukoliko vreme čekanja nije veće od 7,5 časova. Nakon definisanja mogućih konekcija izračunata su vremena trajanja direktnih letova, kao i zbir vremena trajanja dva leta koja bi putnik sam povezao. Na ovaj način su obezbeđeni ulazni podaci za izračunavanje težinskog koeficijenta za merenje indirektna povezanosti. Za svaku od validnih indirektnih konekcija, tj. konekcija koje ispunjavaju definisane uslove o maksimalnom i minimalnom vremenu transfera, izračunati su indeksi *WI*. Na osnovu ovih indeksa, koristeći (4) izračunat je i *WIX* indeks koji iznosi 2629. To znači da LCC nude uslugu na 2629 indirektnih letova na nedeljnom nivou. Pored indirektnih letova, LCC nude i direktne letove ka mnogim destinacijama i na nedeljnom nivou ona iznosi 427. Ukupna povezanost LCC mreže linija na aerodromu Malpensa je prema tome 3056.

Upoređivanjem dobijenih rezultata povezanosti koju ostvaruju LCC sa ukupnom povezanošću u 2018. godini, može se zaključiti da je učešće LCC 47% u indirektnoj povezanosti, 23% u direktnoj povezanosti, odnosno 41% u ukupnoj povezanosti aerodroma Malpensa. Može se primetiti da su dobijeni rezultati u skladu sa podacima o učešću LCC u ukupnom saobraćaju na ovom aerodromu (44%). Takođe, može se primetiti da se povezanost na posmatranom aerodromu mnogo više razvijala kroz indirektna konekcije, a manje kroz direktne letove.

4. KONCEPT MODELA

Kao što je pokazano u prethodnom poglavlju, self-connecting može imati značajan uticaj na povezanost određenog aerodroma, ali može i da pruži nove mogućnosti za aviokompanije. Iako je relativno novi trend kad je povezanost u pitanju, brz razvoj self-connecting je prilično osetan u poslednjim godinama (Cattaneo *et al.*, 2017). Jedno od važnih pitanja vezano za ovu pojavu bilo bi: da li ovakva vrsta povezanosti može da konkuriše tradicionalnoj povezanosti u vazdušnom saobraćaju koja podrazumeva kompleksnu organizaciju letova na prezagušenim i skupim habovima?

Mnogi putnici biraju da transfer obave na aerodromu koji po svojim karakteristikama nije hab, ukazujući na činjenicu da i ovi aerodromi mogu da budu atraktivni ne samo za direktne, već i za indirektna letove (CAPA, 2015b). Takođe je poznato da LCC najviše lete sa sekundarnih aerodroma, koji obično imaju ograničeni broj direktnih letova. Prema tome, self-connecting je jedan od načina koji i aerodromu i LCC može pomoći da povećaju povezanost, ali je važno da se unaprede i kvalitet usluge i frekvencija na samom aerodromu. I jedna i druga karakteristika povećavaju atraktivnost i konkurentnost kako aerodroma, tako i aviokompanije. U literaturi postoje modeli koji mere povezanost u vazdušnom saobraćaju, međutim analiza povezanosti kroz self-connectivity je zastupljena u veoma malom broju radova (Fichert i Klophaus, 2016; Cattaneo *et al.*, 2017). Postojeći modeli povezanosti u vazdušnom saobraćaju (Burghouwt i De Wit, 2005; Burghouwt i Redondi, 2013) više su okrenuti tradicionalnim aviokompanijama i njihovim operacijama u habu, zbog čega su neprimenjivi u slučaju sekundarnih aerodroma i LCC. U daljem tekstu biće date malo bliže odrednice modela za određivanje povezanosti aerodroma/aviokompanija koje koriste self-connecting putnici, sa posebnim osvrtom na specifičnosti ovog novog trenda.



Atraktivnost aerodroma moguće je izraziti preko funkcije korisnosti koja bi sadržala sve važne promenljive, kao što su: cena karte, frekvencija i vreme putovanja. Osim ovih najvažnijih, funkciji korisnosti moguće je pridružiti i neke druge faktore koji mogu uticati na izbor putnika gde će obaviti transfer (komfor, određene usluge aviokompanije ili usluge na aerodromu). Kada su u pitanju self-connecting putnici najvažnija odrednica u njihovom izboru transfernog aerodroma je svakako ukupna cena karte na putovanju. Generalno, self-connecting podrazumeva povezivanje LCC letova, na kojima su cene karata značajno niže u odnosu na cene indirektnih letova tradicionalnih aviokompanija preko haba. Ova činjenica značajno povećava atraktivnost letenja sa aerodroma koje opslužuju LCC, samo pod uslovom da putnik nađe mesta na oba leta koja mu odgovaraju. Pronalaženje slobodnog mesta na svim letovima koji su uključeni u self-connection može da bude problem budući da je prosečni koeficijent popunjenosti na LCC letovima često preko 90%. Ovaj problem se ređe javlja kod tradicionalnih aviokompanija jer imaju manji koeficijent popunjenosti letova, ali i zbog primene sistema upravljanja prihodom koji je tako definisan da čuva određena sedišta za transferne putnike.

Karakteristike rute u vidu frekvencije letova i vremena trajanja putovanja definišu promenljive koje ukazuju na povezanost određenog aerodroma. Posmatrano iz ugla indirektnih konekcija, vreme putovanja je obično duže u odnosu na direktne letove, ali je zato frekvencija indirektnih letova veća. Da bi se efekat produžavanja vremena putovanja u slučaju indirektnih konekcija uzeo u obzir, potrebno je uključiti i određene kaznene koeficijente. Ovi koeficijenti ne samo da treba da ukazuju na produženo vreme putovanja zbog samog transfera na aerodromu, već treba da budu i odraz subjektivnog doživljaja produženog vremena putovanja za putnika (koje je obično veće od stvarnog). Kazneni koeficijenti bi zapravo trebalo da značajno smanje atraktivnost indirektnog leta u odnosu na direktni let, kao i u odnosu na indirekne letove preko haba, jer je u habu vreme transfera i do dva puta manje u odnosu na druge aerodrome (putnici ne moraju ponovo da se registruju).

Iz svega navedenog jasno je da primena postojećih modela povezanosti na aerodrome koje koriste self-connecting putnici, ne bi dala zadovoljavajuće rezultate. Zbog toga u ovom radu predlažemo model koji bi obuhvatio sve relevantne karakteristike koncepta self-connection (cenu, frekvenciju i vreme transfera), izražene kroz indeks povezanosti *SCI*. Zbog ograničenja prostora u ovom radu predstavilićemo samo uopšteni oblik modela. Indeks povezanosti *SCI* je definisan u funkciji frekvencije letenja na određenoj ruti f i kvaliteta te frekvencije Q , tj. $SCI=f(f;Q)$. *SCI* uzima vrednosti u intervalu $[0,1]$, pri čemu je jednak 1 u slučaju kada postoji direktan let, između 0 i 1 kada postoji validna indirektna povezanost, a jednak 0 kada je konekcija neprihvatljiva zbog predugog vremena transfera. Kvalitet konekcije Q je direktno srazmeran atraktivnosti indirektnih konekcija i u funkciji je ukupne cene putovanja, vremena transfera i ukupnog vremena leta. Ukupna cena putovanja povećava, a vreme transfera i ukupno vreme leta smanjuju atraktivnost indirektnih konekcija za self-connecting putnike. Na osnovu definisanog indeksa povezanosti *SCI*, bilo bi interesantno uporediti ponude većeg broja aerodroma i prema tome analizirati njihove performanse kada je povezanost u pitanju.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je na primeru aerodroma Malpensa primenjen postojeći model povezanosti i izračunata indirektna povezanost. Na osnovu nedostataka postojećeg modela, dat je koncept modela za određivanje povezanosti aerodroma/aviokompanija koje koriste self-connecting putnici. Predloženi model može koristiti aviokompanijama i aerodromima u proceni svoje pozicije na tržištu, kako unutar svoje mreže linija, tako i u odnosu na druge, konkurentne mreže linija. To bi im pomoglo u razvoju daljih strategija, kao i u mogućoj evaluaciji/reviziji postojećeg reda letenja sa ciljem da se dalje unapredi povezanost aerodroma.

ZAHVALNICA. Ovo istraživanje podržano je od strane ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja republike Srbije kroz projekat TR36033 (2011-2018).

LITERATURA

- [1] ACI (2017). Airport industry connectivity report. Dostupno na: http://www.seo.nl/uploads/media/201736_ACI_EUROPE_Airport_Industry_Connectivity_Report_2017_01.pdf
- [2] ACI (2018). Airport industry connectivity report. Dostupno na: <https://www.aci-europe.org/policy/connectivity.html>



- [3] Bootsma, P.D. (1997). Airline Flight Schedule Development; Analysis and Design Tools for European Hinterland Hubs. Elinkwijk B.V., Utrecht.
- [4] Burghouwt, G., & De Wit, J. (2005). Temporal configurations of European airline networks. *Journal of Air Transport Management*, 11(3), 185-198.
- [5] Burghouwt, G., & Redondi, R. (2013). Connectivity in Air Transport Networks: An Assessment of Models and Applications. *Journal of Transport Economics and Policy*, 47(1), 35-53.
- [6] CAPA. (2015a). Who has the right model for European aviation? Pan-European models lead, but models vary. Dostupno na: <http://centreforaviation.com/analysis/who-has-the-right-model-foreuropean-aviation-pan-european-airlines-lead-but-models-vary-225831>
- [7] CAPA. (2015b). Redefining airport hubs: (self)-connectivity: The next vital piece in the industry's advancement. Dostupno na: <http://centreforaviation.com/analysis/redefining-airport-hubs-selfconnectivity-the-next-vital-piece-in-the-industrys-advancement-225855>
- [8] Cattaneo, M., Malighetti, P., Paleari, S., & Redondi, R. (2017). Evolution of the European network and implications for self-connection. *Journal of Air Transport Management*, 65, 18-28.
- [9] Fichert, F., & Klophaus, R. (2016). Self-connecting, codesharing and hubbing among European LCCs: From point-to-point to connections? *Research in Transportation Business & Management*, 21, 94-98.
- [10] Gudmundsson, S. (2015). Sustainable strategies for long haul low cost airlines (airneth). The Hague, Netherlands.



PREGLED STOHAŠTIČKIH PRISTUPA U MODELIRANJU UPRAVLJANJA PRODAJOM SEDIŠTA U VAZDUŠNOM I ŽELEZNIČKOM SAOBRAĆAJU

AN OVERVIEW OF STOCHASTIC METHODS FOR SEAT INVENTORY CONTROL IN AIR AND RAIL TRANSPORT

DANICA BABIĆ¹, MILICA KALIĆ², MILICA ŠELMIĆ³, DRAGANA MACURA⁴

¹ Univerzitet u Beogradu- Saobraćajni fakultet, d.babic@sf.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu- Saobraćajni fakultet, m.kalic@sf.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu- Saobraćajni fakultet, m.selmic@sf.bg.ac.rs

⁴ Univerzitet u Beogradu- Saobraćajni fakultet, d.macura@sf.bg.ac.rs

Rezime: U radu je dat pregled najvažnije literature koja se odnosi na upravljanje prodajom sedišta u vazdušnom i železničkom saobraćaju. Posebna pažnja je usmerena na pregled stohastičkih pristupa modeliranju problema koji se odnose na jedan leg i oni koji se odnose na celu mrežu.

Ključne reči: Upravljanje prihodom, prodaja sedišta, stohastički pristup.

Abstract: The paper gives an overview of the most important literature related to seat allocation problem in air and rail transport. Additional attention has been paid to examining stochastic approaches to modeling problems related to single leg and network.

Keywords: Revenue management, seat allocation problem, stochastic approach.

1. UVOD

Većina transportnih kompanija prepoznaju sistem upravljanja prihodom (eng. *revenue management* - RM) i prateće informacione tehnologije kao ključne determinante budućeg poslovnog uspeha. Razlog za ovakav stav je vrlo jasan, RM omogućava da kompanije maksimiziraju svoj profit uz istovremeno fokusiranje na odnos sa klijentima, odžavanje lojalnosti postojećih i privlačenje potencijalno novih korisnika usluga. RM koncept ima najefikasniju primenu u onim privrednim granama u kojima su fiksni troškovi kompanija veliki (npr. aviokompanije, železnički prevoznici, itd.), dok su varijabilni troškovi po putniku mali. U opštem slučaju RM obuhvata četiri ključna elementa: prognoziranje, određivanje rezervacionog nivoa (eng. *overbooking*), upravljanje prodajom sedišta i određivanje cena. U literaturi postoji veliki broj naučnih radova i tehničkih rešenja koja opisuju sistem RM, kako u teoriji tako i u praksi. U ovom radu biće dat pregled istraživanja u oblasti upravljanja prodajom sedišta u vazdušnom i železničkom saobraćaju, kao značajnijeg dela RM. Sistem upravljanja prodajom sedišta se u poslednjim decenijama značajno promenio i unapredio, obuhvatajući ne samo kontrolu sedišta na jednom legu, već i kontrolu sedišta na celoj mreži.

Glavni cilj rada je da se istaknu sličnosti i razlike u stohastičkim pristupima modeliranju upravljanjem prodajom sedišta kroz dva vida saobraćaja u kojima je koncept upravljanja prihodom najzastupljeniji kako u literaturi, tako i u praksi. Rad je koncipiran na sledeći način. Nakon uvodnih razmatranja, drugo poglavlje je posvećeno konceptu upravljanja prodajom sedišta. Zatim su u naredna dva poglavlja prikazani odabrani radovi koji analiziraju probleme na jednom legu odnosno na mreži, sa posebnim osvrtom na stohastičke pristupe modeliranju prodaje sedišta. Zaključna razmatranja čine poslednje poglavlje.

2. KONCEPT UPRAVLJANJA PRODAJOM SEDIŠTA

Koncept upravljanja prodajom sedišta u praksi su prvo primenile aviokompanije nakon deregulacije 1970-ih, kada su dobile slobodu da odrede svoje cene karata. Kako bi povećale prihod, aviokompanije su ponudile snižene cene karata na letovima i učinili dostupnim ona sedišta koja bi najverovatnije ostala prazna. Snižene cene su se razlikovale od regularnih cena karata po tome što su bile dostupne putnicima najkasnije tri nedelje pre datuma poletanja. Međutim, to je otvorilo novo pitanje - koji broj sedišta treba sačuvati za putnike koji plaćaju višu cenu karata, a koji obično kupuju karte nekoliko dana pre poletanja? Odgovor na ovo pitanje nije jednostavan, jer nije moguće napraviti jedinstveno, univerzalno pravilo u vidu fiksnog procenta sedišta koji će biti zaštićen za putnike koji plaćaju punu cenu karte. Razlog je što putnička tražnja varira od polaska do



polaska. Ponašanje putnika je teško predvideti unapred jer na njegovu konačnu odluku o kupovini karte utiče niz faktora, kao što su: kupovna moć, doba godine, dan u nedelji, doba dana, ruta, priroda putovanja itd. Zbog postojanja neizvesnosti o tačnom broju zahteva za rezervacijom sedišta na određenom letu, koncept upravljanja prodajom sedišta je zasnovan na teoriji verovatnoće.

Iako je koncept RM, a samim tim i upravljanje prodajom sedišta, nastao za potrebe vazdušnog saobraćaja, veliki proboj je ostvaren i u železničkom saobraćaju u poslednjih 25 godina. Jasno je da upravljanje prodajom sedišta, nezavisno od vida transporta, ima iste osnovne pretpostavke. Neke od sličnosti u primeni ovog koncepta u vazdušnom i železničkom saobraćaju su: visoki fiksni i niski marginalni troškovi, ekonomija obima, nepredvidiva tražnja, nekoliko različitih tarifa, jedan ili više legova, jedna ili više usluga.

Razlike u primeni koncepta upravljanja prodajom sedišta nastaju kao posledica razlika u tehnologijama dva vida saobraćaja. Tako se jedna od glavnih razlika ogleda u fleksibilnom kapacitetu u železničkom saobraćaju gde je moguće dodavati nova sedišta ili vagone ukoliko se za to ukaže potreba. Pored ovoga, aviokompanije uvode više tarifnih klasa nego železnice, železnički putnici imaju priliku da koriste određene grupne popuste (na primer studentske popuste, itd.). U železničkom saobraćaju je znatno veći broj putnika koji kupuju kartu neposredno pre početka putovanja, određivanje rezervacionog nivoa se uglavnom ne primenjuje, i ceo sistem je mnogo fleksibilniji kod određivanja tarifa jer je u pitanju uglavnom monopolističko tržište, za razliku od izrazito konkurentne avio industrije. Konačno, u vazdušnom saobraćaju putnici imaju obaveznu proceduru prijave (eng. *check-in*), dok u železnici karte nisu personalizovane.

Bez obzira na vid saobraćaja, pravilno postavljen sistem upravljanja prodajom sedišta može pomoći kompaniji da utvrdi koliko sedišta da proda i po kojim cenama i time pomogne u povećanju prihoda na dva načina. Prvo, sačuvane sedišta za one putnike koji su spremni da plate više, a drugo, sedišta, koji bi u suprotnom ostala neprodana, biće ponuđena po nižim cenama putnicima koji su spremni da plate manje.

3. UPRAVLJANJE PRODAJOM SEDIŠTA NA JEDNOM LEGU

Najraniji radovi u oblasti upravljanja prodajom sedišta na jednom legu, u oba vida saobraćaja, imali su niz pretpostavki, a između ostalih, izdvojile su se: a) odvojene tarifne klase; b) prvo se rezervišu sedišta iz jeftinije tarifne klase, a zatim sedišta iz skuplje tarifne klase; c) zahtevi za svaku tarifnu klasu su slučajne promenljive i međusobno su nezavisne; d) nema otkazanih rezervacija, kao ni putnika koji se nisu pojavili; e) grupne rezervacije nisu moguće. Pretpostavka da je zahtev za rezervacijom sedišta slučajna promenljiva ključna je u ovoj vrsti modela. Neprekidne slučajne promenljive su češće korišćene da bi se opisali zahtevi za rezervacijom sedišta u određenoj tarifnoj klasi (Tabela 1) i generalno je primenjivana normalna raspodela, gde su srednja vrednost i varijansa određivane na osnovu karakteristike saobraćaja i tržišta na kojem je model primenjivan. U manjem broju radova se pretpostavljalo da je zahtev za rezervacijom sedišta u određenoj tarifnoj klasi diskretna slučajna promenljiva (najčešće Poasonova raspodela), Tabela 1.

Tabela 1: Podela radova u zavisnosti od načina modeliranja zahteva za rezervacijom sedišta

Vid saobraćaja	Diskretna slučajna promenljiva	Neprekidna slučajna promenljiva
Vazdušni	Popović i Teodorović (1997), Feng i Xiao (2006), Chew <i>et al.</i> (2009), Chen i Homem-de-Mello (2010), Park i Seo (2011), Graf i Kimms (2011), Dutta i Ghosh (2012), Kim (2015)	Belobaba (1987), Brumelle i McGill (1993), Robinson (1995), Van Ryzin i McGill (2000), Li <i>et al.</i> (2007)
Železnički	Chang i Yeh (2004), Terabe i Ongprasert (2006), Bharill i Rangraj (2008), Jiang <i>et al.</i> (2015), Šelmić <i>et al.</i> (2016), Macura <i>et al.</i> (2017)	Lee i Tsai (2004), Sibdari <i>et al.</i> (2008), Du i Yin (2011), Jiang <i>et al.</i> (2014), Hetrakul i Cirillo (2014), Zhu <i>et al.</i> (2014), Quian i Shuai (2014), Wang <i>et al.</i> (2016)

Jedan od prvih koncepata upravljanja prodajom sedišta u vazdušnom saobraćaju je predložio Littlewood (1972) u kome se rezervacija jeftinije tarife prihvata sve dok je ostvarena vrednost prihoda veća od očekivanog prihoda za skuplju tarifu. Littlewood-ov model, koji je optimalan samo u slučaju kada postoje dve tarifne klase, kasnije je unapredio Belobaba (1987) u model kojim se izračunava očekivani marginalni prihod za svako sedište u avionu (eng. *Expected Marginal Seat Revenue – EMSR*) za slučaj kada postoji više tarifnih klasa. Model koji je predložio Bertsimas daje optimalno rešenje za alokaciju sedišta samo u slučaju dve klase, dok



za više klasa rešenje nije optimalno. Brumelle i McGill (1993) su pokazali da je, uzimajući u obzir sve gore navedene pretpostavke (a-d), problem alokacije sedišta monotono optimalan „stopping“ problem, i to je dokazano za diskretne i kontinualne raspodele verovatnoća. U njihovom modelu su uključene i zajedničke raspodele verovatnoća koje su nedostajale u ranijoj verziji EMSR metode za više tarifnih klasa. Robinson (1995) je u svom radu generalizovao uslove koji se odnose na verovatnoće raspodele i na taj način je relaksirao pretpostavku da prvo nailaze zahtevi za nižim, a zatim zahtevi za višim tarifama. Daljim unapređivanjem EMSR-a, nazvanog EMSRb, Van Ryzin i McGill (2000) su predložili model koji daje bolje aproksimacije optimalne alokacije sedišta i ovaj model je kasnije dosta primenjivan u praksi. Autori su pokazali da uslovi optimizacije definisani u Brumelle i McGill (1993) mogu biti korišćeni u adaptivnom stohastičkom modelu koji se oslanja na podatke o učestalosti dešavanja određenih rezervacija u prošlosti i vrši se odgovarajuća revizija broja zaštićenih sedišta po tarifnim klasama. Metod stohastičke aproksimacije je korišćen kako bi se dokazao konvergentnost predloženog adaptivnog algoritma ka optimalnom rešenju o alokaciji sedišta. Teodorović *et al.* (2002) su predložili inteligentni sistem za upravljanje prodajom sedišta zasnovan na fazi logici. Takav model je razvijen sa mogućnošću da generalizuje, primeni i uči na osnovu novih informacija koje su mu dostavljene. Model prepoznaje situaciju na osnovu broja rezervacija u pojedinim klasama, kao i na osnovu broja otkazanih rezervacija u određenom momentu pre odlaska, i koristeći utvrđena fazi pravila, donosi odluku o tome da li prihvata ili odbija bilo koji zahtev putnika.

Šelmić *et al.* (2016) su razvili algoritam zasnovan na veštačkim neuronskim mrežama i drvetu odlučivanja za upravljanje prodajom karata u železničkom saobraćaju. Osnovna ideja je da se u realnom vremenu pruži podrška u odlučivanju dispečarima da li da prihvate ili odbiju novi zahtev u putničkom saobraćaju, a na bazi podataka iz prošlosti. Po prvi put u literaturi je modeliran varijabilni kapacitet u železničkom saobraćaju, uz mogućnost proširenja kapaciteta prvobitne kompozicije. Zahtevi za rezervaciju karata se modelira Poasonovom raspodelom, dok se vreme prijema zahteva simulira normalnom raspodelom. Macura *et al.* (2017) su se bavili upravljanjem prodajom karata u putničkom železničkom saobraćaju. Autori su razvili hibridni algoritam koji ima za cilj donošenje odluke u realnom vremenu o prihvatanju/odbijanju novog zahteva. U algoritam su ugrađene relevantne informacije iz prošlosti o kretanju putničke tražnje za kartama. Neizvesnost u vezi raspoloživog kapaciteta je implementirana u algoritam kroz tabelu plaćanja i žaljenja, dok je veštačka neuronska mreža korišćena kao alat za donošenje odluka u realnom vremenu. Algoritam je testiran na hipotetičkim numeričkim podacima. Zahtevi za rezervacijom sedišta u praksi u različitim tarifnim klasama obično će se javiti u istim ili sličnim momentima, a ne kako je definisano pretpostavkom b). Pretpostavka definisana u b) značajno pojednostavljuje problem upravljanja prodajom sedišta, međutim, neki autori su je relaksirali i zahteve za rezervacijom opisali Poasonovom raspodelom.

Postoje dve vrste pristupa rešavanju problema upravljanja prodajom sedišta koji se odnose na pretpostavku o prirodi tražnje, tj. razlikujemo statičke ili dinamičke modele (Tabela 2).

Tabela 2: Podela radova u zavisnosti od prirode tražnje

Vid saobraćaja	Statički modeli	Dinamički modeli
Vazdušni	Van Ryzin i McGill (2000), Teodorovic <i>et al.</i> (2002), Talluri i van Ryzin (2004), Haerian <i>et al.</i> (2006), Li <i>et al.</i> (2007), Park and Seo (2011), Graf i Kimms (2011)	Bertsimas i de Boer (2005), Feng i Xiao (2006), Chew <i>et al.</i> (2009), Kim (2015)
Železnički	Lee i Tsai (2004), Terabe i Ongprasert (2006), Sibdari <i>et al.</i> (2008), Bharill i Rangraj (2008), Du i Yin (2011), Šelmić <i>et al.</i> (2016), Macura <i>et al.</i> (2017)	Dutta i Ghosh (2012), Jiang <i>et al.</i> (2014), Hetrakul i Cirillo (2014), Zhu <i>et al.</i> (2014), Quian i Shuai (2014), Wang <i>et al.</i> (2016)

U statičkim modelima maksimalni broj mogućih rezervacija u svakoj tarifnoj klasi definiše se unapred, pre datuma poletanja, u većini slučajeva na samom početku procesa rezervacije. U ovim modelima autori procenjuju gustinu raspodele tražnje za svaku tarifnu klasu i zahtevi za rezervacijama nailaze sekvencijalno (pretpostavka b) i ovo ostaje nepromenjeno tokom celog perioda rezervacije. Sofisticiraniji modeli upravljanja prodajom sedišta dozvoljavaju da se ograničenja o maksimalnom broju mogućih rezervacija za svaku tarifnu klasu menjaju u bilo kom momentu pre poletanja. U trenutku revizije model koristi podatke o stvarnim rezervacijama koje su već prihvaćene za posmatrani let kako bi odredio nova optimalna ograničenja za



preostalo vreme do poletanja. Na ovaj način moguće je smanjiti neizvesnost koja je povezana sa procenom tražnje na početku perioda rezervacije. Ova vrsta modela se naziva dinamički model. U ovim modelima kontrola procesa rezervisanja sedišta često se formuliše kao procesi Markova.

4. UPRAVLJANJE PRODAJOM SEDIŠTA NA MREŽI

Rešavanje ovog problema postalo je izuzetno značajno u periodu nakon deregulacije vazdušnog saobraćaja zbog sve veće zastupljenosti *hub-and-spoke* mreže linija, kao i zbog sve većeg broja putovanja koja uključuju direktne ili indirektno konekcije (u daljem tekstu O&D rute). Osnovna karakteristika ovakvog tipa putovanja, bez obzira na vid saobraćaja, je da se u jednom trenutku mogu naći putnici koji putuju ka različitim destinacijama ili su im različite polazne tačke, ali u jednom segmentu putovanja dele isti leg. Problem upravljanja prihodom na mreži se sastoji u tome da se izvrši alokacija sedišta, iz različitih tarifnih klasa, na svakom legu prema različitim O&D putnicima, tako da ukupan prihod na mreži bude maksimalan.

Postoji više pristupa u rešavanju ovog problema u literaturi i u ovom radu biće objašnjeni neki od najznačajnijih. Pojedini autori su upravljanje prihodom predstavili kao problem tokova na mrežama pri minimalnim troškovima za sve O&D rute. Wollmer (1986) je formulisao stohastički model upravljanja prihodom na mreži kao problem linearnog programiranja (LP) i u funkciji cilja uključio očekivani marginalni prihod za svako sedište. Wollmer je pokazao da se ovako formulisani problem može transformisati u problem tokova na mrežama pri minimalnim troškovima kako bi se postigla veća efikasnost u rešenju. Curry (1990) je predložio kombinovani model matematičkog programiranja i marginalne analize. U modelu je korišćena hibridna linearna aproksimacija u funkciji prihoda pomoću koje se kao rešenje dobija broj sedišta za različite O&D rute. Na osnovu toga se zatim, za svaku O&D rutu formira ugneždjena alokacija sedišta i vrši optimizacija za svaki let pojedinačno. Curry je pokazao da je prihod dobijen od svake ugneždjene tarifne klase konkavna funkcija prostora koji joj je dodeljen i aproksimirao ih je kosim linearnim funkcijama. Williamson (1992) je predložila deterministički model linearnog programiranja gde je primenila različite prorata strategije (raspodela prihoda od O&D rute prema njenim legovima na osnovu kilometraže i na osnovu odnosa tarifa na svakom legu). U njenom modelu se svaka ODF kombinacija ugnežđuje na osnovu inkrementalnog prihoda koji se generiše čime je uzeta u obzir mogućnost da će putnik koji je kupio kartu za O&D rutu više doprineti ukupnom prihodu na mreži od lokalnog putnika.

Talluri i van Ryzin (1998) su primenili „bid-prices“ metodu u determinističkom modelu linearnog programiranja. U modelu su zamenili očekivanu tražnju sa slučajnim vektorom i na taj način su uključili više stohastičkih informacija. Za n simuliranih tražnji određene su optimalne alokacije sedišta i definisano je n skupova dualnih cena. Ponuđena cena na letu je definisana kao prosečna cena n dualnih cena (randomizovani model linearnog programiranja - RLP). Bertsimas i de Boer (2005) su razvili stohastički gradijentni algoritam za ubrzanje generisanja rešenja. Simulacijom se, za bilo koju politiku alokacije sedišta u ugnežđenom modelu, procenjuje maksimalni očekivani prihod i prema tome vrši revizija inicijalne alokacije sedišta. Topaloglu (2009) je razvio randomizovani model linearnog programiranja za generisanje „bid prices“ kako bi rešio problem dinamičke i stohastičke osobine tražnje. Ponuđena cena na svakom letu odražava oportunitetni trošak pojedinačnog sedišta, a zahtevi za različitim tarifnim klasama aproksimirani su Poasonovim procesima. U radu je pokazano da je odnos između stvarnog procenta prodaje (procenjenih oportunitetnih troškova ili prihoda) i broja pokušaja (raspoloživi kapacitet), u određenoj meri, vrlo sličan po karakteristikama asimptotskoj optimalnosti „bid-prices“ kontrole.

Problem varijabilne tražnje, pojedini autori su rešili uvođenjem tzv. fleksibilnih proizvoda (finalne karakteristike fleksibilnog proizvoda nisu poznate u momentu kada se oni ponude). Na primer, u transportu to može značiti mogućnost rezervisanja karte za određeni dan i O&D kombinaciju bez poznavanja preciznog vremena polaska i rute, (Gallego *et al.* (2004)). Petrik *et al.* (2010) su proširili osnovni model Gallego *et al.* (2004), tako što su dozvolili da se arbitrarno definišu datumi na koje se rezervacije odnose i predložili metode dinamičkog upravljanja kapacitetom koji se mogu koristiti za određivanje konačne alokacije fleksibilnih proizvoda tokom celog perioda rezervisanja. Belobaba *et al.* (2014) su primenili *Displacement-Adjusted Virtual Nesting* (DAVN) metodu za maksimiziranje ukupnog prihoda na mreži i dali analizu pravičnosti i uticaja različitih strategija određivanja cena i raspoloživosti sedišta na percepciju kupca.

Ciancimino *et al.* (1999) razvili su dva modela za alokaciju sedišta na železničkoj mreži. Razmatran je mrežni problem sa jednom tarifom, a modeli su neugnežđeni. Prvi model je deterministički sa linearnim programiranjem, dok su u drugom modelu zahtevi definisani kao slučajna promenljiva, a primenjeno je



nelinearno programiranje za rešavanje ovog problema. Terabe i Ongprasert (2006) pokazali su da se sa alokacijom sedišta može povećati ne samo prihod nego i prosečni faktor popunjenosti i smanjiti broj odbijenih putnika. Primena ovog koncepta je pogodna kako se ne bi negativno uticalo na zadovoljstvo putnika. Autori su istakli da primena principa „prvi došao - prvi uslužen“ može umanjiti ukupan prihod transportne kompanije. Xie *et al.* (2013) razmatrali su dinamički problem alokacije sedišta. U njihovom pristupu uzimaju se u obzir različiti eksterni uticaji koji mogu da se pojave tokom procesa prodaje karata, i tako se dobija model koji ostvaruje veći prihod u praksi.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su izabrani radovi u oblasti upravljanja prodajom sedišta sa posebnim fokusom na modele u vazdušnom i železničkom saobraćaju. Osnovna podela prikazanih modela je na one u kojima je problem upravljanja prodajom sedišta rešavan na jednom legu i na one u kojima je problem rešavan na celokupnoj mreži. Može se primetiti određena harmoničnost i nadovezivanje istraživanja kada je u pitanju literatura o upravljanju prodajom sedišta na jednom legu. Razlika koja se primećuje između metoda je u statičkim i dinamičkim rešenjima, kao i podela na one koje su slučajne zahteve za rezervacijom sedišta opisivali diskretnim ili neprekidnim raspodelama. U literaturi koja se odnosi na rešavanje problema upravljanja prodajom sedišta na mreži, situacija je malo manje harmonična. Autori su ponudili veći broj pristupa kako se ovaj kombinatorni problem može rešiti, ali je i dalje veliki izazov istovremeno obuhvatiti efekte mreže, neizvesnu tražnju putnika i ugnežđeni karakter sistema upravljanja prodajom sedišta.

ZAHVALNICA

Ovo istraživanje podržano je od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije kroz projekte TR36033, TR36022 i TR36002.

LITERATURA

- [1] Aslani, S., Modarres, M., & Sibdari, S. (2014). On the fairness of airlines' ticket pricing as a result of revenue management techniques. *Journal of Air Transport Management*, 40, 56-64.
- [2] Belobaba, P. P. (1987). Application of probabilistic decision model to airline seat inventory control. *Operations Research*, 37, 16-23.
- [3] Bertsimas, D., & De Boer, S. (2005). Simulation-based booking limits for airline revenue management. *Operations Research*, 53 (1), 90-106.
- [4] Bharill, R. & Rangaraj, N. (2008). Revenue management in railway operations: a study of the Rajdhani Express, Indian Railways. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42, 9, 1195-1207.
- [5] Brumelle, S.L. & McGill, J.I. (1993). Airline seat allocation with multiple nested fare classes. *Operations Research* 41, 127-137.
- [6] Chang, Y.H. & Yeh, C.H. (2004). A multiobjective planning model for intercity train seat allocation. *Journal of Advanced Transportation*, 38(2), 115-132.
- [7] Chen, L., & Homem-de-Mello, T. (2010). Mathematical programming models for revenue management under customer choice. *European Journal of Operational Research* 203, 294-305.
- [8] Chew, E.P., Lee, C. & Liu R. (2009). Joint inventory allocation and pricing decisions for perishable products. *International Journal Production Economics*, 120, 139-150.
- [9] Ciancimino, A., Inzerillo, G., Lucidi S. & Palagi, L. (1999). A Mathematical Approach for the Solution of the Railway Yield Management Problem. *Transportation Science* 33 (2), 168-181.
- [10] Curry, R. (1990). Optimal seat allocation with fare classes nested by origins and destinations. *Transportation Science* 24, 193-204.
- [11] Du, X.D. & Yin, M. (2011). Seat control model research on railway passenger transport. *Journal of Information Technology*, 3, 140-145.



- [12] Dutta, G., & Ghosh, P. (2012). A passenger revenue management system (RMS) for National Railway in an emerging Asian economy. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 11, 487-499.
- [13] Feng Y. & Xiao B. (2006). Integration of pricing and capacity allocation for perishable products. *European Journal of Operational Research* 169, 17–34.
- [14] Gallego, G., Iyengar, G., Phillips, R. & Dubey, A. (2004). Managing flexible products on a network. Working Paper TR-2004-01, Columbia University New York.
- [15] Graf, M. & Kimms, A. (2011). An option-based revenue management procedure for strategic airline alliances. *European Journal of Operational Research* 215, 459–469.
- [16] Hetrakul, P., & Cirillo, C. (2014). A latent class based model system for railway optimal pricing and seat allocation. *Transportation research Part E: Logistics and Transportation Review*, 61, 68-83.
- [17] Jiang, X., Zhang, L. & Chen. X. (2014). Short-Term Forecasting of High-Speed Rail Demand: A Hybrid Approach Combining Ensemble Empirical Mode Decomposition and Gray Support Vector Machine with Real-World Applications in China. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 44, 110–127.
- [18] Kim, S.W. (2015). The impact of customer buying behavior on the optimal allocation decisions. *International Journal Production Economics* 163, 71–88.
- [19] Lee, C.K. & Tsai T.H. (2004). Demand-responsive pricing method for the product line of taiwan high-speed rail. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1863, 1–8.
- [20] Li, M. Z., Oum, T. H., & Anderson, C. K. (2007). An airline seat allocation game. *Journal of Revenue & Pricing Management*, 6(4), 321–330.
- [21] Littlewood, K. (1972). Forecasting and control of passenger bookings. *AGIFORS Symposium Proceedings*, 12, 95–117.
- [22] Macura, D., Šelmić, M. & Teodorović, D. (2017). Intelligent sleeping car berth inventory control system in the case of variable capacity of railcars, *International Transactions in Operational Research*, DOI10.1111/itor.12465.
- [23] Park, C. & Seo, J. (2011). Seat inventory control for sequential multiple flights with customer choice behavior. *Computers & Industrial Engineering*, 61, 1189–1199.
- [24] Petrick, A., Gönsch, J., Steinhardt, C. & Klein, R. (2010). Dynamic control mechanisms for revenue management with flexible products. *Computers & Operations Research* 37(11), 2027-2039.
- [25] Popović, J. & Teodorović, D. (1997). An adaptive method for generating demand inputs to airline seat inventory control models. *Transportation Research, Part B* 31 (2), 159-175.
- [26] Robinson, W. (1995). Optimal and Approximate Control Policies for Airline Booking with Sequential Nonmonotonic Fare Classes. *Operations Research*. 43, 252–263.
- [27] Qian, B.Y. & Shuai, B. (2014). Revenue management for dedicated passenger line based on passenger preference order. *Information Technology Journal*, 13, 2152-2158.
- [28] Sibdari, S., Lin, K., Chellappan, S., & Lin, K. (2008). Multiproduct revenue management: an empirical study of auto train at Amtrak. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 7(2), 172-184.
- [29] Šelmić, M., Macura, D. & Teodorović, D. (2016). Reservation system with variable capacity – case study of serbian railways. *International Journal of Transport Economics XLIII(1-2)*, 185-204.
- [30] Talluri, K.T. & van Ryzin, G.J. (1998). An Analysis of Bid-Price Controls for Network Revenue Management. *Management Science*, 44, 1577-1593.
- [31] Talluri, K.T. & Van Ryzin, G.J. (2004). Revenue Management Under a General Discrete Choice Model of Consumer Behavior. *Management Science* 50 (1), 15–33.



- [32] Teodorović, D., Popović, J., Pavković, G. & Kikuchi S. (2002). Intelligent airline seat inventory control system. *Transportation Planning and Technology*, 25, 155–173.
- [33] Terabe, S. & Ongprasert, S. (2006). Seat inventory control for intercity passenger rail: how it works with customer satisfaction. *European Transport Conference*, Strasbourg.
- [34] Topaloglu, H. (2009). On the asymptotic optimality of the randomized linear program for network revenue management. *European Journal of Operational Research*, 197, 884–896.
- [35] Van Ryzin, G. & McGill, J. (2000). Revenue Management Without Forecasting or Optimization: An Adaptive Algorithm for Determining Airline Seat Protection Levels. *Management Science* 46(6), 760-775.
- [36] Wang X., Wang H. & Zhang X. (2016). Stochastic seat allocation models for passenger rail transportation under customer choice. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 96, 95-112.
- [37] Williamson, E.L. (1992). Airline Network Seat Inventory Control: Methodologies and Revenue Impacts, Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- [38] Wollmer, R.D. (1986). A Hub-Spoke Seat Management Model, unpublished company report. Douglas Aircraft Company, McDonnell Douglas Corporation, Long Beach, CA.
- [39] Xie Zh., Zhu W. & Zheng T. (2013). A dynamic railway seat allocation problem. *Proceedings of the 2013 Industrial and Systems Engineering Research Conference*, 3480.
- [40] Zhu, Y.T., Wang, F.Z., Shan, X.H. & Lv, X.Y. (2014). A model for seat allocation of railway passenger transport based on OD's priority. *Advanced Materials Research*, 989-994, 2344-2348.



FUZZY MODEL FOR THE EVALUATION OF FUTURE AIR TRAFFIC MANAGEMENT SCENARIOS SAFETY PERFORMANCE INDICATORS

DUŠAN CRNOGORAC¹, FEDA NETJASOV²

University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering,

¹crni@sf.bg.ac.rs, ²f.netjasov@sf.bg.ac.rs

Abstract: This paper presents fuzzy model for approximation of safety performance indicators of future air traffic management system. This model could serve as a replacement of TCAS activation module (TAM) of Risk Assessment (network based simulation model which is a part of Performance Analyser of APACHE platform), because TAM is consuming a significant computer time during calculation of safety PIs. The fuzzy model is tested on 24 hour planned and realised traffic data throughout French airspace for four different scenarios. The model shows the ability to evaluate safety performance indicators with acceptable precision.

Keywords: Fuzzy logic, Air traffic management, Safety parameters

1. INTRODUCTION

Performance Review Commission (PRC) was founded in 1998 by EUROCONTROL in order to establish transparent and independent performance management system within the European Air Traffic Management (ATM) system. Directly involved in collecting and analyzing performance data is Performance Review Unit (PRU). Each year, PRC issues "Performance Review Reports" (PRR) with information on the air traffic demand and performance of the European ATM system in the four main Key Performance Areas (KPA): safety, capacity, environment and cost-efficiency (Netjasov and Crnogorac, 2018).

Safety has the highest priority in aviation and the ATM system plays an important role in ensuring overall safety of air traffic. Uniform safety standards and practices in the field of safety management should be systematically applied within the ATM system. During the implementation of the future global aviation system, safety should be assessed against appropriate criteria and in accordance with appropriate and globally standardized safety management processes and practices.

The APACHE project proposes a new framework to assess European ATM (air traffic management) performance based on simulation, optimization and performance assessment tools that will be able to capture the complex interdependencies between KPAs at different modelling scales. Overall concept of APACHE framework is shown on Figure 1. Several scenarios to be studied are defined, setting up different options regarding the demand of traffic, airspace capacities and eventual restrictions (Prats *et al.*, 2017).

The APACHE TAP (trajectory and airspace planner), which could be seen as a small prototype of an ATM simulator (Figure 1), has a double functionality in the project (Prats *et al.*, 2017): a) to synthesize traffic and airspace scenarios representative enough of current operations; or emulating future operational concepts in line with the SESAR 2020 ConOps, and b) to support the implementation of novel ATM performance indicators (PIs), which require from some advanced functionalities (such as optimal fuel trajectories considering real weather conditions, optimal airspace opening schemes, large-scale conflict detection, etc.).

Then, the ATM Performance Analyzer (PA) module (Figure 1) implements all the performance indicators (PIs) of the APACHE performance framework, including as well some indicators from the current performance scheme for benchmarking purposes (Prats *et al.*, 2017).

A part of APACHE platform - Risk Assessment (RA) belonging to the ATM Performance Analyzer related to assessment of Safety PIs of future ATM system is presented in this paper. Section 2 presents RA modeling approach and Section 3 Safety PIs. In Section 4 fuzzy model is presented. Section 5 consists of numerical results, while Section 6 concludes paper.

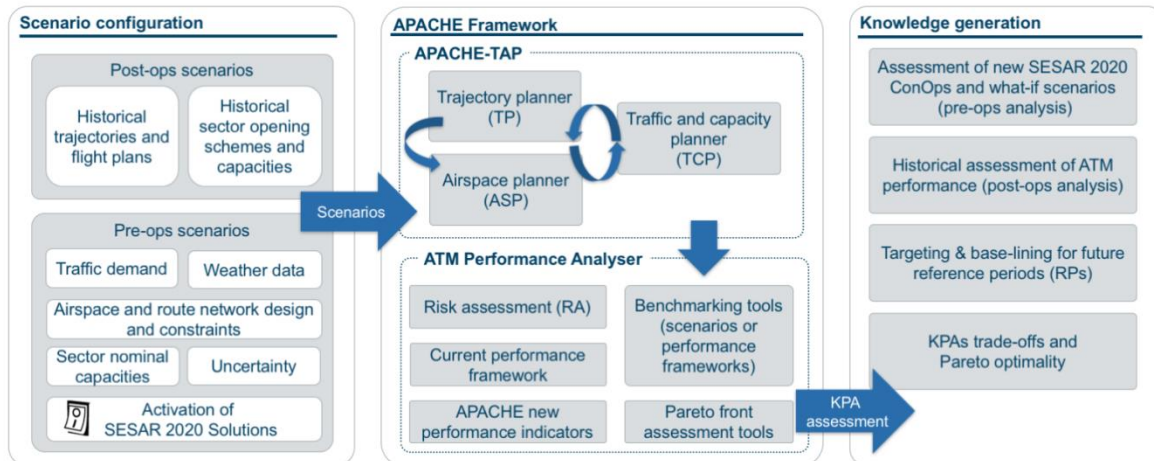


Figure 1. The APACHE framework (Prats *et al.*, 2017)

2. RA MODELING APPROACH

RA is intended for simulation of air traffic consisting of optimal flights trajectories (output of Trajectory Planner (TP) and Traffic and Capacity Planner component (TCP), Figure 1) through a given airspace sectorisation (output from Airspace Planner (ASP) component, Figure 1) with aim to assess safety performances and to provide outputs in form of safety performance indicators (PIs).

RA is a network based simulation model which consists of three modules (Figure 2) (Netjasov and Crnogorac, 2017, 2018):

- Separation Violation Detection Module (SVDM) - dynamic conflict detection model based on known flight intentions;
- TCAS activation module (TAM) - stochastically and dynamically coloured Petri Net model; and
- Risk of conflict assessment module (RCAM).

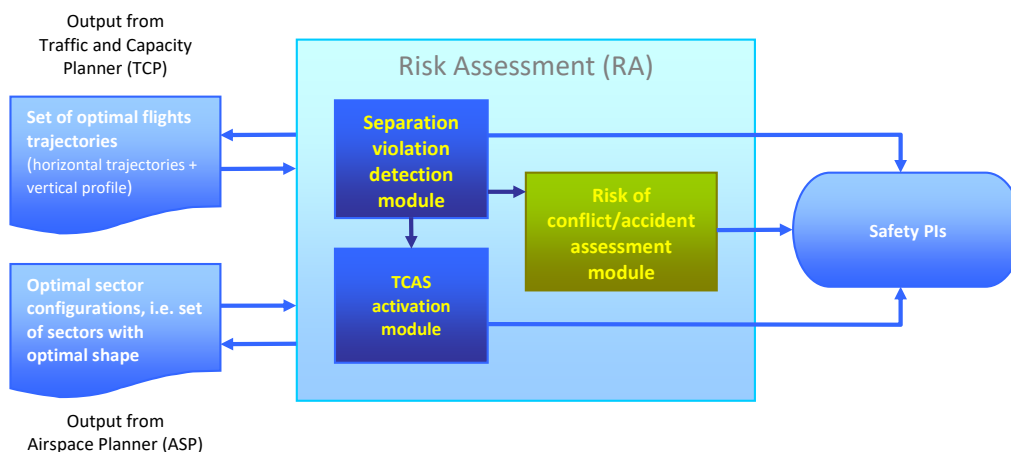


Figure 2. RA model architecture (Netjasov and Crnogorac, 2017, 2018)

The RA component is based on the assumption that conflict between pair of aircraft exists when either horizontal and/or vertical separation minima are violated. The SVDM compares actual separation of aircraft (both in horizontal and vertical plane) with given separation minima in order to detect potential conflict. Once conflict is detected this module counts them. If the situation worsens the TAM is activated. It counts Traffic Alerts (TA) and Resolution Advisories (RA) warnings and based on them number of NMACs (Netjasov and Crnogorac, 2017, 2018).

3. SAFETY PERFORMANCE INDICATORS

A part of the wider APACHE framework are Safety Performance Indicators (SPIs). Related to the scope of APACHE project, the PRU is currently assessing a range of PIs in the field of safety, e.g. number of accidents

and serious incidents, number of reported unauthorized penetrations of airspace, number of reported separation minima infringements, etc., among which two are used as Key PIs (KPIs): total commercial air transport accidents; and the number of accidents with air navigation service contribution.

All PIs and KPIs are based on accident/incident investigation reports (post operation analysis, reactive safety approach) and are aggregated on annual level.

APACHE proposes SPIs which are measurable in simulations of "Pre-ops" or "Post-ops" operations and could be measured in a real system on a daily or hourly level, but are not dependent on accident/incident reporting (proactive safety approach).

Two categories of SPIs are proposed in APACHE based on their values absolute and relative one. Absolute values of indicators are given in Table 1: Traffic Alert (TA) warnings (SAF-1), Resolution Advisories (RA) issued (SAF-2), Near Mid Air Collisions (NMAC) (SAF-3). Additionally, number of potential Separation Violations (SV) could be used to indicate safety (SAF-4). All indicators could be given as rates of specific occurrences as counts normalized by the number of flights or total flight hours through the given airspace (Netjasov and Crnogorac, 2018).

Table 1: New Safety PI proposed, indicators with absolute values (APACHE, 2017)

Indicators	Unit	Description
SAF-1: Number of Traffic Alerts warnings – Tas	# TAs	Count of TAs
SAF-2: Number of Resolution Advisors issued – RAs	# RAs	Count of RAs
SAF-3: Number of Near Mid Air Collisions – NMACs	# NMACs	Count of NMACs
SAF-4: Number of separation violations – SVs	# SVs	Count of separation violations

4. FUZZY MODEL

TAM is consuming a significant computer time during calculation of safety PIs. Instead of activating TAM an alternative fuzzy model for approximation of safety indicators has been developed. As every Fuzzy Logic System (FLS) developed fuzzy model also consists of several elements (Figure 3 (Teodorovic and Šelmić, 2012)): rules,; fuzzifier, inference engine and defuzzifier.

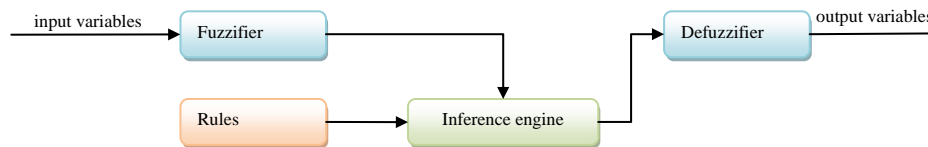


Figure 3. Fuzzy Logic System

Input variables of every FLS can be numerical or linguistic. Fuzzifier converts the crisp input to a linguistic variable using the membership functions stored in the fuzzy knowledge base. Fuzzy rules are knowledge base containing a number of fuzzy IF–THEN rules. Inference engine uses IF-THEN type fuzzy rules and converts the fuzzy input to the fuzzy output. Defuzzifier converts the fuzzy output of the inference engine to crisp using membership functions analogous to the ones used by the fuzzifier (Teodorovic and Šelmić, 2012).

For development of fuzzy model for approximation of safety indicators, MatLab software package was used. Fuzzy Logic Designer was used to generate membership functions for both, input and output. FLS uses Mamdani inference method.

Two input variables are foreseen in the model (Figure 4). First one is Horizontal separation (HS) and second is Vertical separation (VS). Values for HS and VS are gathered from Separation Violation Detection Module and they represent values at closest point of approach (CPA) for each pair of airplanes with violated separation. Output was presented by type of safety events (Figure 5).

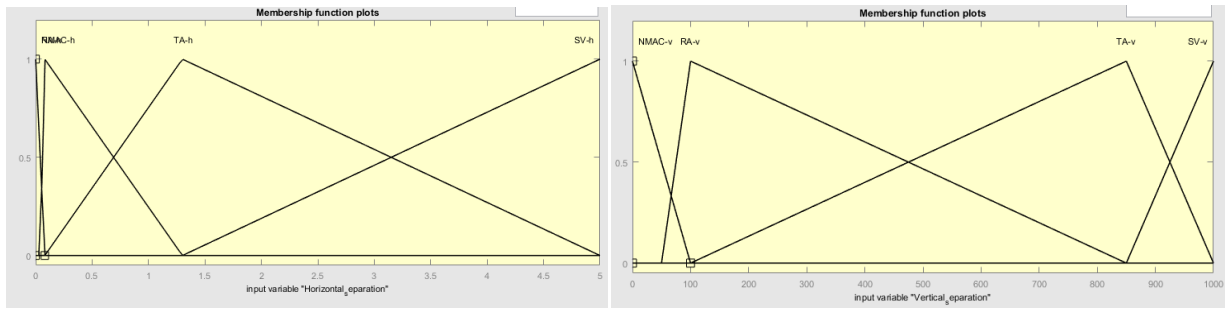


Figure 4. Membership functions for Horizontal separation and Vertical separation variables

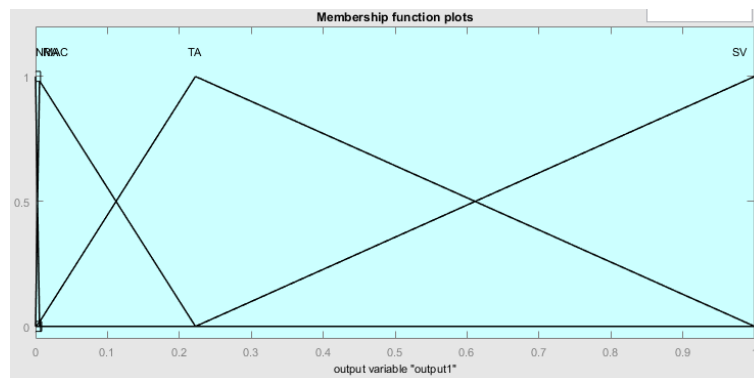


Figure 5. Output of FLS – type of safety events (SV, TA, RA and NMAC)

Proposed FLS rules are presented on Figure 6. When horizontal and vertical separations are close to zero value, total separation is close to zero. So, the closer output value is to zero, higher is the risk. In example (Figure 6, left), rule number 1 says that if HS is a member of NMAC-h function and VS is a member of NMAC-v function then the output belongs to NMAC function and its value is close to 0.

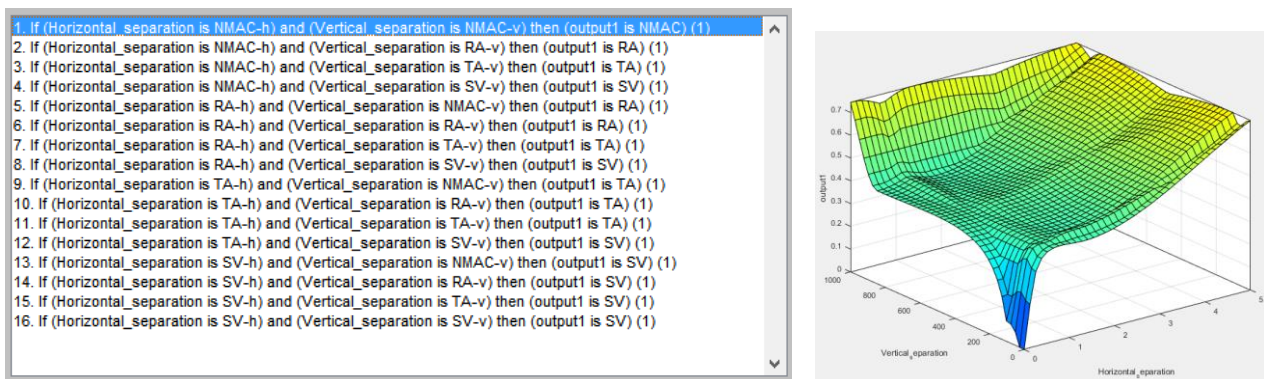


Figure 6. Rules of FLS (left) and rules surface view (right)

After generating membership functions, in the Command Window of MatLab, output is created within next steps:

- Step 1: Defining simple name to FLS (e.g.: `t=readfis('TCAS_Approximator.fis')`);
- Step 2: Defining name and data for scenario under evaluation (e.g.: `filename105 = fullfile('FIS_S105.csv', where file 'FIS_S105.csv' contains two columns with values for horizontal and vertical separation);`
- Step 3: Reading input data (e.g.: `S105Data=readtable(filename105,'Delimiter',';', 'ReadVariableNames', false);`);
- Step 4: Transforming table data to dataset (e.g.: `ds105 = table2dataset(S105Data);`);



- Step 5: Generating results from input given (e.g.: $res105=evalfis([ds105.Var1 ds105.Var2],t)$)

By this sequence of commands, results have been generated, for all pairs of aircraft that have violated separation, into one table. This table contains one column with output values. Those values were further processed for normalization. Four clusters were formed on the normalization interval [0,1] which related output data and Safety Indicators:

- interval [0 - 0.001] - SAF3
- interval [0 - 0.125] - SAF2
- interval [0.125 - 0.555] - SAF1
- interval [0 - 1] - SAF4

5. NUMERICAL EXAMPLE

5.1. Simulation scenarios

In order to capture interdependencies among KPAs when assessing ATM performance, a wide set of simulation scenarios was studied in the APACHE Project. These scenarios have been identified and summarised in Table 2 (S0 corresponds to Post-OPS scenario based on historic actual trajectory data, while S1, S2 and S3 are Pre-OPS scenarios based on planned trajectory data).

Table 2: Part of preliminary set of scenarios used by FLS

	Trajectory planner	Traffic and capacity planner	Airspace Planner
<i>S0</i>	Structured Route Flight Levels	Current demand and capacity balancing	Static sectors
<i>S1</i>	Structured Route Flight Levels	Current demand and capacity balancing	Static sectors
<i>S2</i>	Free Route Flight Levels	Current demand and capacity balancing	Static sectors
<i>S3</i>	Structured Route Continuous Cruise Climb	Current demand and capacity balancing	Static sectors

Scenarios are designed for three different dates representing three traffic demand levels. Each scenario is based on traffic passing through French airspace during 24-hour period. Date 01 is 2016/07/28 (summer, middle traffic demand), date 03 is 2017/02/20 (winter, low traffic demand) and date 05 is 2023/07/21 (summer, high traffic demand). Comparison of RA module and FLS is conducted on 10 different inputs (ie. S001 means scenario S0 for the date 01, S205 means scenario S2 for the date 05).

5.2. Results

For all scenarios RA was run and aircraft in conflicts are determined using SVDM. After that both TAM and FLS were run and results for SAF-1 to SAF-3 were obtained. Comparison of obtained safety indicators are presented in Table 3. It can be seen that FLS is generally providing higher values (overestimating values) of certain SPIs but this difference is not big (up to 10% higher in case of SAF-1, up to 20% for SAF-2 and up to 13% for SAF-3).



Table 3: Results for FLS compared to RA-TAM results

Scenario	SAF-1			SAF-2			SAF-3		
	FLS	TAM	Δ %	FLS	TAM	Δ %	FLS	TAM	Δ %
S001	94	91	3,3	34	35	-2,9	26	24	8,3
S101	1084	1023	6,0	277	269	3,0	182	173	5,2
S103	1704	1603	6,3	466	455	2,4	328	322	1,9
S105	1704	1603	6,3	466	455	2,4	328	322	1,9
S201	487	454	7,3	40	42	-4,8	27	27	0,0
S203	275	262	5,0	48	48	0,0	39	39	0,0
S205	631	597	5,7	104	102	2,0	73	68	7,4
S301	346	317	9,1	49	47	4,3	29	29	0,0
S303	275	291	-5,5	31	26	19,2	20	18	11,1
S305	549	510	7,6	89	87	2,3	53	47	12,8

6. CONCLUSION

This paper presents fuzzy model for approximation of safety performance indicators of future air traffic management system. This model could serve as a replacement of TCAS activation module (TAM) of Risk Assessment (network based simulation model which is a part of Performance Analyser of APACHE platform), because TAM is consuming a significant computer time during calculation of safety PIs. The fuzzy model is tested on 24 hour planned and realised traffic data throughout French airspace for four different scenarios.

It is obvious from output data that FLS gives results close to RA-TAM module results (although slightly overestimated). FLS is formed in a way that large amount of input data can be processed in a short time (considering data preparation and processing). On the other hand, RA-TAM needs more time mainly because manual preprocessing of input data for TCAS is necessary.

Based on initial results from testing of specific scenarios, the FLS model shows the ability to evaluate safety performance indicators with acceptable precision.

Further research will go in two directions. One will aim for further testing of developed FLS on different scenarios, while other direction will cover validation of FLS against real-life safety data in order to build the thrust in its outputs,

Acknowledgement

This paper is part of a project that has received funding from the SESAR Joint Undertaking under grant agreement No 699338 (APACHE - Assessment of Performance in current ATM operations and of new Concepts of operations for its Holistic Enhancement, <http://apache-sesar.barcelonatech-upc.eu/en>) under European Union's Horizon 2020 research and innovation programme. The opinions expressed herein reflect the author's view only. Under no circumstances shall the SESAR Joint Undertaking be responsible for any use that may be made of the information contained herein.

The authors would like to thank all colleagues from APACHE consortium: Technical University of Catalonia (UPC), Ecole Nationale de l'Aviation Civile (ENAC), Advanced Logistics Group (ALG) and University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering (UB-FTTE) for their contributions in the definition and implementation of new PIs as well as in development of APACHE Framework.

The work of second author has also been supported by the Ministry of Education and Science, Republic of Serbia, Project TR36033.

REFERENCES

- [1] Netjasov F., Crnogorac D. (2018). Potential Safety Occurences as Indicators of Air Traffic Management Safety Performances: A Network Based Simulation Model. In proceedings of the 8th International Conference for Research in Air Transportation - ICRAT 2018. Castelldefels, Spain.
- [2] Netjasov F., Crnogorac D. (2017). Assessment of Safety Performance Indicators of Future Air Traffic Management System. In proceedings of the XLIV Symposium on operational research (SYM-OP-IS). Zlatibor, Serbia



- [3] Prats X., Barrado C., Vidosavljevic A., Delahaye D., Netjasov F. and Crnogorac D. (2017). Assessing ATM Performance with Simulation and Optimisation Tools: The APACHE Project. 7th SESAR Innovation Days, Belgrade, Serbia.
- [4] Teodorovic D, Šelmić M. (2012). Računarska inteligencija u saobraćaju. Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija.



FEAR OF FLYING EFFECTS ON OPTIMAL NETWORK STRUCTURE IN A MONOPOLY AIRLINE MARKET

DANICA BABIĆ¹, BORIS BEGOVIĆ², TIJANA LEVAJKOVIĆ³

¹ University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, d.babic@sf.bg.ac.rs

² University of Belgrade, Faculty of Law, begovic@ius.bg.ac.rs

³ University of Innsbruck, Unit of Engineering Mathematics, tijana.levajkovic@uibk.ac.at

Abstract: *The paper offers new insight of the influence of fear of flying on the airline choice of the network structure in a monopoly airline market. It is assumed that passenger may suffer from fear of flying or not. Since the flying for passengers who are afraid to fly is unpleasant, it is described as additional cost formulated as a function of flight time. An airline is able to choose either the point-to-point or the hub-and-spoke network structure. Each choice is expected to have different implications on its profitability, such as costs and revenues, strongly influenced by different products offered to passengers.*

Keywords: *Point-to-point network, hub-and-spoke network, monopoly airline market, fear of flying.*

1. INTRODUCTION

The network structures operated by the airlines may be diverse in all sorts of ways (size, geographical coverage, spatial concentration). Nevertheless, they can be classified in two main network groups: hub-and-spoke (HS) and point-to-point (PP). The hub-and-spoke network was one of the responses in developing an efficient airline network after the air transport deregulation, adopted by the full-service airlines in order to strengthen their positions at the main airports/hubs (Oum et al., 1995). What was left for the new entrants to cope with these fortified network structures was either to offer direct services where only the transfer services were provided or to generate demand by low fares on the routes left by full-service airlines. The point-to-point network strategy, together with a simple product and low fares allowed low-cost carriers (LCCs) to build a successful business model. Each of the network structures offers an airline an alternative to serve the market with different effects on revenue, costs, its brand identity, etc.

Along with the network, the competitive position of an airline can be improved by improving its flight schedule and safety performances. In the past decades, the airline safety performances are enhanced significantly. That resulted in the record figures with respect to safety. However, for important part of the air traveller population travelling by air is still stressful and unpleasant (Van Gerwen et al., 2004). Fear of flying can be so intense to some passengers producing psychological symptoms that might make flying a distress or more radical, result in total avoidance of flying. For the airline, this results in a reduction of the demand and possible decrease of the revenue. Better service quality with respect to more convenient frequency and better network structure could mitigate the negative impact of fear of flying. Thus, the airline would be able to attract more passengers.

In the academic literature, one could find a variety of research papers related to the network optimization problem in the airline industry. Here we mention some of them closely connected to our work. From the theoretical point of view Oum et al. (1995) analyzed the effects of strategic interaction between deregulated airlines on their network choice and found out that the demand-side network effects of the HS network together with reduced costs makes it a dominant strategy for airlines. Brueckner (2004) also analyzed the effects of the network structure on the scheduling and aircraft size choices of a monopoly airline adding a disutility parameter into the travellers' utility when trips are the HS. Flores-Fillol (2009) modelled airline's choice of network structure in a duopoly market where airlines compete in prices and schedule while adopting symmetric and/or asymmetric network structures. Takebayashi (2013) applied a bi-level air transport market model in order to show airline network structure choice considering demand–supply interaction. Silva et al. (2014) analyzed optimal airline network structure choice in the presence of congestion externalities. In these publications, the authors modelled airline network choice considering passenger's preferences with respect to departure time, frequency and loyalty to the airlines. Babić et al. (2017) proposed a mathematical model of the profitability of different airline network choices, which includes the influence of a loyalty factor and fear of flying. Babić and Kalić (2018) modelled the selection of airline network structures for airlines operating in a competitive environment by considering the effects of product differentiation based on prices, flight

frequencies, seat accessibility and route length. The study of fear of flying with respect to network structure design plays a significant role when considering possible ways to innovate and improve the service that airline provides. Moreover, it is very important for getting and sustaining the passengers' confidence that is, further, essential for a competitive advantage and long-term benefits for both, passengers and the airline industry. The aim of this paper is to present a new perspective on the optimization of a network by considering the influence of fear of flying. Fear of flying is introduced in the theoretical model of airline network optimization. The specific aim of this paper is to demonstrate economic effects of the fear of flying variable to the optimal airline choice between the PP and the HS network. In order to quantify fear, we assume that the passengers are able to place a dollar value on this non-price service attribute. Thus, we assume that fear of flying is described as additional cost formulated in terms of a function of flight time. Additionally, we present how fear of flying, incorporated to the model of the airline network structure, influences the profit. The results in this paper are based on monopoly airline market and it is justified since many routes are still served only by one airline (Lazarev (2013)).

3. THE MODEL DESCRIPTION

The developed model considers a simple airline network that consists of three cities (airports A, B and H, Fig. 1). The assumptions considered in the proposed model are: (a) there are no other transportation modes between the destinations in the model; (b) the network is served by one airline; (c) the passenger demand, q , exists between each pair of the airports and they are equal; (d) the route lengths, l , are equal between the airports; (e) the network could be served either PP or HS; (f) the routes AH and BH are always served directly, while the route AB could be served either directly or indirectly through the airport H; (g) passengers' population consists of passengers who do not suffer of fear of flying and passengers affected by the fear; (h) the price on the route AB is less than the sum of prices on the routes AH and BH, i.e. $P < 2p_{hs}$, (i) all consumers are risk neutral, i.e. marginal utility of money is assumed to be constant; (j) every trip, i.e. airline service generates consumer benefit Y (total benefit, consisting of monetary and psychological income generated by the trip taken).

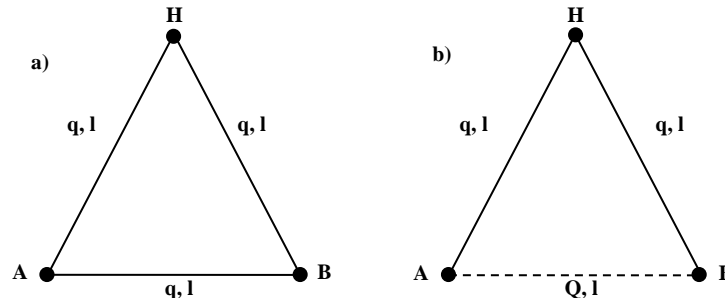


Figure 1. Network structure: a) point-to-point (PP); b) hub-and-spoke (HS).

The general formulation of passenger utility function U is determined by: a) travel benefit Y , b) airfare for the chosen route p , c) departure frequency f , d) frequency delay cost δ , e) stochastic delay cost β , and f) the cost of disutility due to the fear of flying, $H(t)$, where t is the travel time. Thus, the utility function for the passenger can be written in the form:

$$U = Y - p - \frac{\delta \cdot T}{4 \cdot f} - \frac{\beta \cdot 57 \cdot \eta^9}{f} - H(t) \cdot \tag{1}$$

The benefit Y is increasing the passenger' utility as a result of taking the trip (e.g. the real or perceived benefit that the passenger believes she/he is receiving by taking a flight: a feeling of faster, more comfortable way of travelling and so on). It is expressed in terms of cash gain and it varies among the passengers (Brueckner, 2004). The ticket price and the service quality are other important variables that may influence passenger's choice whether to travel by plane or not. Departure frequency is often used as a measure of the quality of the service, because it affects waiting time of customers and thus has a direct impact on the utility derived from the service. An average frequency delay measures the difference between passengers' desired time to fly and the time of the nearest flight offered by the airline. For the purpose of this research, we use the approximation of the frequency delay introduced by Swan (1979). The stochastic delay, also defined by Swan



(1979), represents the expected value of the delay due to the passenger load factor η . It is assumed that any refusal of passengers to the nearest flight due to the load factor induces a certain cost β . The model considers also the influence of fear of flying. It is assumed that a passenger may or may not suffer from fear of flying. Since the flying for passengers who are afraid to fly is unpleasant, it is described as additional cost $H(t)$ formulated as a function of flight time t . We assume that $H(t)$ is a deterministic function and $t_{min} \leq t \leq t_{max}$. The values t_{min} and t_{max} represent the shortest and the longest flying time. In this paper, we study the influence of the cost $H(t)$ given in a general form. The analysis for specific forms of $H(t)$ will be provided elsewhere. The existence of fear of flying should decrease the likelihood that the travel will happen. Moreover, we consider that passengers who are not afraid of flying will not suddenly, during the flight, start being afraid. Going back to (1), we denote by $\gamma = (\delta \cdot T)/4$ and $\gamma + 57 \cdot \beta \cdot \eta^0 = \tilde{k}$. Also, the aircraft capacity is denoted by s and the total number of passenger in the aircraft is $\eta \cdot s$. It is assumed that the number of passengers which are not affected by the fear of flying represent a proportion μ of the total consumer population. The number of passengers affected by the fear of flying is given as the proportion $1 - \mu$. Furthermore, passengers affected by the fear of flying can be divided into two subgroups: those who do not fly at all and those who experience considerable discomfort on each flight but who still choose to fly. It is assumed that the passenger will take a flight (despite having fear of flying) as long as $U \geq 0$, i.e if the following inequality holds $Y \geq p + H(t) + \tilde{k}/f$. It is assumed that the travel benefit Y is a continuous random variable with the uniform distribution on the interval $[-\alpha/2, \alpha/2]$, with positive α . From the perspective of a passenger, the travel benefit Y will take values in $[0, \alpha/2]$ when the passenger fulfils his/her goals and gets the benefits whatever the reasons he/she has for travelling (e.g. getting to the desired destination, the fastest, most convenient way, etc.). Otherwise, Y will take values in $[-\alpha/2, 0]$. Thus, the airline demand function for all passengers affected by the fear of flying is obtained as the probability $q_{FOF} = P(Y > p + H(t) + (\tilde{k}/f))$. Thus, it is of the form

$$q_{FOF} = (1 - \mu) \cdot \int_{p+H(t)+\frac{\tilde{k}}{f}}^{\frac{\alpha}{2}} \varphi(x) dx = (1 - \mu) \cdot \int_{p+H(t)+\frac{\tilde{k}}{f}}^{\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{\alpha} dx = (1 - \mu) \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - p - H(t) - \frac{\tilde{k}}{f} \right), \quad \text{for} \quad -\frac{\alpha}{2} - H(t) \leq p + \frac{\tilde{k}}{f} \leq \frac{\alpha}{2} - H(t). \quad (2)$$

For $p + \tilde{k}/f + H(t) < -\alpha/2$ the demand is $q_{FOF} = 1 - \mu$ and otherwise it is zero. The utility function for those passengers who are not afraid of flying is just a special case of a general utility function where the function $H(t)$ is zero, i.e. $q_{\mu} = \mu \cdot P(Y - p - \tilde{k}/f > 0)$. Thus, the expression for the demand function is given by

$$q_{\mu} = \mu \cdot \int_{p+\frac{\tilde{k}}{f}}^{\frac{\alpha}{2}} \frac{1}{\alpha} dx = \frac{\mu}{\alpha} \cdot \left\{ \frac{\alpha}{2} - p - \frac{\tilde{k}}{f} \right\}, \quad \text{for} \quad -\frac{\alpha}{2} \leq p + \frac{\tilde{k}}{f} \leq \frac{\alpha}{2}, \quad (3)$$

while for $p + \tilde{k}/f < -\alpha/2$ it equals μ . Otherwise it is zero. The total number of passengers on direct route (also called local passengers) is given as the sum $q_{\mu} + q_{FOF}$. By taking care of the forms of the demands q_{FOF} and q_{μ} on their respective domains and the fact that $H(t)$ is nonnegative, we obtain:

$$q = q_{\mu} + q_{FOF} = \begin{cases} \frac{(1 - \mu)}{\alpha} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - p - H(t) - \frac{\tilde{k}}{f} \right) + \frac{\mu}{\alpha} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - p - \frac{\tilde{k}}{f} \right), & p + \frac{\tilde{k}}{f} < \frac{\alpha}{2} - H(t) \\ \frac{\mu}{\alpha} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - p - \frac{\tilde{k}}{f} \right) & \frac{\alpha}{2} - H(t) \leq p + \frac{\tilde{k}}{f} < \frac{\alpha}{2}. \end{cases} \quad (4)$$

Finally, the proportion of the demand that will not be served by the airline equals $1 - q_{\mu} - q_{FOF}$.

The airline demand function for the route AB via the hub H in the HS network structure is calculated similarly as (4) using the corresponding price denoted by P and the frequency denoted by f_{hs} . Keeping in mind that in the HS network structure passengers must take two flights between the airports A and B, the additional reduction in demand due to prolonged travel times must be taken into account. The demand expression for the route AB is therefore given by:

$$Q = Q_{\mu} + Q_{FOF} = \begin{cases} \frac{(1 - \mu)}{\alpha} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - P - 2 \cdot H(t) - \frac{\tilde{k}}{f} \right) + \frac{\mu}{\alpha} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - P - \frac{\tilde{k}}{f} \right), & P + \frac{\tilde{k}}{f} < \frac{\alpha}{2} - 2 \cdot H(t) \\ \frac{\mu}{\alpha} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - P - \frac{\tilde{k}}{f} \right), & \frac{\alpha}{2} - 2 \cdot H(t) \leq P + \frac{\tilde{k}}{f} < \frac{\alpha}{2}. \end{cases} \quad (5)$$



For a direct route, the required number of seats is given by $s_{pp}=q/(\eta f)$, while for an indirect route, the required number of seats is $s_{hs}=(Q+q)/(\eta f)$. We consider the empirical function of unit cost (cost per available seat mile, ϕ/ASM) which is determined from real-life data, (Babić and Kalić, 2018). The average costs decrease when the number of seats increases, indicating the existence of economy of scale on the level of an aircraft. The function of average cost for the flight i has the following form $CASM_i=b+c/s_i$, where $b, c > 0$. The total flight costs of operating the particular route i is then given by $TC_i=(b+c/s_i) \cdot s_i \cdot l_i \cdot f_i$. We note here that b is the transportation cost, while c is the segment-specific cost. Due to all specified assumptions and relations, it is evident that the proposed model takes into account both supply and demand. This follows from the insight that the airline's network choice directly affects both the airline and the passenger costs.

3.1. PP network structure

When the airline is serving the PP network structure, it operates on the three nonstop routes. The airline profit π_{pp} can be expressed in the form:

$$\pi_{pp} = 3 \cdot (q \cdot p_{pp}) - TC_{AB} - TC_{AH} - TC_{BH} = 3 \cdot q \cdot p_{pp} - 3 \cdot \left(\frac{b \cdot l \cdot q}{\eta} + c \cdot l \cdot f_{pp} \right) = 3 \cdot \left[q \cdot \left(p_{pp} - \frac{b \cdot l}{\eta} \right) - c \cdot l \cdot f_{pp} \right]. \quad (6)$$

We present the results for the first case in the form (4) of the demand q , when $p + \tilde{k} / f \leq \alpha / 2 - H(t)$. In the second case, results are similar. We are going to maximize the profit in (6) for the demand given in (4). Particularly, we are going to solve the system $\partial \pi_{pp} / \partial p_{pp} = 0$, $\partial \pi_{pp} / \partial f_{pp} = 0$ in terms of the unknowns p_{pp} and f_{pp} :

$$\frac{\partial \pi_{pp}}{\partial p_{pp}} = -\frac{3}{\alpha} \cdot \left(p_{pp} - \frac{b \cdot l}{\eta} \right) + 3 \cdot q = 0. \quad (7)$$

$$\frac{\partial \pi_{pp}}{\partial f_{pp}} = \frac{3 \cdot \tilde{k}}{\alpha \cdot f_{pp}^2} \cdot \left(p_{pp} - \frac{b \cdot l}{\eta} \right) - 3 \cdot c \cdot l = 0. \quad (8)$$

From the system (7)-(8) we obtain that f_{pp} is a solution of the equation

$$f_{pp}^3 - \frac{\tilde{k}}{2 \cdot \alpha \cdot c \cdot l} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - (1 - \mu) \cdot H(t) - \frac{b \cdot l}{\eta} \right) \cdot f_{pp} + \frac{\tilde{k}^2}{2 \cdot \alpha \cdot c \cdot l} = 0. \quad (9)$$

The equation (9) has the form of a depressed cubic equation $f_{pp}^3 - a f_{pp} + d = 0$ when we take

$$a = \frac{\tilde{k}}{2 \cdot \alpha \cdot l \cdot c} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - (1 - \mu) \cdot H(t) - \frac{b \cdot l}{\eta} \right) \quad \text{and} \quad d = \frac{\tilde{k}^2}{2 \cdot \alpha \cdot l \cdot c}. \quad (10)$$

Note that the free term d is positive. For $a > 0$ and $a^3 = 27 \cdot d^2 / 4$ the depressed cubic equation has a unique solution of the form $f_{pp}^* = \sqrt{a/3} = \sqrt[3]{d/2}$. Thus, we obtain

$$f_{pp}^* = \sqrt[3]{\frac{\tilde{k}}{6 \cdot \alpha \cdot c \cdot l} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - (1 - \mu) \cdot H(t) - \frac{b \cdot l}{\eta} \right)} = \sqrt[3]{\frac{\tilde{k}^2}{4 \cdot \alpha \cdot c \cdot l}}. \quad (11)$$

From (8) and (11) we obtain the price:

$$p_{pp}^* = \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - (1 - \mu) \cdot H(t) + \frac{5 \cdot b \cdot l}{\eta} \right) = \frac{b \cdot l}{\eta} + \sqrt[3]{\frac{\tilde{k} \cdot \alpha \cdot c \cdot l}{16}}. \quad (12)$$

The obtained pair $S(f_{pp}^*, p_{pp}^*)$ is indeed optimal because $d^2 \pi_{pp}|_S = -(6/\alpha) dp^2 + 6\tilde{k}/(\alpha f^2) dp df - 6cl/f df^2$ is negative in S . Note also that we can use (11) to express $H(t)$ in terms of the parameters of the model for the optimal frequency. Namely, $H(t) = 1/(1 - \mu) \cdot \left(\alpha/2 - bl/\eta - 3\sqrt[3]{\tilde{k}l\alpha c/2} \right)$ if the condition $\alpha/2 - bl/\eta \geq 3\sqrt[3]{\tilde{k}l\alpha c/2}$ is satisfied.

The optimal frequency under the PP network structure is decreasing with the cost induced by fear of flying and it becomes zero if the costs related to fear of flying and the transportation costs are sufficiently large so they will equalize the travel benefit. According to (12), the optimal profit-maximizing price p_{pp}^* will increase with increasing travel benefit α , transportation cost b , and route length l . It decreases if the load factor η and fear of flying cost $H(t)$ are increasing. Although the optimal price p_{pp}^* is higher on the longer routes, it does



not increase proportionally and the amount paid per mile for a short flight is higher than the amount paid per mile for a significantly longer flight. Thus, *ceteris paribus*, this implies that airlines offer the lowest price when seats are fully booked, i.e. $\eta=1$. As the load factor decreases, it is necessary to generate sufficiently large income from ticket sales to maximize the profit and this is possible only with higher prices. If the proportion of the consumer population without fear of flying, μ , increases this leads to an increase in optimal price p_{pp}^* and frequency f_{pp}^* . When $\mu=1$, i.e. there are no passengers with fear of flying, the optimal price p_{pp}^* and frequency f_{pp}^* have maximum values, since all additional costs related to the passenger's inconvenience during the flight are equal to zero.

3.2. HS network structure

When the airline chooses the HS network structure then all passengers in the network are served through the hub H. There are no nonstop flights between the airports A and B, and thus the passengers travelling on the route AB are served by two flights, AH and BH (Fig. 1b). The profit of the airline can be specified as:

$$\pi_{hs} = 2 \cdot q \cdot p_{hs} + Q \cdot P - TC_{AH} - TC_{BH} = 2 \cdot q \cdot p_{hs} + Q \cdot P - \frac{2 \cdot b \cdot l}{\eta} \cdot (q + Q) - 2 \cdot c \cdot l \cdot f_{hs} = 2 \cdot q \cdot \left(p_{hs} - \frac{b \cdot l}{\eta} \right) + Q \cdot \left(P - \frac{2 \cdot b \cdot l}{\eta} \right) - 2 \cdot c \cdot l \cdot f_{hs}. \quad (13)$$

We present here the case $p + \tilde{k}/f \leq \alpha/2 - 2 \cdot H(t)$. In order to maximize the airline profit, we first solve the system

$$\frac{\partial \pi_{hs}}{\partial p_{hs}} = 2 \cdot q - \frac{2}{\alpha} \cdot \left(p_{hs} - \frac{b \cdot l}{\eta} \right) = 0, \quad (14)$$

$$\frac{\partial \pi_{hs}}{\partial p_{hs}} = Q - \frac{1}{\alpha} \cdot \left(P - \frac{2 \cdot b \cdot l}{\eta} \right) = 0, \quad (15)$$

$$\frac{\partial \pi_{hs}}{\partial f_{hs}} = \frac{\tilde{k}}{\alpha \cdot f_{hs}^2} \cdot \left(2 \cdot p_{hs} + P_{hs} - \frac{4 \cdot b \cdot l}{\eta} \right) - 2 \cdot c \cdot l = 0. \quad (16)$$

We obtain that the optimal frequency has to be a solution of a depressed cubic equation

$$f_{hs}^3 - \frac{\tilde{k}}{4 \cdot \alpha \cdot c \cdot l} \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot \alpha - 4 \cdot (1 - \mu) \cdot H(t) - \frac{4 \cdot b \cdot l}{\eta} \right) \cdot f_{hs} + \frac{3 \cdot \tilde{k}^2}{4 \cdot \alpha \cdot c \cdot l} = 0. \quad (17)$$

This is again the problem of solving $f_{pp}^3 - a f_{pp} + d = 0$ with the coefficients of the form

$$a = \frac{\tilde{k}}{4 \cdot \alpha \cdot c \cdot l} \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot \alpha - 4 \cdot (1 - \mu) \cdot H(t) - \frac{4 \cdot b \cdot l}{\eta} \right) \quad \text{and} \quad d = \frac{3 \cdot \tilde{k}^2}{4 \cdot \alpha \cdot c \cdot l}, \quad (18)$$

where the free term d is positive. Thus, if $a > 0$ and $a^3 = 27 \cdot d^2/4$ the equation (17) has one positive real solution

$$f_{hs}^* = \sqrt[3]{\frac{\tilde{k}}{12 \cdot \alpha \cdot c \cdot l} \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot \alpha - 4 \cdot (1 - \mu) \cdot H(t) - \frac{4 \cdot b \cdot l}{\eta} \right)} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \tilde{k}^2}{8 \cdot \alpha \cdot c \cdot l}}. \quad (19)$$

Then, by replacing (19) in the expressions (14) and (15) we obtain:

$$p_{hs}^* = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - (1 - \mu) \cdot H(t) + \frac{b \cdot l}{\eta} - 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{\tilde{k} \cdot \alpha \cdot c \cdot l}{3}} \right) \quad \text{and} \quad P^* = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} - 2 \cdot (1 - \mu) \cdot H(t) + \frac{2 \cdot b \cdot l}{\eta} + 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{\tilde{k} \cdot \alpha \cdot c \cdot l}{3}} \right). \quad (20)$$

Since $d^2 \pi_{hs}|_S = (-4/\alpha d p^2 - 2/\alpha d P^2 - 6cl/f d f^2 + 4\tilde{k}/\alpha f^2 d p d f + 2\tilde{k}/\alpha f^2 d P d f)|_S < 0$ then the obtained solution $S(p_{hs}^*, P^*, f_{hs}^*)$ is a local maximum We use (19) to express:

$$H(t) = \frac{1}{4 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left(\frac{3 \cdot \alpha}{2} - \frac{4 \cdot b \cdot l}{\eta} - 3 \cdot \sqrt[3]{9 \cdot \tilde{k} \cdot \alpha \cdot c \cdot l} \right). \quad (21)$$

when the optimal solution is reached. Also, in order to reach the optimal solution S , the condition $3 \cdot \alpha/2 - 4 \cdot b \cdot l/\eta \geq 3 \cdot \sqrt[3]{9 \cdot \tilde{k} \cdot \alpha \cdot c \cdot l}$ has to hold. The optimal components p^* and P^* can be written in the forms

$$p_{hs}^* = \frac{\alpha}{16} + \frac{b \cdot l}{\eta} + \frac{1}{8} \sqrt[3]{\frac{\tilde{k} \cdot \alpha \cdot c \cdot l}{3}} \quad P^* = \frac{2 \cdot b \cdot l}{\eta} - \frac{\alpha}{8} + \frac{5}{4} \sqrt[3]{\frac{\tilde{k} \cdot \alpha \cdot c \cdot l}{3}}. \quad (22)$$



The effect of change in each of the parameters (α , l , k , c , δ and η) on the maximized value of the airline profit, as well as on the optimal values of p^* , P^* and f_{hs}^* , for the HS network structure is very similar to the results obtained for the PP network structure. It can be noticed that the effects of change of the parameter b is stronger for the HS network structure when it comes to the change of optimal values of variables and airline profit. The profit-maximizing price on indirect route AB, P^* , is higher than p^* due to the extended duration of the travel, which directly induces additional cost caused by the existence of the fear of flying, as well as the transportation costs, b (two flights instead of one). Moreover, the price P^* on the indirect route AB declines faster comparing to the optimal price p_{pp}^* on the direct route AB, because of the higher influence of $H(t)$. For $\alpha > 8 \cdot b \cdot l / \eta + 2 \cdot \sqrt[3]{k \alpha l / 16}$, it results in $P^* < p_{pp}^*$. The optimal frequency f_{hs}^* is higher under the HS structure than under the PP structure if the condition $\alpha > 4 \cdot (1 - \mu) \cdot H(t) + 4 \cdot b \cdot l / \eta$ is satisfied. Otherwise, the frequency under the HS structure will be lower. This can happen when the cost of the fear of flying is too high or too many passengers are affected by the fear (low μ). Comparing the prices p_{pp}^* and p_{hs}^* we conclude that local passengers pay a higher price under the HS structure. This is not affected by the change of the costs of the fear of flying. Finally, we compare the passenger demand that will fly under the both network structures with the offered prices and frequencies. The analysis shows that while all local passengers are served q , connecting passengers Q with high cost of fear of flying and transport cost may not be served. When the proportion of the consumer population μ without fear of flying is increasing, the optimal prices p_{hs} , P and frequency f_{hs} are also increasing. For $\mu = 1$, the optimal prices p_{hs} , P and frequency f_{hs} have maximum values, since all the additional costs related to the passenger's inconvenience during the flight are equal to zero. This increase is greater in comparison to the case when the PP network structure is applied, indicating greater impact of the fear of flying in the HS network.

5. CONCLUSION

In this paper, we provide a new approach to network-based, scheduling decisions of an airline. The present analysis shows that flight frequency is higher under the HS structure than in the PP structure, confirming the results obtained in our previous work. The local passengers pay higher prices under the HS structure, but the prices paid by the connecting passengers could be higher or lower than the prices under the PP structure which is driven by the cost influenced by the presence of the fear of flying. The analysis shows, however, that some passengers who could make connecting trips under the HS structure may find the existing flights not sufficiently convenient given their long durations (high cost of fear of flying) and fares charged.

Acknowledgement

This research is partially supported by the project TR36033 financed by the Ministry of Education, Science and Technological Development, Republic of Serbia, and a Research Grant for Austrian Graduates supported by the Office of the Vice Rector for Research, University of Innsbruck.

REFERENCES

- [1] Babić, D., & Kalić, M. (2018). Modeling the selection of airline network structure in a competitive environment. *Journal of Air Transport Management*, 66, 42–52.
- [2] Brueckner, J. (2004). Network structure and airline scheduling. *The Journal of Industrial Economics* LII (2), 291-312.
- [3] Babić, D., Begović, B., & Levajković, T. (2017). From loyalty to fear: passengers' preferences and their impact on the airline network structure. *XLIV International Symposium on Operational Research, (SYM-OP-IS 2017)*, 765-770.
- [4] Flores-Fillol, R. (2009). Airline competition and network structure. *Transportation Research Part B: Methodological*, 43 (10), 966-983.
- [5] Lazarev, J. (2013). The welfare effects of intertemporal price discrimination: An empirical analysis of airline pricing in U. S. monopoly markets. Mimeo, Graduate School of Business, Stanford University.
- [6] Oum, T.H., Zhang A., & Zhang Y. (1995). Airline Network Rivalry. *The Canadian Journal of Economics*, 28(4a), 836-857.



- [7] Silva, H. E., Verhoef, E. T., & Van den Berg, V. A. C. (2014). Airline route structure competition and network policy. *Transportation Research Part B: Methodological*, 67, 320-343.
- [8] Swan, W. M. (1979). A system analysis of air transportation scheduled networks. *Flight Transportation Laboratory Report R79-5*, Massachusetts Institute of Technology.
- [9] Takebayashi, M. (2013). Network competition and the difference in operating cost: Model analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 57, 85-94.
- [10] Van Gerwen, L.J., Diekstra, R.F.W., Arondeusa, J.M., & Wolfgerc, R. (2004). Fear of flying treatment programs for passengers: an international update. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 2(1), 27-35.



MODELLING OF RUNWAY EXCURSIONS WITH BAYESIAN BELIEF NETWORKS

DOROTEJA TIMOTIĆ¹, FEDJA NETJASOV²

University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering,

¹dorotejatimotic@gmail.com, ²f.netjasov@sf.bg.ac.rs

Abstract: Causal methods of aircraft and air traffic management operations establish the theoretical framework of causes that might lead to aircraft incidents and accidents. Bayesian Belief Networks (BBN) belongs to quantitative class of causal methods. It is a method based on probability theory, which has been developed to improve understanding of the impacts of different causes on the risk of aircraft incidents and accidents. It is intended for modelling dependencies. BBN estimate the probability of occurrence of each cause and hence estimate the risk of incident or accident. It might be restricted to pure statistical analysis based on the available data or combine these data with expert judgment (personal beliefs) on the accident causes. In this paper an application of BBN on Runway Excursion (RE) events is presented. RE is one of the main safety issues in today's air transport system. It 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. In order to illustrate BBN application on RE, two models were developed: one for landing and other for take-off. A numerous causal factors were identified as well as their mutual dependencies. Quantification of BBN is done by combining available statistics with personal beliefs.

Keywords: Airport Safety, Runway Excursion, Causal Modelling, Bayesian Belief Networks.

1. INTRODUCTION

Air transport is a complex socio-technical, safety-critical system involving a complicated, interlinking distributed network of human operators, procedures and technical/technological systems. These factors make the provision of a socially acceptable level of safety difficult. Due to the potentially severe consequences of accidents, safety has always been considered an issue of greatest importance in the sector (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.

The research presented in this paper focuses on the investigation of causes of RE events. Identification of potential causal factors and their interdependencies is a first step in understanding of mechanism of creation of RE events. A specific modelling formalism called Bayesian Belief Network (BBN) was chosen among different methods and is presented in this paper. Although BBN are already used in the filed of air transport safety since 2000s (Roelen *et al.* 2003; Greenberg *et al.* 2005; Luxhoj and Coit, 2006) evidences on its use for RE modelling haven't been found.

2. CAUSAL METHODS/MODELS

Causal methods of aircraft and air traffic control/management (ATC/ATM) operations establish the theoretical framework of causes that might lead to aircraft incidents and accidents. This category deals with failures of particular technical systems and components resulting in the aircraft crash. The failures can be due to many interrelated causes and happen either in the aircraft or at ATC/ATM (Netjasov and Janic, 2008; Netjasov, 2016).

These methods/models can be qualitative or quantitative. The former provide a diagrammatic or hierarchical description of the factors that might cause accidents. They are useful for improving understanding of causes of accidents and proposing preventive interventions. Some of the methods/models in this category are: Root Cause Analysis, Common Cause Analysis, Ishikawa Diagram, Failure Mode and Effect Analysis, etc. The later estimate the probability of occurrence of each cause and hence estimate the risk of accident. They



might be restricted to pure statistical analysis based on the available data or combine these data with expert judgment on the accident causes. In addition, they can estimate the relative benefits of different interventions aiming at preventing accidents in the future. Some of the methods/models in this category are: Fault Tree Analysis, Event Tree Analyses, Bayesian Belief Networks, Petri Nets, etc. Increasingly interesting causal methods/models have mainly been used for (Netjasov and Janic, 2008; Netjasov, 2016):

- better understanding of effects of different influencing factors on level of risk;
- evaluation of overall risk, risk communication, and cost-benefit analysis of new technologies;
- training of aviation staff and identification of system components that could be improved; and
- identifying critical causes of the aircraft accident as well as measures for reducing risk.

The causal methods/models are data driven and highly dependant in their quality on the one hand and the expert judgment about combinations of particular causal factors of the air traffic accidents on the other. Quantification of these methods/models has appeared extremely difficult and time consuming mainly due to the complexity of combinations of causal factors leading to possible accidents.

In addition, calculation of probabilities and conditional probabilities in situations where dependencies between particular causal factors have not completely been known further complicates quantification of the methods/models. One important problem has been the cumulative nature of these methods/models, which could make assessment of particular probabilities difficult due to the large number of causal factors and their combinations (Netjasov and Janic, 2008; Netjasov, 2016).

3. BAYESIAN BELIEF NETWORKS

Bayesian Belief Networks (BBN) is a method based on probability theory, which has been developed to improve understanding of the impacts of different causes on the risk of aircraft accidents (originating from mid of 1980's, applied in aviation filed at beginning of 2000's) (Netjasov and Janic, 2008; Netjasov, 2016).

The method is supposed to capture the wide range of failures of aviation systems both qualitatively and quantitatively and thus provide rather objective and unambiguous information on the state of system safety relevant for the managerial decisions. It is intended for modelling dependencies. The method has been applied as a decision-support tool to calculate effects of specific changes to the aviation system on the overall risk as well as support in developing a proactive policy by providing an insight into the effects of anticipated system changes on risk (Netjasov and Janic, 2008; Netjasov, 2016).

BBNs as probabilistic models are able to cater for uncertain expert knowledge in their representation and reasoning. The knowledge in these models is represented by causal relationships between variables and their associated probability measures. These probability measures may be based on: classical probabilities, Bayesian probabilities, or a combination of both (Krieg, 2002; Netjasov and Janic, 2008; Netjasov, 2016). **Classical probability** relies upon repeated trials to determine physical probabilities for particular events. This requires the processing of substantial quantities of data that may not always be available. The alternative Bayesian approach uses the degree of a person's belief that an event will occur, rather than the actual probability that the event will occur. These probabilities are known as **Bayesian probabilities** and are properties of the person, not the event (Krieg, 2002).

BBNs are graphical models that effectively model the knowledge domain, as opposed to rule based systems that model the expert. They provide a useful tool for inferring hypotheses from the available information by transmitting probabilistic information from the data to various hypotheses (Krieg, 2002).

The benefits of BBNs are following (Neil *et al.* 2003; Fenton and Neil, 2007):

- Provides a sound method for reasoning under uncertainty.
- Permit the combining of diverse data, including subjective beliefs and empirical data.
- Predictions can still be secured even when evidence is incomplete.
- Permits powerful "what-if" analysis to test the sensitivity of conclusions.
- Incorporate a visual reasoning tool, which aids documentation and explanation.

4. BBN STRUCTURE

BBNs belong to the class of probabilistic graphical model, i.e. they present a combination of the two fields: probability theory and graph theory. This combination makes them a powerful methodology within statistics enabling modelling of complicated, socio-technical systems (Greenberg *et al.* 2005).



BBN is a directed, acyclic graph, where **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. Simple example has been shown in Figure 1. *A* has influence on *B*, so the probability distribution of *B* is conditional on *A*. Probabilities of *B* are given in conditional probability table (CPT) attached to the node *B*. Further on, *B* has influence on *C* and *D*, so their probability distributions are conditional on *B*. CPTs attached to the nodes *B*, *C* and *D* represent knowledge or beliefs about certain outcome, e.g. there is a belief (based on some experience or evidences) that $P(B/A) = 0,99$ in case that *A* is false and *B* is true (Wong, 2005; Greenberg *et al.* 2005).

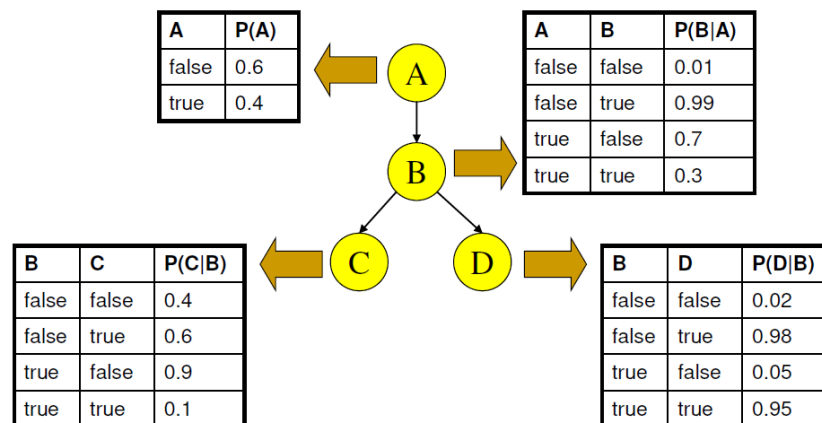


Figure 1. BBN (with four nodes: A, B, C, D) with conditional probability tables attached (Wong, 2005)

BBNs are used to determine or infer the posterior marginal probability distributions for the variables of interest, given the observed information. The causal relationships in BBN allow the correlation between variables to be modelled and predictions to be made, even when direct evidence or observations are unavailable. BBN also blend prior knowledge with the data through the use of both prior probabilities and conditional probabilities. These characteristics of BBN give them an advantage over classical probability techniques (Krieg, 2002).

Using a BBN to compute probabilities is called **inference**. If x_i denotes some value of the random variable X_i and pa_i denotes some set of values for the parents of X_i , then $P(x_i|pa_i)$ denotes this conditional distribution. The global semantics of BBN specifies that the full joint distribution is given by the product (Russell and Norvig, 2010; Barber, 2012):

$$P(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n P(x_i / pa_i) \tag{1}$$

The key feature of BBNs is that they enable modelling and reasoning about uncertainty. Having entered the probabilities one can use Bayesian probability to do various types of analysis. Bayesian probability is all about revising probabilities in the light of actual observations of events. Entering evidences and update of the probabilities in this way is called **propagation**. Classical statistics alone does not enable such a reasoning and “what-if” analysis (Fenton and Neil, 2007).

5. BBN MODEL OF RUNWAY EXCURSION EVENTS

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. In order to illustrate BBN application on RE, two models were developed: one for landing and other for take-off. There are two basic stages in the formation of a BBN, building the structure or topology (qualitative model - graph) and the determination of the CPTs (quantitative



5.2. Quantitative BBN models

Calculations of probabilities may become intractable and complex for large numbers of dependencies. The approach suggested to deal with this complexity is to create a number of smaller sub-models that are manageable and to connect them together to form a BBN (Greenberg *et al.* 2005). This logic was followed in the research presented in this paper by creating five sub-models each representing one category of causal factors.

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 is given in Figure 3 (basis for this figure is Figure 1 - left; similarly is made for RE in take-offs).

Example of CPT for RE landings is shown in Figure 4. Probability of RE landings depends on four nodes: Weather issues, Airport issues, Aircraft error and Pilot error. Values presented in this Figure present beliefs of true or false outcome. How to interpret those values? E.g., related to second row in CPT - in case that weather issue, airport issue and aircraft issue exist but not a pilot error than there is a 75% chance that RE during landing will occur.

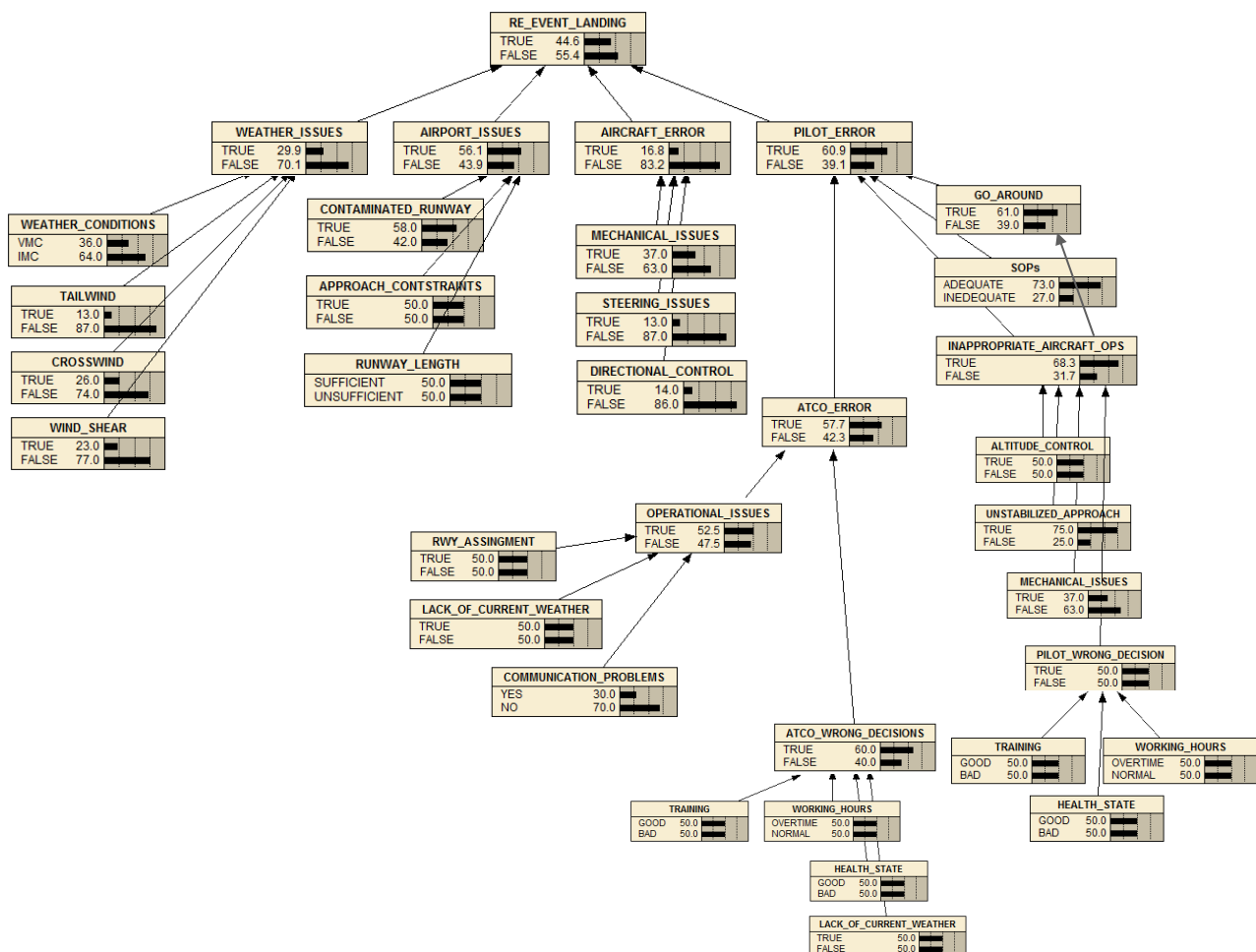


Figure 3. Quantified BBN for RE in landings

WEATHER_ISSUES	AIRPORT_ISSUES	AIRCRAFT_ISSUE	PILOT_ERROR	TRUE	FALSE
TRUE	TRUE	TRUE	TRUE	100	0
TRUE	TRUE	TRUE	FALSE	75	25
TRUE	TRUE	FALSE	TRUE	75	25
TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	50	50
TRUE	FALSE	TRUE	TRUE	85	15
TRUE	FALSE	TRUE	FALSE	50	50
TRUE	FALSE	FALSE	TRUE	60	40
TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	15	85
FALSE	TRUE	TRUE	TRUE	75	25
FALSE	TRUE	TRUE	FALSE	50	50
FALSE	TRUE	FALSE	TRUE	60	40
FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	25	75
FALSE	FALSE	TRUE	TRUE	75	25
FALSE	FALSE	TRUE	FALSE	50	50
FALSE	FALSE	FALSE	TRUE	25	75

Figure 4. Conditional probability table for RE landings (top node in Figure 3)

6. CONCLUSION

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, an application of Bayesian Belief Network method on Runway Excursion events is presented. BBNs belong to the class of causal methods and provide a sound method for reasoning under uncertainty. They combine two fields: probability theory and graph theory, which makes them a powerful methodology enabling modelling of complicated, socio-technical systems.

Development of two BBN models for RE events is presented: landing and take-off. Both qualitative and quantitative models are presented. Five groups of causal factors are identified as well as their mutual dependencies enabling construction of qualitative model – a graph. In order to deal with higher complexity due to large number of dependencies, quantitative models are built by creating five sub-models each presenting one category of causal factors.

Developed BBN models are just a first step. Further step is to use BBN models to show contribution of each causal factor (through sensitivity analysis) to final RE event probability and to identify most critical factors. Such results could help decision makers to create certain RE risk reduction and mitigation measures.

Acknowledgement

This research has been supported by the Ministry of Education and Science, Republic of Serbia, 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] Engel, P., Gustavsson, K., Schad J. (2008). Bayesian Belief Networks. Linkoping University, Sweden
- [6] Fenton, N., Neil, M. (2007). Managing Risk in the Modern World Applications of Bayesian Networks. London Mathematical Society, UK
- [7] Greenberg, R., Cook, S. C., Harris, D. (2005). A civil aviation safety assessment model using a Bayesian belief network (BBN), *The Aeronautical Journal*, 109 (1102), 557-568.
- [8] Krieg, M. L., (2002) A Tutorial on Bayesian Belief Networks. DSTO Electronics and Surveillance Research Laboratory, Australia.
- [9] Luxhoj, J., Coit, D. (2006). Modeling low probability/high consequence events: an aviation safety risk model. In: *Proceedings of the 2006 Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, Newport Beach.
- [10] Neil, M., Malcolm, B., Shaw, R. (2003). Modelling an Air Traffic Control Environment Using Bayesian Belief Networks, RADAR Group, University of London, UK.
- [11] Netjasov, F., Janic, M. (2008). A Review of Research on Risk and Safety Modelling in Civil Aviation, *Journal of Air Transport Management*, 14, 213-220.
- [12] Netjasov, F., (2016). *Methods for Risk and Safety Assessment of Air Navigation*. (2nd ed.). Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade.
- [13] Russell, S., Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, (3rd ed.). Prentice Hall.
- [14] Roelen, A.L.C., Wever, R., Cooke, R.M., Lapuhaa, R., Hale, A.R., Goossens, L.H.J. (2003). Aviation causal model using Bayesian belief nets to quantify management influence. In: *Proceedings of ESREL 2003—European Safety and Reliability Conference*. Maastricht.
- [15] Wong, W. K. (2005). *Bayesian Networks: A Tutorial*, Oregon State University, USA.



ANALIZA BEZBEDNOSTI PRUŽNIH PRELAZA U SRBIJI PRIMENOM DEA METODE

SAFETY ASSESSMENT OF RAILWAY CROSSINGS IN SERBIA USING DEA METHOD

SAŠKA GRUJIĆ¹, MILENA POPOVIĆ², GORDANA SAVIĆ³, DRAGAN PAMUČAR⁴

¹²³ Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, grujic.saska.grujic@gmail.com; milenap@fon.bg.ac.rs; goca@fon.bg.ac.rs

⁴ Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, dpamucar@gmail.com

Rezime: Analiza bezbednosti saobraćaja i sagledavanje trenutnog stanja ocene bezbednosti pružnih prelaza omogućava i sagledavanje vrednosti svih pokazatelja bezbednosti saobraćaja, prepoznavanje najbolje prakse i definisanje ciljeva. Imajući u vidu da parametri najčešće nisu direktno uporedivi, ocena bezbednost pružnih prelaza se vrši na osnovu uslova koji se mogu zateći na istim. U ovom radu korišćena je DEA metoda za komparativnu analizu bezbednosti ukrstanja putnih prelaza sa pružnim u Srbiji gde su se dogodile saobraćajne nesreće u periodu od 2005. do 2014. godine. Na osnovu rezultata, identifikovane su relativno efikasne i neefikasne operativne jedinice; otkriveni su uzroci neefikasnosti za sve neefikasne; izvršeno je rangiranje. S obzirom na sve veći broj saobraćajnih nezgoda, odnosno broj povređenih i poginulih osoba u budućnosti, ukazivanjem na izvore slabosti, očekuje se veći stepen odgovornosti kako učesnika u saobraćaju tako i nadležnih za osiguravanje bezbednosti kritičnih deonica.

Ključne reči: Analiza obavljanja podataka, bezbednost pružnih prelaza, bezbednost saobraćaja, empirijska studija.

Abstract: The analysis of road safety and the perception of the current state of the safety of railway crossings allows: evaluation of the values of all traffic safety indicators, identification of best practices and provide a more comprehensive definition of goal setting. Bearing in mind that the parameters are not directly comparable, the assessment of the safety of railway crossings is considered on the basis of the available data. In this paper, we used DEA method for the comparative analysis of the crossing railway traffic in Serbia, where traffic accidents occurred in the period from 2005 to 2014. Based on the results, relatively efficient and inefficient operating units were identified; common causes of inefficiency; ranking was done. The increasing number of traffic accidents, the number of injured and dead persons in the future, by pointing to sources of weakness, a higher degree of responsibility is expected for both road users and those responsible for ensuring the safety of critical road parts.

Keywords: Data Envelopment Analysis, safety of railway crossings, road safety, empirical study.

1. UVOD

Sve brži razvoj nauke i tehnologije donosi velike promene u život čoveka. Život je brži, zahtevi sve veći i kompleksniji, a vremena je sve manje. Razvoj saobraćaja je karika u razvoju civilizacije koja je omogućila prevoz ljudi i dobara skraćujući vreme putovanja i čineći prostor zanemarljivim. Pored značajnih prednosti saobraćaj je doneo i niz problema čovečanstvu. Po stepenu ugroženosti posebno su izražene saobraćajne nezgode, a one opterećuju savremeno čovečanstvo ogromnim gubicima u pogledu ljudskih i materijalnih resursa. Pojedine lokacije na putevima su po svojoj prirodi posebno opasne i kao takve izazivaju povećan rizik od nastanka saobraćajnih nezgoda. U te lokacije spadaju mesta na kojima se put, kao deo drumske infrastrukture, ukršta u nivou sa prugom kao delom železničke infrastrukture. Ovaj deo saobraćajne površine zapravo, istovremeno služi i drumskom i železničkom saobraćaju. U periodu i nakon modernizacije drumskog i železničkog saobraćaja prelazi su postali znatno opasniji. Brzina vozila koja su se kretala „starim“ kolovozom bila je mala pa su vozači imali više vremena da se uvere da li mogu bezbedno da prođu taj deo puta. Rekonstrukcija puta, savremeni kolovozni zastor (asfalt), praćeni su povećanjem brzina i broja vozila na putu. Mnogi vozači nerado smanjuju brzine i menjaju stepen prenosa tako da sa većom brzinom, a to znači i manjom pažnjom, prelaze preko prelaza (Jovanović & Opsenica, 2000). Modernizacija je takođe, dovela do bržih vozova koji imaju, samim tim, duži period kočenja, a pri znatno većim brzinama teže je uočiti prepreke na



šinama. Sve ovo rezultovalo je, nažalost velikim brojem povređenih i usmrćenih lica na pružnim prelazima, ali i velikim novčanim štetama (WHO, 2013).

Razlike u performansama bezbednosti saobraćaja su i dalje prisutne između različitih teritorijalnih jedinica na svim posmatranim nivoima. Evans (Evans, 2004) ističe da svaki pokazatelj daje neku novu-različitu informaciju koja vodi do neke nove mere izloženosti. Stoga je izbor metode koja će omogućiti višekriterijumsku analizu, ocenu efikasnosti kroz sve indikatore od presudnog značaja za analizu bezbednosti saobraćaja. Jedan od najpoznatijih tehnika matematičkog programiranja za merenje efikasnosti kompleksnih entiteta sa raznorodnim ulazima/izlazima je Analiza obavijanja podataka (*Data Envelopment Analysis – DEA*). Ona omogućuje da se utvrdi da li je jedinica o kojoj se odlučuje (*Decision Making Unit - DMU*) efikasna ili nije, relativno prema drugim DMU uključenim u analizu. Pored toga, može se zaključiti koliko je potrebno da se smanji određeni ulaz i/ili poveća određeni izlaz da bi ove jedinice postale efikasne (Charnes i koautori, 1978). Glavna prednost DEA metode u odnosu na druge metode koje određuju efikasnost je da težina ulaza i izlaza ne treba da bude poznata a priori.

U ovom radu DEA metoda će biti korišćena za analizu efikasnost 12 operativnih jedinica koje predstavljaju najbliže gradove u kojima su desile nesreće na ukrštanju putnog i pružnog prelaza u Srbiji periodu od 2005. pa sve do 2014. godine. Pod pretpostavkom da se ulazi, odnosno zatečeno stanje na mestu nesreće, ne može dodatno poboljšavati, a teži se smanjenju broja nesreća, biće korišćen izlazno orijentisan model koji za cilj ima maksimizaciju izlaza pri zadatom nivou ulaza, a neefikasna jedinica postaje efikasna kroz povećanje svojih izlaza.

Rad je organizovan na sledeći način: u drugom poglavlju opisani su osnovni nedostaci uočeni na pružnim prelazima u Srbiji. Sledi poglavlje u kome je detaljno opisana teorijska osnova DEA i CCR model. U četvrtom poglavlju prikazana je emirijska studija, u kojoj je prvo definisan cilj i parametri, a potom je dat prikaz rezultata. U poslednjem poglavlju izložene su diskusija i zaključna razmatranja.

2. BEZBEDNOST SAOBRAĆAJA NA PRUŽNIM PRELAZIMA - NEDOSTACI

Analizom bezbednosti saobraćaja u zonama najugroženijih prelaza puta preko pruge, utvrđeni su opšti nedostaci koji utiču na bezbedno odvijanje saobraćaja na svim prelazima. Ovi nedostaci odnose se na:

1. **Upravljanje brzinama.** Osnovni nedostatak bezbednog odvijanja saobraćaja predstavlja postojeće ograničenje brzine kretanja koje je izvršeno u skladu sa opštim ograničenjem u zavisnosti od lokacije prelaza, umesto da se uvede dodatno ograničenje maksimalno dozvoljene brzine kretanja u zonama prelaza, zato što oni predstavljaju potencijalno opasna mesta na putu gde je značajno ugroženo bezbedno odvijanje saobraćaja.
2. **Saobraćajni znakovi** koji se standardno koriste za najavu prelaza puta preko pruge, čak i kada su zadovoljavajućeg kvaliteta i kada su usklađeni sa važećim pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji, nisu dovoljno uočljivi i ne daju potreban efekat kojim će se ostvariti potrebna „naglašenost zone prelaza puta preko pruge“.
3. **Oznake na kolovozu.** Na najvećem broju analiziranih najugroženijih pružnih prelaza, odnosno na njihovim prilazima je najčešće obeležena neisprekidana razdelna linija, dok ivične linije nisu obeležene. Na svim najugroženijim prelazima oznake na kolovozu su izvedene bojenjem kolovoza bez primene debeloslojnih plastičnih ili aplikativnih materijala sa retroreflektujućim svojstvima. Osnovni nedostatak bojenja kolovoza proizilazi iz trajnosti i nedovoljne vidljivosti ovako izvedenih oznaka, kao i potrebe za učestalim redovnim održavanjem koje se veoma često ne vrši u skladu sa propisima, a usled čega oznake na kolovozu nisu dovoljno uočljive i ne daju potreban efekat kojim će se ostvariti potrebna „naglašenost zone prelaza puta preko pruge“.
4. **Preglednost na prilazima prelazu.** Na najvećem broju analiziranih najugroženijih prelaza, odnosno na njihovim prilazima, preglednost je ugrožena zbog visokog i srednjeg rastinja pored pruge i puta, usled izgrađenih objekata koji se nalaze na prilazima pružnim prelazima, kao i usled objekata koji se koriste za upravljanje sistemima za osiguranje prelaza.
5. **Javno osvetljenje.** Osnovni nedostatak neosvetljenih ili nedovoljno osvetljenih prelaza puta preko pruge bez obzira da li su položeni u naseljenom mestu ili van naseljenog mesta, javlja se u noćnim uslovima i u uslovima slabije vidljivosti (magla, kiša i sl.) kada ne postoji potrebna „osvetljenost i naglašenost zone prelaza puta preko pruge“.



Osim navedenih, jedan od najznačajnijih nedostataka sistema za osiguranje bezbednog saobraćaja na prelazima puta preko pruge koji se vrši automatskim polubranicama sa svetlosnim saobraćajnim znacima i saobraćajnim znacima na putu, predstavlja mogućnost prolaza, odnosno „provlačenja“ drumskih vozila između spuštenih polubranika. Veliki broj neodgovornih vozača odlučuje se za ovakav korak, ne procenivši situaciju na vreme i kako treba. Nedostatak predmetnog sistema za osiguranje bezbednog saobraćaja na prelazima pute preko pruge, takođe, predstavlja prolaz drumskih vozila preko pruge u periodu od uključenja semafora do početka spuštanja polubranika. Veliki broj vozača tako ostane „zarobljeno“ između dve rampe (polubranika) gde zbog panike, ovakva situacija najčešće rezultuje smrtnim ishodom.

3. ANALIZA OBAVIJANJA PODATAKA - DEA

DEA se može smatrati specijalno dizajniranom neparametarskom tehnikom za merenje efikasnosti kompleksnih entiteta sa raznorodnim ulazima i izlazima (Charnes i koautori, 1978). Na osnovu rezultata ovakve analize može se odrediti koliko su pojedine jedinice o kojima se odlučuje - DMU neefikasne u odnosu na jedinice koje su efikasne, odnosno da li se nalaze na granici efikasnosti. Pretpostavimo da imamo populaciju od n DMU. Svaka od ovih jedinica generiše količinu od s izlaza trošeći količinu od m ulaza. Suština DEA modela u određivanju efikasnosti jedinice k -te DMU leži u maksimizaciji njenog stepena efikasnosti. Međutim, stepen efikasnosti bilo koje jedinice populacije ne sme biti veći od 1, i težinski koeficijenti ulaza i izlaza moraju biti veće od nule (Vincová, 2005).

Poznate vrednosti parametra su

- x_{ij} – iznos ulaza i -te vrste, za j -tu DMU;
- y_{rj} – iznos izlaza r -te vrste, za j -tu DMU.

Nepoznati parametri:

- h_k – relativna efikasnost k -te DMU;
- u_r – težinski koeficijent za izlaz r ;
- v_i – težinski koeficijent za i -ti ulaz.

Osnovni CCR model za određivanje efikasnosti jedinice se može definisati na sledeći način (1):

$$\begin{aligned} \min h_k &= \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \\ \text{st} & \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} &= 1 \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, k, \dots, n \\ v_i &\geq \varepsilon, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ u_r &\geq \varepsilon, \quad r = 1, 2, \dots, s \end{aligned} \quad (1)$$

Korišćenjem DEA modela za analizu efikasnosti se ne koristi samo za ocenjivanje efikasnosti jedinica o kojima se odlučuje. Pomoću ove metode, moguće je utvrditi koliko je potrebno da se smanji određeni ulaz i/ili poveća određeni izlaz da bi ove jedinice postale efikasne. Ciljane vrednosti ulaza i izlaza računaju se korišćenjem formula (2):

$$\begin{aligned} X_k^* &= Z_k^* X_k - s^{-*}, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ Y_k^* &= Y_k + s^{+*}, \quad r = 1, 2, \dots, s \end{aligned} \quad (2)$$

gde su X_k^* i Y_k^* vektori ciljanih vrednosti ulaza i izlaza sa kojima bi k -ta DMU postala efikasna (Savić, 2012).

DEA zauzima značajno mesto u domenu opšte poznatih tehnika za ocenu bezbednosti saobraćaja. Poređenje zemalja u pogledu performansi bezbednosti na putevima je široko zastupljeno u studijama radi boljeg razumijevanja sopstvene bezbednosne situacije i učenja od onih najuspešnijih zemalja ukazujući na praktične ciljeve i formulisanje akcionih programa. U vezi sa tim podaci kao što su broj smrtnih slučajeva na putevima, uglavnom se posmatraju kao jedan od važnih parametara. Shen i koautori (2012) su u svojoj studiji koristili tabele ukrštene efikasnosti (model DEA-RS) kako bi izračunali efikasnost 27 država EU u bezbednosti saobraćaja i kako bi pružili sveobuhvatnu sliku bezbednosti na putu.



Hermans i koautori (2008) su koristili DEA da bi odredili težinske faktore svakom indikatoru bezbednosti saobraćaja. Sprovedena studija imala je za cilj rangiranje zemalja EU na osnovu broja smrtnih slučajeva na milion stanovnika. Naredne godine Hermans i koautori (2009) sprovode novu studiju gde opet porede 21 državu EU sa šest ulaznih parametara (vožnja „pod uticajem“, briga o povređenima, brzina, zaštita sistema, infrastruktura i broj vozila). Oni identifikuju dobre i loše aspekte bezbednosti na putevima za svaku zemlju.

Intenzivni ekonomski rast u južnoj Americi u poslednjih nekoliko decenija i njegov posledični proces eksplozivne motorizacije dokazali rastući i neprekidan trend u broju saobraćajnih neseća. U cilju doprinosa dijagnozi sigurnosti na nacionalnom nivou, Bastos i koautori (2015) su radili ocenu efikasnosti saobraćaja u Brazilu. Autori su zaključili da korišćenjem indikatora smrtnosti može se dobiti pouzdano rangiranje, što je važno za planiranje sigurnosti na nivou cele zemlje.

4. EMPIRIJSKA STUDIJA

Analiza bezbednosti pružnih prelaza u Srbiji zahtevala je analizu i sistematizaciju podataka o 2132 pružna prelaza u periodu od 2005. pa sve do 2014. godine. Ukupan broj nesreća koje su se u tom periodu dogodile je 117. Ukupno je usmrćeno 101 lice, od čega 13 pešaka, 5 biciklista i motociklista, čak 55 vozača i 28 putnika. Povređenih je bilo 255, od čega 7 pešaka, 6 biciklista, 159 vozača, 79 putnika i 4 železnička radnika. U nesrećama je učestvovalo 11 bicikala i motocikala, 171 putnički automobil, 16 kamiona, 3 autobusa i 28 traktora. Sve navedene nesreće prouzrokovale su novčanu štetu od čak 15.202.960 dinara.

Analiza je urađena za 12 operativnih jedinica (DMU), koje predstavljaju najbliže gradove u kojima su prijavljivane nesreće koje su se u posmatраних devet godina desile (Tabela 2). Za ocenu efikasnosti korišćen je klasičan izlazno orijentisan CCR model, a parametri su:

Ulazi:

1. Prosečan broj koloseka – U1
2. Ocena kategorije kolovoza – U2
3. Prosečan trougao vidljivosti – U3

Izlazi:

4. Ukupna novčana šteta – I1
5. Ukupan broj poginulih i povređenih – I2

Trougao vidljivosti predstavlja preglednost i uočljivost pružnog prelaza na odgovarajućoj razdaljini, što je veoma bitna stavka koja definiše bezbednost jednog pružnog prelaza. Za svaku DMU jedinicu urađen je prosek vrednosti trougla vidljivosti koje se kreće od 0 do 2. Razlikujemo šest vrsta kolovoza koje prelaze preko pruge – asfalt, armirane betonske ploče, kaldrma, gumeni paneli, drveni pragovi i lomljeni kamen i svi oni su ocenjeni u zavisnosti od njihove (ne)bezbednosti, pri čemu je asfaltni kolovoz dobio najgoru ocenu. Razlikujemo i kategorije puta koje prelaze preko pruge, pri čemu postoji poljoprivredni, nekategorisan, lokalni, magistralni, ulica, regionalni i nedefinisan i oni su takođe ocenjeni po bezbednosti. Što se tiče broja koloseka, on se nalazi u rasponu od jednog (koji se nalazi u najvećem broju slučajeva) pa sve do 6 (koje možemo pronaći u Sremskoj Mitrovici i Subotici) (Službeni glasnik RS, 2013).

Kriterijumi „Vrsta kolovoza“ i „Kategorija puta“ svedeni su u jedan kriterijum pod nazivom „Ocena kategorije kolovoza“ i to uz pomoć metode jednostavnih aditivnih težina, pri čemu je vrsti kolovoza dodeljena vrednost težinskog koeficijenta 0,4, a kategoriji puta težina 0,6. Razlog za to je činjenica da je u slučaju ukrštanja pružnog prelaza sa prometnom ulicom znatno veća šansa za eventualnu nesreću nego negde gde je ukršanje sa poljoprivrednim ili nekategorisan putem.

Softver DEA-Solver LV8.0. ne poznaje izlazno orijentisan model u kome su izlazi ekstremizacije tipa minimizacija, stoga je potrebno invertovati podatke čime ćemo zapravo tražiti maksimalan izlaz. Rezultati deskriptivne statistike i vrednosti analize korelacije između parametara dati su u Tabeli 1.

**Tabela 1:** Deskriptivna statistika parametara

	Prosečan broj koloseka	Ocena kategorije kolovoza	Prosečan trougao vidljivosti	Ukupna novčana šteta	Ukupan broj poginulih i povređenih
Max	1,53	3,707	2	13879	4
Min	1	1,4	0,744	6886138,5	70
Prosek	1,185	2,681	1,631	133810,95	16,91
St.Dev.	0,18514	0,653	0,386	50938,695	14,976
<i>Spearman's rho</i> korelacija					
Prosečan broj koloseka	1				
Ocena kategorije kolovoza	-0,0031	1			
Prosečan trougao vidljivosti	-0,1242	-0,3928	1		
Ukupna novčana šteta	0,00418	-0,2732	0,13203	1	
Ukupan broj poginulih i povređenih	0,28281	-0,4351	0,2852	0,91211	1

Na osnovu dobijenih rezultata koeficijenta korelacije može se zaključiti da kriterijumi između sebe nisu korelisani, što znači da su dobro definisani. Najbliže jakoj pozitivnoj linearnoj zavisnosti su izlazni kriterijumi, što je bilo i očekivano jer svaki put kada se desi nesreća nastane i, uglavnom srazmerna, novčana šteta. Negativna vrednost koeficijenta korelacija između kriterijuma Prosečan broj koloseka i Prosečan trougao vidljivosti, predstavlja pokazatelj da što je veći broj koloseka da će trougao vidljivosti biti manji i obrnuto.

Dobijena efikasnost za svaku DMU kao i rang koji joj je dodeljen na osnovu indeksa efikasnosti dati su u Tabeli 2.

Tabela2: Ocena efikasnosti operativnih jedinica

RB	DMU	Indeks efikasnosti	Rang
1	Zrenjanin	1	1
2	Užice	0,92	2
3	Paraćin	0,27	3
4	Beograd	0,25	4
5	Zaječar	0,20	5
6	Subotica	0,19	6
7	Pančevo	0,18	7
8	Valjevo	0,12	8
9	Novi Sad	0,10	9
10	Sremska Mitrovica	0,08	10
11	Kraljevo	0,08	11
12	Niš	0,078	12

Kao što se iz Tabele 2 može videti, samo jedna operativna jedinica (DMU Zrenjanin) je efikasna. Odmah iza je Užice sa 0,92 indeksom efikasnosti. Sve ostale DMU jedinice su daleko ispod željenog stanja (čak 10 od 12 DMU ima indeks efikasnosti manji od 0,3). Ovakav rezultat posledica je izuzetno velike razlike između broja poginulih i povređenih lica u Zrenjaninu u odnosu na ostale DMU. Samim tim, postoje značajne razlike između ukupnih troškova štete koji su nastali prilikom nesreća koje su se desile.

U daljoj analizi date su željene vrednosti izlaznih parametara odnosno koliko svaka DMU treba da smanji broj poginulih i povređenih lica, kao i novčane štete kako bi postala efikasna (Tabela 3).

**Tabela 3:** Potrebne promene izlaznih parametara za svaku DMU

DMU	Za koliko treba smanjiti troškove [RSD]	Za koliko treba smanjiti troškove [%]	Za koliko treba smanjiti broj poginulih i povređenih lica	Za koliko treba smanjiti broj poginulih i povređenih lica [%]
Zrenjanin	/	/	/	/
Užice	82.476,37	78,55%	1	7,27%
Paraćin	1.220.002	98,92%	10	72,55%
Beograd	2.492.788	98,7%	28	74,50%
Zaječar	467.673,1	96,16%	20	79,32%
Subotica	2.808.093	99,47%	18	80,46%
Pančevo	372.537,5	94,61%	27	81,47%
Valjevo	6.611.919	99,76%	32	87,22%
Novi Sad	6.416.192	99,76%	37	89,12%
Sremska Mitrovica	1.500.615	98,89%	50	91,20%
Kraljevo	1.181.377	98,79%	47	91,80%
Niš	6.866.989	99,72%	65	92,12%

Analizom potrebne promene parametara može se zaključiti da su neophodne velike oscilacije vrednosti izlaza kako bi DMU postale efikasne. Tako operativna jedinica u Nišu, kao poslednje rangirana, mora za 99,72% da smanji novčane štete kako bi postala efikasna, odnosno da štete smanji za skoro sedam miliona dinara, a broj poginulih i povređenih lica mora biti manji za 92,12%. Iako je Zrenjanin operativna jedinica koja je u datom uzorku efikasna, ne znači da one ne mora da smanji vrednosti svojih ulaza. Idealan scenario bi značio potpuno eliminisati nesreće koje se dešavaju u saobraćaju, konkretno na pružnim prelazima, ali kako je to nemoguće, svaka operativna jedinica treba da teži što je moguće više minimizaciji istih.

5. ZAKLJUČAK

Veoma je teško precizno definisati od čega zavisi bezbednost pružnog prelaza zbog velikog broja uzroka saobraćajnih nesreća. DEA omogućava korišćenje većeg broja parametara u oceni bezbednosti saobraćaja i daje jednostavnu interpretaciju dobijenih rezultata. U ovom radu se na osnovu raspoloživih podataka o saobraćajnim nezgodama, koje su se desile na ukrštanju pružnog i putnog prelaza u periodu od devet godina u Srbiji, došlo do zaključka da je samo operativna jedinica Zrenjanin bila efikasna. Čak 10 od 12 operativnih jedinica ima indeks efikasnosti manji od 0,3. Najmanje efikasna jedinica je Niš. U cilju povećanja efikasnosti, odnosno bezbednosti saobraćaja, posmatrane jedinice trebaju prvenstveno da teže minimizaciji novčane štete i broja poginulih i povređenih u nesrećama.

Ono što se može zaključiti na osnovu sprovedene analize, je to da nije ista bezbednost pružnih prelaza sa manjim i sa većim brojem koloseka, o kojoj vrsti kolovoza se radi i kakav je trougao vidljivosti. Poboljšanje preglednosti i uočljivosti pružnog prelaza na odgovarajućoj razdaljini postavljanjem trougla vidljivosti od izuzetne je važnosti za predupređenje nesreće koja se može desiti. Pored toga, važno je ispitati i frekvenciju broja stanovnika koja je svakodnevno prinuđena da se susreće sa ovim prelazima, i regulisti problem u skladu sa definisanim standardima. Ova studija može biti o velikog značaja za poboljšanje bezbednosti pružnih prelaza u Srbiji, a budući pravci istraživanja treba da razmotre drugačiji skup ulaznih i izlaznih parametra, primenu klaster analize i definisanje dodatnih ograničenja.

LITERATURA

- [1] Bastos, J. T., Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Ferraz, A. C. P. (2015). Traffic fatality indicators in Brazil: State diagnosis based on data envelopment analysis research. *Accident Analysis & Prevention*, 81, 61-73.
- [2] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E., (1978). Measuring Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2 (6), 429-444.
- [3] Evans, L., (2004). Traffic Safety. Science Serving Society.



- [4] Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2009). Benchmarking road safety: lessons to learn from a data envelopment analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 41(1), 174-182.
- [5] Hermans, E., Van den Bossche, F., & Wets, G. (2008). Combining road safety information in a performance index. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1337-1344.
- [6] Jovanović, D., & Opsenica, M. (2000). Putni prelazi preko železničke pruge kao uska grla. *Vojnotehnički glasnik*, 48.6.
- [7] Savić, G. (2012). Komparativna analiza efikasnosti u finansijskom sektoru, Doktorska disertacija, Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu.
- [8] Shen, Y., Hermans, E., Brijs, T., Wets, G., & Vanhoof, K. (2012). Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions. *Accident Analysis & Prevention*, 48, 430-441.
- [9] Uredba o kategorizaciji železničkih pruga (2013). Službeni glasnik RS, br. 115/13.
- [10] Vincová, K. (2005). Using DEA models to measure efficiency. *Biatec*, 13(8), 24-28.
- [11] World Health Organization (WHO), (2013). WHO Global status report on road safety. http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/report/en/index.html poslednji put pristupano: 24.06.2018.



IZBOR SENZORSKE TEHNOLOGIJE ZA MERENJE PARAMETARA SAOBRAĆAJNOG TOKA U REPUBLICI SRBIJI

SELECTION OF THE SENSOR TECHNOLOGY FOR TRAFFIC FLOW PARAMETERS' DETERMINATION IN THE REPUBLIC OF SERBIA

IVANA JOVANOVIĆ¹, BRANKA DIMITRIJEVIĆ¹, MILICA ŠELMIĆ¹, VLADIMIR MOMČILOVIĆ¹

¹ Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, {ivana.jovanovic; b.dimitrijevic; m.selmic; v.momcilovic}@sf.bg.ac.rs

Rezime: U radu je predložen metodološki okvir za grupno donošenje odluke o izboru senzorske tehnologije za merenje parametara saobraćajnog toka na osnovu više relevantnih kriterijuma. Izvršena je selekcija ovih kriterijuma i njihova klasifikacija prema odgovarajućim aspektima odluke. Takođe, predložena je i metoda fazi Analitičkog hijerarhijskog procesa za ekspertsku evaluaciju elemenata modela i dobijanje finalnog ranga alternativa. Ilustrativnim primerom analizirano je pet alternativa primenljivih na putnoj mreži Srbije, a kroz prizmu akademske institucije, kao jedne od uticajnijih interesnih grupa.

Ključne reči: grupno odlučivanje, višekriterijumska analiza, fazi logika, senzori, saobraćajni tok

Abstract: Methodological framework for group decision making on the selection of adequate sensor technology for traffic flow parameters' determination based on several relevant criteria is proposed in the paper. Selection of those criteria and their classification upon appropriate decision merits has been made. Fuzzy Analytic Hierarchy Process method has been also proposed for expert evaluation of the model elements and final alternative ranking. An illustrative example involves analysis of five alternatives applicable on Serbian road network, through the viewpoint of an academic institution as one of the most influential stakeholders.

Keywords: group decision making, multi-criteria analysis, fuzzy logic, sensors, traffic flow

1. UVOD

Parametri saobraćajnog toka, koji se mogu dobiti bilo direktnim merenjem ili indirektno, su: brzina kretanja vozila, prisustvo vozila, protok, zauzeće, dužina reda, interval sleđenja, rastojanje sleđenja, vremenski gubici, klasa vozila, masa vozila, vreme putovanja itd. (Klein 2001, Martin et al. 2003, Klein et al. 2006). Najčešće se za merenje ovih karakteristika koriste raznorodne senzorske tehnologije ili kraće senzori. U tom smislu, izbor adekvatnog senzora zahteva upoznavanje sa potrebama njihovih korisnika i karakteristikama (tehnološkim rešenjima i funkcijama) svih raspoloživih tehnologija. Sveobuhvatni opis različitih senzora i uporedni prikaz njihovih prednosti i nedostataka detaljno su dati u Mimbella and Klein (2000), Klein (2001), Martin et al. (2003), Klein et al. (2006) i Jelušić et al. (2009).

S obzirom da postavljanje senzora na transportnoj mreži iziskuje značajna ulaganja, te da je izbor senzora strateška odluka, logično je da u procesu odlučivanja učestvuje više zainteresovanih strana: upravljač puta, akademske institucije, nadležni organi državne uprave ili lokalne samouprave itd. U ovom radu predstavljen je metodološki okvir grupnog donošenja odluke o izboru senzora za merenje parametara saobraćajnog toka na primeru putne mreže u Srbiji. Primena ove metodologije ilustrovana je kroz vizuru jedne akademske institucije, kao predstavnika zainteresovane strane koja poseduje najveća teorijska znanja o postojećim tehnologijama, ali i o budućim pravcima razvoja u ovoj oblasti.

Izbor odgovarajućeg tipa senzora predstavlja kompleksan višekriterijumski problem čije formulisanje i rešavanje zahteva uzimanje u obzir velikog broja kriterijuma koji su od različitog značaja (važnosti) za donosiocce odluke (DO). Detaljnom analizom literature izvršena je identifikacija svih mogućih kriterijuma za izbor senzora (Martin et al. 2003, Jelušić 2008), a zatim njihovom eliminacijom i agregacijom izdvojen je skup relevantnih. Autori su ustanovili da se oni prema svojoj prirodi mogu razvrstati i razmatrati sa jednog od BOCR aspekata odluke: koristi (eng. *Benefit* - B), troškova (eng. *Cost* - C), mogućnosti - potencijalnih koristi (eng. *Opportunity* - O) i rizika - potencijalnih troškova (eng. *Risk* - R).

Imajući u vidu mogućnost da se problem izbora senzora predstavi hijerarhijskom strukturom, kao i principa po kome se određuju relativne važnosti kriterijuma i samih BOCR aspekata odluke, za rešavanje posmatranog problema izabrana je metoda Analitičkog hijerarhijskog procesa - AHP (Saaty, 1980). S obzirom na to da su



vrednosti alternativa po kriterijumima uglavnom kvalitativne prirode (Martin et al. 2003, Jelušić et al. 2009) i da je prisutna doza nepreciznosti u procesu njihove kvantifikacije, što se može reći i za važnosti kriterijuma, odnosno BOCR aspekata odluke, autori rada su odlučili da primene fazi AHP (FAHP) pristup.

Analizirano je pet senzora (alternativa) koji su prepoznati kao pogodni za potencijalnu upotrebu u Srbiji. Trenutno su na putevima najzastupljenije induktivne petlje pre svega zbog niske jedinične cene i jednostavnog korišćenja, a u manjoj meri prisutna je i radarska tehnologija. S obzirom da se planira implementacija dodatnih senzora na putnoj mreži Srbije, kao i zamena i osavremenjivanje postojećih, pored dve navedene, analizirane su i rangirane još tri senzorske tehnologije: video senzori, aktivni i pasivni infracrveni senzori.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju je prikazan metodološki okvir za donošenje odluke o izboru senzora zasnovan na FAHP-BOCR pristupu. Ilustrativni primer je dat u trećem poglavlju, dok su zaključna razmatranja sadržana u poslednjem, četvrtom poglavlju.

2. METODOLOŠKI OKVIR ZA DONOŠENJE ODLUKE O IZBORU SENZORA

Autori su predloženi metodološki okvir za grupno donošenje odluke o izboru senzora razložili na sledećih 6 faza: (1) definisanje kriterijuma i BOCR hijerarhijske strukture; (2) identifikacija relevantnih zainteresovanih strana; (3) definisanje skupa alternativa; (4) evaluacija elemenata hijerarhije; (5) određivanje ranga alternativa za svaku zainteresovanu stranu; (6) određivanje kompromisnog rešenja, analiza rešenja i finalni izbor.

Nakon detaljne analize raspoložive literature o kriterijumima za izbor senzora (Martin et al. 2003, Jelušić 2008), njihove eliminacije i agregacije, izdvojeno je 17 relevantnih kriterijuma za donošenje odluke. Dalje, svaki kriterijum je svrstan u skladu sa svojim karakteristikama u neku od četiri grupe prema aspektu odluke kome pripada, tj. u zavisnosti od toga da li predstavlja korist, trošak, mogućnost ili rizik za DO (Tabela 1).

Tabela 1: Kriterijumi za vrednovanje senzora

Cilj	Aspekti odluke	Kriterijumi	Opis kriterijuma
Izbor senzora za prikupljanje parametara saobraćajnog toka	Koristi	B1 Tačnost	Stepen slaganja između stvarnih vrednosti i vrednosti dobijenih merenjem
		B2 Pouzdanost	Pouzdanost senzora u sakupljanju i slanju podataka
		B3 Pokrivenost	Prostor koji obuhvata senzor sa koga je moguće dobiti podatke, zona obuhvata
		B4 Znanje i iskustvo	Tekuće znanje osoblja o eksploataciji senzora
		B5 Rezolucija	Sposobnost razdvajanja detalja, osetljivost senzora na veličinu i rastojanje između posmatranih objekata
		B6 Kompatibilnost	Stepen funkcijske i tehničke prilagođenosti postojećim uređajima
		B7 Trajnost	Životni vek senzora
	Mogućnosti	O1 Funkcionalnost	Broj parametara koje je moguće meriti/prikupljati
		O2 Proširenje zone detekcije	Mogućnost prostornog proširenja zone detekcije (snimanje više saobraćajnih traka)
		O3 Proširenje primene	Mogućnost primene senzora u druge svrhe (povezivanje sa ITS, nadzor, detekcija nezgoda itd.)
	Troškovi	C1 Troškovi nabavke	Cena senzora i pripadajuće opreme
		C2 Troškovi montaže	Troškovi postavljanja/ugradnje senzora na određenu lokaciju i njegove kalibracije
		C3 Troškovi energije	Troškovi napajanja senzora energijom
		C4 Troškovi komunikacije	Troškovi obezbeđenja kapaciteta i prenosa informacija između senzora i centra
		C5 Troškovi održavanja	Troškovi potrebni za očuvanje ispravnosti senzora
	Rizici	R1 Otpornost na uništenje	Sigurnost u pogledu krađe, slučajnih ili namernih oštećenja
		R2 Osetljivost na vremenske uslove	Uticaj vidljivosti (dan/noć) i atmosferskih uslova (kiša, sneg, vetar, magla, led)

Izbor senzora za merenje parametara saobraćajnog toka, kao strateška odluka, podrazumeva uključivanje više zainteresovanih strana. U pitanju su eksperti iz nadležnih državnih organa i/ili iz lokalne samouprave, preduzeća koje je upravljač puta, akademskih institucija i eventualno finansijskih institucija koje obezbeđuju



sredstva za implementaciju senzora. Uvažavanje mišljenja i stavova svih zainteresovanih strana vodi ka postizanju održivog, odnosno kompromisnog izbora tehnologije za merenje saobraćajnih parametara.

Brojni su senzori u primeni i moguće ih je razvrstati na različite načine. Jedna od najčešćih podela je na mobilne i fiksne senzore. U fokusu ovog istraživanja su fiksni senzori koji se mogu podeliti na intruzivne i neintruzivne. U tipične intruzivne senzore spadaju induktivne petlje, magnetni, piezoelektrični i „weight-in-motion“. Neintruzivni mogu biti infracrveni (aktivni i pasivni), mikrotalasni radari, ultrazvučni, pasivni zvučni, video senzori, kao i njihove kombinacije. Od nabrojanih fiksnih senzora kao pogodne alternative za implementaciju na putnoj mreži Srbije izdvajaju se induktivna petlja i mikrotalasni radar, kao trenutno u praksi korišćeni senzori, kao i video, aktivni i pasivni infracrveni senzori. Prednosti i nedostaci odabranih senzora (alternativa) dati su u Tabeli 2 (Klein 2001, Martin et al. 2003).

Tabela 2: Osnovne karakteristike izabranih alternativa

Alternative	Prednosti	Nedostaci
Induktivna petlja	<ul style="list-style-type: none">• Jedan od najtačnijih senzora• Dobro poznata tehnologija• Niska jedinična cena• Mogućnosti prilagođavanja obliku i veličini zone detekcije• Zona detekcije je dobro definisana• Loše vremenske prilike nemaju uticaj	<ul style="list-style-type: none">• Pouzdanost i raspoloživost zavise od stanja saobraćajnice• Nije pogodna za upotrebu na deonicama gde u kolovozu ima gvožđa• Obavezno je zatvaranje saobraćajnice jer ugradnja i popravka zahtevaju intervencije na kolovozu• Raskrsnica zahteva veći broj senzora
Mikrotalasni radar	<ul style="list-style-type: none">• Loše vremenske prilike nemaju uticaj• Moguće je direktno merenje brzine• Pokriva više saobraćajnih traka ili više zona detekcije u jednoj traci• Brzo i jednostavno postavljanje• Postavljanje ne ometa saobraćajni tok	<ul style="list-style-type: none">• Ne može detektovati zaustavljeno vozilo• Izražena pojava zaklanjanja posmatranog vozila• Oblik zone detekcije je određen konstruktivnim osobinama senzora• Neprikladan za merenje zauzeća
Aktivni infracrveni	<ul style="list-style-type: none">• Precizno merenje brzine, pozicije i klase vozila• Moguće je pokrivanje više saobraćajnih traka	<ul style="list-style-type: none">• Manja otpornost na vremenske prilike• Zona detekcije je ispod senzora• Kvalitet merenja zavisi od preciznosti izrade• Visoka cena
Pasivni infracrveni	<ul style="list-style-type: none">• Može imati više zona detekcije u jednoj saobraćajnoj traci• Mali uticaj vremenskih prilika na senzore kratkog dometa• Moguća detekcija na rastojanju do 100 m	<ul style="list-style-type: none">• Veći uticaj vremenskih prilika na senzore dugog dometa• Deformacija udaljenih zona detekcije i izražena pojava zaklanjanja posmatranog vozila
Video senzor	<ul style="list-style-type: none">• Mogućnost prikupljanja više saobraćajnih parametara i istovremenog vršenja nadzora saobraćaja• Velika pokrivenost• Prilagodljivost zona detekcije	<ul style="list-style-type: none">• Tačnost senzora uslovljena je brojnim spoljašnjim uticajima• Objektiv kamere sklon prljanju• Svojstva senzora zavise od položaja kamere• Zahteva kalibraciju za merenja parametara saobraćajnog toka• Visoka cena

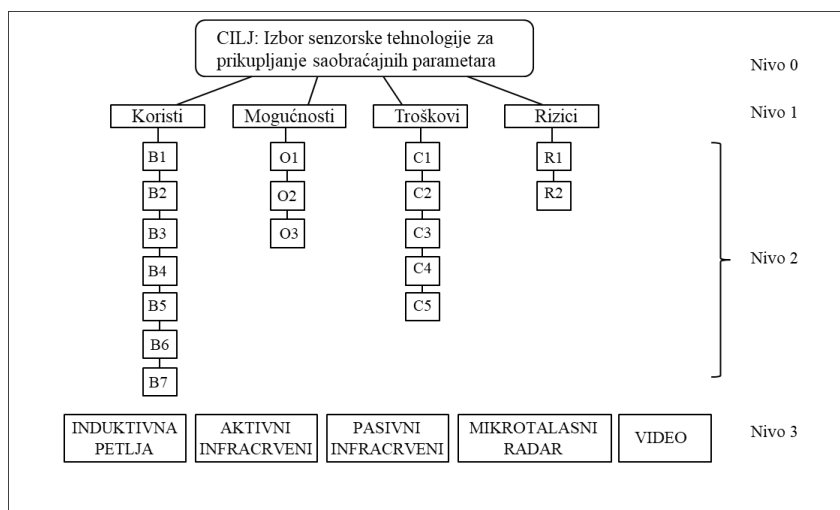
Nakon formiranja hijerarhije (Slika 1), uvažavajući principe AHP metode, DO, predstavnici različitih zainteresovanih strana, vrše evaluaciju svih elemenata na određenom hijerarhijskom nivou međusobno ih poredeći po parovima u odnosu na nadređeni element hijerarhije. DO vrše međusobnu evaluaciju BOCR aspekata odluke na prvom hijerarhijskom nivou u odnosu na cilj, a potom kriterijuma na drugom hijerarhijskom nivou u odnosu na nadređene im aspekte. Nakon provere konzistentnosti matrica poređenja po parovima za svakog DO, ocene važnosti posmatranih elemenata po parovima „prevode“ se u fazi brojeve, imajući u vidu prisustvo neodlučnosti DO u pogledu precizne kvantifikacije važnosti na standardnoj Satijevoj skali.

Evaluacija alternativa po kriterijumima nije predmet ekspertskog ocenjivanja jer se njihove ocene mogu pronaći u literaturi (Skszek 2001, Martin et al. 2003, Jelušić 2008). One su date opisno na trostepenim skalama

tipa: loše–srednje–odlično, malo–srednje–veliko, niski–srednji–visoki i slično, što je bio dodatni motiv da autori rada izvrše njihovo međusobno poređenje koristeći fazi Satijevu skalu datu u Tabeli 3.

Tabela 3: Lingvistički deskriptori i odgovarajući trouglasti fazi brojevi

Važnost kriterijuma	Diskretna vrednost	Fazi vrednost	Diskretna recipročna vrednost	Fazi recipročna vrednost
Jednaka	1	(1,1,1)	1/1	(1,1,1)
Međuvrednost	2	(1,2,4)	1/2	(1/4,1/2,1)
Slaba preferencija	3	(1,3,5)	1/3	(1/5,1/3,1)
Međuvrednost	4	(2,4,6)	1/4	(1/6,1/4,1/2)
Jaka preferencija	5	(3,5,7)	1/5	(1/7,1/5,1/3)
Međuvrednost	6	(4,6,8)	1/6	(1/8,1/6,1/4)
Demonstrirana preferencija	7	(5,7,9)	1/7	(1/9,1/7,1/5)
Međuvrednost	8	(6,8,10)	1/8	(1/10,1/8,1/6)
Apsolutna preferencija	9	(7,9,11)	1/9	(1/11,1/9,1/7)



Slika 1: AHP hijerarhija

Neka \mathbf{R} predstavlja fazi matricu poređenja elemenata u hijerarhiji (alternative, kriterijumi i BOCR aspekti odluke). Element matrice predstavljen je trouglastim fazi brojem $a_{ij}=(a_{ijlk}, a_{ijsk}, a_{ijdk})$ i predstavlja važnost elementa i u odnosu na element j ($i=1, 2, \dots, q, j=1, 2, \dots, q$, gde je q broj elemenata u hijerarhiji) za k -tog DO, ($k=1, 2, \dots, K$).

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (a_{12l}, a_{12s}, a_{12d}) & \dots & (a_{1ql}, a_{1qs}, a_{1qd}) \\ (1/a_{12d}, 1/a_{12s}, 1/a_{12l}) & (1,1,1) & \dots & (a_{2ql}, a_{2qs}, a_{2qd}) \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ (1/a_{1qd}, 1/a_{1qs}, 1/a_{1ql}) & (1/a_{2qd}, 1/a_{2qs}, 1/a_{2ql}) & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Ocene pojedinačnih DO agregirane su koristeći geometrijsku sredinu, kao u sledećim jednačinama:

$$a_{ijl} = \left(\prod_{k=1}^K a_{ijlk}\right)^{\beta_k}, a_{ijs} = \left(\prod_{k=1}^K a_{ijsk}\right)^{\beta_k}, a_{ijd} = \left(\prod_{k=1}^K a_{ijdk}\right)^{\beta_k} \quad (2)$$

gde je β_k važnost k -tog DO i gde važi $\sum_{k=1}^K \beta_k = 1$.

Generalno, fazi težine elemenata hijerarhije izražene trouglastim fazi brojevima $\mathbf{w}_j=(w_{jl}, w_{js}, w_{jd}), j=1, \dots, q$, izračunavaju se iz matrice \mathbf{R} prema sledećim jednačinama (Jie et al. 2006):

$$\mathbf{w}_{jl} = \frac{\sum_{i=1}^q a_{ijl}}{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q a_{ijd}}, \mathbf{w}_{js} = \frac{\sum_{i=1}^q a_{ijs}}{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q a_{ijs}}, \mathbf{w}_{jd} = \frac{\sum_{i=1}^q a_{ijd}}{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q a_{ijl}}; j = 1, \dots, q \quad (3)$$



Formulama (2) i (3) dobijene su fazi težine alternativa po kriterijumima, kriterijuma po odgovarajućim BOCR aspektima odluke, kao i samih BOCR aspekata odluke prema cilju. Fazi težine alternativa prema BOCR aspektima odluke označene sa w_i^M , gde je $M = B, O, C, R$, računane su na sledeći način:

$$w_i^M = \sum_{j=1}^q w_i^{M_j} * w_{M_j} \quad (4)$$

gde su: $w_i^{M_j}$ - fazi težine alternativa i prema kriterijumu j koji pripada odgovarajućem aspektu odluke M , a w_{M_j} - fazi težine kriterijuma j prema odgovarajućem BOCR aspektu odluke.

Konačan fazi prioritet alternativa, $S_i, S_i=(s_{il}, s_{is}, s_{id})$, izračunava se na sledeći način:

$$S_i = w_i^B * b + w_i^O * o - w_i^C * c - w_i^R * r, i=1, \dots, 5 \quad (5)$$

gde su b, o, c, r fazi težine BOCR aspekata odluke.

U radu je primenjena metoda integrisanih ocenjenih srednjih vrednosti za defazifikaciju (Chou, 2003) i dobijanje diskretnih (eng. *crisp*) vrednosti konačnih prioriteta alternativa. Za trouglasti fazi broj $S_i=(s_{il}, s_{is}, s_{id})$, integrisana ocenjena srednja vrednost ($W(S_i)$) izračunava se na sledeći način:

$$W(S_i) = \frac{1}{6}(s_{il} + 4s_{is} + s_{id}) \quad (6)$$

gde su s_{il}, s_{is}, s_{id} - leva, srednja i desna vrednost trouglastog fazi broja S_i .

Za svaku zainteresovanu stranu dobija se rang alternativa na osnovu vrednosti njihovih prioriteta. Potom, po pravilu, sledi agregacija dobijenih rešenja u jedinstveno tzv. kompromisno rešenje. S obzirom na potencijalne konfliktne interese zainteresovanih strana neophodno je izvršiti međusobnu analizu kompatibilnosti dobijenih rešenja, kao i analizu kompatibilnosti rešenja svake zainteresovane strane sa kompromisnim rešenjem. Analiza osetljivosti rešenja na potencijalno različit uticaj zainteresovanih strana prethodi finalnoj selekciji najbolje alternative.

3. ILUSTRATIVNI PRIMER

U ovom radu je dat ilustrativni primer primene metodologije izbora senzora uvažavajući stavove jedne zainteresovane strane - akademske institucije.

Za potrebe određivanja težina BOCR aspekata odluke i pripadajućih kriterijuma, sprovedeno je anketiranje pet, podjednako važnih, eksperata sa Saobraćajnog fakulteta u Beogradu. Za svaki pojedinačni upitnik izvršena je provera konzistentnosti. Ukoliko bi se u matrici pojavila nekonzistentnost stručnjaci su zamoljeni da provere i modifikuju svoje ocene tako da indeks konzistentnosti (CR) bude $CR < 0,1$.

U Tabeli 4 prikazane su agregirane vrednosti fazi ocena BOCR aspekata odluke i pripadajućih kriterijuma.

Tabela 4: Fazi težine BOCR aspekata odluke i kriterijuma

Fazi težine BOCR		Kriterijumi	Fazi težine kriterijuma
B	$b=(0,150; 0,328; 0,676)$	B ₁	(0,016; 0,079; 0,346)
		B ₂	(0,018; 0,088; 0,375)
		B ₃	(0,011; 0,053; 0,274)
		B ₄	(0,005; 0,022; 0,092)
		B ₅	(0,008; 0,042; 0,187)
		B ₆	(0,005; 0,025; 0,119)
		B ₇	(0,005; 0,019; 0,085)
O	$o=(0,086; 0,162; 0,345)$	O ₁	(0,022; 0,079; 0,287)
		O ₂	(0,012; 0,036; 0,136)
		O ₃	(0,015; 0,047; 0,178)
C	$c=(0,127; 0,277; 0,595)$	C ₁	(0,020; 0,093; 0,394)
		C ₂	(0,010; 0,038; 0,177)
		C ₃	(0,010; 0,041; 0,173)
		C ₄	(0,007; 0,026; 0,103)
		C ₅	(0,016; 0,079; 0,355)
R	$r=(0,113; 0,233; 0,486)$	R ₁	(0,025; 0,075; 0,250)
		R ₂	(0,044; 0,158; 0,549)



Nakon primene fazi AHP-BOCR metode i defazifikacije dobija se rang alternativa sa stanovišta akademske institucije (Tabela 5). Iz Tabele 5 se može uočiti da se kao najbolje rangirani senzor izdvaja video senzor, najsofisticiraniji uređaj sa najviše dodatnih funkcija u odnosu na ostale razmatrane senzore. Može se primetiti da je kod dve od pet alternativa ukupna vrednost negativna. Razlog tome je što kod alternative A_1 (induktivna petlja) i A_3 (pasivni infracrveni) prevagu odnose troškovi i rizici. Induktivna petlja je najjeftinija tehnologija, ali iziskuje visoke troškove postavljanja i ima slabe mogućnosti prilagođavanja promenama. Sa druge strane, pasivni infracrveni senzori imaju malu tačnost merenja u odnosu na druge uređaje, a visoke troškove održavanja.

Tabela 5: Rang alternativa

Alternative	Senzori	Fazi težine	Diskretne vrednosti	Finalni rang
A_1	Induktivna petlja	(-0,0008; -0,0150; -0,1811)	-0,0403	5
A_2	Aktivni infracrveni	(0,0002; 0,0084; 0,1513)	0,0308	3
A_3	Pasivni infracrveni	(-0,0005; -0,0089; -0,1418)	-0,0297	4
A_4	Mikrotalasni radar	(-0,0001; 0,0038; 0,1994)	0,0357	2
A_5	Video	(0,0005; 0,0144; 0,2730)	0,0552	1

5. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen metodološki okvir za odlučivanje o izboru senzora za merenje parametara saobraćajnog toka. Analizirano je pet alternativa primenljivih na putnoj mreži Srbije, a kroz prizmu akademske institucije, kao jedne od uticajnijih zainteresovanih strana. Predloženi metodološki okvir grupnog donošenja odluke zasniva se na razvrstavanju relevantnih kriterijuma u BOCR aspekte, primeni AHP metode i modeliranju nepreciznosti u procesu kvantifikacije kriterijuma uvođenjem fazi logike. Dobijeni rezultat pokazuje da je video senzor najbolje rangirana alternativa, kao najsofisticiraniji uređaj koji ima mogućnost prikupljanja velikog broja saobraćajnih parametara i istovremenog vršenja nadzora saobraćaja.

Pravci daljeg istraživanja podrazumevaju uključivanje ostalih zainteresovanih strana, kao što su upravljač puta, nadležni državni organi i/ili organi lokalne samouprave, kao i proširenje grupe eksperata iz akademskih institucija. Ovim istraživanjem će se omogućiti dobijanje stavova svih zainteresovanih strana, mogućnost analize osetljivosti kompromisnog rešenja na promenu njihovog uticaja i time važan doprinos rešavanju ovog strateškog pitanja.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan sa projekata TR 36002, TR 36006 i TR 36010 Ministarstva obrazovanja, nauke i tehnološkog razvoja R. Srbije.

LITERATURA

- [1] Chou, C.C. (2003). The canonical representation of multiplication operation on triangular fuzzy numbers, *Computers and Mathematics with Applications*, 45, 1601–1610.
- [2] Jelušić, N. (2008). Evaluacija senzorskih tehnologija u sustavu automatskog upravljanja cestovnim prometom, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti.
- [3] Jelušić, N., Anžek, M., & Mandžuka, S. (2009). Evaluation of Sensor Technologies for Intelligent Transport Systems. Proceedings of 16th ITS World Congress "ITS in Daily Life", Stockholm, Sweden, 5549-5561.
- [4] Jie L. H., Meng M. C., & Cheong C. W. (2006) "Web Based Fuzzy Multicriteria Decision Making Tool", *International Journal of the Computer, the Internet and Management*, vol. 14, no. 2, 1-14.
- [5] Klein L. A., Mills M. K., & Gibson D. R.P. (2006): *Traffic Detector Handbook*, Third Edition, Volume I, Publication No. FHWA-HRT-06-108, Federal Highway Administration, Washington D.C., USA.



- [6] Klein, L.A. (2001). *Sensor Technologies and Data Requirements for ITS*, Artech House, Boston, London.
- [7] Martin, P.T., Feng, Y., & Wang, X. (2003). *Detector Technology Evaluation*, MPC Report No. 03-154, University of Utah Traffic Lab.
- [8] Mimbela, L.E.Y., & Klein, L.A. (2000). *Summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems*. Federal Highway Administration, Intelligent Transportation Systems Joint Program Office. Washington DC, USA.
- [9] Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill.
- [10] Skszek, S.L. (2001). "State-of-the-Art" Report on Non-Traditional Traffic Counting Methods. Report no. FHWA-AZ-01-503, Arizona Department of Transportation, Phoenix, Arizona, USA.



THE FREE-FLOATING BIKE SHARE REBALANCING PROBLEM

KONSTANTINOS AMPOUNTOLAS¹

¹ School of Engineering, University of Glasgow, Glasgow G12 8QQ, UK, konstantinos.ampountolas@glasgow.ac.uk

Abstract: Free-floating bike share (FFBS) is a bike sharing scheme where bikes are tracked in real-time by built-in global positioning system devices. Bikes can be locked to an ordinary bicycle rack, thus eliminating the need for specific docking stations. However, the daily operation of the system leads to an uneven distribution of bikes in the network, and, thus to low quality of service. To cure this problem, operators relocate bikes across the network (i.e., rebalance the system) to achieve a desired distribution and to serve customer's demand. We formulate the FFBS rebalancing problem as a mixed capacitated general routing problem (MCGRP). The MCGRP is defined over a mixed graph (with directed arcs and undirected edges), for which some nodes must be serviced and some links must be serviced at least once. Requests with given demand size are located on the nodes, edges, and arcs of a graph, which excellently reflects the idea behind FFBS. The aim is to route a number of vehicles along the graph to satisfy all requests with minimum routing cost, obeying vehicle capacity. To solve this problem, an integer linear program is adopted involving a two-phase branch-and-cut algorithm. Some discussion on the availability of FFBS datasets and perspective computational experiments concludes the paper.

Keywords: Free-floating bike share; Rebalancing operations; Capacitated general routing problem (MCGRP); Node, edge, and arc routing problem (NEARP)

1. INTRODUCTION AND LITERATURE REVIEW

Free-floating bike share (dock less) (FFBS) systems deploy "smart bikes" with built-in global positioning system (GPS) devices and other features (e.g. a keypad to lock/unlock the bike) to allow the bikes to be dropped off at any location within a city boundaries. This system, in comparison to conventional station-based bike sharing (SBBS) systems, allows for short one-way trips and self-organisation. By tracking bikes in real-time with built-in GPS, FFBS prevents (at some extend) bike theft, and offers significant opportunities for smart management and rebalancing operations to serve customer's demand. A set of guidelines are provided on how to safely locate, hire, and park a bike without causing obstructions. There is no need for an ordinary docking station to park each bike, which supports infrastructure light solutions. Usually, the operator of an FFBS system provides the registered users with a unique PIN and they can use a smartphone app to locate available bikes. After booking a bike, the user has 15-30 minutes (depends on the operator and city) to get to its location and unlock it. The candidate bike can be then unlocked with the unique PIN. The user can ride the bike to its final destination and lock it to a bicycle rack or docking station (or any solid frame). The user can also lock and place the bike on hold for a quick stop (e.g. stop and shop location). Once the bike is released (i.e., locked), it becomes available to any user registered with the relevant operator of the FFBS system. DeMaio (2009) provides a good overview and historical notes of various bike sharing systems.

Although FFBS is appealing to users, vandalism and theft are two main problems operators of FFBS systems experience; because bikes are placed at arbitrary locations within a city and are ease of access to thefts. For this reason, smart bikes are often employed in conjunction with either: a specially branded cycle hoop or traditional cycle parking, or geo-fencing with no hard infrastructure. Geo-fencing is a feature that uses the global positioning system (GPS) or radio frequency identification (RFID) to define geographical boundaries. Thus, geo-fencing prevents parking bikes outside of a virtual fence. Managing FFBS systems with geo-fencing reduces the risk of street clutter and obstructions, and eliminates the need of frequent bike rebalancing, ensuring that bikes are located in predictable areas or bikes are not being taken to another borough.

The most important problem of bike-sharing systems (and one-way car-sharing systems, though with different characteristics, see e.g., Weikl and Bogenberger (2013); Boyaci et al. (2015)) is the uneven distribution of bikes in the system after a daily or weekly operation, and thus, to a low quality of service and user dissatisfaction. Operators relocate bikes across the network (rebalancing) to achieve a desired distribution and to serve customer's demand. That requires to operate a fleet of homogeneous (or heterogeneous) capacitated vehicles to rebalance the stations of the bike sharing system at minimum cost. Stations having a status of shortage (demand) or surplus (supply) of bikes. Rebalancing costs include transportation/travel, personnel, vehicle loading/unloading, penalties due to deviation from target station inventories, etc. Rebalancing usually takes place at night when the overall system is idle (no user intervention). User intervention to the system calls for dynamic rebalancing,



which is challenging. Rebalancing is also classified into two other categories: complete and partial. Complete rebalancing allows for all nodes in the network to meet their target inventory. However, if complete rebalancing is not feasible the operator may consider partial rebalancing. In general, the bike rebalancing problem for SBBS systems is a variant of vehicle routing problem, and, thus NP-hard.

With respect to the static bike rebalancing problem (BRP) for SBBS systems, Chemla et al. (2013) proposed a tabu search algorithms for solving a single vehicle one-commodity capacitated pickup and delivery problem (SVOCPPD). Raviv et al. (2013) introduced a user dissatisfaction function to measure the performance of bike-share stations and proposed a dynamic inventory model of a bike-sharing station. Erdoğan et al. (2015) proposed a time extended network formulation and solved the BRP using mixed integer programming. Forma et al. (2015) proposed a 3-step matheuristic. Alvarez-Valdes et al. (2016) proposed a heuristic method for a fleet of multiple vehicles. Dell'Amico et al. (2016b) proposed a destroy and repair metaheuristic algorithm to solve the one-commodity pickup and delivery vehicle routing problem with maximum duration (1-PDVRPD), which is a variant of the BRP. Dell'Amico et al. (2014) proposed four mixed integer linear programming (MILP) formulations to model the BRP, all involving an exponential number of constraints. Different branch-and-cut algorithms employed to solve the relevant MILPs. Tabu search and neighbourhood search algorithms are also employed in Ho and Szeto (2014, 2017). Finally, Schuijbroek et al. (2017) proposed a cluster-first route-second heuristic for inventory rebalancing and vehicle routing.

In contrast to SBBS, FFBS has no regular docking stations, so nodes in FFBS include bike racks at hot-spots and standalone locations in streets (edges or arcs) where bikes are parked by users. Therefore, the FFBS rebalancing problem is a prime example where bikes should be relocated from a number of required links/streets (edges or arcs) and nodes (regular docking stations or hot-spots) by a single or multiple vehicles, each of which can only carry a limited number of bikes. Pal and Zhang (2017) presented (with a few modifications on the definition of nodes in order to convert an arc routing problem to a node routing problem) a hybrid nested large neighbourhood search with variable neighbourhood descent algorithm for solving the one-commodity pickup and delivery traveling salesman problem (1-PDTSP). In general the FFBS rebalancing problem has received little attention in the literature and it is much more difficult to solve compared to SBBS rebalancing (see Pal and Zhang (2017) for a discussion).

In this paper, we propose that the FFBS rebalancing problem can be formulated as a mixed capacitated general routing problem (MCGRP), known in literature also as the node, edge, and arc routing problem (NEARP) (Prins and Bouchenoua, 2004). The presented formulation for the FFBS rebalancing problem is the first one combining all the elements of a mixed graph (nodes, edges, and arcs) and thus avoiding the dichotomy between arc and node routing in VRP literature and BRP. On the other hand, the MCGRP is NP-hard (Corberán and Laporte, 2013) and exact methods can only solve instances of small size. If suboptimal solutions are allowed as in many real-life applications, the problem can be solved by (meta)-heuristics. To this end, we adopt an integer linear programming formulation (Irnich et al., 2015) of the MCGRP involving a two-phase branch-and-cut algorithm for obtaining suboptimal solutions.

2. THE FFBS REBALANCING PROBLEM

2.1. Node or arc routing or both?

In the vehicle routing literature, there is a dichotomy between node routing problems (Dantzig and Ramser, 1959) and arc routing problems (Kwan, 1962), and their distinct applications. However, in real life there are several applications where a pure node routing or a pure arc routing formulation is not adequate, e.g., newspaper or mail delivery and garbage collection with customers situated along edges/arcs and nodes. The FFBS rebalancing problem is a prime example of such a problem where bikes should be relocated from a number of required links/streets (edges or arcs) and nodes (regular docking stations or hot-spots) by a single or multiple vehicles, each of which can only carry a limited number of bikes. We assume a mixed graph with two-way undirected edges and one-way directed arcs, each link/street of which is associated with a (transportation) cost and some links/streets or nodes with a demand (of bikes), and a special node called the depot. The depot houses a number of vehicles, each of a given capacity, that can serve streets (collect and drop-off bikes located at arbitrary addresses) or merely traverse them (deadheading). This problem is known as the mixed capacitated general routing problem and will be described in Section 2.2.

Figure 1 shows an example of a mixed graph with two-way unidirectional edges and one-way directional arcs. Node 1 denotes the depot, edge/arc (links) demands and costs are shown as labels next to the links, and node demands are also shown as labels next to nodes (see caption of Figure 1 for details). All vehicles at the depot have capacity C . The task is then to serve each link and node according to its demand by exactly one vehicle, where the sum of the demands of links and nodes served by a single vehicle may not exceed its capacity.

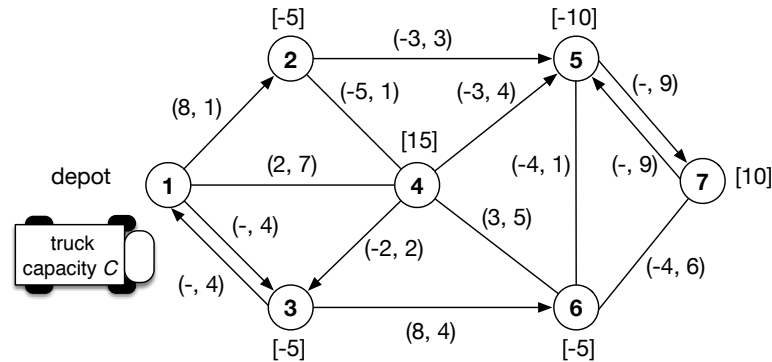


Figure 1 Instance of the *mixed capacitated general routing problem*; Node labels $[x]$: x denotes the shortage/surplus at nodes; Link labels (x, y) : x denotes the shortage/surplus at links, y denotes transportation costs; Link labels $(-, y)$: $x \equiv -$ means that the link is not required/serviced but can be merely traversed with cost y .

Moreover, the overall cost of the traversed edges is to be minimised. Concluding, the FFBS rebalancing problem is a mixed node and arc routing problem and can be seen as the mixed capacitated general routing problem. Alternatively, an arc routing problem can be converted into an equivalent node routing problem, but at the expense of the size of the instances to be solved (as for example in Pal and Zhang (2017)). The next section formally states the mixed capacitated general routing problem.

2.2. The mixed capacitated general routing problem

In this paper, we propose that the FFBS rebalancing problem can be formulated as a mixed capacitated general routing problem (MCGRP or NEARP). The MCGRP is defined over a mixed graph (with one-way directed arcs and two-way undirected edges), for which some nodes must be visited/serviced and some links must be traversed/serviced at least once. Requests with given demand size are located on the nodes, edges, and arcs of a graph. The aim is to route a number of vehicles along the graph to satisfy all requests with minimum routing cost, obeying vehicle capacity. The MCGRP generalises the celebrated General Routing Problem (GRP) (Orloff, 1974), the Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) and the Capacitated Arc Routing Problem (CARP) (Golden and Wong, 1981). The CARP generalises the classic Chinese postman (CPP) (Kwan, 1962) and Rural Postman Problems (RPP) (Orloff, 1974). The CPP was shown to be solvable in polynomial time for both undirected and directed graphs, e.g., by making the related graph Eulerian and then finding a tour traversing each edge once by Edmonds and Johnson (1973) algorithm in $O(|N|^3)$, where N is the set of nodes in the graph. CARP is also relevant to the k -CPP problem where $k \geq 2$ postmen (or vehicles) provide service to the arcs of a graph at minimum cost. The k -CPP is NP-hard, which is easily seen by a reduction to k -RPP. In the RPP, some arcs or edges of the graph require service while the others do not but may be traversed in the solution. This problem proved to be NP-hard by Lenstra and Rinnooy Kan (1974). Note that, since the CVRP and CARP are NP-hard, so is the MCGRP. Exact methods (integer programming method like branch-and-bound) can only solve MCGRP instances of small size. Otherwise, if suboptimal solutions are allowed as in many real-life applications, the problem can be solved by (meta)-heuristics.

Bosco et al. (2013) presented the first integer linear programming formulation for the MCGRP, which is based on three-index link variables and two-index node variables. They extended some valid inequalities originally introduced for the CARP to the MCGRP and embedded them into a branch-and-cut algorithm. Bosco et al. (2014) also proposed a metaheuristic for the MCGRP. Bach et al. (2016) proposed a branch-and-cut-and-price algorithm for the MCGRP and investigated its performance on a number of published benchmarks for the MCGRP. Irnich et al. (2015) presented a new two-index mathematical model for the MCGRP, and a two-phase branch-and-cut algorithm that utilises an aggregate formulation to develop an effective lower bounding procedure and a number of benchmark instances investigated were solved to optimality. Mandal et al. (2015) proposed a memetic algorithm for the bi-criterion MCGRP (by including route balance as a second criterion), and numerical results were reported for a number of instances. Dell'Amico et al. (2016a) proposed an adaptive iterated local search metaheuristic for the MCGRP and tested its performance to five published benchmarks. This metaheuristic includes vital mechanisms from adaptive large neighborhood search combined with further intensification through local search. In the sequel, we adopt and present the two-index mathematical model for the MCGRP proposed by Irnich et al. (2015).



2.3. Problem formulation

Consider a mixed graph $G = (N, E, A)$, where N is the set of nodes, E is the set of edges and A is the set of arcs. Node $\{1\} \in N$ denotes the depot, at which a set of V homogeneous vehicles with capacity C is based. The extension to vehicles with different capacities is straightforward.¹ The remaining nodes form the set $N' = N \setminus \{1\}$. Every element $b \in N \cup E \cup A$ has a supply/demand q_b (in bikes), those elements with strictly positive or negative demand are required, meaning that they must be serviced exactly once. Any set with subscript S denotes the serviced elements of that set. Serviced nodes are in $N_S = \{n \in N' : q_n\}$, serviced edges are in $E_S = \{e \in E : q_e\}$, and serviced arcs are in $A_S = \{a \in A : q_a\}$. In order to ensure feasibility, we assume that the demand q_s of each serviced element s does not exceed C . Clearly, an element $s \in N_S \cup E_S \cup A_S$ is a supply element if $q_s > 0$ and a demand element if $q_s < 0$.² For clarity, links refer to both edges and arcs in $E \cup A$. Any link can be deadheaded, i.e., traversed without being serviced, any number of times. The traversal of a link $l \in E \cup A$ results in a non-negative traversal cost c_l . In the following, serviced elements are referred to as $s \in N_S \cup E_S \cup A_S$ when distinction is not essential.

Further, we introduce some additional notation in order to take into account parity constraints, stipulating that each vehicle tour induces a Eulerian mixed graph. A mixed graph G is Eulerian if and only if, the degree of each node (number of links incident with it) is even and for every proper subset P of nodes of G , the difference between the number of arcs entering and leaving P does not exceed the number of edges with exactly one endpoint in P (Ford and Fulkerson, 2010). Let P be a non-empty subset of nodes. We denote by $\delta^+(P)$ the set of arcs leaving P , by $\delta^-(P)$ the set of arcs entering P , by $\delta_S^+(P)$ the set of serviced arcs leaving P , by $\delta_S^-(P)$ the set of serviced arcs entering P , by $\delta(P)$ the set of edges with exactly one endpoint in P , and by $\delta_S(P)$ the set of serviced edges with exactly one end point in P . The associated link sets are $\delta^*(P) = \delta(P) \cup \delta^+(P) \cup \delta^-(P)$ and $\delta_S^*(P) = \delta_S(P) \cup \delta_S^+(P) \cup \delta_S^-(P)$. For the sake of brevity, singleton sets $P = \{i\}$ in the previous notation can be replaced by i so that, e.g., $\delta(i)$ stands for $\delta(\{i\})$. Finally, we denote by $N_S(P)$ the set of serviced nodes belonging to P , by $A_S(P)$ the set of serviced arcs with both endpoints in P , and by $E_S(P)$ the set of serviced edges with both endpoints in P .

The MCGRP reads: find a minimum-cost vehicle tours, each starting and ending at the depot, that together serve all required elements (nodes, edges, arcs) exactly once, respecting vehicle capacity. The following integer linear programming formulation, which is adopted from Irnich et al. (2015), based on variables with two indices, one for the respective vehicles in V and the other for referring to an element of $N \cup E \cup A$. This formulation is much simpler compared to the one proposed in Bosco et al. (2013), that is based on three-index link variables and two-index node variables.

Let x_s^v be a binary variable equal to 1 if and only if the required element $s \in N_S \cup E_S \cup A_S$ is serviced by vehicle $v \in V$. For a link $l \in E \cup A$ and a vehicle $v \in V$, let y_l^v be a non-negative variable representing the number of deadheadings through l by vehicle $v \in V$. For a subset of required links $L \subseteq A_S \cup E_S$, we define $x^v(L) = \sum_{l \in L} x_l^v$, and for a subset of links $L \subseteq A \cup E$, we define $y^v(L) = \sum_{l \in L} y_l^v$. The two-index formulation for the MCGRP reads (Irnich et al., 2015):

$$\min_{x,y} \sum_{v \in V} \sum_{l \in E \cup A} c_l y_l^v + \sum_{s \in N_S \cup E_S \cup A_S} c_s x_s^v \quad (1)$$

$$\sum_{v \in V} x_s^v = 1, \quad \forall s \in N_S \cup E_S \cup A_S \quad (2)$$

$$\sum_{s \in N_S \cup E_S \cup A_S} \min\{0, q_s x_s^v\} \leq C, \quad \forall v \in V \quad (3)$$

$$x^v(\delta_S^*(n)) + y^v(\delta^*(n)) \equiv \text{even}, \quad \forall n \in N, v \in V \quad (4)$$

$$x^v(\delta_S^-(P)) + y^v(\delta^-(P)) - x^v(\delta_S^+(P)) - y^v(\delta^+(P)) - x^v(\delta_S(P)) - y^v(\delta(P)) \leq 0, \quad \forall P \subset N, v \in V \quad (5)$$

$$x^v(\delta_S^*(P)) + y^v(\delta^*(P)) \geq 2x_s^v, \quad \forall s \in N_S(P) \cup E_S(P) \cup A_S(P), P \subseteq N', v \in V \quad (6)$$

$$x_s^v \in \{0, 1\}, \quad \forall s \in N_S \cup E_S \cup A_S, v \in V \quad (7)$$

$$y_l^v \in \mathbb{Z}_+, \quad \forall l \in E \cup A, v \in V \quad (8)$$

The objective function (1) minimises the total routing cost. The second term in (1) corresponds to the service

¹ Actually the consideration of a heterogenous fleet of vehicles reduces the number of equivalent solutions due to symmetry, and makes the problem more easy to solve.

² For simplicity, elements $s \in E_S \cup A_S$ can be considered as supply with $q_s > 0$, while elements in $s \in N_S$ as demand with $q_s < 0$. A necessary condition for feasibility reads: $\sum_{s \in N_S} q_s + \sum_{s \in E_S \cup A_S} q_s = 0$. In other words, the total inventory being supplied at the nodes must equal the total inventory being absorbed by the links in the network.



costs that are independent of the routing decisions (depend only on the links to be serviced $l \in E_S \cup A_S$). Constraints (2) ensure that each required element is serviced exactly once by exactly one vehicle (assignment constraints). Constraints (3) guarantee the capacity C of each vehicle is respected (knapsack constraints). Note that our formulation is quite different compared to (Irnich et al., 2015) to allow for negative demands; additional modifications of the above formulation will be presented in the final version of the paper. In contrast to the classic capacitated VRP where only nodes are visited, constraints (3) include all the required elements in $s \in N_S \cup E_S \cup A_S$ (i.e., serviced nodes, edges and arcs). Parity constraints (4) and balanced set conditions (5) stipulate that each route induces a Eulerian mixed graph. The parity constraints (4) are non-linear but can be replaced by linear constraints. To this end, we introduce additional integer variables $d_n \in \mathbb{Z}_+$, one for each node $n \in N$, and set the right-hand side of (4) to $= 2d_n$ (Irnich et al., 2015). Another option would be to employ the so-called *blossom inequalities* to partially cover the parity constraints (Belenguer and Benavent, 1998). Constraints (6) are connectivity constraints (each route is connected and connected to the depot). They impose that for each subset of nodes (excluding the depot) containing a link or node serviced by a vehicle, at least two links incident to the subset must be traversed; they also eliminate subtours disjointed from the depot. Finally, constraints (7) and (8) define the domains of the service and deadheading variables

For the solution of the integer programming problem (1)–(8), Irnich et al. (2015) employ a two-phase branch-and-cut algorithm, where they first solve an aggregated model to obtain tight lower bounds and strong valid inequalities that are then used to speed up their branch-and-cut algorithm. Due to space limitations the two-phase branch-and-cut algorithm is not reported in this document. The interested reader is referred to Irnich et al. (2015) for more details.

3. COMPUTATIONAL EXPERIMENTS

Computational experiments will be carried out and reported in the final version of the paper for two real-life data sets of FFBS used in Pal and Zhang (2017). The first dataset concerns the Share-A-Bull Bikes (SABB) FFBS systems in the University of South Florida (Tampa campus) and the other one is based on Divvy station-based bike sharing (SBBS) system in Chicago. SABB includes 157 nodes (total capacity of approximately 1688 bikes) and currently 300 bikes are available to hire. Up to 5 vehicles are available for relocating bikes with varying capacity in the range $[5, 10]$. Divvy is a large-scale SBBS in the city of Chicago with 476 nodes (total capacity of approximately 7900 bikes) and 4760 bikes. Up to 30 vehicles are available for relocating bikes with varying capacity in the range $[10, 20]$. Computational experiments will be carried out by implementing and using the two-phase branch-and-cut algorithm proposed in Irnich et al. (2015) or the branch-and-cut-and-price algorithm proposed in Bach et al. (2016).

The instances reported in Pal and Zhang (2017), modified to allow bikes positioned at arbitrary link locations, can be used as basis for comparisons. For each instance, we need also to generate the number of required elements $|N_S \cup E_S \cup A_S|$, i.e., nodes, edges and arcs to be serviced. It should be noted that the instances reported in Bach et al. (2016); Irnich et al. (2015) are of much smaller size (required elements in the order of $|N_S \cup E_S \cup A_S| \approx 120$) compared to the ones in SABB and Divvy datasets (where $N = 157$ and $N = 456$, respectively). In general the FFBS rebalancing problem considered in Pal and Zhang (2017) is quite different from (a special case of) our generic formulation where a number of required elements (including nodes, edges and arcs) are serviced. Hopefully, these experiments will shed some light on the effectiveness of the two-phase branch-and-cut algorithm to solve large-scale instances of the FFBS rebalancing problem.

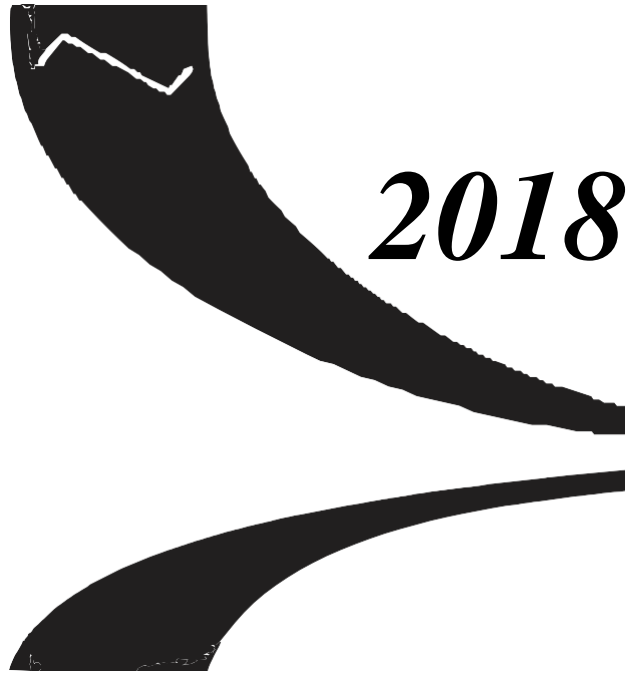
4. CONCLUSION

In an FFBS system bikes are placed at arbitrary locations within a city and thus requests with given demand size are located on the nodes, edges, and arcs of a mixed graph. This induces an uneven distribution of bikes in the system after a daily operation, and thus, to a low quality of service and user dissatisfaction. The FFBS rebalancing problem was formulated as a mixed capacitated general routing problem that is defined over a mixed graph (with one-way directed arcs and two-way undirected edges). Rebalancing over the mixed graph involves a number of predetermined (required) nodes and roads – hot spots – that must be serviced at least once. The goal of rebalancing is to route a number of vehicles along the graph to satisfy all requests with minimum routing cost, obeying vehicle capacity. To formulate and solve this problem, an integer linear program was adopted involving a two-phase branch-and-cut algorithm. The presented formulation for the FFBS rebalancing problem is the first one combining all the elements of a mixed graph (nodes, edges, and arcs) and thus avoiding the dichotomy between arc and node routing in VRP literature. Some discussion on the availability of real-life data sets of FFBS and perspective computational experiments concluded the paper.



REFERENCES

- Alvarez-Valdes, R., Belenguer, J. M., Benavent, E., Bermudez, J. D., Muñoz, F., Vercher, E., and Verdejo, F. (2016). Optimizing the level of service quality of a bike-sharing system. *Omega*, 62:163–175.
- Bach, L., Lysgaard, J., and Wøhlk, S. (2016). A branch-and-cut-and-price algorithm for the mixed capacitated general routing problem. *Networks*, 68(3):161–184.
- Belenguer, J. M. and Benavent, E. (1998). The capacitated arc routing problem: Valid inequalities and facets. *Computational Optimization and Applications*, 10(2):165–187.
- Bosco, A., Laganà, D., Musmanno, R., and Vocaturo, F. (2013). Modeling and solving the mixed capacitated general routing problem. *Optimization Letters*, 7(7):1451–1469.
- Bosco, A., Laganà, D., Musmanno, R., and Vocaturo, F. (2014). A matheuristic algorithm for the mixed capacitated general routing problem. *Networks*, 64(4):262–281.
- Boyaci, B., Zografos, K. G., and Geroliminis, N. (2015). An optimization framework for the development of efficient one-way car-sharing systems. *European Journal of Operational Research*, 240(3):718–733.
- Chemla, D., Meunier, F., and Calvo, R. W. (2013). Bike sharing systems: Solving the static rebalancing problem. *Discrete Optimization*, 10(2):120–146.
- Corberán, Á. and Laporte, G., editors (2013). *Arc Routing: Problems, Methods, and Applications*. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, PA.
- Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1):80–91.
- Dell'Amico, M., Díaz, J. C. D., Hasle, G., and Iori, M. (2016a). An adaptive iterated local search for the mixed capacitated general routing problem. *Transportation Science*, 50(4):1223–1238.
- Dell'Amico, M., Hadjicostantinou, E., Iori, M., and Novellani, S. (2014). The bike sharing rebalancing problem: Mathematical formulations and benchmark instances. *Omega*, 45:7–19.
- Dell'Amico, M., Iori, M., Novellani, S., and Stützle, T. (2016b). A destroy and repair algorithm for the bike sharing rebalancing problem. *Computers & Operations Research*, 71:149–162.
- DeMaio, P. (2009). Bike-sharing: History, impacts, models of provision, and future. *Journal of Public Transportation*, 12(4):41–56.
- Edmonds, J. and Johnson, E. L. (1973). Matching, Euler tours, and the Chinese postman. *Mathematical Programming*, 5:88–124.
- Erdoğan, G., Battarra, M., and Calvo, R. W. (2015). An exact algorithm for the static rebalancing problem arising in bicycle sharing systems. *European Journal of Operational Research*, 245(3):667–679.
- Ford, L. R. and Fulkerson, D. R. (2010). *Flows in Networks*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Forma, I. A., Raviv, T., and Tzur, M. (2015). A 3-step matheuristic for the static repositioning problem in bike-sharing systems. *Transportation Research Part B*, 71:230–247.
- Golden, B. and Wong, R. (1981). Capacitated arc routing problems. *Networks*, 11:305–315.
- Ho, S. C. and Szeto, W. (2014). Solving a static repositioning problem in bike-sharing systems using iterated tabu search. *Transportation Research Part E*, 69:180–198.
- Ho, S. C. and Szeto, W. (2017). A hybrid large neighborhood search for the static multi-vehicle bike-repositioning problem. *Transportation Research Part B*, 95:340–363.
- Irnich, S., Laganà, D., Schlegel, C., and Vocaturo, F. (2015). Two-phase branch-and-cut for the mixed capacitated general routing problem. *European Journal of Operational Research*, 243(1):17–29.
- Kwan, M.-K. (1962). Graphic programming using odd or even points. *Chinese Mathematics*, 1(3):273–277.
- Lenstra, J. K. and Rinnooy Kan, A. H. G. (1974). On general routing problems. *Networks*, 6(3):273–280.
- Mandal, S. K., Pacciarelli, D., Løkketangen, A., and Hasle, G. (2015). A memetic NSGA-II for the bi-objective mixed capacitated general routing problem. *Journal of Heuristics*, 21(3):359–390.
- Orloff, C. S. (1974). A fundamental problem in vehicle routing. *Networks*, 4:35–64.
- Pal, A. and Zhang, Y. (2017). Free-floating bike sharing: Solving real-life large-scale static rebalancing problems. *Transportation Research Part C*, 80:92–116.
- Prins, C. and Bouchenoua, S. (2004). A memetic algorithm solving the VRP, the CARP and general routing problems with nodes, edges and arcs. In Hart, W., Krasnogor, N., and Smith, J., editors, *Recent Advances in Memetic Algorithms, Studies in Fuzziness and Soft Computing*, pages 65–85. Springer.
- Raviv, T., Tzur, M., and Forma, I. A. (2013). Static repositioning in a bike-sharing system: models and solution approaches. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 2(3):187–229.
- Schuijbroek, J., Hampshire, R., and van Hoes, W.-J. (2017). Inventory rebalancing and vehicle routing in bike sharing systems. *European Journal of Operational Research*, 257(3):992–1004.
- Weikl, S. and Bogenberger, K. (2013). Relocation strategies and algorithms for free-floating car sharing systems. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 5(4):100–111.



2018

***SIMULACIJA I
STOHASTIČKI MODELI***



BRIDGING THE GAP BETWEEN THE THEORY OF EVOLUTIONARY ALGORITHMS AND GENETICS

ANTON EREMEEV¹(*KEYNOTE SPEAKER*), ALEXANDER SPIROV²

¹The Institute of Scientific Information for Social Sciences RAS, Moscow, Russia, Sobolev Institute of Mathematics SB RAS, Omsk, Russia, eremeev@ofim.oscsbras.ru

²The Institute of Scientific Information for Social Sciences RAS, Moscow, Russia, I.M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry RAS, St. Petersburg, Russia, sspirov@yandex.ru

Abstract: *The field of evolutionary algorithms (EAs) emerged in the area of computer science due to a transfer of ideas from genetics of populations and developed independently for several decades. The theory of EAs has been enriched with techniques from the probability theory, the complexity theory and the optimization methods. Our aim is to consider how some recent results in theory of EAs may be mapped back into biology and how do they compare to the biological viewpoint.*

It has been noted by Spirov and Holloway (2012) that the EAs optimizing Royal Road fitness functions due to Mitchell et al. (1992) may be considered as models of evolutionary search for the gene promoter sequences “from scratch”. Here we consider the design of the synthetic promoters via SELEX procedure (Systematic Evolution of Ligands by EXponential enrichment) from the EAs methodology viewpoint. We use the method originally developed by Eremeev (2018) to upper bound the proportion of optimal and near-optimal solutions in the EA population after a given number of iterations. Here this method is used to estimate the abundance of efficient strings containing series of binding sites for FIS transcription factors Hirvonen et al. (2001) in a SELEX-type procedure.

Our result suggests that some of the theoretically provable bounds for the EAs may be used, at least in principle, for a-priori estimation of efficiency of SELEX-based approaches. Further theoretical research is needed in order to improve the results in the EA theory so that they may be more applicable to the SELEX-type procedures.

Keywords: *Runtime analysis, SELEX procedure, Royal Road function, Binding site, promoter.*

Acknowledgement

The research was supported by the Russian Science Foundation (grant 17-18-01536).

REFERENCES

- [1] Eremeev, A. (2018). On proportions of fit individuals in population of mutation-based evolutionary algorithm with tournament selection. *Evolutionary Computation*, 26(2):269–297.
- [2] Hirvonen, C., Ross, W., Wozniak, C., Marasco, E., Anthony, J., Aiyar, S., Newburn, V., and Gourse, R. (2001). Contributions of UP elements and the transcription factor FIS to expression from the seven rrn P1 promoters in *Escherichia coli*. *J Bacteriol.*, 183(21):269–297.
- [3] Mitchell, M., Forrest, S., and Holland, J. (1992). The royal road for genetic algorithms: fitness landscapes and ga performance. In *Proceedings of the 1st European Conf. on Artificial Life*, pages 245–254. Cambridge, MA: MIT Press.
- [4] Spirov, A. and Holloway, D. (2012). New approaches to designing genes by evolution in the computer. In Roeva, O., editor, *Real-World Applications of Genetic Algorithms*, pages 235–260. InTech.



NEKE VARIJANTE PROBLEMA SAKUPLJANJA KUPONA

SOME VARIANTS OF COUPON COLLECTOR'S PROBLEM

BOJANA TODIĆ

Univerzitet u Beogradu, Matematički fakultet, Studentski trg 16, btodic@matf.bg.ac.rs

Rezime: Kombinatorni problem čekanja realizacije svih događaja iz neke kolekcije u nizu slučajnih eksperimenata poznat je kao problem sakupljanja kupona. U radu se razmatra jedno uopštenje ovog problema – slučaj kad postoje neispravni kuponi i kuponi koji mogu da zamene bilo koji kupon iz kolekcije. Na ovom problemu ilustruje se primena tehnika teorije ekstremnih vrednosti.

Ključne reči: Problem sakupljanja kupona, teorija ekstremnih vrednosti

Abstract: The combinatorial waiting time problem until realization of all events from a collection in a sequence of random experiments is known as the Coupon collector's problem. In this paper, we consider a generalization of this problem – a case when defective coupons and coupons that can replace any coupon from the collection exist. Application of extreme value theory techniques is illustrated on this problem.

Keywords: Coupon collector's problem, extreme value theory

1. UVOD

Problem sakupljanja kupona je poznat kombinatorni problem. Razmatra se od 60-ih godina prošlog veka u radovima Erdős, Rényi (1961), Békéssy (1964), Holst (1971, 1977, 1986), Flato (1982), Mladenović (1999, 2006, 2008) i mnogim drugim.

Formalno, kombinatorni problem skupljanja kupona može se opisati na sledeći način: iz skupa $N_n = \{1, 2, \dots, n\}$ biraju se elementi sa vraćanjem, pod pretpostavkom da svi elementi imaju jednaku verovatnoću da budu izabrani i analizira se vreme čekanja, M_n , dok svi elementi iz skupa N_n ne budu izabrani.

Pored osnovog problema sakupljanja kupona razmatrane su mnoge varijante i uopštenja ovog problema. Na primer, u radu Samuel-Cahn (1974) određeni su uslovi za verovatnoću izbora elemenata iz skupa ishoda pod kojim granična raspodela maksimuma postoji. U radu Holst (1986) razmatra se vreme čekanja do pojave bar r k -torki elemenata. Različite primene ovog problema predstavljene su u radu Dawkins (1991), a jedno moguće uopštenje ovog problema u slučaju kada su verovatnoće izbora elemenata proizvoljne razmatrana je u radu Boneh, Papanicolaou (1996).

U ovom radu prikazano je korišćenje tehnika teorije ekstremnih vrednosti u kombinatornim problemima. Navedeni su poznati rezultati koji se odnose na graničnu raspodelu maksimuma nekih slučajnih veličina koje se pojavljuju u problemu sakupljanja kupona i različitim uopštenjima ovog problema. Predmet istraživanja ovog rada je da se primenom tehnika teorije ekstremnih vrednosti odredi granična raspodela maksimuma u kombinatornim problemima koji se mogu posmatrati kao varijante problema sakupljanja kupona.

2. TEORIJA EKSTREMNIH VREDNOSTI I PROBLEM SAKUPLANJA KUPONA

Postoje različiti pristupi koji se primenjuju za rešavanje problema sakupljanja kupona. Na primer, metod karakterističnih i generatornih funkcija, metod utapanja u Puasonove procese, metod teorije ekstremnih vrednosti. Razmotrimo pristup koji koristi metode teorije ekstremnih vrednosti za određivanje asimptotskih osobina slučajne veličine M_n kada n neograničeno raste.

Osnovni rezultat teorije ekstremnih vrednosti je predstavljen je u sledećoj teoremi.



Teorema 1 (Gnedenko 1943, de Haan 1976) Neka je (X_n) niz nezavisnih slučajnih veličina sa zajedničkom funkcijom raspodele F i neka je $M_n = \max\{X_1, \dots, X_n\}$. Ako postoje nizovi konstanti $a_n > 0$ i $b_n \in \mathbf{R}$, $n \in \mathbf{N}$, takvi da

$$P\left\{\frac{M_n - b_n}{a_n} \leq x\right\} = F^n(a_n x + b_n) \rightarrow_{\omega} G(x), \quad (1)$$

gde je G nedegenerisana funkcija raspodele, tada je funkcija G istog tipa kao neka od raspodela ekstremnih vrednosti:

- Gumbelova raspodela:

$$G_0(x) = \exp(-e^{-x}), \quad -\infty < x < +\infty, \quad (2)$$

- Freševa raspodela:

$$G_{1,\alpha}(x) = \begin{cases} 0, & \text{za } x < 0, \\ \exp(-x^{-\alpha}), & \text{za } x \geq 0, \end{cases} \quad (\alpha > 0), \quad (3)$$

- Vejbulova raspodela:

$$G_{2,\alpha}(x) = \begin{cases} \exp(-(-x)^\alpha), & \text{za } x < 0, \\ 1, & \text{za } x \geq 0, \end{cases} \quad (\alpha > 0). \quad (4)$$

Slučajna veličina M_n koja predstavlja vreme čekanja do realizacije svih elemenata iz skupa $\mathbf{N}_n = \{1, 2, \dots, n\}$ može se predstaviti kao $M_n = \max\{X_1, \dots, X_n\}$, gde su X_k , $k = 1, 2, \dots, n$, slučajne veličine koje predstavljaju broj potrebnih izvlačenja do pojave elementa k . Slučajne veličine X_1, \dots, X_n koje se ovde pojavljuju su obično zavisne, ali ako je niz ovih slučajnih veličina stacionaran, a zavisnost među članovima mala može se koristiti metod baziran na proveru Lidbeterovih (Leadbetter 1974) i Lojnesovih (Loynes 1965) uslova pomešanosti $D(u_n)$ i $D'(u_n)$, koji su u ovom slučaju ispunjeni. Ovi uslovi omogućavaju da se granična raspodela maksimuma M_n određuje na isti način kao u slučaju kada je X_1, \dots, X_n niz nezavisnih slučajnih veličina.

Postoje mnoge varijante i uopštenja problema sakupljanja kupona. U radu Erdős, Rényi (1961) razmatrana je originalna verzija ovog problema, gde je M_n vreme čekanja dok se ne pojave svi elementi skupa \mathbf{N}_n . Granična raspodela ove slučajne veličine data je u sledećoj teoremi.

Teorema 2 (Erdős, Rényi 1961) Za svaki realan broj x važi jednakost:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{M_n \leq n(x + \log n)\} = \exp(-e^{-x}). \quad (5)$$

Jedan način uopštenja ovog problema je da se posmatra slučajna veličina M_n koja u ovom slučaju predstavlja vreme čekanja do pojave svih elemenata skupa \mathbf{N}_n bar r puta, gde je r prirodan broj. Ovaj problem je razmotren u radu Holst (1986). Granična raspodela slučajne veličine M_n određena je u sledećoj teoremi.

Teorema 3 (Holst 1986) Za svaki realan broj x važi jednakost:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{M_n \leq n(x + \log n + (r-1) \log \log n - \log(r-1)!)\} = \exp(-e^{-x}). \quad (6)$$

Problem sakupljanja kupona može se uopštiti tako da se umesto pojave pojedinačnih elemenata skupa \mathbf{N}_n , posmatra vreme čekanja M_n do pojave parova, trojki, četvorki, ... elemenata. Problem čekanja za parove rešen je u radu Mladenović (2008) i određena je granična raspodela slučajne veličine M_n koja je data u sledećoj teoremi.

Teorema 4 (Mladenović 2008) Za svaki realan broj x važi jednakost:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{M_n \leq n^2(x + \log n)\} = \exp(-e^{-x}). \quad (7)$$

Granična raspodela slučajne veličine M_n koja predstavlja vreme čekanja dok se ne pojave sve trojke elemenata iz skupa \mathbf{N}_n određena je u radu Jocković, Mladenović (2014) i njena funkcija raspodele određena je u sledećoj teoremi.



Teorema 5 (Jocković, Mladenović 2014) Za svaki realan broj x važi jednakost:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{M_n \leq n^3(x + \log n)\} = \exp(-e^{-x}). \quad (8)$$

3. PRIMENA PROBLEMA SAKUPLJANJA KUPONA

Problem sakupljanja kupona pripada klasi kombinatornih problema koji se mogu opisati pomoću poznatog modela urne (*urn models*). Shodno tome, mnogobrojni kombinatorni problemi mogu da se predstavljaju kao klasični problem sakupljanja ili neka varijanta ovog problema. U nastavku rada navedeni su neki od tih kombinatornih problema i razmatrano je asimptotsko ponašanje vremena čekanja dok se ne pojave svi elementi iz nekog skupa uz neke dodatne uslove ili zahteve.

Problem sakupljanja kupona može se primeniti za rešavanje sledećeg kombinatornog problema: Pretpostavimo da imamo n različitih kutija u koje se ubacuju loptice. Verovatnoća pogotka bilo koje kutije je p_n , a verovatnoća promašaja svih kutija jednaka je $1 - n \cdot p_n$, pri čemu je $n \cdot p_n < 1$. Sva bacanja su međusobno nezavisna. Posmatramo vreme koje je potrebno da se u svaku kutiju ubaci bar po jedna loptica.

Ovaj problem može se posmatrati kao problem sakupljanja kupona, gde je skup svih mogućih ishoda $N_n = \{1, 2, \dots, n\}$, a verovatnoća izbora bilo kog elementa iz ovog skupa jednaka p_n . Slučajne veličine X_j , $j = 1, 2, \dots, n$ koje predstavljaju vreme čekanja do pojave elementa j imaju geometrijsku raspodelu sa parametrom p_n :

$$P\{X_j = d\} = (1 - p_n)^{d-1} p_n, \quad d = 1, 2, \dots \quad (9)$$

U ovoj varijanti problema sakupljanja kupona granična raspodela slučajne veličine M_n koja predstavlja vreme čekanja do pojave svih elemenata iz skupa N_n data je u sledećoj teoremi.

Teorema 6 Za svaki realan broj x važi da je:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left\{M_n \leq \frac{x + \log n}{p_n}\right\} = \exp(-e^{-x}). \quad (10)$$

Još jedno uopštenje problema sakupljanja kupona može da se iskoristi za rešavanje sledećeg kombinatornog problema: Pretpostavimo da želimo da popunimo album za sličice koji ima n praznih mesta za n različitih sličica. Među sličicama koje se mogu kupiti postoji i k neispravnih „škart“ sličica, kao i s „džoker“ sličica, koje mogu da zamene bilo koju sličicu u albumu. Sličice se kupuju pojedinačno i svaka kupovina je nezavisna od prethodnih kupovina sličica. Posmatramo vreme potrebno da se album popuni, odnosno želimo da odredimo graničnu raspodelu te slučajne veličine.

Ovakav problem može da predstavi kao jedna varijanta poznatog problema sakupljanja kupona tako što se skup svih mogućih ishoda $N_n = \{1, 2, \dots, n\}$ proširi sa s kupona koji mogu da zamene bilo koji drugi kupon (oznaka: *) i k neispravnih kupona (oznaka: 0). Pretpostavimo da su svi ovi ishodi jednako verovatni. Tada je skup ishoda ovako uopštenog problema sakupljanja kupona:

$$N_n^{k,s} = \left\{1, 2, \dots, n, \underbrace{0, 0, \dots, 0}_k, \underbrace{*, *, \dots, *}_s\right\}. \quad (11)$$

Prema tome, verovatnoća da element j bude izabran iz skupa $N_n^{k,s}$ jednaka je $p_j = \frac{1+s}{n+k+s}$. Slučajne veličine X_j , $j = 1, 2, \dots, n$ koje predstavljaju vreme čekanja do pojave elementa j imaju geometrijsku raspodelu sa parametrom p_j odnosno,

$$P\{X_j = d\} = \left(\frac{n+k-1}{n+k+s}\right)^{d-1} \frac{s+1}{n+k+s}, \quad d = 1, 2, \dots \quad (12)$$

Neka je $M_n^{k,s}$ slučajna veličina koja predstavlja vreme čekanja do pojave svih elemenata iz skupa $N_n^{k,s}$. Sledeća teorema tvrdi da granična raspodela maksimuma niza slučajnih veličina ima Gumbelovu raspodelu i daje normirajuće konstante uz neke dodatne pretpostavke.

**Teorema 7**

1. Ako je $s = o(n)$ odnosno, ako je broj kupona koji mogu da zamene bilo koji drugi kupon s mnogo manji od broja n , tada važi za svaki pozitivan broj x važi:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ M_n^{k,s} \leq \frac{n+k+s}{s+1} (x + \log n) \right\} = \exp(-e^{-x}). \quad (13)$$

2. Ako je $s \sim c \cdot n$, gde je c pozitivan realan broj i $\frac{k}{n} \rightarrow \infty$, tada za svaki pozitivan broj x važi:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ M_n^{k,s} \leq \frac{n+k+s}{s+1} (x + \log n) \right\} = \exp(-e^{-x}). \quad (14)$$

Primetimo da slučaj kada u skupu ishoda nema kupona koji mogu da zamene bilo koji drugi kupon, slučaj kada je $s = 0$, a broj neispravnih kupona je proizvoljan, na primer jednak k , može se posmatrati i kao specijalni slučaj kombinatornog problema sa kutijama koji je ranije razmatran. U tom slučaju verovatnoća pogotka svake kutije jednaka je $p_n = \frac{1}{n+k}$, a verovatnoća promašaja svih kutija je $\frac{k}{n+k}$.

4. ZAKLJUČAK

Problem sakupljanja kupona je stari kombinatorni problem čekanja do realizacije svih događaja iz neke kolekcije u nizu slučajnih eksperimenata. Mnogi kombinatorni problemi koji imaju široku primenu mogu da se predstave kao varijante i uopštenja ovog problema.

U radu je razmatrana varijanta problema sakupljanja kupona, slučaj kada postoje neispravni kuponi i kuponi koji mogu da zamene bilo koji kupon iz kolekcije. Primenom tehnika teorije ekstremnih vrednosti određeno je da je granična raspodela vremena čekanja do pojave svih elemenata iz te kolekcije Gumbelova raspodela i određene su odgovarajuće normirajuće konstante.

LITERATURA

- [1] Békéssy, A. (1964). On classical occupancy problem. II Sequential occupancy. Magyar Tud. Akad. Mat. Kutató Int. Közl., 9, 133–141.
- [2] Boher, S., Papanicolaou, V. G. (1996). General asymptotic estimates for the Coupon Collector Problem, Journal of Computational and Applied Mathematics 67, 277-289.
- [3] Dawkins, B. (1991). Siobhan's Problem: The Coupon Collector Revisited, The American Statistician Vol 45 no.1, 76–82.
- [4] Erds, P., Rényi, A. (1961). On a classical problem of probability theory. Magyar Tud. Akad. Mat. Kutató Int. Közl. 6(1–2), 215–220.
- [5] Flato, L. (1982). Limit theorems for some random variables associate with urn models. Ann. Probab. 10 (4), 927–934.
- [6] Gnedenko, B. V. (1943). Sur la distribution limitr du terme maximum d'une série aléatoire, Ann. Math., 423–453.
- [7] Haan, L. De (1976). Sample extremes: an elementary introduction, Statistica Neerlandica, 30, 161-172.
- [8] Holst, L. (1971). Limit theorems for some occupancy and sequential occupancy problems. Ann. Math. Statist. 42, 1671–1680.
- [9] Holst, L. (1977). Some asymptotic results for occupancy problems. Ann. Probab. 5 (6), 1028–1035.
- [10] Holst, L. (1986). On birthday, collectors, occupancy and other classical urn problems. Internat. Statist. Rev. 54 (1), 15–27.
- [11] Jocković, J., Mladenović, P. (2014). Coupon collector's problem and its extensions in extreme value framework Statistics and Its Inerface, 7, 381-388.
- [12] Leadbetter, M. R. (1974). On extreme values in stationary sequences, Z.Wahrsch. verw. Gebiete, 60, 1–20.



- [13]Loynes, R. M. (1965). Extreme values in uniformly mixing stationary stochastic processes, *Ann. Math. Statist.*, 36, 993–999.
- [14]Mladenović, P. (2006). A generalization of the Meizler-de Haan theorem. *Theory Probab. Appl.* 50, 141–153.
- [15]Mladenović, P. (2002). Ekstremne vrednosti slučajnih nizova, *Matematički fakultet, Beograd*
- [16]Mladenović, P. (2008). Limit distributions for the problem of collecting pairs. *Bernoulli* 14(2), 419–439.
- [17]Mladenović, P. (1999). Limit theorems for the maximum terms of a sequence of random variables with marginal geometric distributions. *Extremes* 2(4), 405–419.
- [18]Samuel–Cahn, E. (1974). Asymptotic distributions for occupancy and waiting time problems with positive probability of failing through the cells. *Ann. Probab.* 2, 515–521.



SIMULACIONA ANALIZA UTOVARNO-ISTOVARNIH OPERACIJA TRANSPORTA OPASNIH MATERIJU U VRŠNIM MESECIMA

SIMULATION ANALYSIS OF LOADING AND UNLOADING OPERATIONS IN TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS IN THE PEAK MONTHS

MILORAD STEFANOVIĆ¹, MARKO ĐOGATOVIĆ², MAJA PEJICA³, MILORAD STANOJEVIĆ⁴

Nis a.d., ¹milorad.stefanovic@nis.eu, ³maja.pejica@nis.eu

Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, ²m.djogatovic@sf.bg.ac.rs, ⁴ milorad@sf.bg.ac.rs

Rezime: Uzevši u obzir da je mali broj vozila, autocisterni, namenjen transportu opasnih materija, tehnička i tehnološka ograničenja, velike sezonske varijacije i stroga zakonska i bezbednosna ograničenja, ispostavlja se da je izbor i obezbeđivanje optimalnih transportnih kapaciteta veoma kompleksno. U vezi sa tim, u toku vršnih perioda lanca snabdevanja jedan od najznačajnijih podprocesa je pravovremena i optimalna organizacija resursa, obezbeđivanje odgovarajućih vozila i raspoloživih vozača. Korišćenjem simulacionog modela u radu je sprovedeno istraživanje koje će oponašati utovarno-istovarne operacije lanca snabdevanja opasnih materija. Realni podaci iz sistema prikupljeni u toku tromesečnog vršnog perioda se koriste kao ulazni podaci simulacionog modela. Cilj ovog rada je da oceni potencijalne operacione benefite koji bi bili ostvareni kroz reorganizaciju alokacije resursa bez ugrožavanja rokova i regulativa.

Cljučne reči: utovarno-istovarne operacije, lanac snabdevanja, simulaciono modeliranje.

Abstract: Considering the relatively small number of truck tanker units intended for the transport of dangerous goods, technical and technological constraints, high seasonal unevenness and strict legal and safety restrictions, picking out and ensuring optimal transportation capacities is very difficult. Related to that, during supply chain peak periods of the most important subprocess is resources organization, ensuring appropriate vehicles and available drivers. In the paper survey will be conducted by means of a simulation model, which will imitate loading and unloading operations in the supply chain of dangerous goods. Real data from the system collected during the three-month peak period is used as input data for the simulation. The aim of this study is to evaluate the potential operational benefits, which could be achieved through the reorganization of the resource allocation without compromising deadlines and regulations.

Keywords: loading and unloading, supply chain, simulation modeling.

1. UVOD

Opasnim materijama se smatraju sve one materije koje mogu da izazovu posledice štetne po zdravlje i okolinu. Složenost obezbeđivanja transporta opasnih materija proizilazi iz ograničenog broja vozila, tehničkih i tehnoloških ograničenja, sezonskih varijacija i strogih zakonskih i bezbednosnih ograničenja. U zapaljive opasne materije spadaju nafta i naftni derivati za koje je neophodno obezbediti kontinuitet u snabevanju 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).

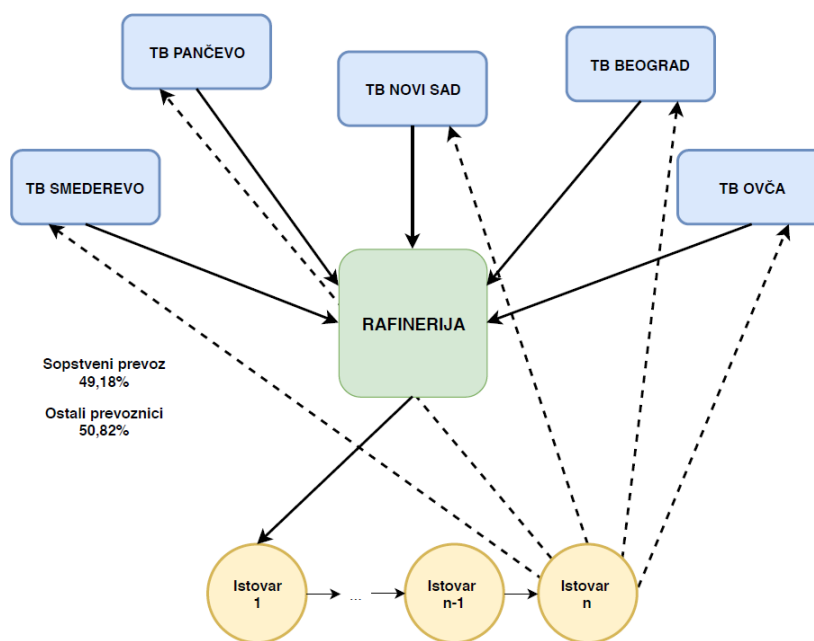
U radu je analiziran rad jednog dela preduzeća za proizvodnju, preradu i distribuciju nafte i naftnih derivata za period od tri meseca, kada je potreba za naftom i naftnim derivatima iznad proseka. Razmatrano preduzeće poseduje neuniformna vozila namenjena za prevoz opasnih materija različitih kapaciteta 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 preduzeća.

2. LANAC SNABDEVANJA OPASNIH MATERIJAMA

Upravljanje voznom parkom za prevoz opasnih materija podrazumeva aktivnosti vezane za eksploataciju i održavanje sopstvenih vozila, kao i upravljanje vozačima, zaposlenima u podršci i administraciji. Rukovodioci transporta su odgovorni za postizanje zadatih ciljeva. S obzirom na prirast i dnevne 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 moguće napraviti preciznije dugoročno planiranje transporta.

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.

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. Na osnovu naloga za utovar i izdatog putnog naloga za teretno vozilo, vozač vozila započinje vožnju (vrši: 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 prapratnih 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 subjektivnih i objektivnih faktora.



Slika 1: Šematski prikaz utovarno-istovarnih operacija

Vozila, u zavisnosti od predviđenog vremena istovara, stižu na zajednički pogon utovara koji sadrži 15 utovarnih ostrva. Utovarni pogon služi za utovar sopstvene flote, kao i za utovar vozila trećih lica.

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 330 isporuka, sa prosečnom količinom od 9,42 tona po mestu isporuke. Vozila imaju prosečno dve isporuke tokom svakog obrta. Produktivnost voznog parka je uslovljena i srazmerna veličini isporuke, tj. povećanje prosečne veličine isporuke, povećava produktivnost voznog parka.

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 podprocese 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 neproaktivnog vremena) (Behdani *et al.* 2013, Pall *et al.* 2014).

3. SIMULACIONI MODEL

Simulacioni model je realizovan u programskom jeziku C++ uz intenzivno korišćenje standardne biblioteke šablona (Standard Template Library, STL). Korišćena simulaciona strategija je strategija raspoređivanja događaja (Tyszer 1999).

U Tabeli 1 je prikazana empirijska raspodela vremena između dva dolaska vozila Rafinerije. Tabela 2 prikazuje diskretnu raspodelu izbora transportne baze iz koje će doći naredno vozilo u rafineriju, kao i broj vozila po transportnim bazama, dok Tabela 3 prikazuje diskretnu raspodelu broja naloga za različite tipove vozila. Delimične empirijske raspodele za operacije utovara i istovara date su u Tabeli 4.

Tabela 1: Empirijska raspodela vremena dolazaka vozila Rafinerije

Kumulativna frekvencija	Vreme dolazaka (min)	Kumulativna frekvencija	Vreme dolazaka (min)
0,0991	0	0,9550	80
0,4051	10	0,9701	90
0,5921	20	0,9782	100
0,7187	30	0,9828	110
0,8091	40	0,9879	120
0,8701	50	0,9972	150
0,9100	60	1,0000	240
0,9365	70		

Tabela 2: Diskretna raspodela izbora vozila iz transportne baze i broj vozila u transportnim bazama

Transportna baza	Relativna frekvencija	Broj vozila
Beograd	0,0913	12
Novi Sad	0,0761	21
Ovča	0,1056	10
Pančevo	0,6547	16
Smederevo	0,0723	11

Tabela 3: Diskretna raspodela broja naloga po tipu vozila

Tip vozila	Broj naloga	Kumulativna frekvencija				
		1	2	3	4	5
Solo Autocisterna S		0,993	1,000			
Solo Autocisterna M		0,930	0,998	1,000		
Autocisterna S		0,858	0,943	0,993	0,998	
Autocisterna M		0,760	0,997	1,000		
Autocisterna L		0,842	0,992	1,000		
Autocisterna L+PK		0,683	0,943	1,000		
TEGLJAČ+ppk		0,609	0,873	0,990	0,999	1,000

**Tabela 4:** Delimične empirijske raspodele vremena utovara i istovara za jedan tip vozila (Tegljac+PPK)

Kumulativna frekvencija	Vreme utovara (min)	Kumulativna frekvencija	Vreme istovara (min)
0,0137	10	0,0245	10
0,0349	20	0,1239	20
...
0,9942	190	0,9951	140
0,9971	210	0,9974	160
1	300	1	250

4. REZULTATI SIMULACIJE

Simulacioni eksperiment je sproveden 50 puta i pri tome je vođeno računa o statističkoj nezavisnosti. Takođe, pri svakom izvršenju simulacionog programa je korišćen različiti skup semena generatora slučajnih brojeva.

Izabrani simulacioni period je 92 dana sa usvojenim radnim vremenom od 6:30 časova do 23:30 časova. Simulacioni period od 92 dana odgovara vršnom periodu u toku godine od tri meseca (avgust, septembar i oktobar).

Dobijeni usrednjeni rezultati relevantni za rad sistema u tromesečnom vršnom periodu prikazani su u Tabelama 5 i 6. Tabela 5 daje statistike reda čekanja vozila do utovara u Rafineriji, dok su u Tabeli 6 prikazane statistike utovarnih operacija na 15 utovarnih ostrva u Rafineriji. Prosečan broj utovarno-istovarnih operacija u toku simulacionog perioda za određena vozila TB Beograd je prikazan u Tabeli 7.

Tabela 5: Statistike reda čekanja vozila u Rafineriji

Broj ulaza u red čekanje	Srednje vreme čekanja (min)	Srednja dužina reda čekanja	Maksimalni broj vozila na čekanju
8238	35,333	3,102	12

Tabela 6: Statistike utovarnih ostrva u Rafineriji

Broj dolazaka na utovar	Srednje vreme utovara (min)	Srednji broj zauzetih utovarnih ostrva	Maksimalni broj zauzetih utovarnih ostrva
8235	50,999	4,48	15

Tabela 7: Prosečan broj utovarno-istovarnih operacija za neka vozila TB Beograd

Redni broj vozila	Tip vozila	Broj utovara	Broj istovara
1	Autocisterna S	29	36
5	Autocisterna M	28	34
10	Tegljac+PPK	28	42

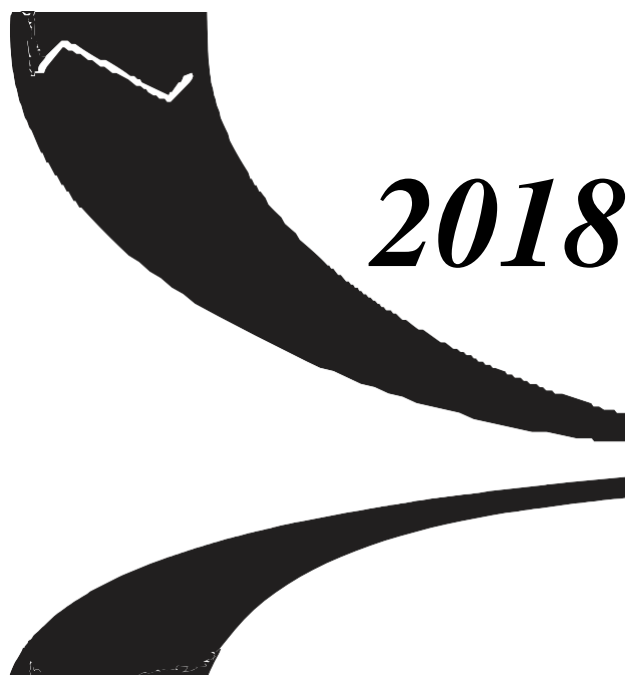
5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan simulacioni model utovarno-istovarnih operacija u transportu opasnih materija sa analizom za period od tri meseca. Korišćenjem rezultata modela moguće je utvrditi zavisnosti uticaja veličine prosečne isporuke i produktivnosti voznog parka što je kasnije moguće iskoristiti kao ulazni podatak za projektovanje proizvodnosti, dimanzionisanje voznog parka i potrebnog broja voznog osoblja (jedan od podataka za uspešno upravljanje radom transportne organizacije).



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.



TEORIJA IGARA



COOPERATION AND PARTNERSHIP GAME IN VENTURE CAPITAL FUNDING

VLADISLAV RADAK¹, IVAN ANIĆ²

¹ Technical University of Dortmund, vladislav.radak@tu-dortmund.de

² Information Technology School, ivan.anic@its.edu.rs

Abstract: *Venture capital funding, main source of start-up financing saw decline in recent years, rising caution among investors, as well as broader macroeconomic condition. VCs decide how much money they will invest in the firm and weigh the return they expect with respect to the risk involved. In making their decisions, VCs take into account the decisions of the other players. The study characterizes the equilibrium contracts among the players and provides insights into the arrangement.*

Keywords: *Cooperation, Game Theory, Nash Equilibrium, Venture Capital*

1. INTRODUCTION

Researchers often address venture capital-backed startups as breakthrough innovation in the business model, novel technology or a combination of both and call it an important source of innovation and technological development and serve as a major source of new wealth creation in the United States (e.g., Bygrave & Timmons, 1991). One of bigger concerns for start-up companies is how to secure financing. There are various types of financing, which vary depending on the stage of startup development, information on success probability and a number of patents. In the following work, we will present two-stage financing model, which can be adopted in much more complex practical applications with multiple stage financing, which is mostly the case. Although there are more than two types financing of entrepreneurs, like angels, incubators, bank loans, crowdfunding and venture capital (VC), we will, without loss of generality address entry stage financing as angels and later stage financing as VC.

In order for an entrepreneur to secure financing, she needs to signal enterprise quality firstly to an angel which has no prior beliefs about entrepreneur's quality and secondly, on the later stage to VCs. Our assumption is that all three players aim to the point where they can 'cash out' on their investment which is presented money, and effort. 'Cash out' stage is commonly referred to 'exit' stage, which can be an initial public offer (IPO), acquisition and, in some cases private offering. Both VCs and first stage financiers might offer their management in order to navigate company's success and quality of the signal that will be provided to the next stage financier or during the exit strategy. Previous studies discuss the confrontational effects of conflicts between the angel, VC and the entrepreneur on the performance of the venture. Some state that direct effect of the conflict of interests is a moral hazard problem since all three players act in their self-interest (often regarding their own complex portfolios), regardless the outcome on the other parties involved.

2. THE MODEL

Let us consider a simple model with three risk neutral players: entrepreneur, which brings initial startup idea and primary manpower, angel and venture capitalist. For simplicity, let us assume that entrepreneur doesn't invest any sufficient money, and signals potential angels about the type of her idea. The angel receives the signal and provides seed financing with advice and management to the firm. We also assume that the firm will need further investments which are not coming either from entrepreneur or angel. They both signal potential further investors. Venture capitalist, as a third player in the game, provides further capital and additional management to ensure that startup is on the right track and steer it to the successful exit.²¹

²¹ This paper discusses only subset of startups which need further financing by VC for their continued success. Although need for VC financing means multiple rounds of investments by different VCs, without loss of generalization we assume that VCs are presented as one player with one advisory addition.



The entrepreneur's risky project generates random asset values π , which is defined on $\Omega = \{\text{unsucessful}, \text{successful}, \text{disruptive}\}$ and it has the following distribution:

$$\pi(\omega) = \begin{cases} 0 & \text{if } \omega = \text{unsucessful} \\ A & \text{if } \omega = \text{successful} \\ B & \text{if } \omega = \text{disruptive} \end{cases}$$

with the probability of startup being unsuccessful p_L , the probability of being successful p_H and the probability of being disruptive p_D where $p_D \ll p_H$. Therefore, the expected project value is

$$E_s[\pi] = p_H A + p_D B \quad (2)$$

The timeline of events consists of four major periods $\tau = 0, 1, 2, 3$ with the signaling occurring before every one of the steps 1, 2, 3. At the time $\tau = 0$ entrepreneur learns the success probability $p_H + p_D$ and that information is available only to her until the end of the game. Let us assume that the project is state-of-the-art and thus has no prior records of success. Therefore, investors might not learn the exact success probability at the time $\tau = 0$ and can only assume the success probability thorough signalling of the entrepreneur. The angel acquires the information needed for reliable signal about the venture and in the next step, after implementation of its advice and strategy in cooperation with the entrepreneur credibly reveals that information to VCs before the next round of funding.²²

On the first stage of financing, the entrepreneur needs investment K_1 at the time $\tau = 1$. She offers the portion of the company $\alpha \in (0, 1)$ in exchange for seed investment and advice. After updating her beliefs of the entrepreneur's type, while developing and advising the project, angel in cooperation with the entrepreneur signals potential VCs. When follow-up investment K_2 is needed at $\tau = 2$, VC offers an investment K_2 for $\beta \in (0, 1)$ portion of the company. If the deal falls thru and no VCs offer an investment, project needs to shut down and revenue is not generated, i.e., $R = 0$. As a result of second stage financing, the angel's share α is diluted and her final share of the company is $\alpha(1 - \beta)$. Thus, entrepreneur's share at $\tau = 2$ is given by:

$$\theta = 1 - (\alpha(1 - \beta) + \beta) \quad (3)$$

If the project is successful it is directed towards the successful exit at the time $\tau = 2$. Realized value of the project becomes V and entrepreneur, angel and VC are paid proportionally to their equity shares.

²² Depending on the angel's portfolio size (Kim and Wagman, 2014) and availability of human resources (Fulghieri and Sevilir, 2009) this signal can contain more noise than the previous one, but following the literature (e.g., Grossman, 1981; Milgrom, 1981) firms cannot misrepresent information due to potentially severe legal penalties for false reporting. Additionally, angles have significant reputation concerns which strongly discourage them from providing false information.



The sequence of events is summarized in figure 1.

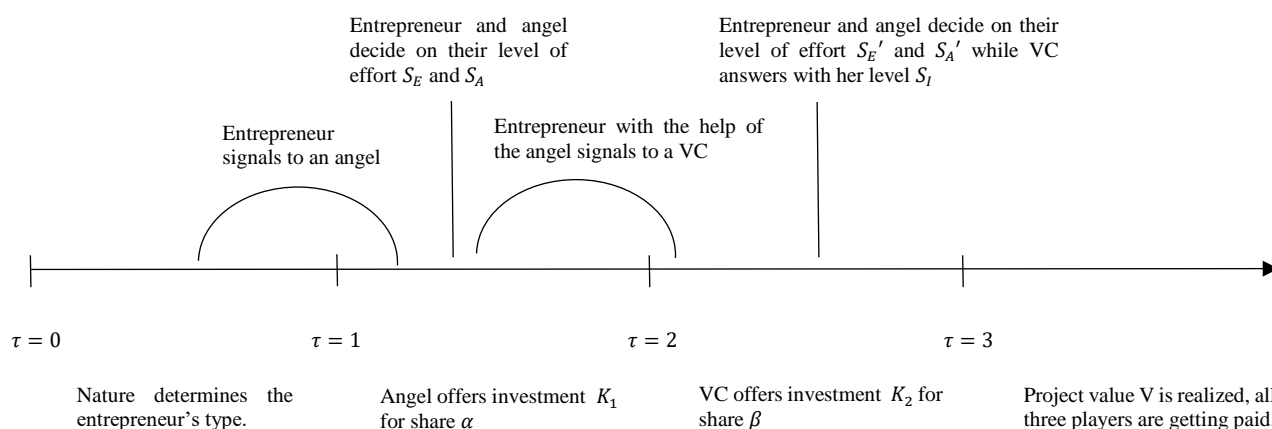


Figure 1: Timeline of events

level of effort S_E at $\tau = 1$ which is observable by the entrepreneur only. At the $\tau = 1$ angel also chooses her level of effort S_A . The effort is assumed to be costly for the entrepreneur and we also assume the classical assumptions that the cost of effort increases in effort.

At $\tau = 2$, after the VC determines how much he will invest in the company, both entrepreneur and angel would adapt their levels of effort to S_E' and S_A' based on their observation of K_1 and β . At the $\tau = 2$ VC also chooses her level of effort S_I . We assume that the expected value of the firm at the cash-out stage, V_2 , increases with diminishing marginal returns when the entrepreneur, angel or VC put more effort into the firm, when the angel's investment, K_1 , is increased, or when the investment by the VC, K_2 , increases.

3. GAMES AND OUTCOMES

3.1 Partnership Game and Payoff of Two Agents

Similar to (Radner et al., 1986) we suppose that the partners choose their respective efforts simultaneously, and that neither partner can observe the other's effort. This absence of observability introduces an element of "moral hazard" into the situation, and motivates players to believe that success of the project depends only on disruptiveness of the project and not on individual efforts. The strategy of entrepreneur and angel after $\tau = 1$ are $S_E \in [0, s_E]$ and $S_A \in [0, s_A]$ where S_E is the strategy for the cost of effort of entrepreneur and S_A the strategy for is the cost of effort of angel, independent from investment K_1 .

Let us define the value of the project at the time $\tau = 1$ as:

$$V_1 = \pi b S_E^p S_A^q \tag{4}$$

Where $b \in \left[0, \frac{1}{\frac{1}{2}(S_E + S_A)}\right]$ is synergy or complementary coefficient and $S_E^p S_A^q$ is Cobb Douglas utility function where p and q are the output elasticities of two players and we assume that $p + q < 1$.²³

²³ Increasing body of literature discusses the interpretation of output elasticities of Cobb–Douglas production function. If $p + q = 1$ then inputs and output show a decreasing returns to scale relationship. If $p + q < 1$ then inputs and output show a constant returns to scale relationship. Finally, if $p + q > 1$ then inputs and output show an increasing returns to relationship (Pendharkar et al., 2008). Others state that empirical success is an illusion and that, as a rule, the two exponents, p and q , have values incompatible with the distributive shares that the Cobb–Douglas claims to explain (Labini, 1995). Numerical solution is specific case of entrepreneurial effort and wealth in privately held firms shows that $p = q = 0.4$. Yet, Pendharkar et al.(2008) empirical findings for the Cobb–Douglas production function properties of software development effort show $p + q > 1$ proving that the production function exhibits increasing returns to scale economy.



The utility function of the entrepreneur between $\tau = 1$ and $\tau = 2$, dependent of her strategy and angel's strategy, denoted as $U_E'(S_E, S_A)$ is her prior to $\tau = 2$ evaluation share, times the evaluation value of the company at $\tau = 2$, less his cost of effort, S_E , given by:

$$U_E'(S_E, S_A) = (1 - \alpha)\pi b S_E^p S_A^q - S_E$$

Equivalently the utility function of the angel between, $\tau = 1$ and $\tau = 2$, dependent of her strategy and entrepreneurs strategy is given by:

$$U_A'(S_E, S_A) = \alpha\pi b S_E^p S_A^q - S_A \quad (6)$$

The first-order condition of the entrepreneur's utility function with respect to her strategy yields:

$$\frac{\partial U_E'(S_E, S_A)}{\partial S_E} = (1 - \alpha)\pi p b S_E^{p-1} S_A^q - 1 \quad (7)$$

$$\text{when } \frac{\partial U_E'(S_E, S_A)}{\partial S_E} = 0$$

Entrepreneur, wanting to maximize her utility, leads to:

$$\widehat{S}_E = (\pi(1 - \alpha)bp)^{\frac{1}{1-p}} S_A^{\frac{q}{1-p}} \quad (8)$$

Similarly angel's utility function with respect to her strategy yields:

$$\frac{\partial U_A'(S_E, S_A)}{\partial S_A} = \alpha\pi b q S_E^p S_A^{q-1} - 1 = 0 \quad (9)$$

Leading to:

$$\widehat{S}_A = (\pi\alpha b q)^{\frac{1}{1-q}} S_E^{\frac{p}{1-q}} \quad (10)$$

Type 1 Nash Equilibrium (figure 2) is achieved when

$$S_E = \widehat{S}_E \text{ and } S_A = \widehat{S}_A \quad (11)$$



Leading to:

$$\widehat{S}_E = \frac{1}{\pi^{-p-q+1}(bp^{1-q}q^q(1-\alpha)^{1-q}\alpha^q)^{-p-q+1}} \quad (12)$$

Similarly, angel's optimal strategy is:

$$\widehat{S}_A = (\pi\alpha bp)^{\frac{1}{1-q}}(\pi b(1 - \alpha)p^{1-q}q^q\alpha^q)^{\frac{p}{(1-q-p)(1-q)}} \quad (13)$$

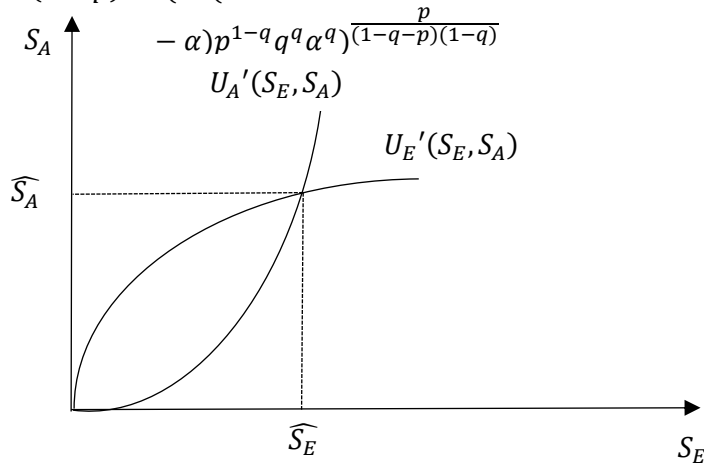
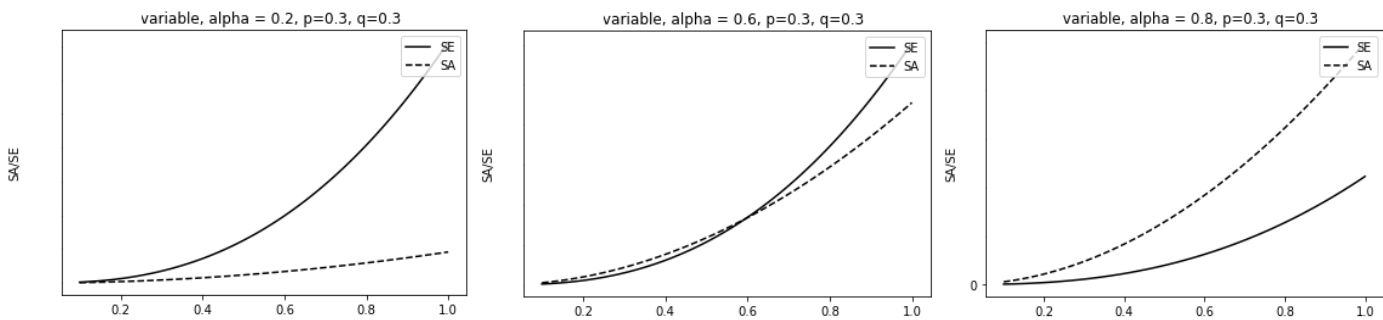


Figure 2: Two equilibrium types

Proposition 1: Only two types of equilibria can exist in the game:

1) $S_E = S_A = 0$ and 2) $S_E = \widehat{S}_E$ and $S_A = \widehat{S}_A$ (1)



$\alpha_E \leq \alpha_A$ (Figure 4) and

$$\alpha_E = q \text{ and} \quad (14)$$

$$\alpha_A = \frac{pq - (p + q) + 1}{pq - q + 1}$$

In special case, $\alpha_E = \alpha_A$ when

$$q = \frac{-p + \sqrt{-p(3p - 4)} + 2}{2 - 2p} \quad (15)$$

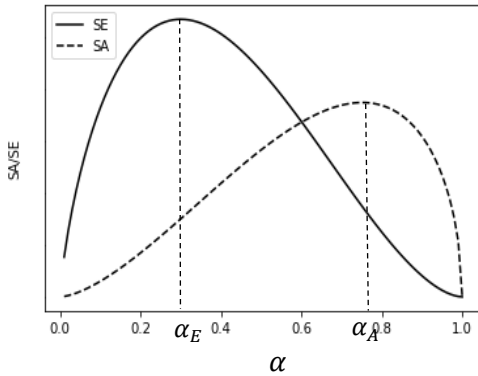


Figure 4: Player's strategies dependence of the share offered to the angel

3.2 Partnership Game and Payoff of Three Agents

On the later stage, after the project is successfully initiated, entrepreneur and angel signal the VCs in order to secure further funding. Similarly to the seed investment market, VCs offer capital in return for the equity shares and entrepreneur chooses a VC who offers the lowest share. The strategy of entrepreneur, angel and VC after $\tau = 2$ are $S_E'' \in [0, s_E]$, $S_A'' \in [0, s_A]$ and $S_I \in [0, s_I]$ where S_E'' , S_A'' and S_I'' are the strategies for the cost of effort of entrepreneur, angel and VC, respectively. Similar to a case with two agents we value of the project is:

$$V_2 = \pi b S_E''^p S_A''^q S_I''^r \quad (16)$$

And the utilities of agents, depending on strategies of other players are following:

$$U_E''(S_E'', S_A'', S_I'') = (1 - (\alpha(1 - \beta) + \beta))\pi b S_E''^p S_A''^q S_I''^r - S_E'' \quad (17)$$

$$U_A''(S_E'', S_A'', S_I'') = \alpha(1 - \beta)\pi b S_E''^p S_A''^q S_I''^r - S_A'' \quad (18)$$

$$U_I''(S_E'', S_A'', S_I'') = \beta\pi b S_E''^p S_A''^q S_I''^r - S_I'' \quad (19)$$

Players, wanting to maximize their utility, leads to their best responses:

$$\widehat{S}_E'' = (\pi b p S_A''^q S_I''^r)^{\frac{1}{1-p}} ((1 - \alpha)(1 - \beta))^{\frac{1}{1-p}} \quad (20)$$

$$\widehat{S}_A'' = [\pi b q \alpha (1 - \beta) S_E''^p S_I''^r]^{\frac{1}{1-q}} \quad (21)$$

$$\widehat{S}_I'' = [r \pi b \beta S_E''^p S_A''^q]^{\frac{1}{1-r}} \quad (22)$$



Proposition 4: Given that $\alpha > 0$ and $S_E'' \neq 0$, $S_A'' \neq 0$, $S_I'' \neq 0$ increase in complementary coefficient b will increase optimal strategies of all players \hat{S}_E'' , \hat{S}_A'' and \hat{S}_I'' (Figure 5).

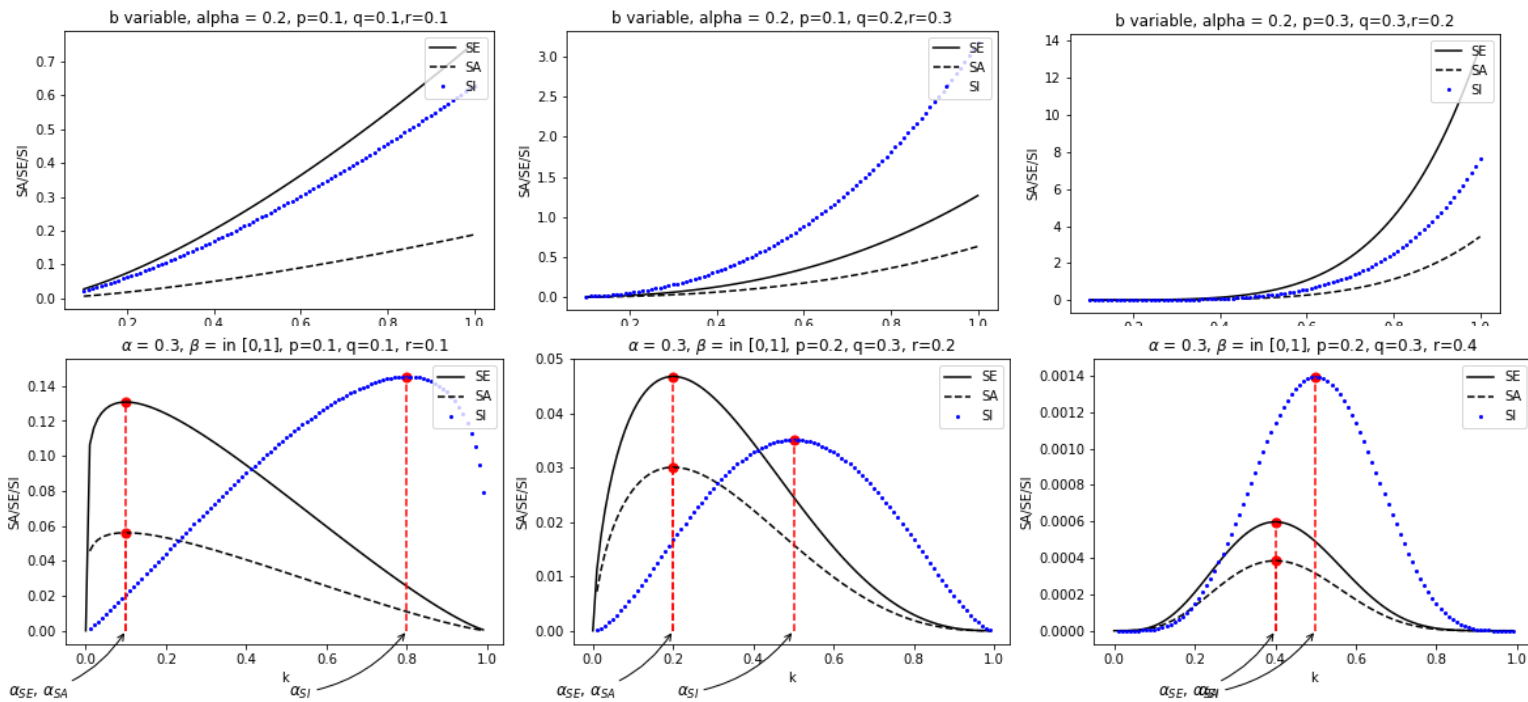


Figure 5: Player's strategies dependence complementary coefficient b and of of the share offered to the angel

4. CONCLUSION

Different scenarios or players' strategies changes with increase of b to the maximum, with different Cobb-Douglas elasticity coefficients is presented on the figure 4. Having lower but equal elasticity coefficients for all three players' results in quicker separation of players' efforts. Entrepreneur in this case chooses highest effort levels and has the incentive to increase it the most as cooperation between players rises. Like intuitions suggests angel is the one who has incentive to only slightly increase his efforts, and that strategy will follow in different elasticity coefficient scenarios.

In a case where elasticity coefficient of VC is greater than both entrepreneur and angel, his optimal strategy is to put his efforts above all players and increase efforts much faster with increase of cooperation factor than in case where Cobb-Douglas elasticity coefficients were the same for all players. Since angel's portion of the company gets deflated, although with VC funding his investment gets higher probability of success, his believes of project value don't get changes, intuition suggests that his efforts will not dramatically increase with increase of cooperation between players, as shown on the figure 4. Even when his elasticity coefficient is highest of all players, his efforts remain the lowest.

REFERENCES

- [1] J.H. Kim, L. Wagman (2014). Portfolio size and information disclosure: An analysis of startup accelerators. *Journal of Corporate Finance*
- [2] P Fulghieri, M Sevilir (2009). Size and focus of a venture capitalist's portfolio. *The Review of Financial Studies*
- [3] R., Elitzur, A. Gavius (2003). Contracting, signaling, and moral hazard: a model of entrepreneurs,'angels,'and venture capitalists. *Journal of Business Venturing*
- [4] W. Bygrave, J. Timmons (1991). *Venture and risk capital: Practice and performance, promises and policy.* Harvard Business School Press



OGRANIČENA RACIONALNOST U AUKCIJAMA U KOJIMA SVI PLAĆAJU: REZULTATI EKSPERIMENTA

BOUNDED RATIONALITY IN ALL-PAY AUCTIONS: EXPERIMENTAL EVIDENCE

NEDA ISAKOVIĆ¹, MARIJA KUZMANOVIĆ²

¹ Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

² Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, marija.kuzmanovic@fon.bg.ac.rs

Rezime: Rad se bavi istraživanjem uticaja različitih faktora na ponašanje učesnika u dvoetapnoj aukciji u kojoj svi plaćaju, tzv. all-pay aukciji. Osnovna karakteristika ovog tipa aukcija je da svi učesnici plaćaju iznos koji su licitirali, bez obzira da li su osvojili nagradu ili ne, te se postavlja pitanje racionalnosti učestvovanja. Naime, u praksi mnogi učesnici pokazuju ograničenu racionalnost i upuštaju se u nadmetanje u all-pay aukcijama, a razlozi za to su brojni. Eksperimentom su ispitane razlike u odlukama ponuđača, u zavisnosti od pola, tipa društveno vrednosne orijentacije, kao i oblasti života u kojoj su spremni najviše da rizikuju. Takođe, eksperimentom je obuhvaćena sklonost ka riziku učesnika, kako bi se utvrdilo da nivo sklonosti ima uticaj na to da li će neko ući u ponekad neiscrpnu igru ili jednostavno odustati na samom početku igre.

Ključne reči: Dvoetapna all-pay aukcija, ograničena racionanost, SVO, sklonost ka riziku, eksperiment.

Abstract: The paper deals with the study of the influence of various factors on the behavior of participants in the two-stage all-pay auction. The main characteristic of this type of auctions is that all participants pay the amount they bid, regardless of whether they have won the prize or not, thus the question of the rationality of participation in such auctions is raised. Namely, in practice, many participants show bounded rationality and go into the competition in all-pay auctions, and the reasons for this are numerous. The experiment examined the differences in the decisions of the bidders, depending on the gender, the type of social value orientation, and the areas of life in which they are willing to risk the most. Also, the experiment involves examining participants' risk aversion, which may have an effect on whether someone will take risks and enter into a war of attrition or simply give up at the very beginning of the game.

Keywords: Two-stage all-pay auction, bounded rationality, SVO, risk attitudes, experiment.

1. UVOD

Principi aukcijske trgovine poznati su čovečanstvu od davnina. Prvi pisani tragovi aukcija datiraju iz vremena Vavilonskog carstva iz šestog veka p.n.e. Zna se da su u antičkoj Grčkoj putem aukcija prodavana prava na korišćenje rudnika, kao i da je ovaj metod trgovine često praktikovan kod Rimljana, koji su na ovaj način prodavali ratni plen ili imovinu dužnika. Štaviše, zabeleženo je da jedan rimski car stupio na presto, nakon što je pretorijanska garda ubila prethodnog cara i ponudila vladarsko mesto onome koji plati najvišu cenu za krunu. (Shubik, 2004).

Kroz istoriju javili su se brojni modaliteti aukcija, a u zavisnosti od broja učesnika, broja objekata licitacije (jedan ili više), smera licitacije (rastuća ili opadajuća), licitacionih pravila (otvorene, zapečaćene, aukcije prve ili druge cene) i slično. Prodavac je, na jednoj strani, suočen sa odabirom tipa aukcije, pa mora prethodno da predvidi ponašanje licitatora. Na drugoj strani, licitator pokušava da predvidi ponašanje drugih licitatora. Svaki od njih pravi svoju procenu vrednosti predmeta aukcije, i trudi se da predvidi koliko drugi vrednuju taj predmet. Dobro licitiranje je često rezultat tačnih predviđanja o ponašanju drugih, što ponekad uključuje i nagađanje o količini informacija koje drugi imaju. Stoga se može reći da su aukcije u stvari igre sa nepotpunim (asimetričnim) ili privatnim informacijama (Noussair & Silver, 2006), bilo po pitanju vrednost samog objekta licitacije ili po pitanju preferencija, sklonosti ka riziku i drugih karakteristike ostalih licitatora.

Za analiziranje ponašanja na aukcijama i izbor optimalnih strategija, u praksi se veoma često koriste koncepti teorije igara. Teorija igara ili kako se još naziva, teorija strateških interakcija, utemeljena je u teoriji racionalnog izbora, tj. bazira se na pretpostavci da će pojedinci (igrači) uraditi nešto jedino kada marginalna dobit te radnje prevazilazi njen marginalni trošak (Frank, 2006). Međutim, ljudi ne prave uvek izbore koji dovode do maksimizacije koristi, tj. ne ponašaju se uvek racionalno, niti prihvataju da se ostali uvek ponašaju



racionalno. U mnogim situacijama, pojedinci znaju šta im odgovara da urade, ali ako ne znaju šta će da uradi druga strana, to znanje im nije od velike pomoći. Pored toga, ono što je racionalno za pojedinca ne mora nužno da bude racionalno za zajednicu. Mnogi sprovedeni eksperimenti koji se bave ovom problematikom sugerišu da čak i iskusni ponuđači na aukcijama retko kada smanjuju dovoljno svoje ponude. Na primer, studija koja se bavi analizom aukcija za naftna polja pokazuje da čak i manje kompanije obično plaćaju previše za prava na bušenja, s obzirom na količinu nafte koju na kraju eksploatišu. Isti fenomen primećen je kada kompanije na aukcijama kupuju druge kompanije – „dobitnik“ često preplaćuje (Gottlieb, 1999). Ova pojava se naziva „prokletstvo pobednika“.

Oblast teorije igara koja se bavi analizom načina na koji ponašanje utiče na donošenje odluke, kao i time kojim faktorima su motivisane takve odluke, naziva se bihejvioralnom teorijom igara. Bihejvioralna teorija igara se bavi psihološkim igrama koje omogućavaju da se ponašanje koje utiče na donošenje odluka opiše što realnije i shvati na najbolji mogući način. Bihejvioralna teorija igara kao deo teorije igara, koristi određene koncepte uz pomoć kojih može da proučava ljudsko ponašanje u strateškim interakcijama (Camerer, 2003).

Cilj sprovođenja eksperimenta prikazanog u radu je da se otkrije da li postoje i koji su faktori uticaja na odluke pojedinaca u aukcijama u kojima svi plaćaju, tzv. *all-pay* aukcijama. Konkretno, predmet eksperimenta je bila dvoetapna *all-pay* aukcija, sa neograničenim brojem učesnika.

2. ALL-PAY AUUKCIJE

Aukcije u kojima svi plaćaju ili tzv. *all-pay*, spadaju u rastuće aukcije mada ih pojedini autori svrstavaju u „neobičan“ tip aukcija. Razlog za takvu klasifikaciju nalazimo u definicijama osnovnih pravila ove vrste igara. Kao i kod drugih modela aukcija, kod *all-pay* aukcije pobednik je igrač koji izlicitira (ponudi) najvišu cenu. Razlika se ogleda u tome što ostali igrači – koji su izgubili u igri, plaćaju ponaosob iznos najveće sopstvene ponude. Iz pravila sledi da je isplata pobednika jednaka vrednosti predmeta koja je umanjena za iznos licitacije. Isplata igrača koji je izgubio je negativna i jednaka je visini najvišeg uloga koji je ponudio. Igrač koji nije izneo ponudu nema isplatu, ali ne snosi ni troškove igre (Ødegaard & Anderson, 2014). Uprkos tome što ponuđači budu na određenom gubitku ukoliko ne osvoje nagradu, isti ti ponuđači imaju podsticaj da agresivno iznose ponude sa ciljem da osvoje nagradu (Kirchkamp & Mill, 2016).

Ovakva pravila igre mogu poslužiti za modelovanje situacija koje se javljaju pri lobiranju (Baye, 1993), takmičenju u istraživanju i razvoju, izbornim i reklamnim kampanjama ili u krajnje neetičkim slučajevima kao što je podmićivanje. Veza između aukcije u kojoj svi plaćaju i nabrojanih situacija ogleda se u tome što svaki igrač snosi troškove, ali samo jedan pobeđuje. Tako, pri lobiranju razni igrači daju novac ne bi li izvršili uticaj – plaćaju sopstvene ponude, dok samo onaj koji je najviše platio, ostvaruje uticaj. Igrači u kampanjama su suočeni sa dilemom da li da ulože još novca u neki vid oglašavanja, još jedan reklamni blok, objavu u novinama ili plakat koji može da im donese pobeđu, ili pak da obustave ulaganje. Istraživači smatraju da su za modelovanje takvih situacija u kojima konkurencija podrazumeva stvarne troškove ili “*rent seeking*” ponašanje, *all-pay* aukcije prilično privlačne (Gneezy & Smorodinsky, 2006).

Istraživanja ukazuju da se neretko dešava da objekat prodaje bude preplaćen ili da aukcionar proda objekat po nižoj ceni, ali da njegov ukupan prihod bude nekoliko puta veći od stvarne vrednosti predmeta prodaje zbog specifičnih pravila aukcije (Lugovskyy, Puzzello, & Tucker, 2006). Sa druge strane, pojedini autori tvrde da su aukcije u kojima svi plaćaju dominirane u odnosu na standardne igre u pogledu aukcionara, pre svega zbog malog broja igrača koji žele da učestvuju u takvoj aukciji jer je smatraju nepravednom (Kagel & Roth, 2016, str. 125). Gneezy i Smorodinski (2006) smatraju da u *all-pay* aukcijama ponude uzimaju širok dijapazon vrednosti u rasponu od nule do vrednosti samog predmeta aukcije, ali da postoji tendencija da najveći broj ponuda konvergira ka relativno niskim i relativno visokim iznosima.

Najčešće navođeni oblik aukcije u kojoj svi plaćaju koji se javlja u teorijskim i eksperimentalnim istraživanjima je Tulokova aukcija (Tullock, 1967). Razmotrimo sledeći primer Tulokove aukcije: Neka u nekom trenutku igre igrač A ponudi 90 novčanih jedinica za predmet vredan 100 novčanih jedinica. Igrač B koji je pre ponude igrača A licitirao sa 85 novčanih jedinica je motivisan da podigne cenu na 95 novčanih jedinica, jer tako može postati pobednik aukcije i ostvariti dobit od 5 jedinica. Posle ovog povećanja, igrač A može da odustane od aukcije i izgubi predloženih 90 jedinica, ili da pokuša da neutrališe gubitak ako podigne cenu na 100 novčanih jedinica čime bi ishod igre za njega bio jednak nuli. Ukoliko se odluči za drugu varijantu i podigne cenu na 100 jedinica, igrač B je ponovo motivisan da predloži 105 jedinica jer bi na taj način njegova



isplata bila -5 u odnosu na čak -95 ako odustane. Igrači su u tom trenutku u situaciji u kojoj se ne bore da ostvare prihod i izbegnu gubitke, već isključivo teže samo da umanje troškove igre.

Tulokova aukcija u kojoj postoje samo dva igrača, ili pak postoji više igrača ali samo dva igrača sa najvišim ponudama plaćaju, naziva se „Dolar aukcija“. Eksperimenti ukazuju da igrači isprva nude niske ponude jer veruju da time neće puno izgubiti. Kako igra odmiče ostaje mali broj učesnika, najčešće dva. U nadmetanju za nagradu igrači često preplate istu (Mochón & Sáez, 2015). Može se reći da je u all-pay aukcijama istinski „pobednik“ zapravo aukcionar, pod uslovom da uspe da podstakne dovoljan broj igrača da se nadmeću.

3. EKSPERIMENTALNA STUDIJA

Cilj istraživanja je bio identifikovanje uticajnih faktora na ponašanje učesnika u *all-pay* aukcijama. Eksperimentom su ispitane razlike u odlukama licitatora u zavisnosti od pola, tipa ličnosti, sklonosti ka riziku, kao i oblasti života u kojoj su spremni najviše da rizikuju. Eksperiment je sproveden nad grupom studenata četvrte godine Fakulteta organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu.

3.1. Opis eksperimenta

U prvoj fazi eksperimenta su putem ankete prikupljeni demografski podaci, podaci o društveno vrednosnoj orijentaciji ispitanika i sklonosti ka riziku u određenim oblastima života. Anketa je bila anonimna, i niko od ispitanika nije imao uvid u pojedinačne odgovore ostalih učesnika. Društveno vrednosna orijentacija učesnika (*Social Value Orientation* - SVO) izmerena je primenom mere trostruke dominacije (TDM) (Van Lange, Otten, De Bruin, & Joireman, 1973), uz dodatni skup zadataka samoprocene. Sklonost ka riziku izmerena je primenom Ekel-Grosmanove metode (Eckel & Grossman, 2002), koja se bazira na izboru jedne iz skupa lutrija i to one koju bi igrač odabrao pod pretpostavkom da sa podjednakim verovatnoćama može da ostvari nižu i višu isplatu. S porastom rednog broja lutrije, raste i očekivana korist, ali i rizik. Originalna metoda je sadržala 5 lutrija, ali su je kasnije Dejv i saradnici (Dave, Eckel, Johnson, & Rojas, 2010) prilagodili na 6 lutrija, i ta verzija je korišćena tokom ovog eksperimenta. Još jedna grupa pitanja obuhvaćenih anketom tiče se stepena preuzimanja rizika u određenoj oblasti života: finansije, karijera, zabava, zdravlje, obrazovanje.

Druga faza eksperimenta je sprovedena na času predmeta Osnove teorije igara. Eksperiment se u osnovi sastojao od klasične dvoetape *all-pay* aukcije. U prvoj etapi su učesnici donosili odluku da li uopšte da učestvuju u aukciji licitirajući za nagradu od 20 poena. Što se tiče ulaganja, u pitanju su bili bonus poeni do tada osvojeni na predmetu (od 1000), te su studenti stavljeni u situaciju da ulažu resurs koji je za njih u tom trenutku dragocen. Stoga se očekivalo da se ponašaju racionalno, tj. da ne učestvuju u aukciji, jer je postojala verovatnoća i da izgube poene boreći se za nagradu. Pravilo licitacije je nalagalo da u drugu etapu ulazi 50% licitanta sa najvišim ponudama. U drugoj etapi licitanti su mogli da ostanu pri prvobitnoj ponudi ili da je povećaju, ali nisu mogli ni da smanje ponudu ni da odustanu od licitacije. 10% licitanta sa najvećim ponudama smatrani su za pobednike i dobijali nagradu, za koju je trebalo platiti trošak tj. iznos koji su licitali. Svi ostali licitanti koji nisu osvojili nagradu, bili su dužni da plate iznos koji su licitali. Sva pravila su učesnicima bila unapred poznata, a komunikacija je bila zabranjena.

3.2. Rezultati

U eksperimentu je učestvovao ukupno 31 student, od čega 17 (54,85%) ženskog i 14 (45,15%) muškog pola. Od ukupnog broja učesnika, samo četvoro je bilo sa smera Menadžment (13%), a ostali su bili sa smera Informacioni sistemi i tehnologije (87%). 12 njih (38,71%) je najstarije dete u porodici, 14 (45,16%) ih je mlađe dete, a 5 (16,13%) jedinaca.

Prosečne vrednosti odgovora na pitanja koja se odnose na tvrdnje u prvoj fazi eksperimenta, date su u tabeli 1. Podaci pokazuju da učesnici u eksperimentu daju prednost kolektivnim interesima u odnosu na lične (prosečna ocena 3,48 na skali od 1 do 5), kao i da u velikoj meri sebe smatraju altruistima (3,62). U oba slučaja žene prednjače sa prosečnom ocenom. S druge strane, muškarci više sebe doživljavaju kao osvetoljubive osobe nego žene. Slično, rezultati TDM pokazuju da je samo jedan (3,23%) učesnik kompetitivan, 8 su individualisti (25,81%), dok je čak 22 njih (70,97%) pokazalo prosocijalnu orijentaciju.

Tabela 2: Srednje vrednosti samoprocene učesnika eksperimenta

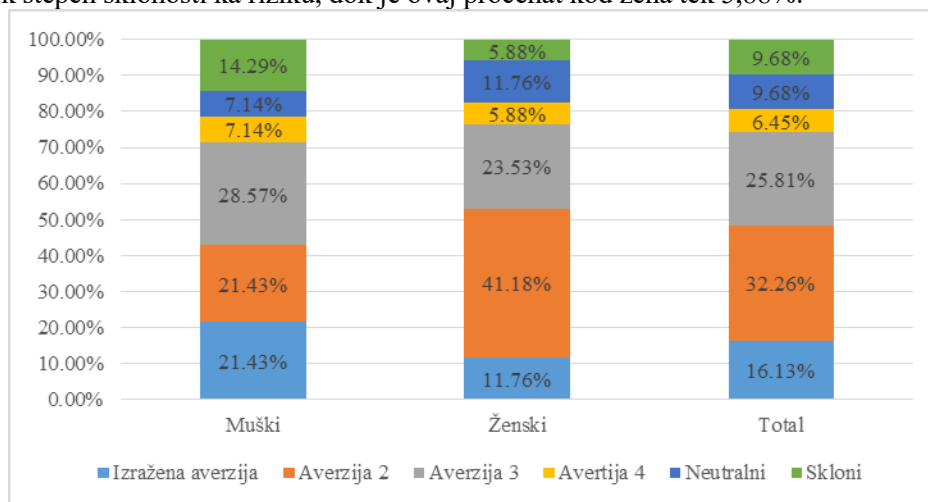
Pitanja za proveru ličnih afiniteta	Srednja vrednost ocena		
	Muški	Ženski	Svi
Kolektivni interesi su iznad ličnih interesa	3,40	3,52	3,48
Sebe smatram altruistom	3,49	3,69	3,62
Redovno učestvujem u humanitarnim akcijama	2,60	3,01	2,88
Sebe smatram osvetoljubivom osobom	2,05	1,63	1,77
Smeta mi kad neko ne ume da ceni uslugu koju mu učinite	3,72	3,80	3,77

U tabeli 2 su dati rezultati samoocenjivanja učesnika po pitanju sklonosti ka riziku u različitim aspektima života. Rezultati ukazuju na to da su učesnici najspremniji da preuzmu rizik u sferi karijere (prosečna ocena 3,84) i zabave (3,74), a najmanje u sferi sopstvenog zdravlja (2,94), što se moglo i očekivati. Takođe se može zaključiti da su muškarci skloniji riziku kada su u pitanju finansije i karijera, dok su žene sklonije riziku samo u oblasti zabave.

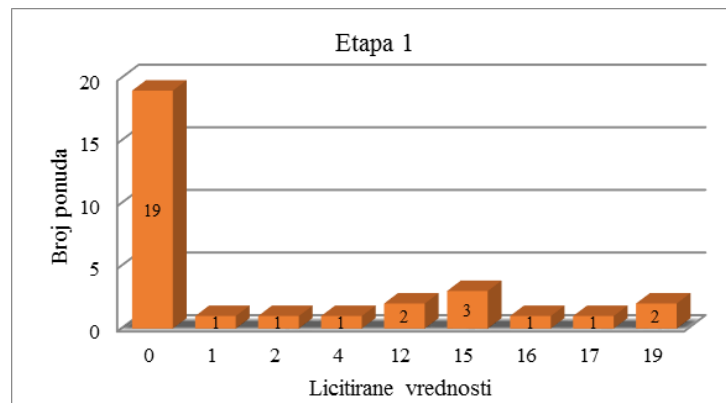
Tabela 3: Prosečna vrednost sklonosti ka riziku u različitim oblastima života

	Finansije	Karijera	Zabava	Zdravlje	Obrazovanje	Prosečno
Muški	3,50	4,07	3,50	3,07	3,43	3,51
Ženski	2,53	3,65	3,94	2,82	3,29	3,25
Prosečno	2,97	3,84	3,74	2,94	3,35	

Na slici 1 su dati rezultati Ekel-Grosmanove metode po pitanju sklonosti ka riziku učesnika u eksperimentu. Može se uočiti da najveći broj učesnika pokazuje neki od stepena averzije ka riziku (od apsolutne do umerene). Tek 9,68% njih pokazuje izraženu sklonost ka riziku, a isti toliki porcenat njih neutralnost, dok je 16,13% učesnika apsolutno odbojno ka riziku. Što se tiče stepena sklonosti ka riziku u zavisnosti od pola, primetno je da muškarci imaju veću sklonost, ali i veću averziju prema riziku od žena. Čak 14,29% muškaraca u eksperimentu je pokazalo visok stepen sklonosti ka riziku, dok je ovaj procenat kod žena tek 5,88%.

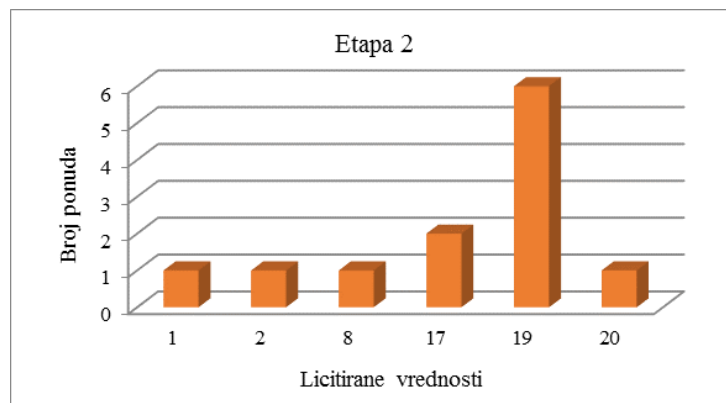

Slika 1: Sklonost ka riziku na osnovu Ekel-Grosmanove metode

Od 31 učesnika u eksperimentu, samo 12 njih (38.7%) je licitiralo u prvoj etapi. Licitirana vrednost se kretala od 1 do 19 poena (slika 2), dok je prosečna vrednost ponude iznosila 12,25. S obzirom na to da čak 80,65% učesnika u eksperimentu pokazuje neki stepen odbojnosti ka riziku, ne iznenađuje ishod igre gde u prvoj etapi odustaje čak 61,3% učesnika. Štaviše, čak 18 od 19 učesnika koji nisu licitirali pokazuje neki nivo averzije prema riziku, te se može zaključiti da se rezultati ankete u velikoj meri podudaraju sa postupcima igrača, tj. oni koji nisu skloni riziku odlučili su da se ne upuštaju u ovu "igru iscrpljivanja".



Slika 2: Odnos broja ponuda i licitiranih vrednosti u etapi 1

Po pravilima igre, u drugu etapu je išlo 50% najvećih ponuda, ali s obzirom na to da je tek 38,7% učesnika licitiralo u prvoj etapi, svima se pružila prilika da učestvuju i u drugoj etapi. Ovi igrači nisu više bili u mogućnosti da odustanu, već samo da zadrže prethodno licitirani iznos ili da licitiraju veći iznos. U skladu sa tim i prosečna vrednost ponude je u drugoj etapi porasla na 14,92 poena. Na slici 3 je dat odnos broja ponuda i licitiranih vrednosti u etapi 2. Najveći broj ponuda je iznosio 19, čak 6 ponuda, dok je jedan od ponuđača licitirao vrednost 20, kojom nije ostvarivao nikakvu dobit, ali ni gubitak u slučaju pobeđe.



Slika 3: Odnos broja ponuda i licitiranih vrednosti u etapi 2

U tabeli 3 su dati detaljni podaci o karakteristikama i ponašanju učesnika druge etape. Prosečna ponuda najstarijeg deteta u porodici je 18,57, a mlađeg tek 12 poena. Svi individualisti (njih 5) su u drugoj etapi ponudili 19 poena, čime su uz igrača koji je išao na sigurno i licitirao 20 poena postali pobednici. Postavlja se pitanje da li su ovi igrači uopšte igrali racionalno. Student koji je išao na sigurno i licitirao 20 vodio se logikom da ako ne može ništa da zaradi, ne mora ništa ni da izgubi, što bi bilo jedno racionalno razmišljanje s obzirom da je u prvoj etapi licitirao 17 i da je to bila treća ponuda po visini te je postojala velika šansa da ne bude pobednik već da ima trošak u vrednosti ponude. Ipak, ta osoba je ujedno i žrtva prokletstva pobednika. Šest studenata koji su licitali 19, osvojili su po 1 poen i jedini su u ovom eksperimentu koji su, pored aukcionara, na dobitku. Ostali su izgubili onoliko poena koliko su licitali u drugoj etapi, a da je taj broj manji od 19.

Jasno je da su igrači koji su podigli ponude u drugoj etapi, ali na iznos manji od 19 (igrači 10, 16 i 30), pokazali iracionalno ponašanje. Naime, nakon etape 1 bilo je već troje koji su ponudili taj iznos i znalo se da pobednička ponuda mora biti bar tolika, ako ne i 20. Podizanjem ponude na iznos manji od 19 ili 20, samo su podigli svoje troškove a ne i verovatnoću da budu pobednici. Svi igrači koji su na kraju igre imali troškove su prosocijalne društveno vrednosne orijentacije. Da su svi učesnici druge etape podigli ponudu na 20, svi bi bili pobednici, ali niko ništa ne bi ni zaradio ni izgubio. Upravo ta činjenica je on što ovu igru čini posebno interesantnom za razmatranje.



Tabela 3: Karakteristike i ponašanje učesnika druge etape all-pay aukcije

Rbr	Pol	Det	SVO	Sklonost ka riziku	Ponuda u etapi 1	Ponuda u etapi 2	Porast ponude	Rezultat
3	Muški	Mlađe	Prosocijalni	Neutralni	19	19	0	+1
8	Ženski	Mlađe	Individualista	Averzija 2	12	19	+7	+1
10	Muški	Najstarije	Prosocijalni	Averzija 3	15	17	+2	-17
11	Ženski	Najstarije	Prosocijalni	Skloni	17	20	+3	0
16	Ženski	Mlađe	Prosocijalni	Izražena averzija	4	8	+4	-8
19	Ženski	Najstarije	Individualista	Averzija 2	12	19	+7	+1
25	Ženski	Jedinica	Prosocijalni	Averzija 3	1	1	0	-1
27	Ženski	Mlađe	Prosocijalni	Neutralni	2	2	0	-2
28	Ženski	Najstarije	Individualista	Averzija 3	15	19	4	+1
29	Muški	Najstarije	Individualista	Skloni	19	19	0	+1
30	Ženski	Najstarije	Prosocijalni	Neutralni	16	17	1	-17
31	Muški	Najstarije	Individualista	Averzija 2	15	19	4	+1
					147	179	32	

Jedini koji je nešto više zaradio je sam aukcionar (u ovom slučaju profesor) kao što to obično biva u svim *all-pay* aukcijama. Naime, u toku eksperimenta je ukupno uloženo 179, a isplaćeno 134 poena. Dobit aukcionara je 39 poena, što i nije previše jer je u igri bilo 7 pobednika umesto 3 predviđena (6 njih je licitiralo istu vrednost od 19, pa su zato svi uključeni u pobednike). To je znatno manji iznos u odnosu na prave *all-pay* aukcije, gde aukcionari zarađuju mnogostruko veće iznose. Rezultati bi bili drugačiji da je kao pravilo uvedeno da se, ukoliko postoji više pobednika sa istom ponudom, nagrada deli na podjednake delove, kao što je u studiji koju su sproveli Gelder i saradnici (Gelder, Kovenock, & Sheremeta, 2016).

4. ZAKLJUČAK

Kao što je rečeno u uvodnom delu rada, zadatak eksperimenta se ogledao u ispitivanju faktora koji imaju uticaj na odluke pojedinaca, njihove poteze i ponašanje u dvoetapnoj aukciji u kojoj svi plaćaju. Učesnici u eksperimentu su na osnovu društveno vrednosne orijentacije svrstani u prosocijalne i individualiste. Jedna od faza eksperimenta bila je ispitivanje sklonosti ka riziku učesnika, na osnovu čega su podeljeni u četiri grupe: pojedinci sa izraženom averzijom prema riziku, sa nekim od nivoa averzije ka riziku, oni koji imaju neutralan stav prema riziku, i na kraju oni koji imaju izraženu sklonost ka riziku.

S obzirom da su svi individualisti igru završili ostvarujući korist, makar ona bila i minimalna, može se zaključiti da postoji veza između društveno vrednosne orijentacije i ponašanja igrača. Takođe, uočena je veza između sklonosti ka riziku i vrednosti koju je svako od učesnika odlučio da licitira. Što se tiče ispitivanja rizika u različitim oblastima života, tu se nije pokazala statistički značajnija veza. Naravno, i tu su postojale situacije gde su odgovori potpuno usaglašeni sa narednim postupcima licitatora, ali u znatno manjoj meri nego što je to slučaj sa nivoom averzije prema riziku.

Određen procenat pojedinaca, čak i onih sa averzijom prema riziku, je ulaskom u igru u prvoj etapi aukcije, pokazao ograničenu racionalnost. U drugoj etapi aukcije je takođe bilo učesnika koji su igrali iracionalno povećavajući ulog na vrednost koja nije mogla da bude pobednička, čime su samo povećavali sopstvene troškove.

S obzirom da se u eksperimentu radilo o bonus poenima koje studenti dobijaju, odnosno gube, nameće se pitanje da li bi tako postupili i sa novcem, stvarima od velike važnosti ili nečim drugim što je mnogo vredniji predmet aukcije. Budući pravci istraživanja mogli bi da budu usmereni na istraživanje upravo tih faktora.

LITERATURA

- [1] Baye, M. D. (1993). Rigging the Lobbying Process: An Application of the. *Behavior in all-pay auctions under incomplete information*, 289-294.
- [2] Camerer, C. (2003). Behavioral game theory: Experiments in strategic interaction. Princeton University Press.
- [3] Dave, C., Eckel, C., Johnson, C., & Rojas, C. (2010). Eliciting risk preferences: when is simple better? *Journal of risk and uncertainty* 41, 219-243.



- [4] Eckel, C., & Grossman, P. (2002). Six differences and statistical stereotyping in attitudes toward financial risk. *Evolution and Human Behaviour* 23, 281-295.
- [5] Ernst, C., & Thöni, C. (2013). Bimodal bidding in experimental all-pay auctions. *Games*, 608-623.
- [6] Gelder, A., Kovenock, D., & Sheremeta, R. M. (2016). *Behavior in all-pay auctions with ties*. Chapman University.
- [7] Gneezy, U., & Smorodinsky, R. (2006). All-pay auctions-an experimental study. *Journal of economic behavior & organization*, 61(2), 255-275.
- [8] Kagel, J., & Roth, A. (2016). *The Handbook of Experimental Economics* (T. 2). Princeton, New Jersey, USA: Princeton university press.
- [9] Kirchkamp, O., & Mill, W. (2016). Spite and Overbidding in second price all-pay auctions. Working paper.
- [10]Lugovskyy, V., Puzello, D., & Tucker, a. S. (2006, March). *Experimental Investigation of Overbidding in the All-Pay Auction*. Preuzeto Septembar 10, 2017 sa University of Canterbury: https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/3585/12605613_Tucker.pdf
- [11]Mochón, A., & Sáez, Y. (2015). *Understanding Auctions*. Cham: Springer International Publishing.
- [12]Noussair, C., & Silver, J. (2006). Behavior in all-pay auctions under incomplete information. *Games and Economic Behavior*, 189-206.
- [13]Ødegaard, F., & Anderson, C. K. (2014). All-pay auctions with pre-and post-bidding options. *European journal of operational research*, 239(2), 579-592.
- [14]Shubik, M. (2004). *The theory of money and financial institutions* (T. 1). Cambridge, Massachusetts: Mit Press.
- [15]Tullock. (1967). The Welfare Costs of Tariffs, Monopolies, and Theft. *Western*, 224-232.
- [16]Van Lange, P., Otten, W., De Bruin, E., & Joireman, J. (1973). Development of prosocial, individualistic, and competitive orientations: Theory and preliminary evidence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 73(4), 733.



PRIMENA TEORIJE IGARA U ANALIZI PREUZIMANJA FIRMI

ANALYZING ACQUIZING OF FIRMS USING GAME THEORY

DRAGAN AZDEJKOVIĆ¹

¹ Ekonomski fakultet, Beograd, azdr@ekof.bg.ac.rs

Rezime: U radu se analizira preuzimanje preduzeća. Preuzimanje je modelirano igrom dva igrača u ekstenzivnoj formi sa asimetričnim informacijama. Prvi igrač je preuzimač kome je poznata raspodela verovatnoća nad skupom mogućih vrednosti preduzeća koju preuzima. Drugi igrač je preduzeće koje se preuzima, i njoj je poznata sopstvena vrednost. Za različite pretpostavke o funkcije raspodele verovatnoća kao i za različite pretpostavke o mogućnostima menadžmenta preuzimača, daćemo neke predikcije o tome šta bi se moglo u ovoj situaciji dešavati.

Ključne reči: Preuzimanje, Bajesijanska igra, Negativna selekcija, Menadžment.

Abstract: In this paper we analyze acquisition of firms. Acquire is modelled by a game of two players in an extensive form with asymmetrical information. In this model, the first player is a takeover who is familiar with probability distribution over a set of values of the firms he is acquiring. The second player is a firm which is being acquired and is familiar with its own value. For various assumptions about function of probability distribution as well as different assumptions about takeover's management abilities, we will give some predictions about what could happen in this situation.

Keywords: Acquisition, Bayesian game, Adverse selection, Management.

1. UVOD

Kada na tržištu jedna strana ima više informacija od druge, to tržište je obično neefikasno. Strana koja ima više informacija o kvalitetu proizvoda selektivno učestvuje u trgovini kako bi sebe dovela u bolju poziciju, dok strana sa manje informacija plašeci se nefer trgovine, često odustaje. Na taj način imamo smanjeni obim trgovine, što opet može imati višestruke posledice po tržište. Drugi važan primer imamo u osiguranju kada osiguranik svoje privatne informacije o objektu osiguranja krije od osiguravajuće kompanije, što ima za posledicu uvećanje premije za sve osiguranike. S obzirom da se tada ne postiže društveno optimalni ishod, ekonomisti takvu situaciju opisuju pojmom negativna selekcija [1].

U radu analiziramo jednu od takvih situacija: Preuzimač (P) razmatra preuzimanje preduzeća Cilj (C). Preuzimač ne zna pravu vrednost preduzeća C , ali veruje da se pod kontrolom novog menadžmenta ta vrednost može uvećati. Preuzimač daje ponudu, koju preduzeće Cilj zatim odbija ili prihvata. Slična situacija je analizirana prvi put u radu Samuelson-a i Bazerman-a (1985) [4]. U tom i kasnijim radovima [2], sa ciljem da se pre svega istakne nesavršenost tržišta, problem je opisan tako što se pretpostavlja da je raspodela verovatnoća nad skupom vrednosti preduzeća C uniformna i da je funkcija profita Preuzimača linearna ili kvadratna. U ovom radu polazimo od opštijih pretpostavki vezanih za funkciju raspodele verovatnoća nad skupom vrednosti preduzeća i funkciju profita Preuzimača. Naš glavni zadatak biće predikcija ponašanja Preuzimača

2. FORMULACIJA PROBLEMA

Situacija opisana u uvodu može se formulisati kao jedna Bajesijanska igra. Pre no što damo formalni opis te igre, uvedimo neke oznake i precizno definišimo osnovne elemente u ovoj igri. Neka je Preuzimač igrač 1, a preduzeće Cilj igrač 2. Strategije Preuzimača su iznosi koje on nudi za preduzeće Cilj, označimo taj iznos y . Strategije preduzeća Cilj su da taj iznos prihvati (P) ili odbije (O). Vrednost preduzeća Cilj poznata je menadžmentu tog preduzeća. Označimo tu vrednost sa x i ne ograničavajući opštost pretpostavimo da x pripada intervalu $[0,100]$. Sa druge strane, za Preuzimača vrednost preduzeća je slučajna promenljiva X , sa raspodelom verovatnoća $F_X(x)$.

Osnovni elementi Bajesijanske igre koja opisuje datu situaciju su:

Skup igrača: $N = \{1, 2\}$

Stanja: Skup koji sadrži sve moguće vrednosti preduzeća C : $S = \{x \in \mathbb{R} \mid x \in [0, 100]\}$

Strategije:

- Skup strategija prvog igrača: $S_1 = \{y \in \mathbb{R} \mid y \geq 0\}$
- Skup strategija drugog igrača: $S_2 = \{O, P\}$

Signali:

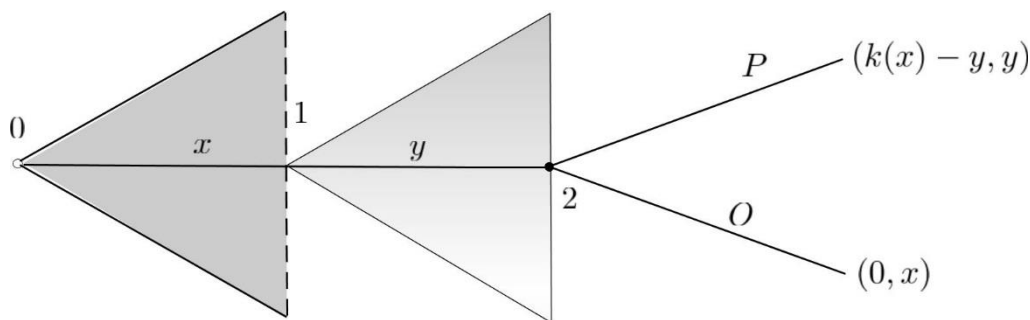
- Budući da Preuzimač (igrač 1) ne zna stvarnu vrednost preduzeća C , to njegovu signalnu funkciju možemo definisati na sledeći način: $\tau_1(x) = v$, gde je $x \in S$, a v proizvoljan fiksiran broj.
- Igrač 2 (preduzeće C) zna stvarnu vrednost preduzeća C , pa njegovu signalnu funkciju definišemo na sledeći način: $\tau_2(x) = x$, gde je $x \in S$.

Verovanja: Opisana su funkcijom raspodele verovatnoća nad skupom mogućih vrednosti preduzeća C :
 $P(X \leq x \mid v) = F_X(x)$

Isplate: Funkcije isplate igrača i su su date formulama $u_i(s_1, s_2, s)$, gde je s_i strategija igrača i , a s stanje prirode.

- Igrač 1: $u_1(y, P, x) = k(x) - y$ i $u_1(y, O, x) = 0$. Funkcijom $k(x)$ opisujemo sposobnost menadžmenta Preuzimača. Tako, na primer, ako bi uzeli da je $k(x) = 1,75x$, to bi značilo da se vrednost preduzimača može uvećati za 75% za sve vrednosti x . Prirodno je pretpostaviti da menadžment Preuzimača veruje da će uvećati vrednost preduzeća C za sve x , odnosno da je $k(x) > x$.
- Igrač 2: $u_2(y, P, x) = y$, $u_2(y, O, x) = x$.

Problem se može prikazati i kao igra u ekstenzivnoj formi na sledeći način:



Slika 1. Igra preuzimanja u ekstenzivnoj formi

Napomenimo i to da su svi gore navedeni elementi igre poznati igračima 1 i 2. U daljem tekstu korišćićemo pojam tip preduzeća, pa zato recimo i to da se pod tipom preduzeća u ovom kontekstu podrazumeva njena stvarna vrednost, što se u ovom slučaju poklapa i sa stanjem prirode.

Opis Bajesovske igre dat je u formi koja je opisana u knjizi Osborne-a i Rubinstein-a (1994) [3].

3. REŠENJE PROBLEMA

Kako bi pronašli ravnotežu razmotrimo prvo ponašanje preduzeća C . Očigledno je da će ona prihvatiti svaku ponudu koja je veća od njene vrednosti x .

Posmatrajmo sada Preuzimača. On neće nikad ponuditi više od najveće moguće cene za preduzeće C , pa za njega strategija $y = 100$ striktno dominira strategiju $y > 100$. Ako ponudi manje od 100, odnosno izabere strategiju $0 \leq y < 100$, tada zna da je tip preduzeća C koji će prihvatiti njegovu ponudu negde između 0 i y . S obzirom na raspodelu verovatnoća nad tim vrednostima, možemo odrediti očekivani profit Preuzimača:



$$U_1(y) = E_1(u_1(X, P, y) | X \leq y) = \frac{\int_0^y k(x) dF_X(x)}{F_X(y)} - y \quad (1)$$

Imajući u vidu da je $\frac{dF_X(x)}{dx} = f_X(x)$, difrenciranjem (1) po y , dobijamo neophodan uslov prvog reda za optimalnu vrednost očekivanog profita :

$$\frac{k(y)f(y)F_X(y) - f(y)\int_0^y k(x)dF_X(x)}{F_X(y)^2} - 1 = 0 \text{ ili} \quad (2)$$

$$k(y)f(y)F_X(y) - f(y)\int_0^y k(x)dF_X(x) = F_X(y)^2$$

4. PRIMENA

Pretpostavimo da vrednost preduzeća ima uniformnu $U[0, 100]$ raspodelu. Tada jednakost (1) ima oblik:

$$U_1(y) = E_1(u_1(X, P, y) | X \leq y) = \frac{\int_0^y k(x) dx}{y} - y. \quad (3)$$

4.1. Sposobnost menadžmenta

Neka je $k(x) = cx$ ($c > 1$) tada primenom jednakosti (3) imamo:

$$U_1(y) = \frac{c}{2}y - y = \frac{c-2}{2}y.$$

S obzirom da je sada funkcija profita linearna, to za $c \leq 2$ očekivana isplata Preuzimača nije pozitivna, pa je njegova optimalna ponuda jednaka 0. Bajesovska savršena ravnoteža u podigri je tada $(0, 0)$.

Za $c > 2$ isplata nije negativna, pa je optimalna ponuda Preuzimača jednaka 100. Ravnoteža se postiže kad Preuzimač da ponudu od 100, a preduzeće C tu ponudu prihvati.

Optimalna odluka Preuzimača zavisi samo od sposobnosti njegovog menadžmenta. Ako je on sposoban da najmanje udvostruči vrednost preduzeća C , preduzeće će biti preuzeto sa ponudom jednakom najvećoj mogućoj vrednosti.



4.2. Subvencija

Zamislimo sada da Preuzimač dobija fiksnu subvenciju u iznosu b , a c neka je kao i malopre sposobnost menadžmenta Preuzimača da multiplikuje vrednost preduzeća. Tada možemo uzeti da je $k(x) = cx + b$, pa primenom jednakosti (3) imamo:

$$U_1(y) = \frac{c}{2}y + b - y = \frac{c-2}{2}y + b$$

Za $c > 2$, imamo iste ravnoteže kao u 4.1.

Za $c \leq 2$, Preuzimač će licitirati maksimalnu vrednost, ako je profit pozitivan, u suprotnom licitiraće 0. S

obzirom da je $\frac{c-2}{2}100 + b > 0$, ekvivalentno sa

$$c > 2 - \frac{b}{50} \quad (4)$$

možemo zaključiti da će Preuzimač licitirati maksimalnu vrednost ako je ispunjen uslov (4), u suprotnom licitiraće 0.

Odavde možemo izvući jedno interesatno zapažanje. Zamislimo da u igri postoji i treći igrač, na primer vlada, kojoj je poznata prava vrednost preduzeća C kao i sposobnost menadžmenta Preuzimača. Pod pretpostavkom da sposobnost menadžmenta ima multipliktor veći od 1, njoj bi bilo u interesu da se ostvari preuzimanje, pa bi mogla subvencijom u najmanjem iznosu (tako da se ostvari nejednakost (4)) mogla da utiče na stvaranje efikasnije ravnoteže.

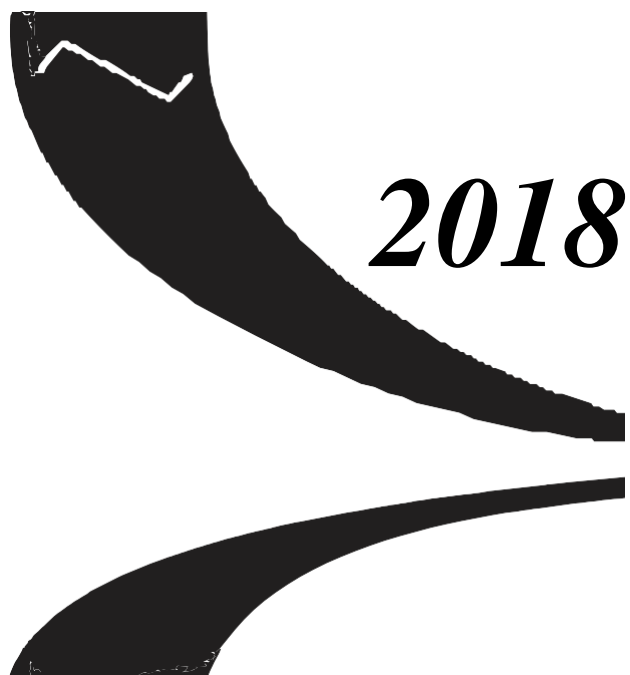
4. ZAKLJUČAK

U radu je za poznati rezultat o neefikasnosti tržišta kad postoji asimetrija u informacijama data opšta formula za nalaženje ravnoteže. Analiziranjem jedne familije problema preuzimanja preduzeća, na osnovu sposobnosti menadžmenta preuzimača precizno smo odredili ravnotežne ishode. Analizom druge familije videli smo kako subvencija može da promeni ravnotežni ishod.

Interesatno je da Preuzimač u oba slučaja koristio strategije sa ruba domena, kako bi se postigla ravnoteža. Sa tim u vezi u daljem radu bi se mogli ispitivati uslovi pod kojim strana sa manjkom informacija u ravnoteži koristi strategije sa ruba domena.

LITERATURA

- [1] Akerlof, George A. (1970). The Market for 'Lemons: Quality Uncertainty and the Market Mechanism. Quarterly Journal of Economics. The MIT Press. 84 (3): 488–500.
- [2] Jiménez-Martínez A. (2014). Information acquisition interactions in two-player quadratic games. International Journal of Game Theory. Springer 43(2): 455-485.
- [3] Osborne, Martin J. and Ariel Rubinstein (1994). A Course in Game Theory. MIT Press.
- [4] Samuelson, William & Bazerman, Max. (1985). The winner's curse in bilateral negotiations. In Research in experimental economics, Volume 3, (Vernon L. Smith, ed.). Greenwich, CT: JAI Press. 105-137



2018

***UPRAVLJANJE
PROIZVODNJOM I LANCI
SNABDEVANJA***



INFORMACIONI IZAZOVI UPRAVLJANJU LEAN KOMPANIJAMA

RADMILA JABLAN STEFANOVIĆ¹, VLADAN KNEŽEVIĆ², JOVANA JUGOVIĆ³

¹ Ekonomski fakultet, Beograd, rasty@ekof.bg.ac.rs

² Ekonomski fakultet u Beogradu, vknez@ekof.bg.ac.rs

³ Ekonomski fakultet u Beogradu, jjugovic@ekof.bg.ac.rs

APSTRAKT

Rast stepena konkurentnosti na globalnom nivou i, time podstaknuta, izmena svesti potrošača u smeru sve većih zahteva na području odnosa cene i kvaliteta, inovacija, vremena isporuke, nameću preduzećima fleksibilnost, kao uslov opstanka na tržištu. 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 efikasnosti i efektivnosti. Uspešno vođenje preduzeća, pored efikasno organizovanog poslovanja, pretpostavlja i kvalitetan informacioni sistem. Navedene organizacione promene najveći efekat ostvaruju u domenu računovodstva troškova, kao interno orijentisanog segmenta računovodstvenog informacionog sistema. Odgovor računovodstva troškova na informacione zahteve lean kompanija javlja se u vidu Activity Based Costing-a i Value Stream Costing-a.

Ključne reči: računovodstvo troškova, upravljanje troškovima, lean koncept, lean računovodstvo, obračun troškova po aktivnostima, obračun troškova toka vrednosti.

ABSTRACT

The increasing competitiveness on a global scale that encouraged changes in consumer awareness in the direction of increasing demands in the area of price and quality, innovation, delivery, impose flexibility for companies, as a condition of survival in the market. Many companies see a response to the challenges of the contemporary environment in the implementation of lean business model, based on creating value for customers while eliminating waste of all aspects of the business process, for cost reduction and increased efficiency and effectiveness. Successful management, beside effectively organized business, assumes a high - quality information system. These organizational changes achieve the greatest effect in the domain of cost accounting, as internally oriented segment of accounting information system. The answer of the cost accounting to the information requirements of the "world-class" companies appears in the form of Activity Based Costing and Value Stream Costing.

Key words: cost accounting, cost management, lean concept, lean accounting, Activity Based Costing, Value Stream Costing.



1. UVOD

Poslednjih nekoliko decenija brojni faktori mikro i makro okruženja kreiraju novi poslovni ambijent koji karakteriše visok stepen kompleksnosti i neizvesnosti. Dominantni među njima su, svakako, globalizacija, njome intenzivirana konkurentnost okruženja, razvoj proizvodnih i informacionih tehnologija i, posledično, skraćivanje životnog ciklusa proizvoda, usmerenost ka zaštiti životne sredine i sl. Kompanije, nužno, u fokus stavljaju zahteve kupaca. Intenzivna globalna konkurencija i tehnološke inovacije primoravaju preduzeća da iznalaze nove pristupe i instrumente upravljanja, da menjaju proizvodne sisteme i investiraju u nove tehnologije. Nove tehnologije karakteriše veća fleksibilnost proizvodnih procesa, upravo radi nastojanja da se izađe u susret raznolikim i promenljivim zahtevima kupaca. Posledica ovih promena je skraćivanje životnog ciklusa proizvoda, promena u strukturi troškova i karaktera pojedinih vrsta troškova.

U rešavanje brojnih strateških pitanja uspešnih, savremenih preduzeća moraju biti uključeni timovi ljudi - osim menadžera, učestvuju eksperti iz različitih funkcionalnih oblasti (inženjeringa, proizvodnje, marketinga, finansija, računovodstva), zaposleni, kao i ključni kupci i dobavljači sa kojima postoji saradnja na putu isporuke vrednosti kupcima. Jedan od ključnih učesnika, svakako, je računovođa koji bi menadžere trebalo da snabde kvalitetnim informacijama o prihodima, troškovima, profitu i drugim relevantnim finansijskim i nefinansijskim informacijama.

Mnoge kompanije su, u nastojanju da odgovore na brojne izazove savremenog poslovnog okruženja, počele sa primenom lean koncepta poslovanja, baziranog na kreiranju vrednosti za kupce uz eliminisanje svih rasipničkih aspekata poslovnog procesa. Lean kompanije zahtevaju i prilagođen računovodstveni sistem čiji je zadatak uspostavljanje sistema merenja performansi koji će motivisati lean ponašanje na svim organizacionim nivoima i podstaći na kontinuirana lean poboljšanja.

2. LEAN KONCEPT POSLOVANJA

Centralna ideja lean-a je da svako trošenje resursa koje ne kreira vrednost za krajnjeg potrošača predstavlja rasipanje i mora da bude eliminisano (Atkinson et al. 2012). Sam koncept se bazira na Toyotinom proizvodnom sistemu, razvijenom neposredno po završetku Drugog svetskog rata, kada je, u uslovima ograničenog tržišta i oskudnih sirovina i prirodnih bogatstava, postalo sasvim jasno da japanska automobilska industrija ne samo da neće moći da konkuriše evropskoj i američkoj, već da neće ni opstati ukoliko se ne pronađe rešenje prikladno novonastalim okolnostima. Prošlo je, ipak, nekoliko decenija dok Toyotin proizvodni sistem nije počeo da privlači veću pažnju, s obzirom na to da su do početka 70-ih godina američke proizvodne metode bile sasvim zadovoljavajuće. Međutim, sa nastankom velike naftne krize praćene recesijom 1973., godine, sa dalekosežnim, razarajućim posledicama po privredu i društvo širom sveta, postaje primetan sve veći jaz u performansama Toyote i drugih kompanija. Tada počinje da raste interesovanje za novi proizvodni sistem.

Pojam lean je inicijalno u akademskoj literaturi uveden u knjizi *The Machine That Changed the World*, (1990), J. P. Womack-a, D. T. Jones-a i D. Roos-a, u kojoj autori ističu da je lean proizvodnja lean (u značenju vitak, mršav) jer podrazumeva upotrebu znatno manje količine resursa u odnosu na masovnu, zarad proizvodnje novog proizvoda. Lean podrazumeva dobijanje pravog proizvoda, na pravom mestu, u pravo vreme, u pravoj količini, minimiziranjem otpada i postizanjem fleksibilnosti (Hall, 2013).

Ističe se pet ključnih principa lean koncepta (Womack, Jones, 2003; Hansen, Mowen, 2013), koji se mogu smatrati smernicama za njegovu realizaciju: *vrednost* (value) – od esencijalnog značaja je definisanje vrednosti sa stanovišta krajnjeg kupca, uzimanjem u obzir atributa proizvoda koje on očekuje i koje je, stoga, spreman da plati; *tok vrednosti* (value stream) – skup svih zadataka, koji su nužni zarad stvaranja prethodno definisane vrednosti, se utvrđuje na nivou familije proizvoda; *tok* (flow) – povezivanje poslova koji stvaraju vrednost na način da teku glatko, u kontinuitetu, bez zastoja, uskih grla ili ponavljanja, što se realizuje uspostavljanjem tzv. ćelijske proizvodnje; *vuča* (pull) – zahtev kupca je varijabla koja će „povući“ obavljanje poslovnog procesa, za razliku od tradicionalnih proizvodnih metoda koje teže da „guraju“ proizvod kroz sistem u nadi da će on pronaći svoje kupce; *perfekcija* (perfection) – visok kvalitet proizvoda koji se isporučuju baš kada se za njim javi tražnja svakako nije moguće postići odjednom, ali važno je stalno težiti ka poboljšanju radi dostizanja perfekcije, što i jeste filozofija lean kompanija.

Svakako, najteži deo prelaska organizacije na lean postulate poslovanja je pronalazak adekvatnog načina na koji bi trebalo praktično da se implementira ideja lean koncepta. To se postiže upotrebom brojnih lean metoda i alata koji su rezultat višegodišnjih nastojanja da se pronađu najbolja rešenja za dostizanje vrhunskog kvaliteta proizvoda, uz što niže troškove i u što kraćem roku. Možemo istaći: ćelijsku proizvodnju (Cellular Manufacturing), održavanje ukupne produktivnosti (Total Productive Maintenance), pull/kanban sisteme,



mapiranje toka vrednosti (Value Stream Mapping), Kaizen, Lean Six Sigma i sl. (Oliveira, Sa and Fernandes 2017).

Automatizacija je u srcu lean proizvodne filozofije (Hall, 2013), jer se njom postiže redukcija trošenja, unapređenje efikasnosti, povećanje kvaliteta i poboljšanje fleksibilnosti. Sve prisutnije moderne proizvodne tehnologije, uz podršku savremenih kompjuterizovanih i visokoproduktivnih proizvodnih sistema, omogućavaju postizanje automatizacije. Kompjuterski numerički kontrolisane mašine (CNC-Computer Numerical Controlled) mogu izvoditi raznolike operacije uz malu pomoć ljudi, čiji zadatak ostaje podešavanje mašina. Kompjuterski integrisan proizvodni sistem (CIM-Computer Integrated Manufacturing) je potpuno automatizovano okruženje sa ciljem eliminisanja aktivnosti koje ne dodaju vrednost; automatizovani sistemi skladištenja i pretraživanja (AS/RS-Automated Storage and Retrieval Systems) – kompjuterski kontrolisani transportni sistemi koji prenose sirovine i gotove proizvode; kompjuterski kontrolisan dizajn (CAD-Computer Aided Design) – povećava preciznost automatizacijom dizajnerskih zadataka koji se ponavljaju i omogućava da se brže odgovori na zahteve tržišta, skraćujući vreme koje protekne od inicijalnog do finalnog dizajna; kompjuterski kontrolisana proizvodnja (CAM-Computer Aided Manufacturing) – korišćenje kompjutera u asistiranju proizvodnji, pri čemu sistem nadgleda i kontroliše proizvodni proces i usmeravanje proizvoda kroz celiju (Hall, 2013).

Lean pristup organizaciji preduzeća je nastao kao odgovor na izazove savremenog poslovnog okruženja. Opstanak na tržištu podrazumeva kontinuirana poboljšanja u svim aspektima poslovnog procesa: na području inovacija, troškova, isporučenog kvaliteta, kao i vremena. Stoga se, kao nezamenjiva podrška upravljanju, implementiraju odgovarajući informacioni sistemi. U poslednje vreme, najveća pažnja se pridaje savremenim, integrisanim informacionim sistemima, tzv. ERP sistemima (Enterprise Resource Planning - sistemi planiranja resursa kompanija). Integrisani informacioni sistem čine povezani moduli sa zajedničkom bazom podataka u cilju povezivanja svih službi i funkcija u kompaniji. Strukturu ERP sistema obrazuju funkcionalne oblasti koje se nazivaju moduli. Kako je ključni fokus lean-a baš na kupcima, tj. potrošačima, poseban značaj se pridaje sistemu upravljanja odnosima sa kupcima (CRM - Customer Relationship Management). CRM obuhvata i analizira sve relevantne podatke od kupaca i distribuira te informacije, što samoj organizaciji pomaže da odgovori na zahteve u pogledu vrednosti koju kupci očekuju da im se isporuči.

3. RAČUNOVODSTVENA PODRŠKA UPRAVLJANJU LEAN KOMPANIJAMA

Uspešno upravljanje, uz efikasno organizovano poslovanje, zahteva kvalitetan informacioni sistem. Sve prethodno navedene organizacione promene, koje uvođenje lean koncepta donosi sa sobom, najveći efekat ostvaruju u domenu računovodstva troškova, kao interno orijentisanog segmenta računovodstvenog informacionog sistema. Računovodstveni sistem bi trebalo da bude prilagođen izmenjenim organizacionim prilikama, osmišljen i implementiran da omogući dobijanje relevantnih i verodostojno prezentovanih informacija. Upravo zato, ove informacije predstavljaju osnovu kvalitetnog poslovnog odlučivanja. Mnoge kompanije su same uvidele da se njihove računovodstvene metode merenja performansi sukobljavaju sa lean proizvodnim inicijativama (Ruiz de Arbuló Lopez et al. 2013). Problem proističe iz toga što tradicionalni pristupi obračunu i upravljanju troškovima u savremenom poslovnom okruženju ispoljavaju određene nedostatke. Kao najčešći ističu se (Hall, 2013): nedovoljno precizna alokacija troškova; slab doprinos lean ponašanju; nedovoljna ažurnost i dominacija finansijskih informacija.

Uprkos tome što među autorima i praktičarima postoji saglasnost da lean kompanije zahtevaju nov pristupu obračunu i upravljanju troškovima, ne postoji jedinstven stav o najboljem rešenju.

Activity Based Costing se 80-ih godina javio kao pristup obračunu troškova, od kog se očekivalo da prevaziđe probleme svojstvene tradicionalnim sistemima, a posebno problem arbitrarnosti prilikom alokacije opštih troškova. Moglo bi se reći da se preciznija alokacija opštih troškova i, posledično, tačnija cena koštanja učinaka, smatraju esencijalnim ciljevima implementacije ovog sistema obračuna i upravljanja troškovima. Praćenje troškova po aktivnostima, umesto po mestima troškova, kao užitim organizacionim delovima, i korišćenje brojnijih uzročnika za prenos troškova sa aktivnosti na krajnje objekte troškova su pravo rešenje za obračun što tačnije cene koštanja. Jer, tačnost cene koštanja u savremenim uslovima poslovanja je ključni faktor uspešnog upravljanja preduzećem. Sigurno 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, imaju izuzetan značaj u lean poslovnom okruženju. U fokusu lean koncepta jeste upravo eliminisanje svih suviših



trošenja, time i onih aktivnosti koje nisu profitabilne (Needles, Crosson, 2011). Ipak, ne može se tvrditi da ABC u potpunosti odgovara zahtevima lean koncepta poslovanja. Kao što je u prvom delu rada rečeno, lean kompanije se organizuju oko tokova vrednosti, čime se stvara potreba za kreiranjem pristupa koji će moći da prati troškove upravo na nivou tih organizacionih jedinica. Uz to, jedan od glavnih nedostataka tradicionalnog ABC modela jeste njegova prevelika kompleksnost, troškovi implementacije i održavanja sistema, što se kosi sa idejama lean koncepta koji teži jednostavnosti i ekonomičnosti. Nemogućnost tradicionalnog modela da ukaže na postojanje neiskorišćenog kapaciteta, o čemu lean koncept poslovanja posebno vodi računa, predstavlja još jedan od nedostataka. Ova dva nedostatka su u velikoj meri otklonjena unapređenom varijantom ABC-a predstavljenoj u obliku Time Driven Activity Based Costing-a, ali ne u potpunosti, što smatraju neki od autora, da bi se ABC smatrao sistemom koji u potpunosti informaciono podržava lean koncept poslovanja.

Obračun troškova toka vrednosti (Value Stream Costing) je jedan od savremenih pristupa obračunu troškova, nastao kao odgovor na informacione potrebe menadžmenta preduzeća organizovanih po lean principima. Kako se ukupni poslovni proces deli na odgovarajuće tokove vrednosti, nužno je sagledavanje iznosa troškova prouzrokovanih funkcionisanjem jednog toka kao i koliko košta njegov učinak – krajnji proizvod, odnosno familija proizvoda. Kako VSC prati troškove upravo po tokovima vrednosti, uslov za njegovu primenu je zrela faza implementacije lean koncepta (Baggaley and Maskell 2004): definisani su tokovi vrednosti; potrebe za izveštavanjem na nivou toka vrednosti, a ne na nivou departmana; zaposleni moraju biti raspoređeni po tokovima vrednosti, bez ili samo sa neophodnim preklapanjima resursa po tokovima vrednosti; JIT koncept; kontrola nad proizvodnim procesom i autputom uz standardizaciju; praćenje netipičnih situacija kao što su ponavljanje posla, nastanak otpada i sl.; kratko vodeće vreme (od prijema porudžbine do isporuke iste); zalihe relativno niske i stabilne.

Troškove toka vrednosti za određeni period (1 nedelja, 2 nedelje ili mesec dana) čine troškovi svih aktivnosti u okviru toka vrednosti (nabavka, proizvodnja, kontrola kvaliteta, dizajn, inženjering, održavanje, računovodstvo, isporuka, korisnički servis, itd.), bez razdvajanja na direktne i opšte troškove (Ruiz de Arbuló Lopez et al. 2013). Ipak, postoje i određeni troškovi na nivou preduzeća koji nisu direktno povezani sa tokovima vrednosti (što mogu biti npr. plate zaposlenih koji se ne mogu povezati sa konkretnim tokom vrednosti). Kako VSC nastoji da izbegne alokaciju troškova, ti troškovi neće biti prikazani u izveštaju o rezultatu na nivou toka vrednosti, već na nivou određene poslovne jedinice, ili pak, na nivou celog preduzeća.

Način dolaska do troškova po jedinici proizvoda određen je brojem proizvoda i stepenom diferencijacije proizvoda u okviru konkretnog toka vrednosti, odnosno u okviru familije proizvoda toka vrednosti. Ako se radi o jednom proizvodu, troškove po jedinici jednostavno možemo dobiti deljenjem ukupnih troškova toka vrednosti sa proizvedenom količinom proizvoda. Ako se, pak, radi o različitim proizvodima, u tom slučaju se u obzir moraju uzeti specifične karakteristike proizvoda u cilju alokacije troškova (DeBusk 2014). Ovaj pristup se naziva Obračun troškova karakteristika proizvoda (Features and Characteristics Costing).

Na ovom nivou razvoja računovodstvene teorije ne može se govoriti o postojanju jednog adekvatnog celovitog sistema obračuna troškova, koji bi mogao da pruži informacionu podršku upravljanju lean kompanijama. Trebalo bi nastojati da se obezbedi integrisana primena dva ili više sistema ili koncepta u celom lancu vrednosti ili u nekim karikama lanca, kako bi se kroz efekat sinergije obezbedilo adekvatno sniženje troškova, uz postizanje željenog kvaliteta, funkcionalnosti i vremena pojavljivanja proizvoda i usluga na tržištu. Koncept obračuna troškova po aktivnostima ima kapacitete da, adekvatnijim obuhvatanjem i analizom strukturalnih i proceduralnih aktivnosti i uzročnika njihovih troškova, informaciono podrži menadžment za upravljanje u lean okruženju. Posebno se ističu mogućnosti integrisane primene ABC koncepta sa drugim savremenim tehnikama, metodama i sistemima obračuna troškova.

4. ZAKLJUČAK

Lean koncept predstavlja radikalni zaokret u poslovanju jer menja organizacionu strukturu i organizacionu kulturu, svest o shvatanju vrednosti, stav o načinu odvijanja poslovne aktivnosti. Ovaj koncept, usmeren na stalno poboljšanje, uspeva da menja stav o tome šta je dobro u poslovanju preduzeća, a u kojim aspektima poslovanja bi trebalo unaprediti efikasnost i efektivnost. Optimizacija poslovnog procesa kroz eliminisanje svih suvišnih trošenja, ili svođenja onih aktivnosti koje ne doprinose stvaranju vrednosti na minimum, obezbeđuje povećanje efikasnosti i smanjenje troškova.



Novim uslovima poslovanja prilagođeno računovodstvo troškova predstavlja ključnu informacionu osnovu menadžmentu za kvalitetno odlučivanje. Lean koncept poslovanja je uneo brojne novine koje tradicionalna preduzeća nisu karakterisale: orijentacija ka kupcu, pull princip, akcent na timskom radu, razbijanje funkcionalnih „silosa“, diferencijacija proizvodnog asortimana, svodenje zaliha na minimum i sl.

Strategijski orijentisano računovodstvo troškova trebalo bi da obezbedi savremenim uslovima prilagođeno upravljanje. Integrirana primena ABC-a i drugih sistema pruža tačniji, analitičniji i fleksibilniji pristup u odnosu na pojedinačne. ERP doprinosi raznovrsnosti i većoj upotrebljivosti informacija, uzrokujući promene u celokupnom sistemu računovodstva troškova, štedeći vreme i novac i time postaje kritičan faktor uspeha preduzeća.

LITERATURA

- [1] Atkinson, A., A., Kaplan, R., S., Mae Matsumara, E., & Young, M., S. (2012). *Management Accounting: Information for Decision Making and Strategy Execution*. South-Western: Cengage Learning.
- [2] Hall, J., A., (2013). *Accounting Information Systems* (8th ed.). South-Western: Cengage Learning.
- [3] Hansen, D.R., Mowen, M.M. (2013). *Cornerstones of Cost Management* (2nd ed.). South-Western: Cengage Learning;
- [4] Jablan, Stefanović, R. (2017). *Interni obračun*, CID Ekonomskog fakulteta u Beogradu.
- [5] Maskell, B.H., Baggaley, B. (2004). *Practical Lean Accounting: A Proven System for Measuring and Managing the Lean Enterprise*. Productivity Press (el. izd.).
- [6] Needles, B.E., and Crosson, S.V. (2011), *Managerial Accounting Principles* (9th ed.). South-Western: Cengage Learning.
- [7] Oliveira, J., Sa, J., C., & Fernandes, A. (2017). Continuous improvement through lean tools: An application in a mechanical company. *Procedia Manufacturing* (1082-1089).
- [8] Ruiz de Arbuló Lopez, P., Fortuny Santos, J., & Cuatrecasas Arbos, L. (2013). Lean manufacturing: Costing the value stream. *Industrial Management & Data Systems*, (647-668).
- [9] Womack, J., & Jones, D. (2003). *Lean thinking- Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, USA: Free Press.
- [10] DeBusk, G. (2012). Use Lean Accounting to Add Value to the Organization. *The Journal of Corporate Accounting & Finance* (35-41)



MERENJE OMNIKANALNOSTI NA GLOBALNOM TRŽIŠTU

MEASUREMENT OF OMNICHANNELTY ON THE GLOBAL MARKET

JELENA KONČAR¹, SONJA VUČENOVIĆ², ZITA PETROVIĆ KATAI³

¹ Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet Subotica, koncarj@ef.uns.ac.rs

² Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet Subotica, sonjavucenovic1@ef.uns.ac.rs

³ Univerzitet u Novom Sadu, Ekonomski fakultet Subotica, petrovickzita@ef.uns.ac.rs

Rezime: Globalno tržište stvara nove formate i institucije maloprodaje koje su prilagođene novim višekanalnim strategijama. Korišćenje više kanala nekog maloprodavca je mnogo efikasnije od upotrebe samo jednog kanala. Na globalnom tržištu omnikanalna maloprodaja uzima sve veće mere. Tokom poslednjih nekoliko godina u razvijenim zemljama maloprodavci su postali zreliji i omogućili su potrošačima da istražuju, upoređuju, kupuju i vraćaju proizvode preko različitih kanala. Suština omnikanalnosti je pretpostavka da potrošači prolaze kroz proces kupovine na veoma različite načine. Omnikanalnost kombinuje maloprodaju sa i bez prodajnog objekta kroz upotrebu višestrukih formata plasmana. Totalna integracija kanala dovodi do implementacije omnikanalnosti kod maloprodavaca, gde su potrošači prisutni u svim kanalima tokom kupovnog procesa. Merenje performansi kod omnikanalne maloprodaje zahteva nove ključne indikatore performansi (KPI) koji će uzeti u obzir sve aspekte omnikanalne maloprodaje i omnikanalnih potrošača.

Ključne reči: Omnikanalnost, globalno tržište, maloprodaja, ključni indikatori performansi (KPI)

Abstract: The global market creates new formats and retail outlets that are adapted to new multi-channel strategies. Using multiple channels of a retailer is much more effective than using only one channel. Omnichannel retailing takes hold on the global market. Retailers have become more mature and have enabled consumers to explore, compare, buy and return products across different channels over the past few years in developed countries. The essence of omnichannel approach is the assumption that consumers go through the purchasing process in different channels. Omnichannel approach combines retailing with and without a retail store through the use of multiple selling forms. Total channel integration leads to the implementation of retailers' omnichannelity, where consumers are present in all channels during the purchasing process. Performance measurement for omnichannel retailing requires new Key Performance Indicators (KPIs) that will take into account all aspects of omnichannel retail and omnichannel consumers.

Keywords: Omnichannel, global market, retail, Key Performance Indicators (KPIs)

1. UVOD

Iz perspektive potrošača omnikanalno kupovno iskustvo je objedinjen pristup kupovini, gde se koristi veći broj kanala, preko fizičkih maloprodajnih objekata, elektronskih prodavnica, mobilnih platforma, itd. Sa druge strane, iz perspektive maloprodavaca stvaranje objedinjenog kupovnog iskustva je izuzetno izazovan proces koji zahteva koordinaciju i integraciju kroz ceo maloprodajni sistem.

U slučaju da se maloprodavac odluči za omnikanalnu maloprodajnu strategiju u svom poslovanju, treba da se postavi nekoliko pitanja:

- Da li zaista funkcioniše omnikanalna strategija u poslovanju maloprodavca?
- Koliko pojedini kanali doprinose rezultatu maloprodavca?
- Koji ključni indikator performansi (KPI) najbolje pokazuje lojalnost omnikanalnih potrošača?

Na gore postavljena pitanja nije lako odgovoriti. Suština omnikanalne maloprodaje jeste korišćenje više kanala tokom kupovnog iskustva. Zbog ove činjenice iako možda neki indikatori otkrivaju maloprodavcu porast prometa, prodaje, zadovoljstva potrošača, ali ne pokazuju koliko je svaki kanal posebno doprineo tom rezultatu.



2. NOVE MOGUĆNOSTI OMNIKANALNE MALOPRODAJE

Razvoj online kanala i novih dodatnih digitalnih kanala, kao što su mobilni kanali i društvene mreže, izmenio je maloprodajne poslovne modele, maloprodajni miksi i ponašanje potrošača (Verhoef et al, 2015). Pod uticajem novih okolnosti menjaju se poslovni modeli i ponašanje potrošača. Razvoj multikanalne maloprodaje do omnikanalne je važan sledeći nivo razvoja u maloprodaji koji će imati uticaj na buduće funkcionisanje kanala marketinga.

Suština omnikanalne maloprodaje jeste u mogućnosti maloprodavca da stupi u kontakt i uspostavi interakciju sa svojim potrošačima kombinujući sve svoje postojeće kanale na objedinjeni način. Totalno omnikanalno iskustvo značilo bi da jedna transakcija može da obuhvati više od jednog kanala. Integrisani pristup omnikanalnoj strategiji za potrošača znači da će imati iste uslove kupovine nezavisno od toga u kojem kanalu marketinga započeo svoju kupovinu i na koji se način isporučuje proizvod (Končar, et al, 2018). U kanale koje koriste maloprodavci spadaju kako tradicionalni kanali, tako i online kanali, kao što npr. mobilni kanali, Internet stranice, fizički maloprodajni objekti, call centri, izložbeni saloni, TV, katalogi. Omnikanalni maloprodavac ne mora obavezno da koristi sve kanale. Međutim, pošto je dostupnost proizvoda i usluga suština omnikanalne maloprodaje, važno je da maloprodavac bude prisutan u kanalu koji bi njegovi potrošači želeli da koriste. Danas sve veći broj maloprodavaca upravo postaje svestan ove činjenice. Svedoci smo da tradicionalni „cigla i malter“ maloprodavci dodaju online i mobilne kanale u svoje poslovanje, pretvarajući se na taj način u „klik i cigla“ maloprodavce; sa druge strane i čisti online akteri (npr. Amazon.com) počinju da otvaraju fizičke objekte.

Pristup informacijama i kupovina „svoga, svuda i u svako doba“ je vodilja omnikanalne maloprodaje (Savastano et al, 2016). U današnjem omnikanalnom maloprodajnom okruženju, potrošači očekuju jedinstven, objedinjen pristup kroz sve kupovne kanale i sve forme interakcije. Oni zahtevaju dosledno pozitivno iskustvo, gde svi imaju kompletnu i ažurnu informaciju o istoriji potrošačeve kupovine, sve u cilju potrošačke lojanosti (Savastano et al, 2016).

Belu i Marinoiu (2014) ističu da kako bi omnikanalna strategija bila uspešna, maloprodavci moraju uzeti u obzir tri osnovna elementa: moraju ponuditi potrošačima usluge koje očekuju, moraju upravljati tokovima proizvoda, informacija i novca i na kraju moraju imati informacije ažurirane u realnom vremenu bez obzira na kanal. Potrošači moraju dobiti iste usluge u fizičkim maloprodajnim objektima i u Web prodavnicama ili preko mobilnih aplikacija. Bez obzira na kanal, oni moraju imati uvid u svoju istoriju kupovine, trenutno stanje porudžbine, itd. Tok proizvoda mora biti koherentan, sa transparentnim cenama u različitim kanalima. Potrošačima treba omogućiti izbor metoda plaćanja i metoda isporuke ili preuzimanja.

Prema istraživanju Deloitte-a (2014) korišćenje više kanala od strane potrošača u toku jedne kupovine je u porastu. 30% njih prati brendove na društvenim medijima, 75% pretražuje online pre posete fizičke prodavnice, i 50% koristi mobilne uređaje za pretraživanja koja su vezana za kupovinu dok su u samom maloprodajnom objektu. Šta više, istraživanje otkriva da omnikanalni potrošači potroše više od proseka, prema istraživanjima čak do 70%. Kupovine od strane potrošača koji kupuju preko različitih kanala su obično do 50% veće vrednosti u poređenju sa kupovinama preko samo jednog kanala.

Istraživanja Forrester-a (2014) pokazuju rast potrošačevih očekivanja od omnikanalne kupovine: 71% potrošača očekuju da imaju online uvid u zalihe u prodajnom objektu, dok 50% očekuje da kupi online a preuzme proizvod u prodajnom objektu. Samo trećina maloprodavaca implementira neke od osnovnih omnikanalnih inicijativa (npr. preuzimanje u prodajnom objektu, vidljivost stanja zaliha u više kanala, itd.) u svrhu integrisanja online i offline kanala i vezivanja potrošača.

3. POVEĆANJE EFIKASNOSTI OMNIKANALNE MALOPRODAJE

Većina maloprodavaca danas je pod izuzetnim pritiskom globalnog tržišta i konkurencije. Omnikanalna maloprodaja menja dosadašnji način poslovanja u trgovini na malo. Međutim, postavlja se pitanje kako meriti efikasnost omnikanalne maloprodaje. Cilj maloprodavaca jeste da tako upravljaju kanalima, da maksimiziraju prihode od prodaje. Međutim, kod omnikanalne maloprodaje gde se koriste svi kanali da bi potrošači dobili objedinjeno kupovno iskustvo merenje efikasnosti kanala može biti otežano.



U tabeli br. 1. mogu se videti kategorije pomoću kojih je moguće izmeriti efikasnost svih kanala, počev od fizičkih maloprodajnih objekata, online tržišta i alternativnih kanala. Dole navedene kategorije pomažu da trgovci na malo na efikasan način upravljaju ukupnim performansama različitih kanala.

Tabela br. 1: Omnikanalna instrument tabela

Omnikanalna instrument tabela			
Ukupno	Fizički maloprodajni objekat	Online tržište	Alternativni kanali
<ul style="list-style-type: none">• Ukupna prodaja• Ukupna marža• Neto prihod• % rasta• % na cilj	<ul style="list-style-type: none">• % od ukupnog prihoda• % ukupnih ispunjenih jedinica (uključujući preuzimanje u maloprodajnom objektu)• Iznos ukupnih ispunjenih jedinica u USD• Troškovi rada u USD• Neto prihod u USD	<ul style="list-style-type: none">• % od ukupnog prihoda• % ukupnih ispunjenih jedinica• Iznos ukupnih ispunjenih jedinica u USD (isporučenih potrošačima)• Troškovi isporuke u USD• Neto prihod u USD	<ul style="list-style-type: none">• % od ukupnog prihoda• % ukupnih ispunjenih jedinica• Iznos ukupnih ispunjenih jedinica u USD (isporučenih potrošačima)• Troškovi isporuke u USD• Neto prihod u USD

Izvor: <https://www.magestore.com/omnichannel-kpis>

U klasičnoj maloprodaji, maloprodavci su koristili ključne indikatore performansi (KPI) koji su bili zasnovani na prodaji proizvoda i usluga. Najčešće korišćeni indikatori su bili: mesečni prihodi, godišnji prihodi, rast prihoda u određenom vremenskom periodu, marketinški troškovi, troškovi po zaposlenom, troškovi pridobijanja novih potrošača, troškovi zadržavanja postojećih potrošača, itd. Ali svi ovi klasični ključni indikatori performansi (KPI) teško mogu da pokažu tačne rezultate kod omnikanalne maloprodaje, kada se radi o integrisanim kanalima. Kao što je poznato, omnikanalni potrošači prilikom kupovine ne koriste samo jedan kanal, nego svoje kupovno iskustvo počinju u jednom kanalu, i tokom kupovine migriraju između online i offline kanala. Omnikanalni potrošači mogu naručiti robu na primer online, a preuzeti je u najbližem maloprodajnom objektu, što stvara poteškoće u tačnom evidentiranju kanalskih performansi. Slična je situacija i u slučaju kada na primer online naručena roba zbog nekih nedostataka se vraća u maloprodajni objekat.

Upravo zbog prethodnih razloga javila se potreba da se razviju novi omnikanalni ključni indikatori performansi (KPI) koji moraju obuhvatiti sve performanse poslovanja maloprodavaca u svim kanalima koji obuhvataju potrošačevo objedinjeno kupovno iskustvo.

Omnikanalni ključni indikatori performansi uključuju celokupno kupovno iskustvo, uključujući: svesnost, angažovanje, konverziju i lojalnost (<https://www.magestore.com/omnichannel-kpis>). Svaka faza ima svoje tipične KPI na koje mora biti visoko fokusirana.

U fazi svesnosti ključni indikatori koji se koriste su generisanje saobraćaja i stopa posete na Web sajtu. U prvom slučaju beleži se broj jedinstvenih posetilaca na Web sajtu, a u drugom slučaju kalkuliše se koliko puta jedan jedinstveni posetilac gleda navedene kanala u određenom vremenskom periodu. U slučaju multikanalne maloprodaje ova dva ključna indikatora se beleže odvojeno.

U drugoj fazi, fazi angažovanja isto tako postoji nekoliko ključnih indikatora koji se koriste da bi trgovci na malo dobili informacije o tome koliko im je strategija uspešna. Najčešće korišćeni ključni indikatori u ovoj fazi su: preporuke proizvoda i ponude po poseti, stopa konverzije na preporuke proizvoda, stopa konverzije na ponude proizvoda i dužina posete. U elektronskoj maloprodaji danas uspešno se koriste preporuke. Preporukama se smatra skup sadržaja koji za posmatranog potrošača mogu biti od koristi ili za koje potrošač pokazuje zainteresovanost. Analitičarima i menadžerima dužina posete kao ključni indikator isto je od posebne važnosti. Ovaj jednostavan indikator pokazuje koliko dugo se potrošači zadržavaju na Web sajtu.



Tabela br. 2: Tipični KPI po fazama

SVESNOST - Generisanje saobraćaja - Stopa posete	ANGAŽOVANJE - Preporuke i ponude proizvoda po poseti - Stopa konverzije na preporuke proizvoda - Stopa konverzije na ponude proizvoda - Dužina posete
KONVERZIJA - Međusobna stopa konverzije - Višenamenska stopa korpe	LOJALNOST - Javna podrška - Vrednost kupca za životni vek - Stopa ponovne posete - Povratna frekvencija

Izvor: <https://www.magestore.com/omnichannel-kpis>

U trećoj fazi, fazi konverzije tipični ključni indikatori su međusobna stopa konverzije i višenamenska stopa korpe. Ova faza je jedinstvena u omnikanalnoj maloprodaji, jer kod omnikanalnosti fokus je na unakrsnom kanalu, zbog činjenice da u omnikanalnosti naglasak je na migraciji potrošača među kanalima.

U fazi lojalnosti najčešće se koristi zadovoljstvo potrošača, ali isto tako životna vrednost potrošača koji pokazuje ukupan prihod potrošača u toku njegovog životnog veka može biti od koristi maloprodavcima.

Međutim, u ovoj fazi ipak najčešće korišćeni ključni indikator je stopa zadržavanja potrošača, koji se izračunava kao odnos onih potrošača koji su ostali nakon određenog vremenskog perioda. Ovaj indikator generalno pokazuje lojalnost svih potrošača.

$$\text{Stopa zadržavanja} = ((CE - CN) / CS) \times 100 \quad (1)$$

gde je:

CE = broj kupaca na kraju perioda

CN = broj novih kupaca stečenih tokom perioda

CS = broj kupaca na početku perioda.

Efikanost omnikanalne maloprodaje može da se poveća ako u fazi svesnosti omnikanalni maloprodavci probude svest potrošača zanimljivim sadržajem. U fazi angažovanja potrošačima treba nuditi potpune i transparentne informacije u svim postojećim kanalima koje koriste omnikanalni maloprodavci, da bi u fazi konverzije učinili proces što bržim i lakšim. U fazi lojalnosti treba stvoriti lojalnost potrošača kroz bliske i prilagođene odnose sa potrošačima.

4. ZAKLJUČAK

Uvođenje omnikanalne maloprodajne strategije povlači sa sobom mnogo izazova za maloprodavce. U prvoj fazi implementacije omnikanalnosti za maloprodavce je od vitalnog značaja da izmeri performanse omnikanalne maloprodaje. Prilikom merenja umesto klasičnih ključnih indikatora performansi (KPI) treba koristiti ključne indikatore koje su prilagođene za omnikanalnu maloprodaju, koji mogu pokazati posebno koji kanal koliko doprinosi rezultatu maloprodavca. Novi ključni indikatori su potrebni i zbog složenosti ponašanja potrošača u omnikanalnom svetu. Oni indikatori koji ne uzimaju u obzir integrisane kanale, ne mogu se koristiti prilikom merenja efikasnosti omnikanalnosti.



LITERATURA

- [1] Belu, M.G., Marihoni, A. (2014). A new distribution strategy: The omnichannel strategy, *The Romanian Economic Journal*, Vol. 17, No. 52, 117-134.
- [2] Deloitte (2014). *The Omnichannel Opportunity: Unlocking the Power of the Connected Consumer*. London: Deloitte.
- [3] Forrester Research (2014). *Customer Desires Vs. Retailer Capabilities: Minding The Omni-Channel Commerce Gap*, Forrester Research Inc.
- [4] Končar, J., Vučenović, S., Petrović Katai, Z. (2018). Implementacija omnikanalnosti u strategijskom menadžmentu maloprodavaca, XXIII Internacionalni naučni skup " Strategijski menadžment i sistemi podrške odlučivanju u strategijskom menadžmentu SM 2018", 26. i 27. april 2018., Subotica, Srbija.
- [5] Savastano, M., Barnabei, R., Ricotta, F. (2016). Going Online While Purchasing Offline: an Explorative Analysis of Omnichannel Shopping Behavior in Retail Settings, *Proceedings of International Marketing Trends Conference*, J.C. Andrani and U. Collesi, January, 21- 23th, 2016, Venice, Italy.
- [6] Verhoef, P., Kannan, P., Inman, J. (2015). From Multi-Channel Retailing to Omni-Channel Retailing: Introduction to the Special Issue on Multi-Channel Retailing, *Journal of Retailing*, Vol. 9, No. 2, 174-181



2018

***VIŠEKRITERIJUMSKA
ANALIZA I OPTIMIZACIJA***



A SIMPLE MATHEMATICAL APPROACH FOR THE MEAN RANDOM CONSISTENCY INDEX CALCULATION AT HIGHER MATRIX DIMENSIONS

ZORAN BAJIĆ¹, JOVICA BOGDANOV¹

¹ Military Academy, University of Defense, Belgrade, Serbia, zoran.bajic@va.mod.gov.rs

Abstract: This paper shows the use of nonlinear regression analysis for the calculation of mean random consistency index at higher dimensions of pairwise comparison judgment matrices. Obtained fitted hyperbolic equation asymptotically approaches value of 1.74365. Orthogonal Distance Regression iteration algorithm was used showing high goodness of fit with COD of 0.998625 and standard deviation of 0.01207.

Keywords: MRCI, calculation, regression, matrix dimension.

1. INTRODUCTION

Analytic Hierarchy Process (AHP) is one of Multi Criteria decision making method that was originally developed by Thomas L. Saaty (Saaty 1980). AHP allows some small measure of inconsistency in judgment due to the changeable and inconsistent nature of the humans. Hence, Saaty gave a measure of consistency, called Consistency Index (*CI*) as deviation or degree of consistency which strongly depends on the Eigen value and dimension of pairwise comparison judgment matrices.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

For the consistent pairwise comparison judgment matrix, the largest Eigen value is equal to the matrix dimension, $\lambda_{max} = n$. Further on, the Consistency Index is used to calculate the Consistency Ratio (*CR*) by comparing it with the appropriate index. The consistency ratio is one of the very important aspects of the AHP theory. It allows us to assess the overall consistency of all pairwise comparison judgments provided by the decision makers in the form of pairwise comparison judgment matrices (Tummala and Ling 1998). The appropriate Consistency Index is called Random Consistency Index or Mean Random Consistency Index (*MRCI*) (Saaty 1980, Saaty and Vargas 1984, Saaty 1990, Shufeng 2006). The consistency problem of the AHP actually depends on the computation of *MRCI* (Tummala and Ling 1998).

2. CALCULATION OF MEAN RANDOM CONSISTENCY INDEX

Many authors (Saaty 1980, Lane and Verdini 1989, Forman 1990, Golden and Wang 1989, Tummala and Wan 1994, Alonso and Lamata 2006) computed the *MRCI* according to the equation (2) conducting simulation experiments depending on the simulation method and the different number of generated matrices involved in the process.

$$MRCI = \frac{\bar{\lambda}_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

The simulation runs ranged from 100 to 500000. The main drawback of these calculation was that the calculated values of *MRCI* were up to $n = 15$. Also, the calculation is time consuming and gives different values of *MRCI* for the same value of n . Therefore, for the dimension values above 15 there is lack of computed undeviating *MRCI* values. The breakthrough of this problem was accomplished when the authors (Alonso and Lamata 2006) gave *MRCI* values for n up to the value of 39. Furthermore, they proposed the equation (3) in order to calculate *MRCI* for any n value.

$$MRCI = \frac{1.7699n - 4.3513}{n - 1} \quad (3)$$

The proposed equation (3) is asymptotic in nature giving the maximum value 1.7699 for *MRCI* for indefinite n .



In this paper, the authors propose the following equation:

$$MRCI = a - \frac{b}{1+n^c} \quad (4)$$

where n is matrix dimension, $a = 1.74365 \pm 0.0044$, $b = 6.37102 \pm 0.07949$ and $c = 1.36098 \pm 0.01485$. Equation 4. is also asymptotic giving the maximum value of 1.74365. This equation more accurately fits literature values of $MRCI$ according to the ANOVA and error functions analysis. The $MRCI$ fitting curve for the equation 4 is shown in Figure 1.

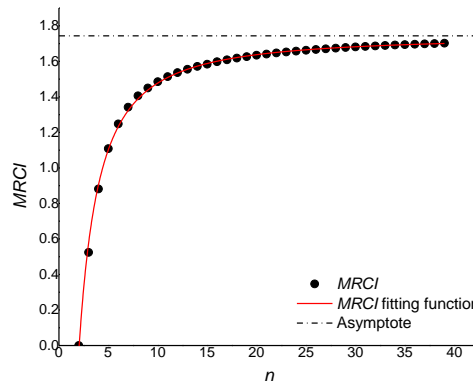


Figure 1: Fitting curve for the literature data

3. STATISTICAL ANALYSIS AND DISCUSSION

Adequacy of the regression model was proved by ANOVA test, significance of model coefficients was tested using Student test. The reduced Chi-square value, which equals the residual sum of square divided by the degree of freedom is calculated to be $1.45592E-4$.

The coefficients of the regression function and their statistical significance were evaluated by the least squares method, indicating that the proposed model is significant (F value = 26141.91) with standard error of 0.01207 and with p-value < 0.0001. The R^2 values of 0.998625 shows that calculated data are in good agreement with ones from literature. The R^2 is in reasonable agreement with the Adjusted R^2 of 0.998503; i.e. the difference is less than 0.2. The adjusted R^2 indicates the how well the data points are fitting the equation regarding the number of set data and the number of variables showing the percentage of variation explained by only the independent variables that actually affect the dependent variable and it's calculated as follows:

$$AdjR^2 = 1 - \frac{(1-R^2)(m-1)}{m-p-1} \quad (5)$$

where p is number of parameters in the regression model, m is the number of available data. ANOVA parameters are shown in Table 1.

Table 1: Calculated ANOVA parameters for Eq. 4.

	df	SS	MS	F	Significance F
<i>Regression</i>	1	4.555162	4.555162	26141.91	4.09E-53
<i>Residual</i>	36	0.006273	0.000174		
<i>Total</i>	37	4.561435			

where df denotes degree of freedom; SS is the sum of squares; MS is mean square and F is Fisher test value.



The data error analysis was completed in order to determine the goodness of fitting using standard deviation of the model or Mean Root Square Error (RMSE); Average Relative Standard Error (ARS); Average Relative Error (ARE), Residual Sum of Squares (RSS); Marquardt's Percent Standard Deviation (MPSD) (Foo and Hameed 2010) and Akaike Information Criterion (AIC) (Akaike 1973):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{(MRCI - MRCI_{cal})^2}{m}} \quad (6)$$

$$\text{ARS} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\left(\frac{MRCI - MRCI_{cal}}{MRCI}\right)^2}{m-1}} \quad (7)$$

$$\text{ARE} = \frac{100}{m} \sum_{i=1}^m \left[\frac{(MRCI - MRCI_{cal})^2}{MRCI} \right]_i \quad (8)$$

$$\text{RSS} = \sum_{i=1}^m (MRCI - MRCI_{cal})^2 \quad (9)$$

$$\text{MPSD} = 100 \sqrt{\frac{1}{m-p} \sum_{i=1}^m \left(\frac{MRCI - MRCI_{cal}}{MRCI}\right)^2} \quad (10)$$

$$\text{AIC} = m \log\left(\frac{\text{RSS}}{m}\right) + 2p \quad (11)$$

where $MRCI$ is the value from the literature; $MRCI_{cal}$ is the calculated value, p is number of parameters in the regression model, m is the number of available data and RSS is calculated residual of fitted model.

Typical error functions don't take into account the number of parameters in the model, so the model correctness and its magnitude can't be determined. Hence, it is needed to include error functions like MPSD and AIC in the analysis. AIC is especially suitable for comparing different models with various error distribution and at the same time avoiding testing issues. The best model is one with the lowest AIC value calculated for least squares regression model fit (Yaneva *et al.* 2012). Error functions results for equations 3 and 4 are given in Table 2.

Table 2: Comparison of error function values for Eq. 3 and 4.

Equation	R ²	RMSE	ARS	ARE	RSS	MPSD	AIC
№ 3. (Alonso and Lamata)	0.960295	0.1320	0.5601	0.01375	0.6617	1.578	-62.85
№ 4. (this paper)	0.998625	0.01207	0.6395	0.01835	0.006316	1.828	-137.7

Error functions analysis shows that the equation proposed in this paper has significantly greater coefficient of determination (R²) and significantly smaller values for RMSE, RSS and AIC while other values are somewhat greater than equation 3.

4. CONCLUSION

This paper shows the simple calculation method for the calculation of $MRCI$ at higher matrix dimensions. The proposed equation efficiently and with high degree of adequacy, significance and correctness fits literature data for $MRCI$. The coefficients of the regression function and their statistical significance were evaluated by the least squares method, indicating that the proposed model is significant (F value = 26141.91) with standard error of 0.01207 and with p-value < 0.0001. The R² value of 0.998625 shows that calculated data are in good agreement with ones from literature. Error functions analysis has shown that the proposed equation has significantly greater coefficient of determination (R²) and significantly smaller values for RMSE, RSS and AIC. Hence, this paper suggests quick and accurate way of calculating $MRCI$ at higher matrix dimensions.



REFERENCES

- [1] Akaike, H. (1973). Maximum likelihood identification of Gaussian autoregressive moving average models. *Biometrika*, 60(2), 255-265.
- [2] Alonso, J. A., & Lamata, M. T. (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *International journal of uncertainty, fuzziness and knowledge-based systems*, 14(04), 445-459.
- [3] Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical engineering journal*, 156(1), 2-10.
- [4] Forman, E. H. (1990). Random indices for incomplete pairwise comparison matrices. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 153-155.
- [5] Golden, B. L., & Wang, Q. (1989). An alternate measure of consistency. In *The Analytic Hierarchy Process* (pp. 68-81). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [6] Lane, E. F., & Verdini, W. A. (1989). A consistency test for AHP decision makers. *Decision Sciences*, 20(3), 575-590.
- [7] Saaty, T. L. (1990). Eigenvector and logarithmic least squares. *European journal of operational research*, 48(1), 156-160.
- [8] Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill International Book Company.
- [9] Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (1984). Inconsistency and rank preservation. *Journal of Mathematical Psychology*, 28(2), 205-214.
- [10] Shufeng, J. (2006). The Algorithm of Mean Random Consistency Index in AHP and its Implementation [J]. *Journal of Taiyuan Normal University (Natural Science Edition)*, 4, 016.
- [11] Tummala, V. R., & Ling, H. (1998). A note on the computation of the mean random consistency index of the analytic hierarchy process (AHP). *Theory and decision*, 44(3), 221-230.
- [12] Tummala, V. R., & Wan, Y. W. (1994). On the mean random inconsistency index of analytic hierarchy process (AHP). *Computers & industrial engineering*, 27(1-4), 401-404.
- [13] Yaneva, Z. L., Koumanova, B. K., & Georgieva, N. V. (2012). Linear and nonlinear regression methods for equilibrium modelling of p-nitrophenol biosorption by *Rhizopus oryzae*: Comparison of error analysis criteria. *Journal of Chemistry*, 2013.