

# XL GODINA

ČETRDESETI SIMPOZIJUM O  
**NOVIM TEHNOLOGIJAMA**  
u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju



UNIVERZITET U BEOGRADU  
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

29.11. - 30.11.2022. Beograd

**UNIVERZITET U BEOGRADU - SAOBRAĆAJNI FAKULTET  
ODSEK ZA POŠTANSKI I TELEKOMUNIKACIONI SAOBRAĆAJ**

**ČETRDESETI SIMPOZIJUM  
O NOVIM TEHNOLOGIJAMA U  
POŠTANSKOM I TELEKOMUNIKACIONOM  
SAOBRAĆAJU**

**ZBORNİK RADOVA**

**PosTel 2022**

**EDITORI:**

**Prof. dr Valentina Radojičić  
Prof. dr Nebojša Bojović  
Prof. dr Dejan Marković  
Prof. dr Goran Marković**

**BEOGRAD  
29. i 30. novembar 2022. godine**

**PosTel 2022 – XL Simpozijum o novim tehnologijama  
u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju  
– zbornik radova –**

---

Editori:	Prof. dr Valentina Radojičić Prof. dr Nebojša Bojović Prof. dr Dejan Marković Prof. dr Goran Marković
Za izdavača:	dekan, Prof. dr Nebojša Bojović
Glavni i odgovorni urednik:	Prof. dr Marijana Petrović
Priprema:	Prof. dr Momčilo Dobrodolac
Izdavač:	Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Telefon: 3976-017, Fax: 3096-704, <a href="http://www.sf.bg.ac.rs">http://www.sf.bg.ac.rs</a>
Štampa:	“BIROGRAF COMP” d.o.o. Atanasija Pulje 22, 11080 Beograd
Tiraž:	300 primeraka
Godina publikovanja:	2022.
DOI:	<a href="https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.PS">https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.PS</a>
Web stranica Simpozijuma:	<a href="http://postel.sf.bg.ac.rs">postel.sf.bg.ac.rs</a>
Kontakt e-mail:	<a href="mailto:postel@sf.bg.ac.rs">postel@sf.bg.ac.rs</a>
ISBN 978-86-7395-461-5	

Izdavač zadržava sva prava.  
Reprodukcija pojedinih delova ili celine ove publikacije nije dozvoljena.

## **ORGANIZATOR**

UNIVERZITET U BEOGRADU – SAOBRAĆAJNI FAKULTET  
ODSEK ZA POŠTANSKI I  
TELEKOMUNIKACIONI SAOBRAĆAJ

## **SUORGANIZATORI**

JAVNO PREDUZEĆE "POŠTA SRBIJE"

"TELEKOM SRBIJA" A.D.

REGULATORNA AGENCIJA ZA ELEKTRONSKE  
KOMUNIKACIJE I POŠTANSKE USLUGE – RATEL

## **POKROVITELJI**

MINISTARSTVO NAUKE, TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I  
INOVACIJA REPUBLIKE SRBIJE

MINISTARSTVO INFORMISANJA I TELEKOMUNIKACIJA  
REPUBLIKE SRBIJE

## **DONATORI**

A1 SRBIJA

HUAWEI TECHNOLOGIES D.O.O.

TCOM D.O.O.

IRITEL A.D.

ASSECO SEE D.O.O.

COMTRADE SYSTEM INTEGRATION

DEX D.O.O.

PTC - PUBLIC TRANSPORT CONSULT

CRONY D.O.O.

ROAMING NETWORKS



## POČASNI ODBOR

Dobrivoje Jovanović  
Zoran Bojković  
Milan Bukumirović  
Nataša Gospić  
Vujadin Vešović

## PROGRAMSKI ODBOR

Radojičić Valentina, predsednik Odbora  
Bakmaz Miodrag, Saobraćajni fakultet  
Bakmaz Bojan, Saobraćajni fakultet  
Blagojević Mladenka, Saobraćajni fakultet  
Bojović Nebojša, Saobraćajni fakultet  
Dimitrijević Branka, Saobraćajni fakultet  
Dobrodolac Momčilo, Saobraćajni fakultet  
Đogatović Marko, Saobraćajni fakultet  
Jevtić Nenad, Saobraćajni fakultet  
Knežević Nikola, Saobraćajni fakultet  
Kostić-Ljubisavljević Aleksandra, Saobraćajni f.  
Malnar Marija, Saobraćajni fakultet  
Marković Dejan, Saobraćajni fakultet  
Marković Goran, Saobraćajni fakultet  
Ostojić Ljubomir, RATEL  
Ožegović Spasenija, JP Pošta Srbije  
Popović Đorđe, Saobraćajni fakultet Doboj  
Radisavljević Đorđević Vladana, Ministarstvo  
informisanja i telekomunikacija Republike Srbije  
Radonjić Đogatović Vesna, Saobraćajni fakultet  
Samčović Andreja, Saobraćajni fakultet  
Simić Vladimir, Saobraćajni fakultet  
Stanivuković Bojan, Saobraćajni fakultet  
Stojanović Mirjana, Saobraćajni fakultet  
Šarac Dragana, FTN Novi Sad  
Pejović Dragan, RATEL  
Trubint Nikola, RATEL

## ORGANIZACIONI ODBOR

Marković Dejan, predsednik Odbora  
Blagojević Mladenka, Saobraćajni fakultet  
Bugarčić Pavle, Saobraćajni fakultet  
Čupić Aleksandar, Saobraćajni fakultet  
Dobrodolac Momčilo, Saobraćajni fakultet  
Đumić Slavko, JKP Infostan tehnologije  
Jovanović Bojan, FTN Novi Sad  
Mikavica Branka, Saobraćajni fakultet  
Mitrović Slobodan, Saobraćajni fakultet

## PREDGOVOR

**Simpozijum o novim tehnologijama u oblasti poštanskog i telekomunikacionog saobraćaja - PosTel 2022** ove godine obeležava četrdeset godina postojanja! Održava se svake godine u kontinuitetu na Saobraćajnom fakultetu, koji se definitivno nametnuo u regionu i jugoistočnoj Evropi kao lider u oblasti saobraćaja kao jedne od osnovnih privrednih delatnosti ekonomskog razvoja društva u celini. U oblasti poštanskog saobraćaja, ovo je jedinstven naučno-stručni skup u regionu, a u oblasti telekomunikacija predstavlja jedan od skupova sa najdužom tradicijom.

Prvi naučno-stručni skup o novim tehnologijama u PTT-u održan je davne 1983. godine. Skup je nosio naziv **Naučno stručni seminar za inovaciju znanja u oblasti novih tehnologija u PTT-u**, a okupljao je istaknute naučne radnike i istraživače iz ovih oblasti. Ovako duga tradicija govori u prilog tome koliko su naši profesori bili vizionari nauke i struke u ovoj oblasti, uvažavajući i shvatajući značaj sinergije naučnih radnika i stručnjaka iz prakse.

Jedan od idejnih tvoraca Naučno stručnog seminara za inovaciju znanja u oblasti novih tehnologija u PTT-u bio je Prof. dr Dobrivoje Jovanović, istaknuti naučni radnik, koji dolazi na Saobraćajni fakultet nakon provedenih niza godina plodnog rada na institutu za nuklearne nauke u Vinči, na Institutu za automatiku i telekomunikacije „Mihajlo Pupin“ u Beogradu i Institutu EI Zemun. Na Fakultetu osniva Katedru za tehničku kibernetiku i jedan je od osnivača Odseka za PTT saobraćaj, kojim rukovodi do odlaska u penziju. Ideju zdužno podržavaju, popularišu i daju novu dimenziju ostali profesori Odseka, Prof. dr Slobodan Lazović, Prof. dr Zoran Bojković, Prof. dr Miodrag Bakmaz, Prof. dr Vladanka Aćimović-Raspopović, Prof. dr Vujadin Vešović i Prof. dr Milan Bukumirović. Tradiciju dalje nastavljaju Prof. dr Nebojša Bojović, Prof. dr Valentina Radojičić, Prof. dr Dejan Marković i Prof. dr Goran Marković.

Prvi zbornik u štampanoj verziji izašao je 1992. godine (Editor zbornika - Prof. dr Slobodan Lazović). Tradicija štampanja zbornika sačuvana je do današnjeg dana. Od 1997. godine do danas, skup nosi naziv **Simpozijum o novim tehnologijama u oblasti poštanskog i telekomunikacionog saobraćaja - PosTel**. Od prvog Simpozijuma uz nas su suorganizatori: Javno preduzeće “Pošta Srbije”, “Telekom Srbija a.d. i Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge - RATEL. Pokrovitelji Simpozijuma tradicionalno su: Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (kontinuitet rada nastavlja Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije) i Ministarstvo trgovine, turizma i telekomunikacija Republike Srbije (kontinuitet nastavlja Ministarstvo informisanja i telekomunikacija Republike Srbije).

Zbornik radova XL Simpozijuma o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju - PosTel 2022, sadrži rezultate istraživanja iz oblasti poštanskog i telekomunikacionog saobraćaja u proteklom jednogodišnjem periodu. Tematika Simpozijuma vezana je za aktuelna istraživanja u oblastima od posebnog značaja za poštanski i telekomunikacioni saobraćaj, kod nas i u okruženju. Radovi su po pozivu i svrstani su u tri sekcije:

- *Menadžment procesa u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju,*
- *Poštanski saobraćaj, mreže i servisi, i*
- *Telekomunikacioni saobraćaj, mreže i servisi.*

*Autori sekcije **Menadžment procesa u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju** istraživali su aktuelne teme poštanskog i telekomunikacionog sektora, i mogućnosti primene savremenih menadžerskih alata i tehnika za rešavanje problema u ovim sektorima. Fokus autora bio je na analizi daljeg razvoja poštanskog i telekomunikacionog sektora, odnosno trendova koji ga karakterišu, sa posebnim naglaskom na: održivi razvoj poštanskog i telekomunikacionog sektora u skladu sa promenama makroekonomske situacije, unapređenje procesa dostave poštanskih pošiljaka, kao i testiranje različitih modela za predviđanje obima usluga, a sve sa ciljem prilagođavanja novonastalim uslovima poslovanja.*

*Sekcija **Poštanski saobraćaj, mreže i servisi** sadrži radove koji sa naučnog i stručnog aspekta analiziraju poštanski sektor i pripadajuće aktuelnosti. Autori radova, između ostalog, istražuju poslovanje poštanskih operatera sa stanovišta kritičnih faktora uspeha, mogućnosti za poboljšanje poslovanja u kontekstu savremene industrije, kao i sa stanovišta nastupa velikih operatera u digitalnom okruženju. Takođe, pažnja je posvećena i doprinosu poštanskog sektora sprovođenju ciljeva održivog razvoja Ujedinjenih nacija (UN). Pojedini autori bave se aktuelnim pitanjima liberalizacije poštanskog tržišta, tj. davanjem odgovora na pitanja kako poslovati nakon liberalizacije i koje su potrebe i očekivanja korisnika na liberalizovanom i promenljivom poštanskom tržištu. Deo radova odnosi se na ekonomiju deljenja i koncept deljene mobilnosti, a sve u svetlu poštanskog sistema.*

*U okviru sekcije **Telekomunikacioni saobraćaj, mreže i servisi** istraživani su aktuelni problemi i oblasti primene savremenih informacionih tehnologija, telekomunikacionih servisa i mreža. Poseban akcenat stavljen je na otvorena pitanja vezana za implementaciju mobilnih mreža naredne generacije, modelovanje profila korisnika telekomunikacionih servisa i mrežnog saobraćaja, kao i primenu alata veštačke inteligencije u rešavanju različitih kompleksnih problema u oblasti telekomunikacija. U fokusu istraživača našle su se i različite aktuelne teme koje se odnose na mogućnost primene IoT (Internet of Things) koncepta, počev od implementacija za potrebe telekom operatera, razvoja višenamenskih laboratorijskih sistema sve do primena vezanih za unapređenje kvaliteta života ljudi i njihovih svakodnevnih aktivnosti. Deo radova posvećen je savremenim alatima, tehnikama i algoritimima za analizu i obradu video slike, problemima vezanim za unapređenje energetske efikasnosti u cloud okruženjima, kao i razvoju koncepta budućih pametnih gradova. Značajna pažnja data je i istraživačkim problemima koji razmatraju mogućnost implementacije inteligentnih transportnih sistema (ITS), sa posebnim akcentom na probleme prikupljanja i razmene ITS podataka, ocene nivoa primene ITS sistema, razvoja savremenih sistema saobraćajne signalizacije, kao i analizi efikasnosti protokola rutiranja za buduće mreže vozila.*

*Editori*

# SADRŽAJ

## *MENADŽMENT PROCESA U POŠTANSKOM I TELEKOMUNIKACIONOM SAOBRAĆAJU*

<b>Vladeta Petrović, Biljana Stojanović-Višić, Miodrag Simić, Sanja Jelisavac Trošić:</b> STRATEGIJE ODRŽIVOG RAZVOJA POŠTANSKIH OPERATORA - STANJE I PERSPEKTIVA.....	3
<b>Nebojša Vasić, Milorad Kilibarda, Vukašin Pajić:</b> MODEL ZA DEFINISANJE DIMENZIJA LOGISTIČKE USLUGE U E-TRGOVINI.....	13
<b>Marko Miljković, Jelica Petrović-Vujačić:</b> EFEKTI POGORŠANJA GLOBALNE MAKROEKONOMSKE SITUACIJE NA SEKTOR TELEKOMUNIKACIJA.....	23
<b>Milan Andrejić:</b> LOGISTICS FIELD AUDIT – A NEW APPROACH FOR IMPROVING LOGISTICS PROCESSES.....	33
<b>Svetlana Dabić-Miletić:</b> AUTONOMNA VOZILA U LOGISTICI POSLEDNJE MILJE ZA POŠTANSKE I KURIRSKE SLUŽBE.....	43
<b>Nataša Bojković, Marijana Petrović, Tanja Živojinović:</b> CROWDSOURCED DOSTAVA: MOGUĆNOSTI I IZAZOVI.....	53
<b>Branka Dimitrijević, Branislava Ratković, Vladimir Simić:</b> ANALIZA RIZIKA POREMEĆAJA U FUNKCIONISANJU USLUŽNIH MREŽA.....	63
<b>Nataša Milosavljević, Nikola Knežević, Nebojša Bojović, Miloš Milenković:</b> TESTING FOR IMPROVEMENT IN PREDICTION MODEL PERFORMANCE IN POST.....	71
<b>Ivana Rogan, Olivera Pronić-Rančić:</b> PREDVIĐANJE OBIMA PRIMLJENIH EMS POŠILJAKA NA NIVOU SRBIJE POMOĆU SARIMA, RANDOM FORESTS I ELM MODELA.....	77

<b>Dragan Đurđević, Nikola Pavlov, Mladen Božić:</b>	
IZBOR TEHNOLOGIJE SKLADIŠTENJA.....	89

## ***POŠTANSKI SAOBRAĆAJ, MREŽE I SERVISI***

<b>Andrej Sardelić, Stjepan Palar:</b>	
ANALYSIS OF ACCESS TO THE POSTAL NETWORK OF THE UNIVERSAL SERVICE PROVIDER.....	101
<b>Goran Paunović:</b>	
MODELI FIŠING KAMPANJA KOJIMA JE ZLOUPOTREBLJEN LOGO I IME POŠTE SRBIJE.....	111
<b>Amel Kosovac, Ermin Muharemović, Adisa Medić:</b>	
PREGLED INOVATIVNIH TEHNOLOGIJA U FUNKCIJI MODERNIZACIJE POSLOVANJA POŠTANSKO – LOGISTIČKIH OPERATORA.....	123
<b>Nataša Čačić, Milena Ninović, Dragana Šarac:</b>	
PREGLED STANJA I PERSPEKTIVE RAZVOJA POŠTANSKOG TRŽIŠTA.....	133
<b>Bojan Jovanović, Estera Rakić:</b>	
PRISTUP UTVRĐIVANJU OPSEGA UNIVERZALNE POŠTANSKE USLUGE.....	143
<b>Predrag Atanasković, Slaviša Dumnić, Aleksandra Maričić, Đordije Dupljanin:</b>	
ORGANIZACIJA DOSTAVE ROBE BICIKLOM U URBANIM GRADSKIM SREDINAMA.....	151
<b>Dragan Lazarević, Momčilo Dobrodolac, Dejan Marković:</b>	
ANALIZA IMPLEMENTACIJE MOBILNIH PAKETOMATA U SISTEM ZA PRENOS POŠILJAKA.....	161
<b>Mladenka Blagojević, Bojan Stanivuković:</b>	
ALTERNATIVNA DOSTAVA POŠILJAKA U FUNKCIJI ZADOVOLJSTVA KORISNIKA.....	171
<b>Jelena Milutinović:</b>	
ZNAČAJ PRUŽANJA USLUGA ZA ODRŽIVOST RURALNIH OBLASTI.....	181

**Nino Ćorić, Ilarija Bašić, Mihaela Sulić Filipović:**

EMPLOYER BRANDING AS AN INNOVATIVE  
ELEMENT OF ORGANIZATIONAL COMMUNICATION..... 191

## ***TELEKOMUNIKACIONI SAOBRAĆAJ, MREŽE I SERVISI***

**Aleksandar Đurović, Anica Plečić, Filip Banković, Goran Marković:**

OPEN RAN – POSSIBILITIES AND CHALLENGES..... 205

**Valentina Radojičić, Slobodan Mitrović:**

MODELIRANJE KORISNIČKIH PROFILA  
TELEKOMUNIKACIONIH SERVISI..... 213

**Zoran Bojković, Bojan Bakmaz:**

SAOBRAĆAJNI MODELI BLOCKCHAIN SISTEMA..... 223

**Zlatica Marinković, Dušan Marković, Biljana Stošić, Vera Marković:**

ODREĐIVANJE INVERZNE VREDNOSTI ERLANG B  
FORMULE PRIMENOM VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA..... 231

**Tamara Muškatirović-Zekić, Nataša Nešković, Đurađ Budimir:**

PRIMENA NEURALNIH MREŽA ZA KOMPENZACIJU NELINEARNE  
DISTORZIJE U MOBILNIM SISTEMIMA NOVE GENERACIJE..... 241

**Sladana Janković, Snežana Mladenović, Ivana Stefanović, Ana Uzelac:**

PREDIKCIJA ODLIVA KORISNIKA TELEKOMUNIKACIONIH  
OPERATORA PRIMENOM MAŠINSKOG UČENJA..... 249

**Vladan Nešić, Ljubomir Mrdenović, Ivan Petrović, Mirjana Stojanović:**

IOT EKOSISTEM TELEKOM SRBIJA..... 259

**Amela Zeković, Milutin Nešić:**

IOT VIŠENAMENSKI LABORATORIJSKI SISTEM  
KORIŠĆENJEM RASPBERRY PI 3 I ESP32..... 269

**Dragan Peraković, Marko Periša, Ivan Cvitić, Petra Zorić:**

APPLICATION OF THE INTERNET OF THINGS  
CONCEPT TO INFORM PEOPLE WITH DOWN SYNDROME..... 279

<b>Branka Mikavica, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Nevena Simović:</b>	
UNAPREĐENJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U CLOUD OKRUŽENJU PRIMENOM KONSOLIDACIJE VIRTUELNIH MAŠINA...	289
<b>Boban Pavlović, Milica Uzelac, Boban Bondžulić:</b>	
ANALIZA OBJEKTIVNIH PROCENA KVALITETA KOMPRIMOVANIH VIDEO SEKVENCI IZ VIDLJIVOG I INFRACRVENOG DELA ELEKTROMAGNETNOG SPEKTRA.....	299
<b>Andreja Samčović, Ana Gavrovska, Aleksandar Luković:</b>	
DIGITALNI VODENI ŽIG SAR SLIKA KORIŠĆENJEM BPSK MODULACIJE I PROŠIRENOG SPEKTRA.....	309
<b>Aleksandra Panajotović, Jelena Anastasov, Dejan Milić, Daniela Milović:</b>	
A NOVEL POWER ALLOCATION ALGORITHM FOR UPLINK NOMA OVER FISHER-SNEDECOR F FADING CHANNEL.....	319
<b>Vesna Radonjić Đogatović, Marta Ivanović:</b>	
UPRAVLJANJE PODACIMA U PAMETNIM GRADOVIMA.....	327
<b>Dušan Mladenović, Stefan Zdravković, Đorđe Stanisavljević:</b>	
METODOLOGIJA ZA OCENU NIVOVA PRIMENE ITS-a.....	337
<b>Suzana Miladić-Tešić, Milan Tešić, Katerina Folla:</b>	
ROAD SAFETY KEY PERFORMANCE INDICATORS COLLECTING AND SHARING OVER INTERNET OF VEHICLE INFRASTRUCTURES.....	347
<b>Marija Malnar, Pavle Tošić:</b>	
PRIMENA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE ZA IOT APLIKACIJE.....	357
<b>Ana Trpković, Branimir Stanić, Sreten Jevremović:</b>	
BUDUĆNOST SAOBRAĆAJNE SIGNALIZACIJE U ERI PAMETNIH PUTEVA I AUTONOMNIH VOZILA.....	365
<b>Nenad Jevtić, Pavle Bugarčić:</b>	
ANALIZA PROTOKOLA RUTIRANJA BAZIRANIH NA UČENJU POTKREPLJIVANJEM ZA VANET MREŽE.....	375
<b>Indeks autora.....</b>	<b>385</b>

**MENADŽMENT PROCESA  
U POŠTANSKOM I  
TELEKOMUNIKACIONOM  
SAOBRAĆAJU**





## **STRATEGIJE ODRŽIVOG RAZVOJA POŠTANSKIH OPERATORA - STANJE I PERSPEKTIVA\***

Vladeta Petrović<sup>1</sup>, Biljana Stojanović-Višić<sup>2</sup>, Miodrag Simić<sup>3</sup>, Sanja Jelisavac Trošić<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Visoka škola strukovnih studija za informacione i komunikacione tehnologije, Beograd, vladeta.petrovic@ict.edu.rs

<sup>2</sup>Univerzitet "Union - Nikola Tesla" - Fakultet za inženjerski menadžment, Beograd, biljana.svisic@fim.rs

<sup>3</sup>Javno preduzeće „Pošta Srbije“, Kruševac, miosimic@jpp.ptt.rs

<sup>4</sup>Institut za međunarodnu politiku i privredu, Beograd, sanja@diplomacy.bg.ac.rs

**Rezime:** *Koncept održivog razvoja podrazumeva usaglašavanje ekonomskih, socijalnih i ekoloških zahteva. Cilj strategija održivog razvoja je da dovedu do ravnoteže tri ključna faktora održivosti: ekonomsku održivost kroz uravnotežen privredni rast i tehnološki razvoj, socijalnu održivost kroz ravnotežu u društvu, i održivost životne sredine kroz racionalno raspolaganje prirodnim resursima, spajajući ih u jednu celinu podržanu odgovarajućim institucionalnim okvirom. U ovom radu se izlažu strukturne forme i osnovne karakteristike strategija održivog razvoja poštanskih operatora: Slovenije, Austrije i Portugalije. Analiza koja proističe ukazuje na način uticaja i rezultate koji proizilaze iz novog načina delovanja i može da pruži primer Pošti Srbije za uočavanje međusobnih identičnosti, sličnosti i razlika, i njihovu eventualnu primenu.*

**Ključne reči:** *održivi razvoj, održivost, korporativna odgovornost, poštanski sektor, poštanski operator*

### **1. Uvod**

Održivi razvoj je postao jedan od ključnih elemenata u formulisanju i sprovođenju razvojnih politika u svetu. Definiše se kao „razvoj koji izlazi u susret potrebama sadašnjice, a ne ugrožava sposobnost budućih generacija da zadovolje svoje sopstvene potrebe“, ali je on, osim toga, ciljno orijentisan, dugoročan, sveobuhvatan i politički proces koji utiče na sve aspekte života na svim nivoima. Koncept održivog razvoja podrazumeva usaglašavanje ekonomskih, socijalnih i ekoloških zahteva.

---

\* Rad je nastao u okviru naučnoistraživačkog projekta „Srbija i izazovi u međunarodnim odnosima 2022. godine“, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, a realizuje Institut za međunarodnu politiku i privredu tokom 2022. godine.

U ovom radu postavljena su dva osnovna zadatka. Prvi, da se izlože strukturne forme i osnovne karakteristike nacionalnih strategija održivog razvoja izabranih poštanskih operatera Slovenije, Austrije i Portugalije; i drugi, da se izvrši analiza strategija održivog razvoja navedenih poštanskih operatera i pruži pregled njihovih međusobnih identičnosti, sličnosti i razlika. Da bi se uspešno odgovorilo na ove zadatke definisana su tri osnovna kriterijuma: ekonomski, socijalni i ekološki. Preciznije rečeno, posmatrane su preporuke Svetskog poštanskog saveza, PostEvrope i Međunarodne poštanske korporacije, i njihova primena kod poštanskih operatera kao kompanija koje upravljaju jednom od najvećih transportnih mreža u dostavi i isporuci i koje imaju važnu ulogu u rešavanju klimatskih promena i smanjenju emisija ugljenika u unutrašnjem i međunarodnom saobraćaju. Na kraju rada daju se zaključna razmatranja koja mogu da posluže poštanskim operatorima u Republici Srbiji.

## 2. Koncept održivog razvoja

U poslednjih nekoliko godina, termin „održivost“ se koristi sve češće u oblastima, od zaštite životne sredine, preko socijalnih do ekonomskih ciljeva. Tako da je „koncept održivog razvoja“ usmeren na tri ključna aspekta: životnu sredinu., globalno društvo i svetsku privredu. Ovaj koncept se bazira na novom načinu postavljanja ciljeva, kako državnih, privrednih, društvenih, tako i nadnacionalnih. Osnovna osa ovih ciljeva održivog razvoja zahteva „društveno uključiv i ekološki održiv privredni rast“. Kako bi se ovako postavljeni, novi ciljevi i ostvarili, uvodi se i četvrti aspekt održivog razvoja: dobro upravljanje. Dobro upravljanje se pre svega odnosi na vlade, ali i na najmoćnije aktore svetskih kretanja, a to su multinacionalne kompanije. Vlade bi trebale svoj fokus da usmere ka razvoju:

- socijalnih usluga (zdravstvo i obrazovanje),
- obezbeđivanju savremene infrastrukture (putevi, luke, električna energija),
- zaštitu pojedinaca (pre svega od kriminala i nasilja),
- fundamentalnih nauka i novih tehnologija, kao i
- čvrstom sprovođenju propisa u cilju zaštite životne sredine [1].

Tako da se multinacionalne kompanije susreću sa sve većim zahtevima za poštovanjem zakona i prirodne sredine, kao i još izraženijim učešćem u pomoći zajednicama u kojima posluju.

Uzimajući u obzir sve navedeno, potrebno je definisati održivi razvoj, kao način i ultimativni smisao daljeg društvenog, političkog i ekonomskog delovanja. Definicija u literaturi ima dosta, ali je posebno uticajna bila ona koju je iznedrila Svetska komisija za životnu sredinu i razvoj (*World Commission on Environment and Development - WCED*) objavljena 1987 godine, koja kaže: „Održivi razvoj je razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnje generacije, ne ugrožavajući pritom mogućnost da i buduće generacije zadovolje svoje potrebe“ [2]. Prvi put se razvija koncept koji u svojim ciljevima razvoja ima „međugeneracijski“ princip, kako bi se dalji svetski ekonomski rast dešavao u sistemu koji će omogućiti da i generacije posle nas imaju dovoljno resursa i energije za život. Iako je ovo holistički princip, njegovo postojanje je uticalo da se koncept konkretizuje i dođe do osnovnih komponenata održivog razvoja, a to su: privredni razvoj, društveni razvoj i zaštita životne sredine.

### **3. Doprinos poštanskog sektora održivom razvoju**

Održivi razvoj je bitan element poštanskog poslovanja. Doprinosi poboljšanju poslovne efikasnosti, jačanju odnosa sa korisnicima i razvoju novih tržišta. Primena koncepta održivog razvoja u poštanskom sektoru biće sagledana kod Svetskog poštanskog saveza, Asocijacije javnih poštanskih operatora PostEvropa, i Međunarodne poštanske korporacije.

#### **3.1. Doprinos Svetskog poštanskog saveza održivom razvoju**

Svetski poštanski savez (*Universal Postal Union - UPU*) podržava poštanske operatore (192 države članice) širom sveta u njihovim naporima da uključe održivi razvoj u svoje aktivnosti, i to kroz sprovođenje sva tri stuba održivosti: održivost životne sredine, socijalnu održivost i ekonomsku održivost [3].

Održivost životne sredine ima za cilj praćenje emisije gasova sa efektom staklene bašte i smanjivanje uticaja na životnu sredinu. Svetski poštanski savez pruža prilagođenu Platformu za izveštavanje o ugljeniku: OSCAR.post. (*Online Solution for Carbon Analysis and Reporting - OSCAR*). Putem ove onlajn, interaktivne platforme, poštanski operatori mogu da analiziraju i izveštavaju o sopstvenim emisijama gasova sa efektom staklene bašte i da identifikuju mogućnosti ublažavanja tih efekata.

Socijalna održivost ima za cilj podići svest o društvenim i zdravstvenim pitanjima putem poštanske mreže, doprineti borbi protiv isključenosti i diskriminacije, promovisati različitost i profesionalnu rodnu ravnopravnost.

Ekonomska održivost ima za cilj pružiti podršku poštanskim operatorima u vidu alata i znanja potrebnih za povećanje kvaliteta i pristupačnosti njihovih usluga; primenu ekonomičnih metoda poslovanja; i stimulisanje i odgovorno korišćenje prirodnog, ljudskog i finansijskog kapitala.

#### **3.2. Doprinos Asocijacije javnih poštanskih operatora PostEvropa održivom razvoju**

Asocijacija javnih poštanskih operatora PostEvropa (*PostEurop*) ujedinjuje svoje članice (55 članica u 53 država) u Evropi, i promovise veću saradnju, održivi rast i stalne inovacije. Posvećena je pružanju održivih, efikasnih i inovativnih poštanskih usluga širom Evropske unije i šire. Isto tako, ulaže u razvoj alternativnih usluga, i promociju efikasne dostave poštanskih pošiljaka kako bi odgovorila na društvene, ekološke i ekonomske izazove.

PostEvropa je posvećena održivosti, i doprinosi održivom razvoju korišćenjem Sistema praćenja i ekološkog merenja (*Environmental Measurement and Monitoring System - EMMS*), postavljenom uz podršku partnera iz iste industrije, Međunarodne poštanske korporacije, kojim je od 2008. godine do danas utvrđeno smanjenje emisije ugljenika za 29,7%, i članice su uštedele 1,7 milijardi evra u troškovima goriva i električne energije [4].

#### **3.3. Doprinos Međunarodne poštanske korporacije održivom razvoju**

Međunarodna poštanska korporacija (*International Post Corporation - IPC*) je kooperativno udruženje 25 članica (poštanskih operatora) u Azijsko-pacifičkom regionu,

Evropi i Severnoj Americi. Postavila je standarde za poboljšanje kvaliteta i performansi usluga, i razvila tehnološka rešenja koja pomažu članicama širom sveta.

Tako da je poštanski sektor jedan od retkih industrijskih sektora koji ima svoj program merenja održivosti i izveštavanja. Rezultati Programa održivosti poštanskog sektora (*The Postal Sector Sustainability programme*) objavljuju se svake godine počev od 2009. godine. Međutim, održivost nije ograničena samo na smanjenje emisije CO<sub>2</sub>, i 2019. godine je pokrenut Sistem upravljanja i merenja održivosti (*Sustainability Measurement and Management System - SMMS*) kojim se pokazuje odlučnost poštanskog sektora za nastavak rada na doprinosu održivom razvoju, smanjenju emisije ugljenika, potrošnje električne energije, smanjivanju otpada, te korišćenju obnovljive energije u poštanskim objektima [5].

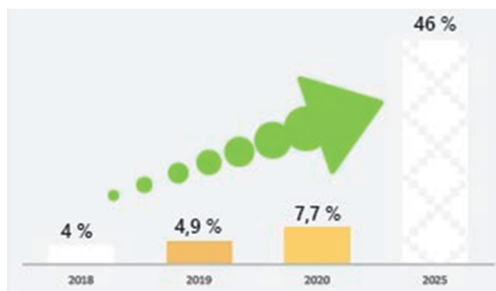
#### 4. Analiza strategija održivog razvoja izabranih poštanskih operatora

U ovom delu radu se izlažu strukturne forme i osnovne karakteristike strategija održivog razvoja poštanskih operatora: Slovenije, Austrije i Portugalije.

##### 4.1. Strategija održivog razvoja poštanskog operatora Slovenije

U okviru svoje strategije održivog razvoja, poštanski operator Slovenije - *Pošta Slovenije Group* (ili Pošta Slovenije) će do 2025. godine slediti sledeće ciljeve:

- smanjenje potrošnje goriva kod prevoznih sredstava za 12% u odnosu na 2018. godinu,
- smanjenje ukupne potrošnje energije po površini objekta za 6,4% u odnosu na 2018. godinu,
- povećanje udela e-vozila na 46% do 2025. godine (Slika 1).



Slika 1. Prikaz povećanja udela e-vozila do 2025. godine Pošte Slovenije [6]

Da bi postigla energetska efikasnost Pošta Slovenije je započela 2018. godine sa uvođenjem i stekla međunarodni standard za sistem upravljanja energijom ISO 50001 - *Energy Management System*, koji svake godine potvrđuje akreditovana eksterna institucija. Svojom posebnom Strategijom energetske efikasnosti definiše smernice, mere i finansijska opredeljenja u oblasti upravljanja sistemom energetske efikasnosti i doprinosa održivom razvoju.

Takođe treba istaći da su implementacija cirkularne ekonomije i moderno upravljanje otpadom uz reciklažu, gde se otpad tretira kao materijalni i energetski resurs, zatim efikasno upravljanje energijom, a samim tim i smanjenje emisije ugljenika, kao i

korišćenje obnovljivih izvora energije, jednako važni u strategiji održivog razvoja Pošte Slovenije.

Tako da Pošta Slovenije nastoji da smanji uticaj svog poslovanja na životnu sredinu prvenstveno kroz: upravljanje otpadom, upravljanje voznim parkom i upravljanje energetsom efikasnošću objekata [6].

Upravljanje otpadom - je 2020. godine sprovedeno u skladu sa zakonskom regulativom i Planom upravljanja otpadom Pošte Slovenije, koji definiše odgovarajuće procedure za odgovorno upravljanje otpadom koji se predaje ovlašćenim kompanijama uz zvaničnu evidenciju o količinama otpada klasifikovanim po vrstama: plastična ambalaža, papirna i kartonska ambalaža, drvena ambalaža (otpadne palete), kao i otpadni papir koji se dalje prodaje na tržištu.

Upravljanje voznim parkom - je usmereno ka održivosti u skladu sa društveno odgovornim pristupom Pošte Slovenije, jer već dugi niz godina u svoj vozni park dodaje ekološki prihvatljiva vozila. Od 2017. godine redovno elektrifikuje segment dostavnih vozila koji trenutno čini 65 e-vozila za dostavu i 110 e-light četvorotočkaša, 19 e-light trotočkaša, 27 e-skutera i preko 110 e-bicikala. 2020. godine kupljen je prvi e-kombija za dostavu. U pogledu humanizacije rada i poboljšanja uslova rada, vozila na fosilna goriva koriste uglavnom ranjive grupe, kao što su stariji zaposleni, zaposleni sa fizičkim ograničenjima i zaposlene žene.

Upravljanje energetsom efikasnošću objekata - gde Pošta Slovenije prati sve objekte u smislu održivosti i to: sa aspekta uticaja na životnu sredinu (očuvanja prirode i zaštite životne sredine uz minimalan negativan uticaj), sa ekonomskog aspekta (počev od same izgradnje i upotrebe tokom čitavog životnog ciklusa objekta), i sa socijalnog aspekta (u pogledu okruženja prijatnog, zdravog i skladu sa očuvanjem društvenih vrednosti). Konkretno u Celju je 2020. godine izgrađena prva solarna elektrana, i u jednom broju objekata su neefikasni sistemi grejanja zamenjeni toplotnim pumpama, ugrađeni su novi energetske efikasni sistemi klimatizacije ili su zamenjeni stari, a osvetljenje je modernizovano korišćenjem LED tehnologije.

Pošta Slovenije nastoji da održivo posluje i vodi računa o ekonomskim, socijalnim i ekološkim zahtevima svojih strateških stejkholdera (zaposleni, reprezentativni sindikati/radnički savet, vlasnik - Vlada, nadležni regulator, klijenti i poslovni partneri, lokalne zajednice, dobavljači, javne stručne, nacionalne i međunarodne organizacije, mediji i šira javnost).

Svetski poštanski savez je 2020. godine svrstao Poštu Slovenije u prvu kategoriju država članica, koja svojim merama održivog upravljanja smanjuje negativan uticaj na životnu sredinu i o njima na odgovarajući način izveštava.

## **4.2. Strategija održivog razvoja poštanskog operatora Austrije**

Poštanski operator Austrije - *Österreichische Post* (ili Pošta Austrije) je integrisao svoju korporativnu strategiju i strategiju održivosti. Na osnovu toga je postavljen Master plan održivosti 2030 (Slika 2), gde su definisani održivi razvojni ciljevi: ekonomija i klijenti, životna sredina i klima, i ljudi i socijalna pitanja [7].

Ekonomija i klijenti - digitalizacija, pritisak konkurencije i globalna trgovina oblikuju tržište. Ovi trendovi su veliki izazovi za logističku industriju u celini. S obzirom na to, Pošta Austrije se fokusira na fleksibilne koncepte dostave sa većim pogodnostima za klijente, kvalitet usluga i onlajn rešenja.

Životna sredina i klima - ekološke aktivnosti Pošte Austrije su pokrenute sopstvenom inicijativom koja je nazvana CO<sub>2</sub> neutralna dostava još 2011. godine, u nastojanju da se drastično smanje štetni uticaji na životnu sredinu, posebno emisije gasova sa efektom staklene bašte, na kontinuiranoj osnovi. To je stavlja na vodeću poziciju u međunarodnoj logističkoj industriji. Neutralnost CO<sub>2</sub> se putem kompenzacije svake godine sertifikuje od strane nezavisnog tela. To je inicijativa koja se sprovodi u tri koraka kroz: povećanje efikasnosti voznog parka i objekata, alternativne tehnologije, i nadoknađivanje neizbežnih emisija CO<sub>2</sub> prihvatanjem održivih trendova. Pošta Austrije obezbeđuje CO<sub>2</sub> neutralnu dostavu za sva pisma, pakete, časopise i reklamnu poštu u Austriji. Pored povećanja efikasnosti i nadoknađivanja emisije CO<sub>2</sub>, upotreba alternativnih tehnologija joj je veoma važna. Sa ukupno oko 2.050 vozila, Pošta Austrije ima najveći vozni park e-vozila u Austriji. Čista energija za ovaj vozni park dolazi iz sopstvenih fotonaponskih postrojenja. Ambiciozni cilj Pošte Austrije je da se do 2030. godine postigne dostava u potpunosti bez emisija na „poslednjoj milji“ svuda u Austriji.

Takođe, preduzima akcije u vezi sa cirkularnom ekonomijom i podržava kreativnost inicijativom „*Re:Post*“, gde je mladim umetnicima dala priliku te su od starih uniformi napravili nove artikle za svakodnevnu upotrebu kao što su rančevi i torbe. Isto tako, podržava renomirane istraživačke institute u razvoju zelene ambalaže koja ispunjava očekivanja klijenata. Jedan od opipljivih rezultata prethodnih istraživačkih aktivnosti je kutija za hranu za višekratnu upotrebu. Ove kutije za višekratnu upotrebu su odličan izbor za ekološki prihvatljivu dostavu B2B klijentima. Proces dostave za sve kutije je CO<sub>2</sub> neutralan i njihova upotreba pomaže da se izbegnu velike količine ambalažnog otpada godišnje.

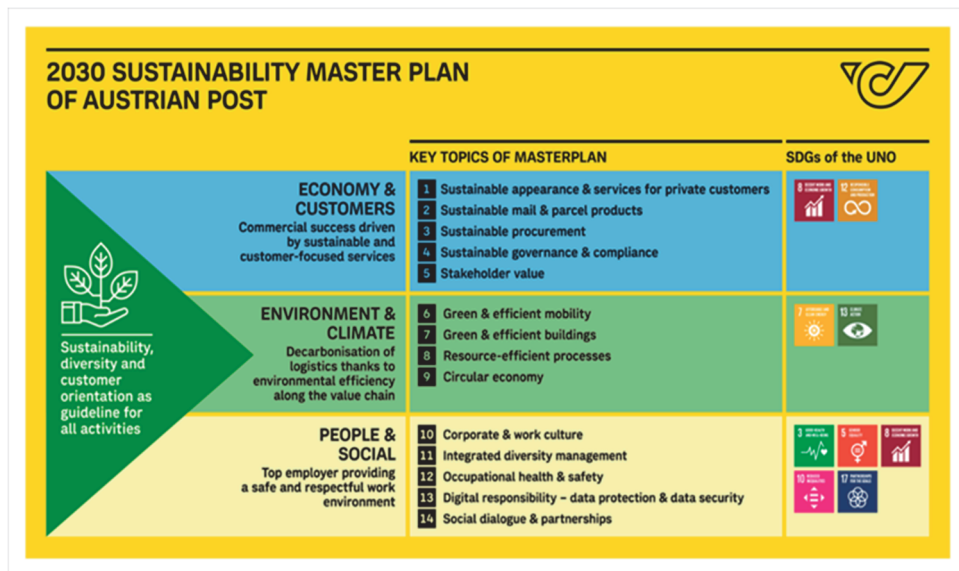
Podržava biodiverzitet u okružuju svojih objekata tako što razvija i primenjuje koncepte zelenih površina. Od 2019. godine mnoga pčelinja društva su tamo našla novi dom. Urbani pčelari se profesionalno brinu o njima i isporučuju organski med na kućnu adresu uz besplatnu dostavu.

Uveden je međunarodni standard za sistem upravljanja zaštitom životne sredine ISO 14001 - *Environmental Management System*, koji u tu svrhu definiše godišnje ciljeve i aktivnosti za poboljšanje ekoloških performansi. Pre svega, Pošta Austrije teži smanjenju potrošnje energije, smanjenju otpada, podizanju svesti među zaposlenima i prilagođavanju ekološkog pristupa zahtevima svakog konkretnog objekta. Stalno unapređenje sistema upravljanja zaštitom životne sredine podleže godišnjoj reviziji od strane nezavisnog nadležnog tela.

Ljudi i socijalna pitanja - uspeh Pošte Austrije u velikoj meri zavisi od veština, motivacije i posvećenosti zaposlenih. Ima jasnu viziju i zajedničke vrednosti za zaposlene i rukovodioce koja omogućava svima da se fokusiraju na svoje ciljeve i postignu dugotrajne rezultate. To je i osnova za kolektivno delovanje kojim se podupire korporativna kultura koja se vrti oko poštovanja, otvorenosti, poverenja i uvažavanja, jer na kraju krajeva, srećni i zdravi zaposleni koji vole svoje radno mesto su motivisaniji i bolje rade za kompaniju. Dobro radno okruženje, atraktivne mogućnosti za karijeru, bezbednost na radu i promocija korporativnog zdravlja su važni aspekti.

Pošta Austrije je uključena u nekoliko projekata osmišljenih da podrže posebno ugrožene i ranjive grupe u društvu. Jedan od najpoznatijih projekata je *Ö3 Wundertüte* („Ö3 vreća čuda“) koji omogućava korisnicima da na jednostavan način odlože stare mobilne telefone i istovremeno podrže dobrotvorni cilj. Prihodi idu dvema dobrotvornim organizacijama: *Licht ins Dunkel* i *Caritas*.

Pošta Austrije čvrsto veruje u podršku onima koji su budućnost društva, a to su deca. Obrazovanje je ključno, zbog čega svake godine poklanja 3.000 školskih kutija u osnovnim školama širom Austrije. Ove kutije uključuju pažljivo odabran materijal za učenje dizajniran da podstakne decu da čitaju i pišu dok im pružaju informacije o poštanskom sistemu.



Slika 2. Master plan održivosti 2030 Pošte Austrije [7]

### 4.3. Strategija održivog razvoja poštanskog operatora Portugalije

Poštanski operator Portugalije - *CTT Group* (ili Pošta Portugalije) primenjuje principe održivog razvoja u svojoj strategiji i poslovnim praksama, i sprovodi ih kroz ulaganja u: ekonomsku vrednost; inovacije i razvoj; etiku, upravljanje i integritet; zaposlene i njihovo učešće u zajednici; i očuvanje životne sredine [8].

Ulaganje u ekonomsku vrednost - gde Pošta Portugalije svakodnevno promoviše ekonomski rast i konsoliduje bliski odnos sa zajednicom i društvom, stvarajući vrednost na trajnoj i održivoj osnovi za sve stejkholdere (akcionari i investitori, nadležni regulator, druge stručne nacionalne i međunarodne organizacije, kupci, konkurencija, zaposleni, reprezentativni sindikati/komitet, dobavljači, mediji, i zajednica). U 2021. godini Pošta Portugalije je raspodelila preko 358 miliona evra (plata i naknada) što je povećanje od 4,5% u poređenju sa prethodnom godinom, a treba naglasiti da je i važan je poreski obveznik koji direktno ulaže u zajednicu.

Ulaganje u inovacije i razvoj - gde Pošta Portugalije nastoji da bude pionir i usvaja vodeće tehnologije na tržištu kako bi osigurala održive procese sa pozitivnim uticajima za sve. Digitalna transformacija je takođe primorava da prilagodi svoje aktivnosti na nove paradigme. U 2021. godini ova transformacija je inspirisala višestruka dostignuća u inovacijama i razvoju kompanije.



Ulaganje u etiku, upravljanje i integritet - gde Pošta Portugalije ima otvorene kanale konsultacije, komunikacije i dijaloga sa stejkholderima, nastojeći da odgovori na njihova očekivanja. Ima kodekse ponašanja koji usmeravaju rad sa svim stejkholderima, i to doprinosi: poboljšanju doslednosti i kvaliteta usluga, optimizovanju procesa u različitim fazama lanca vrednosti, razvijanju i podsticanju učešća radnika, poboljšanju zadovoljstva klijenata, i jačanju imidža same kompanije.

Ulaganje u zaposlene i njihovo učešće u zajednici - gde Pošta Portugalije brine o svojim zaposlenima, prvenstveno o njihovom zdravlju, zatim obukama i kvalifikacijama. Ima praksu usklađivanja između profesionalnog, porodičnog i ličnog života, doprinoseći promociji rodne ravnopravnosti između muškaraca i žena. Ima interne kanale za prijavljivanje ugrožavanja ljudskog dostojanstva, zato što je poštovanje ljudskih prava deo korporativne politike. Promoviše uključivanje zaposlenih u zajednicu, kroz inicijative aktivnog učešća u društvu: ponovno pokretanje projekta volonterskog rada; pokretanje kampanje za promociju nacionalnog bioskopa; programa prevencije saobraćajnih nezgoda; donacije deci, mladima i odraslima sa intelektualnim teškoćama i/ili višestrukim invaliditetom; omogućavanje konsolidacije potreba škola; te stalna briga o lokalnoj zajednici.

Ulaganje u očuvanje životne sredine - gde Pošta Portugalije promoviše zaštitu životne sredine i biodiverziteta, energetska efikasnost i borbu protiv klimatskih promena. Značajno doprinosi zaštiti šuma, i već je posadila oko 100.000 stabala drveća u Portugaliji. Zatim je lansirala Eko ambalažu za višekratnu upotrebu za prodavce i kupce e-trgovine. Učestvuje u inicijativi *To Be Green - Christmas Ornaments* prodaje božićnih ukrasa proizvedenih od korišćenih maski za individualnu zaštitu i jednokratnu upotrebu. Pošta Portugalije je poznata i na svetskim listama rangiranja sektora po pozitivnim rezultatima upravljanja ugljenikom. U ponudi ima proizvode i usluge neutralne prema ugljeniku. Takođe je uložila u izgradnju fotonaponskih postrojenja za sopstvenu potrošnju energije. Kompanija je sa najvećim ekološkim transportnim i distributivnim voznim parkom u zemlji. U 2021. godini, ukupna ulaganja u očuvanje životne sredine iznosila su oko 4,7 miliona evra, sa značajnim fokusom na obnavljanje voznog parka (Slika 3).

#### Environmental investment

(€1,000) <sup>84</sup>	'20	'21	Δ '21/'20
Maintenance, Conservation of Buildings	431.0	437.4	1.5%
Renewal of the Conventional Fleet	2,719.1	3,003.5	10.5%
Environmental Reporting, Partnerships, Events and Sponsorships	86.4	122.5	40.6%
Information Technology Equipment	71.7	182.6	154.6%
Renewal of the Electric Fleet	72.9	900.2	1134.5%
Certifications and Legal Compliance	35.6	49.8	54.9%
Energy and Carbon Management	27.9	34.3	23.0%
<b>National Total</b>	<b>3,444.7</b>	<b>4,729.3</b>	<b>37.4%</b>

Slika 3. Prikaz ulaganja u očuvanje životne sredine Pošte Portugalije [8]

Uvedeni međunarodni standardi za sisteme upravljanja u nekoliko oblasti odražavaju posvećenost kvalitetu, klijentima i životnoj sredini.

Pošta Portugalije izveštava o svom održivom poslovanju kroz ekonomske, socijalne i ekološke učinke na objektivna i transparentna način.

## 5. Zaključak

U Republici Srbiji se svakodnevno sve veći značaj daje održivom razvoju. Može se primetiti da se povećava ulaganje u zaštitu životne sredine u svim sektorima privrede, što bi i trebalo da bude prioritet i u narednom periodu, jer je Srbija trenutno među ekološki najzagađenijim zemljama u Evropi što ugrožava zdravlje stanovništva, skraćuje prosečni životni vek, pogoršava kvalitet života i utiče na neravnomeran regionalni razvoj.

Analizirajući iskustva izabranih poštanskih operatera utvrđeno je:

- da svi imaju i primenjuju Strategije održivog razvoja sa praćenjem, merenjem i objavljivanjem konkretnih podataka,
- da imaju nezavisna tela koja kontrolišu ove podatke u tačno određenom vremenu,
- da su svi operateri započeli sa uvođenjem sistema upravljanja energijom na objektima i vozilima,
- da su stekli međunarodni standard za sistem upravljanja energijom ISO 50001 - *Energy Management System*, koji svake godine potvrđuje akreditovana eksterna institucija,
- da su deklarativno i praktično posvećeni održivom razvoju,
- da su Strategije održivog razvoja spojili sa Korporativnom strategijom kao neodvojivim segmentom,
- da se brinu o zaštiti životne sredine,
- da se brinu o starima i deci,
- da imaju konkretne akcije posvećene osobama sa invaliditetom ili bespomoćnima,
- da sve aktivnosti vezane za održivi razvoj koriste kao prednosti i razvojne šanse svog poslovanja, i
- da ih u tome pomažu lokalne zajednice, pojedinci i Vlade.

Ovakav isti odnos prema održivom razvoju treba i može da bude i kod poštanskih operatera u našoj zemlji.

## Literatura

- [1] Dž. D. Saks (2014). *Doba održivog razvoja*. Službeni glasnik, Beograd.
- [2] Environment & Society Portal (2022). UN World Commission on Environment and Development, ed., *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future* [Online]. Available at: <https://www.environmentandsociety.org/mml/un-world-commission-environment-and-development-ed-report-world-commission-environment-and>
- [3] Universal Postal Union (2022). *Sustainable development* [Online]. Available at: <https://www.upu.int/en/Universal-Postal-Union/Activities/Sustainable-Development>
- [4] PostEurop (2022). *Delivering a Sustainable European Post, 2019-2024* [Online]. Available at: <https://www.posteurop.org/manifesto-assets/Manifesto-PostEurop.pdf>
- [5] International Post Corporation (2022). *Green Postal Day* [Online]. Available at: <https://www.ipc.be/greenpostalday>
- [6] Pošta Slovenije Group (2022). *Sustainability* [Online]. Available at: <https://en.posta.si/about-post-of-slovenia/sustainability>

- [7] Österreichische Post (2022). *Corporate Sustainability* [Online]. Available at: <https://www.post.at/en/ir/c/crs-sustainability#panel1678429813>
- [8] CTT Group (2022). *Sustainability* [Online]. Available at: <https://www.ctt.pt/grupo-ctt/sustentabilidade/>

**Abstract:** *The concept of sustainable development implies the harmonization of economic, social and environmental requirements. The goal of sustainable development strategies is to balance three key factors of sustainability: economic sustainability through balanced economic growth and technological development, social sustainability through balance in society, and environmental sustainability through the rational disposal of natural resources, combining them into one whole supported by an appropriate institutional framework. This paper presents the structural forms and basic characteristics of sustainable development strategies of postal operators: Slovenia, Austria and Portugal. The resulting analysis indicates the way of influence and the results resulting from the new way of acting and can provide an example to the Post of Serbia for noticing mutual identities, similarities and differences, and their possible application.*

**Keywords:** *sustainable development, sustainability, corporate responsibility, postal sector, postal operator*

## **SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGIES OF POSTAL OPERATORS - SITUATION AND PERSPECTIVE\***

Vladeta Petrović, Biljana Stojanović-Višić, Miodrag Simić, Sanja Jelisavac Trošić

---

\* The paper presents findings of a study developed as a part of the research project “Serbia and challenges in international relations in 2022”, financed by the Ministry of Education, Science, and Technological Development of the Republic of Serbia, and conducted by Institute of International Politics and Economics, Belgrade.

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.002>

## **MODEL ZA DEFINISANJE DIMENZIJA LOGISTIČKE USLUGE U E-TRGOVINI**

Nebojša Vasić<sup>1</sup>, Milorad Kilibarda<sup>2</sup>, Vukašin Pajić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Akademija strukovnih studija kosovsko metohijska, nebojsa.vasic@akademijakm.edu.rs

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, m.kilibarda@sf.bg.ac.rs;  
v.pajic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *U radu je razvijen model za definisanje i merenje dimenzija logističke usluge u e-trgovini, sa aspektat zadovoljstva korisnika. Kreiran je konceptualni model i merni instrument koji obuhvata dimenzije logističke usluge: dostupnost proizvoda, vreme isporuke, troškovi isporuke, pouzdanost isporuke, stanje i kvalitet proizvoda, reklamacije i povraćaj proizvoda, kvalitet informacija, percepcija i zadovoljstvo korisnika. Model je zasnovan na primeni konfirmatorne faktorske analize (engl. confirmatory factor analysis – CFA) i modeliranja strukturalnih jednačina metodom parcijalnih najmanjih kvadrata (engl. partial least squares structural equation modeling – PLS-SEM).*

**Ključne reči:** *e-trgovina, dimenzije logističke usluge, konfirmatorna faktorska analiza*

### **1. Uvod**

Poslednje godine obeležio je vrlo intenzivan rast e-trgovine. Procenjuje se da e-trgovina u ukupnoj maloprodaji na globalnom tržištu učestvuje između 20 – 25 % i da će se narednih godina rast *online* prodaje kretati oko 10 % godišnje [1]. Ovakav rast e-trgovine postavlja vrlo značajne i dinamične zahteve pred logistiku i lance snabdevanja. Između, logistike i e-trgovine postoji vrlo tesna uzročno posledična veza, gde e-trgovina zahteva nove dimenzije logističke usluge, ali i od strukture i kvaliteta logističkih usluga u velikoj meri zavisi uspeh e-trgovine i zadovoljstvo potrošača.

Intenzivnim razvojem digitalne ekonomije pojavila se i nova (peta) generacija logistike, poznata pod nazivom e-logistika. Radi se o specijalizovanom segmentu logistike čiji je zadatak planiranje i upravljanje logističkim procesima isporuke proizvoda u e-trgovini. Logistički provajderi koji nude i pružaju logističke usluge su u stalnoj dilemi koja to struktura i dimenzije logističke usluge zadovoljavaju zahteve i očekivanja potrošača. Da bi dobili odgovor na navedeno pitanje, potrebno je da stalno mere i prate zadovoljstvo potrošača i istražuju koju strukturu i kvalitet usluge da ponude i pruže. Za to je potrebno koristiti različite alate i merne instrumente.

U ovom radu je razvijen konceptualni model i merni instrument koji predstavlja podršku odlučivanju o logističkim uslugama u e-trgovini. Na bazi dizajniranog i testiranog mernog instrumenta sprovedeno je istraživanje na tržištu Srbije, a rezultati predstavljeni i analizirani u drugom delu rada.

## 2. Konceptualni model i merni instrument

Pregledom relevantne literature i naučnih radova iz razmatrane problematike razvijen je konceptualni model s ciljem ispitivanja i dokazivanja sledećih hipoteza (slika 1):

H1. Dimenzija dostupnost utiče na percepciju i zadovoljstvo e-kupaca.

H2. Dimenzija vreme isporuke utiče na percepciju i zadovoljstvo e-kupaca.

H3. Dimenzija troškovi isporuke utiče na percepciju i zadovoljstvo e-kupaca.

H4. Dimenzija pouzdanost isporuke utiče na percepciju i zadovoljstvo e-kupaca.

H5. Dimenzija stanje i kvalitet proizvoda utiče na percepciju i zadovoljstvo e-kupaca.

H6. Dimenzija reklamacija i povraćaj proizvoda utiče na percepciju i zadovoljstvo e-kupaca.

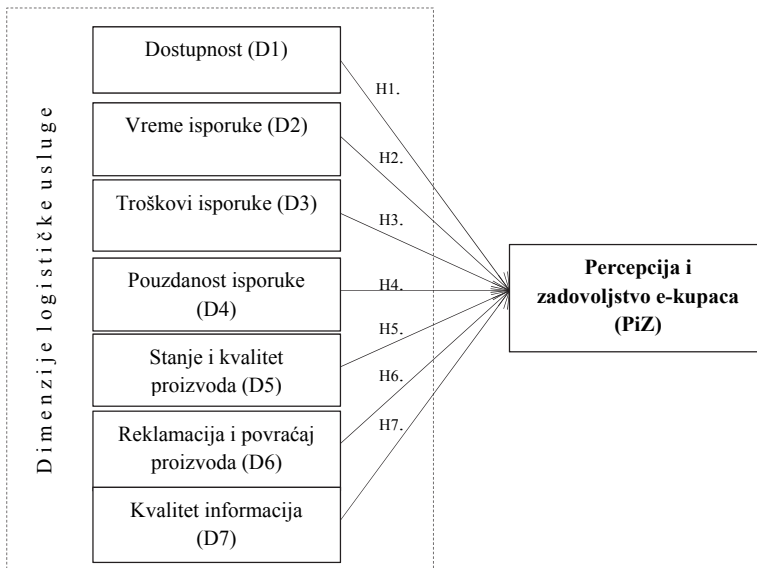
H7. Dimenzija kvalitet informacija utiče na percepciju i zadovoljstvo e-kupaca.

Ako se sa  $PiZ$  označi percepcija i zadovoljstvo e-kupaca, a sa  $D = D1, D2, D3, \dots, Dn$  dimenzije logističke usluge, onda se  $PiZ$  u funkciji  $D$ -a može iskazati na sledeći način:

$$PiZ = f(D1, D2, D3, \dots, Dn) \quad (1)$$

Dimenzije izdvojene kao ključne u ovom radu su: dostupnost (D1), vreme isporuke (D2), troškovi isporuke (D3), pouzdanost isporuke (D4), stanje i kvalitet proizvoda (D5), reklamacija i povraćaj proizvoda (D6) i kvalitet informacija (D7). Stoga formula za  $PiZ$  izgleda ovako:

$$PiZ = f(D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7) \quad (2)$$



Slika 1. Razvijeni konceptualni model

Merni instrument je kreiran sa ciljem da se ispituju postavljene hipoteze, a uz pomoć već razvijenih instrumenata i raspoložive literature iz ove oblasti u Thomson Reuters Web of Science. Osnovne varijable mernog instrumenta, kao i stavke date u tabeli 1 definisane su na bazi mernih instrumenata iz radova [1].

Procena validnosti mernog instrumenta modela sa slike 1, odnosno provera hipoteza istraživanja zasnovana je na primeni konfirmatorne faktorske analize (CFA) i modeliranja strukturalnih jednačina metodom parcijalnih najmanjih kvadrata (PLS-SEM). CFA se najčešće koristi u postupku provere nekog mernog instrumenta, tj. doprinosi konvergentnoj i diskriminantnoj validnosti teorijskih konstrukata koji su u pozadini razvoja i primene tog instrumenta.

Konvergentna validnost stavki u mernim instrumentima ocenjuje se pomoću tri kriterijuma: *faktorskog opterećenja* (engl. *factor loading*), *kompozitne pouzdanosti* (engl. *composite reliability* –  $\rho_c$ ) i *izvedene prosečne varijanse* (engl. *average variance extracted* – *AVE*) [10]. Prema [11] donja granica prihvatljivosti za *faktorsko opterećenje* je 0,70. Potreban minimum za  $\rho_c$  je 0,80 [12]. I na kraju, da bi i treći uslov konvergentne validnosti bio zadovoljen neophodno je da *AVE* pređe vrednost od 0,50 [13].

*Kompozitna pouzdanost* ( $\rho_c$ ) (ili pouzdanost konstrukta) je mera interne konzistentnosti stavki u mernom instrumentu, slično kao *Cronbach's  $\alpha$* . *Izvedena prosečna varijansa* (*AVE*) pokazuje koji procenat varijanse neka latentna varijabla deli sa ostalim latentnim varijablama u strukturalnom modelu.

Veličine  $\rho_c$  i *AVE* se dobijaju po formulama [10]:

$$\rho_{c\xi_j} = \frac{\left(\sum_{k=1}^{K_j} \lambda_{jk}\right)^2}{\left(\sum_{k=1}^{K_j} \lambda_{jk}\right)^2 + \theta_{jk}} \quad (3)$$

odnosno,

$$AVE = \frac{\sum_{k=1}^{K_j} \lambda_{jk}^2}{\sum_{k=1}^{K_j} \lambda_{jk}^2 + \theta_{jk}} \quad (4)$$

gde su:

- $K_j$  – broj indikatora latentne varijable  $\xi_j$ ,
- $\lambda_{jk}$  – faktorska opterećenja,
- $\theta_{jk}$  – greška merenja za  $k$ -ti indikator ( $k = 1, \dots, K_j$ ) latentne varijable  $\xi_j$ , koja se izračunava po formuli:

$$\theta_{jk} = \sum_{k=1}^{K_j} 1 - \lambda_{jk}^2 \quad (5)$$

Za ocenu diskriminantne validnosti između varijabli modela potrebno je utvrditi prelazi li kvadratni koren *AVE* za svaku varijablu (*AVE* $\xi_j$ ) korelacije između samih varijabli ( $\phi_{ij}$ ) – *Fornell-Larcker kriterijum*.

Prema tome, kvadratni koren *AVE* za svaku varijablu bi trebao biti veći od korelacije između samih varijabli:

$$\sqrt{AVE\xi_j} \geq \phi_{ij} \quad \forall i \neq j \quad (6)$$

odnosno, *AVE* za svaku varijablu bi trebala biti veća od kvadrata korelacije između samih varijabli:

$$AVE\xi_j \geq \phi_{ij}^2 \quad \forall i \neq j \quad (7)$$

*Tabela 1. Varijable i stavke konceptualnog modela – merni instrument*

Dimenzije	Stavke	Izvor
<b>Dostupnost (DO)</b>		
DO1	Proizvodi se nalaze na stanju u trenutku kreiranja porudžbine.	Autori
DO2	E-prodavač obezbeđuje informacije u vezi dostupnosti proizvoda.	
DO3	E-prodavač je u stanju da u slučaju nedostupnosti željenih proizvoda iste obezbedi u prihvatljivo kratkom roku.	
DO4	E-prodavač nudi opciju praćenja statusa pošiljke.	
<b>Vreme isporuke (VI)</b>		
VI1	Vreme između kreiranja porudžbine i isporuke proizvoda je kratko.	Prilagođeno prema: Mentzer-u i dr. (2001), Bienstock-u i Royne-u (2010), Lin-u i dr. (2016)
VI2	Proizvodi se isporučuju u skladu sa obećanim datumima i vremenskim okvirima.	
VI3	E-prodavač proizvode isporučuje u strogo determinisano vreme.	Autori
VI4	Proizvodi koji nisu isporučeni na vreme naknadno se šalju brzo.	Prilagođeno prema: Mentzer-u i dr. (2001), Bienstock-u i Royne-u (2010), Ribbink-u i dr. (2004), Lin-u i dr. (2016)
<b>Troškovi isporuke (TI)</b>		
TI1	E-prodavač nudi mogućnost besplatne isporuke proizvoda.	Autori
TI2	F-prodavač obezbeđuje isporuku proizvoda po niskim cenama.	
TI3	Isporuka proizvoda na kućnu adresu ili njihovo preuzimanje u prodavnici ne sadrži nikakve dodatne skrivene troškove.	
<b>Pouzdanost isporuke (PI)</b>		
PI1	E-prodavač proizvode isporučuje u skladu sa obećanim uslovima.	Autori
PI2	Sadržaj pošiljke je usklađen sa porudžbinom kupca.	
PI3	Pošiljka retko kada sadrži pogrešne proizvode.	Prilagođeno prema: Mentzer-u i dr. (2001), Bienstock-u i Royne-u (2010), Lin-u i dr. (2016)
PI4	Pošiljka retko kada sadrži pogrešnu količinu (broj) proizvoda.	
<b>Stanje i kvalitet proizvoda (SK)</b>		
SK1	Transportna ambalaža isporučenih proizvoda retko kada je oštećena.	Prilagođeno prema: Bienstock-u i dr. (1997), Lin-u i dr. (2016)
SK2	Isporučeni proizvodi retko kada su oštećeni.	Prilagođeno prema: Mentzer-u i dr. (2001), Bienstock-u i Royne-u (2010), Lin-u i dr. (2016)
SK3	Oštećenja proizvoda retko kada nastaju usled neodgovarajućeg transporta/rukovanja.	
SK4	Isporučeni proizvodi su u skladu sa specifikacijama datim online.	Prilagođeno prema: Mentzer-u i dr. (2001), Lin-u i dr. (2016)
SK5	Isporučeni proizvodi su ispravni.	Autori
<b>Reklamacija i povraćaj proizvoda (RP)</b>		
RP1	Sadržaj pošiljke je retko kada potrebno reklamirati.	Autori
RP2	Proces povraćaja proizvoda je jednostavan.	
RP3	E-prodavači nude više kanala za povraćaj proizvoda.	Prilagođeno prema: Xing-u i Grant-u (2006), Xing-u i dr. (2011)
RP4	Oštećeni, neželjeni ili neispravni proizvodi brzo i lako se sakupljaju i zamenjuju.	
<b>Kvalitet informacija (KI)</b>		
KI1	E-prodavač obezbeđuje lako dostupne informacije o proizvodima.	Prilagođeno prema: Mentzer-u i dr. (2001), Rafiq-u i Jaafar-u (2007), Lin-u i dr. (2016)
KI2	E-prodavač nudi adekvatne informacije o proizvodima.	
KI3	E-prodavač pruža tačne informacije o proizvodima.	
<b>Percepcija i zadovoljstvo e-kupaca (PZ)</b>		
PZ1	Ovaj e-prodavač u potpunosti zadovoljava moja očekivanja.	Autori
PZ2	Uživam u online kupovini na sajtu ovog e-prodavača.	Prilagođeno prema: Mentzer-u i dr. (2001), Ribbink-u i dr. (2004), Lin-u i dr. (2016)
PZ3	Ovaj e-prodavač posluje u skladu sa obećanim uslovima.	
PZ4	Preporučio/preporučila bih ovog e-prodavača ostalim kupcima.	Autori

### 3. Analiza rezultata

Na bazi razvijenog i testiranog mernog instrumenta sprovedena su istraživanja zadovoljstva *B2C* (engl. *Business to consumer*) potrošača u odnosu na predložene dimenzije logističke usluge. Istraživanje je sprovedeno primenom web anketnog upitnika. Poslato je ukupno 700 anketnih upitnika, gde su ispitanici zamoljeni da učestvuju u istraživanju i popune anketni upitnik. U toku istraživanja ispitanici su u dva navrata podsećani da popune upitnik. Jasno im je ukazano na značaj koji istraživanje ima za unapređenje kvaliteta usluge isporuke proizvoda u e-trgovini. Značaj istraživanja su shvatili i e-prodavci i logistički provajderi, koji su dali izuzetnu podršku sprovedenom istraživanju. Sve ovo je doprinelo velikom odzivu ispitanika. Vraćeno je 438 potpunjenih upitnika, od čega je 13 upitnika bilo samo delimično popunjeno te su isključeni iz dalje obrade i istraživanja. Ostalo je 425 validnih upitnika koji su dalje obrađivani. Upitnici koji su imali manje od 5% nedostajućih odgovora tretirani su tako što su nedostajući podaci zamenjeni aritmetičkim sredinama, prema preporukama koje su u tom slučaju ponuđene kao opcije u *SmartPLS* programskom paketu.

Uz pomoć sprovedenih T-testova procenjeno je da ne postoji statistička značajna razlika između odgovora dobijenih iz rane i kasne faze ispitivanja, što navodi na zaključak da u prikupljanju podataka nije bilo značajnije pristrasnosti.

Istraživanje je obuhvatilo 180 pripadnika muškog i 245 pripadnica ženskog pola, tako da je odnos muških i ženskih ispitanika 42,4% naspram 57,6%, respektivno. Ispitanici svih relevantnih starosnih dobi su učestvovali u ispitivanju, a najveću grupu su činili oni u rasponu od 21 do 30 godina (180 ispitanika, odnosno 42,4% uzorka), prvenstveno zbog toga što su to mladi, radno sposobni ljudi, skloni upotrebi društvenih mreža u svakodnevnoj komunikaciji, pa samim tim i korišćenju *online* kupovine. Po pitanju obrazovanja ispitanika, najveći broj ispitanika je imao visoko obrazovanje, odnosno završen fakultet (217 ispitanika, odnosno 51,1% uzorka), a kako korišćenje internet alata u *online* kupovini zahteva i određeni nivo obrazovanja, značajna procentualna zastupljenost ovih ispitanika je sasvim opravdana. Što se tiče dužine korišćenja *online* kupovine (u godinama), najveći broj ispitanika, njih 87 ili 20,5%, je koristilo *online* kupovinu više od 5 godina, dok je najmanji broj ispitanika, njih 49 ili 11,5% koristilo *online* kupovinu manje od 1 godine, čime je naglašena zastupljenost ispitanika sa višegodišnjim iskustvom u *online* kupovini. Na pitanje koji e-prodavac je omiljen kod e-kupaca, 234 ispitanika (55,1% uzorka) se izjasnilo za domaćeg e-prodavca, a ostalih 191 (44,9% uzorka) za stranog. Najveći broj od ukupnog broja ispitanika (133 ili 31,3% uzorka) *online* kupovinu obavlja na sajtu [www.aliexpress.com](http://www.aliexpress.com), što je u skladu s činjenicom da ovaj e-prodavac beleži konstantan rast prodaje iz godinu u godinu. Što se tiče grupe proizvoda koju ispitanici najčešće kupuju *online*, najveći broj ispitanika je izabrao grupu – odeća/obuća/kozmetika, odnosno njih 221 (52,0% uzorka), čime je istaknut visoki udeo robe široke potrošnje u *online* kupovini. U skladu sa dobijenim rezultatima istraživanja, najveći broj ispitanika, njih 177 (41,6% uzorka) je spremno da plati svaki trošak isporuke proizvoda koji njihov ukupan trošak kupovine proizvoda čini najnižim. Od ukupnog broja ispitanika, njih 237 (55,8% uzorka) je navelo da im e-prodavci ne nude mogućnost preuzimanja proizvoda u prodavnici, i time sugerisalo da je isporuka na kućnu adresu i dalje glavni kanal distribucije proizvoda kod *online* kupovine u Srbiji.



CFA je korišćena za procenu validnosti mernog instrumenta modela. Metoda PLS primenjena je korišćenjem programa *SmartPLS 3*, koji istraživačima iz celog sveta nudi aktivni i jako koristan *online* forum (<https://forum.smartpls.com/>) za razmenu iskustava i znanja u vezi sa njegovom primenom. Ulazni podaci kod ovog programa mogu biti u različitim formatima datoteka ali i „sirovi“ uz pretpostavku da su indikatori latentnih varijabli kontinuirani. Ovaj softver se oslanja na neparametarsku *bootstrap* proceduru i ne pretpostavlja da se podaci normalno distribuiraju.

U radu su korišćeni podaci sa originalne 1-5 Likertove skale. Korišćena je *SmartPLS* procedura za pojedinačnu promenu znakova, gde znak svake pojedinačne spoljašnje težine postaje jednak odgovarajućem znaku originalnog uzorka.

Prikupljeni podaci upotrebljeni su kao ulazni podaci za PLS program, a statistička značajnost procenjena je korišćenjem tehnike *bootstrapping resampling*. U fazi inicijalne procene pokrenuto je 500 pod-uzoraka, a za konačnu pripremu rezultata korišćeno je 5.000 permutacija.

*NFI* (*Normed fit index*) je 0,8838, što je  $> 0,80$  prema **Error! Reference source not found.**, pa se može smatrati da je predloženi model podesan za primenu.

*AVE* vrednosti za sve varijable modela premašile su 0,50, pri čemu je najniža *AVE* vrednost 0,715 za stanje i kvalitet proizvoda, što znači da je ovaj uslov ispunjen (tabela 2).

Tabela 2. Karakteristike mernog instrumenta prikazanog modela

Varijable modela	$\rho_c$	AVE	Koeficijent korelacije – Fornell-Larcker kriterijum							
			VI	DO	KI	PZ	PI	RP	SK	TI
VI	0,921	0,745	<i>0,863</i>							
DO	0,911	0,718	0,677	<i>0,847</i>						
KI	0,913	0,777	0,651	0,589	<i>0,881</i>					
PZ	0,928	0,763	0,74	0,714	0,698	<i>0,874</i>				
PI	0,936	0,786	0,661	0,67	0,62	0,76	<i>0,887</i>			
RP	0,918	0,736	0,588	0,596	0,529	0,678	0,63	<i>0,858</i>		
SK	0,926	0,715	0,634	0,62	0,622	0,754	0,697	0,599	<i>0,846</i>	
TI	0,933	0,822	0,651	0,592	0,587	0,735	0,665	0,606	0,679	<i>0,907</i>

VI – Vreme isporuke; DO - Dostupnost; KI – Kvalitet informacija; PZ – Percepcija i zadovoljstvo e-kupaca; PI – Pouzdanost isporuke; RP – Reklamacija i povraćaj proizvoda; SK – Stanje i kvalitet proizvoda; TI – Troškovi isporuke.

Utvrđena *faktorska opterećenja* se kreću od 0,832 do 0,913, što je znatno veće od 0,70, kao donje granice prihvatljivosti [11] (tabela 3).  $\rho_c$  za sve faktore premašuje potrebni minimum od 0,80 [12], s najnižom vrednošću od 0,911 za dostupnost (tabela 2).

Na osnovu dobijenih vrednosti za *AVE*, *faktorska opterećenja* i  $\rho_c$  može se konstatovati da sve stavke i sve varijable ispunjavaju uslov konvergentne validnosti [10], [11].

Najviša korelacija između bilo kog para varijabli u modelu je između pouzdanosti isporuke i percepcije i zadovoljstva e-kupaca, i iznosi 0,76 (tabela 2). Ovaj iznos korelacije je niži od najnižeg kvadratnog korena *AVE*-a za bilo koju varijablu, koji iznosi 0,846 za stanje i kvalitet proizvoda [10], što znači da je diskriminantni kriterijum validnosti zadovoljen. Vrednosti prikazane dijagonalno (*italic*) predstavljaju kvadratni koren od *AVE* za tu varijablu modela.

Tabela 3. Rezultati CFA za prikazani model

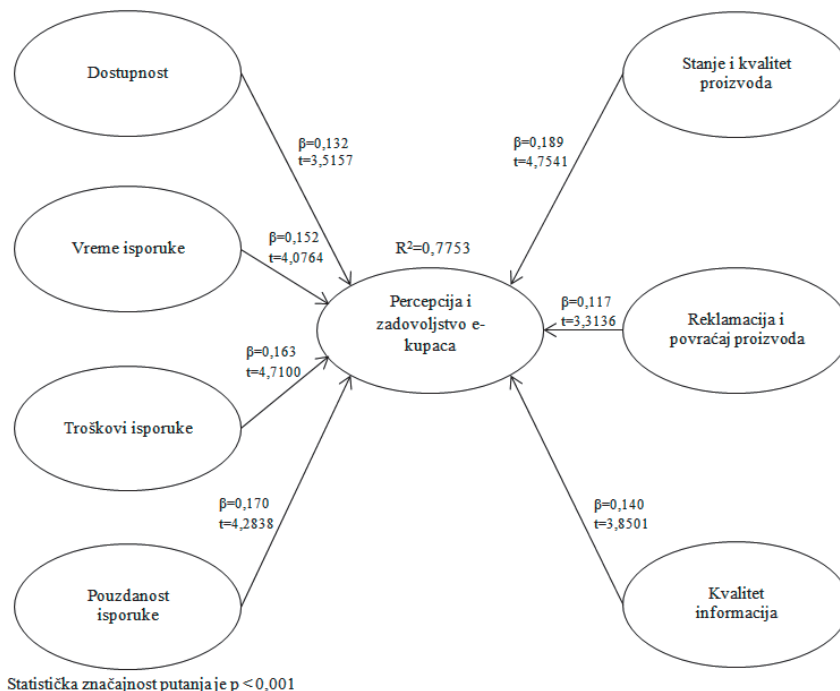
Stavke	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Faktorsko opterećenje	T-statistika
VI1	0,852	0,015	0,853	56,427
VI2	0,886	0,012	0,885	72,289
VI3	0,857	0,041	0,854	20,871
VI4	0,86	0,014	0,859	61,9
DO1	0,837	0,017	0,838	49,702
DO2	0,842	0,015	0,842	55,255
DO3	0,844	0,013	0,844	64,8
DO4	0,865	0,012	0,865	69,64
KI1	0,866	0,013	0,866	67,427
KI2	0,873	0,011	0,873	76,245
KI3	0,904	0,009	0,904	105,301
PZ1	0,868	0,012	0,869	70,324
PZ2	0,876	0,011	0,877	79,745
PZ3	0,875	0,011	0,876	77,309
PZ4	0,873	0,012	0,874	73,472
PI1	0,869	0,011	0,87	76,451
PI2	0,891	0,009	0,891	101,104
PI3	0,886	0,01	0,887	89,106
PI4	0,899	0,01	0,899	93,548
RP1	0,862	0,012	0,862	69,939
RP2	0,862	0,012	0,863	74,58
RP3	0,851	0,015	0,852	55,835
RP4	0,854	0,014	0,854	60,533
SK1	0,834	0,017	0,835	48,491
SK2	0,846	0,014	0,847	59,221
SK3	0,831	0,016	0,832	51,857
SK4	0,851	0,013	0,851	63,107
SK5	0,863	0,012	0,863	69,05
TI1	0,903	0,009	0,903	104,08
TI2	0,913	0,007	0,913	124,431
TI3	0,904	0,008	0,904	107,371

Pošto je pouzdanu ocenu diskriminantne validnosti između varijabli modela nemoguće u potpunosti dati samo na bazi *Fornell-Larcker kriterijuma*, predloženo je korišćenje i *HTMT kriterijuma*. S obzirom na to da su sve prikazane vrednosti korelacija u tabeli 4 manje od 0,90 zaključeno je da je diskriminantni kriterijum validnosti i na ovaj način zadovoljen.

Tabela 4. Koeficijent korelacije – HTMT kriterijum

Varijable modela	Koeficijent korelacije – HTMT kriterijum							
	VI	DO	KI	PZ	PI	RP	SK	TI
VI								
DO	0,7702							
KI	0,7452	0,6806						
PZ	0,8293	0,808	0,7936					
PI	0,7364	0,7516	0,7034	0,8406				
RP	0,6641	0,6798	0,6099	0,763	0,7044			
SK	0,7097	0,6992	0,7089	0,8374	0,7697	0,6727		
TI	0,7318	0,6709	0,6721	0,8211	0,7372	0,6838	0,7574	

Vrednosti  $\beta$ , kao i njihove pripadajuće  $t$ -vrednosti prikazane na slici 2, sugerišu da se radi o pozitivnim i statističkim značajnim vezama ( $\beta > 0,1$ ;  $t > 2,57 \rightarrow p < 0,01$ ) [13], čime je data podrška za hipoteze. Tačnije, na percepciju i zadovoljstvo e-kupaca značajan pozitivan uticaj imaju sledeće dimenzije: stanje i kvalitet proizvoda ( $\beta = 0,189$ ;  $t = 4,7541$ ;  $p < 0,001$ ), pouzdanost isporuke ( $\beta = 0,170$ ;  $t = 4,2838$ ;  $p < 0,001$ ), troškovi isporuke ( $\beta = 0,163$ ;  $t = 4,7100$ ;  $p < 0,001$ ), vreme isporuke ( $\beta = 0,152$ ;  $t = 4,0764$ ;  $p < 0,001$ ), kvalitet informacija ( $\beta = 0,140$ ;  $t = 3,8501$ ;  $p < 0,001$ ), dostupnost ( $\beta = 0,132$ ;  $t = 3,5157$ ;  $p < 0,001$ ) i reklamacija i povraćaj proizvoda ( $\beta = 0,117$ ;  $t = 3,3136$ ;  $p < 0,001$ ), respektivno, podržavajući na taj način hipoteze H5, H4, H3, H2, H7, H1 i H6, respektivno.



Slika 2. PLS analiza istraživačkog modela

#### 4. Zaključak

Sa tehnološkim razvojem, tradicionalan način kupovine postao je nedovoljan za kupce. Kupci danas preferiraju jednostavnije načine za dolazak do željenih proizvoda. Pojava interneta promenila je njihovu svest o pogodnosti, brzini, ceni i informacijama u vezi sa kupovinom. Kvalitet logističke usluge i zadovoljstvo potrošača postaju ključni faktori uspešnog poslovanja. Stoga je neophodno da e-prodavci stalno istražuju zahteve i očekivanja e-kupaca i pronalaze načine kako da ispune te zahteve i učine e-kupce zadovoljnim. Drugim rečima, potrebno je da e-prodavci mere zadovoljstvo e-kupaca i razvijaju različite postupke, modele i alate koji će se uspešno koristiti u realnim tržišnim i privrednim uslovima. Stoga je u ovom radu predstavljen originalni model, odnosno merni instrument koji predstavlja određeni naučni doprinos tim naporima.

#### Literatura

- [1] M.Kenan, „Global Ecommerce Explained: Stats and Trends to Watch in 2022“, <https://www.shopify.com/enterprise/global-ecommerce-statistics>
- [2] J. T. Mentzer, D. J. Flint, and G. T. M. Hult, “Logistics service quality as a segment-customized process”, *Journal of marketing*, vol. 65(4), pp. 82-104, 2001. <https://doi.org/10.1509/jmkg.65.4.82.18390>
- [3] D. Ribbink, A. C. Van Riel, V. Liljander, and S. Streukens, “Comfort your online customer: quality, trust and loyalty on the internet”, *Managing Service Quality: An International Journal*, vol. 14(6), pp. 446-456, 2004. <https://doi.org/10.1108/09604520410569784>
- [4] Y. Lin, J. Luo, S. Cai, S. Ma, and K. Rong, “Exploring the service quality in the e-commerce context: a triadic view”, *Industrial Management & Data Systems*, vol. 116(3), pp. 388-415, 2016. <https://doi.org/10.1108/IMDS-04-2015-0116>
- [5] C. C. Bienstock, and M. B. Roynes, “Technology acceptance and satisfaction with logistics services”, *The International Journal of Logistics Management*, vol. 21(2), pp. 271-292, 2010. <https://doi.org/10.1108/09574091011071951>
- [6] C. C. Bienstock, J. T. Mentzer, and M. M. Bird, “Measuring physical distribution service quality”, *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 25(1), p. 31, 1997. <https://doi.org/10.1007/BF02894507>
- [7] Y. Xing, and D. B. Grant, “Developing a framework for measuring physical distribution service quality of multi-channel and “pure player” internet retailers”, *International Journal of Retail & Distribution Management*, vol. 34(4/5), pp. 278-289, 2006. <https://doi.org/10.1108/09590550610660233>
- [8] Y. Xing, D. B. Grant, A. C. McKinnon, and J. Fernie, “The interface between retailers and logistics service providers in the online market”, *European Journal of Marketing*, vol. 45(3), pp. 334-357, 2011. <https://doi.org/10.1108/03090561111107221>
- [9] M. Rafiq, and H. S. Jaafar, “Measuring Customers' Perceptions of Logistics Service Quality of 3PL Service Providers”, *Journal of business logistics*, vol. 28(2), pp. 159-175, 2007. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2007.tb00062.x>
- [10] C. Fornell, and D. F. Larcker, “Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error”, *Journal of marketing research*, vol. 18(1), pp. 39-50, 1981. <https://doi.org/10.2307/3151312>

- [11] J. Hulland, "Use of partial least squares (PLS) in strategic management research: A review of four recent studies", *Strategic management journal*, vol. 20(2), pp. 195-204, 1999. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199902\)20:2<195::AID-SMJ13>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199902)20:2<195::AID-SMJ13>3.0.CO;2-7)
- [12] S. Daskalakis, and J. Mantas, "Evaluating the impact of a service-oriented framework for healthcare interoperability", *Studies in health technology and informatics*, vol. 136, p. 285, 2008. DOI: 10.3233/978-1-58603-864-9-285
- [13] J. F. Hair, R. E. Anderson, B. J. Babin, and W. C. Black, *Multivariate Data Analysis: A Global Perspective (7th ed.)*, Upper Saddle River, Nj: Prentice Hall, 2010.
- [14] P. M. Fayers, and D. Machin, *Quality of life: the assessment, analysis and interpretation of patient-reported outcomes*, John Wiley & Sons, 2013.
- [15] J. S. Armstrong, and T. S. Overton, "Estimating nonresponse bias in mail surveys", *Journal of marketing research*, vol. 14(3), pp. 396-402, 1977. <https://doi.org/10.1177/002224377701400320>
- [16] R. P. Bagozzi, and Y. Yi, "On the evaluation of structural equation models", *Journal of the academy of marketing science*, vol. 16(1), pp. 74-94, 1988. <https://doi.org/10.1007/BF02723327>
- [17] A. H. Gold, A. Malhotra, and A. H. Segars, "Knowledge management: An organizational capabilities perspective", *Journal of management information systems*, vol. 18(1), pp. 185-214, 2001. <https://doi.org/10.1080/07421222.2001.11045669>

**Abstract:** *A model for defining and measuring the dimensions of logistics services in e-commerce, from the aspect of customer satisfaction was developed in this paper. A conceptual model and measuring instrument was created that includes the following dimensions of the logistics service: product availability, delivery time, delivery costs, delivery reliability, product condition and quality, complaints and product returns, information quality, customer perception and satisfaction. The model is based on the application of confirmatory factor analysis (CFA) and partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM).*

**Keywords:** *e-commerce, logistics service dimensions, confirmatory factor analysis*

## **A MODEL FOR DEFINING THE DIMENSIONS OF LOGISTICS SERVICES IN E-COMMERCE**

Nebojša Vasić, Milorad Kilibarda, Vukašin Pajić

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.003>

## **EFEKTI POGORŠANJA GLOBALNE MAKROEKONOMSKE SITUACIJE NA SEKTOR TELEKOMUNIKACIJA**

Marko Miljković, Jelica Petrović-Vujačić  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet  
m.miljkovic@sf.bg.ac.rs, j.petrovic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Od početka tekuće pandemije kovida-19 suočavamo se sa pogoršanjem makroekonomske situacije na globalnom nivou. Rat u Ukrajini je još dodatno nepovoljno uticao na svetsku ekonomiju. Monetarna ekspanzija tokom prethodne decenije, fiskalna ekspanzija kao odgovor na pandemiju, značajni problemi na strani ponude dobara i usluga, prekidi lanaca snabdevanja, energetska kriza doveli su do rastuće inflacije u svetu. Centralne banke širom sveta sada povećavaju kamatne stope gotovo sinhronizovano, što nije viđeno tokom prethodnih pedeset godina. Prema procenama Svetske banke ovako nepovoljni trendovi će se nastaviti i tokom 2023. godine. Globalni ekonomski rast dodatno usporava, pri čemu sve više pojedinačnih zemalja pogađa recesija. Tema ovog rada su posledice ovakvih makroekonomskih kretanja na kompanije koje posluju u sektoru telekomunikacija. One obuhvataju rast troškova energije, pritisak na rast troškova zarada, niže stope prinosa, rast prodajnih cena - pokušaj prebacivanja inflacije na stranu kupaca, rastuću zaduženost, smanjenje investicija – usporavanje ulaganja u 5G i drugo.*

**Ključne reči:** *inflacija, recesija, globalna ekonomija, telekomunikacione kompanije*

### **1. Uvod**

Evropska komisija je početkom 2021. godine predstavila svoju viziju digitalne transformacije Evropske unije do 2030. godine. Predložen je tzv. digitalni kompas koji podrazumeva četiri glavna smera razvoja: razvoj digitalnih veština ljudi, izgradnja sigurne i održive digitalne infrastrukture, digitalna transformacija preduzeća i digitalizacija javnih usluga.

U okviru navedenih smerova razvoja definisani su precizniji ciljevi koji obuhvataju sledeće: postojanje najmanje 20 miliona stručnjaka u oblasti informaciono-komunikacionih tehnologija, postizanje rodne raznolikosti u ovoj oblasti, razvoj 5G infrastrukture širom kontinenta, udvostručenje učešća Evropske unije u ukupnoj svetskoj proizvodnji poluprovodnika, primena kvantnih računara, korišćenje veštačke inteligencije, *big data* i *cloud*-a u više od tri četvrtine evropskih preduzeća, dostupnost e-zdravstva svim građanima, korišćenje digitalnih identifikacionih sredstava od strane 80% građana i dr. Takođe, predviđeni su i mehanizmi za praćenje i saradnju kako bi se ostvarili navedeni

zajednički ciljevi digitalne transformacije Evropske unije. Oni se sastoje od zajedničkog sistema praćenja kojim se napredak u ostvarenju ciljeva meri indeksom privredne i društvene digitalizacije, godišnjih izveštaja kojima se ocenjuje napredak i daju preporuke, kao i višegodišnjih strateških planova kojima države članice planiraju mere za podršku postizanju definisanih ciljeva digitalizacije i dr. [1]

Od evropskih telekomunikacionih kompanija se očekuje da omoguće i unaprede rešenja koja će delovati na ispunjenje navedenih ciljeva digitalizacije. Udruženje evropskih operatora telekomunikacionih mreža prepoznalo je pet kritičnih oblasti u kojima telekomunikacione kompanije mogu da odigraju vodeću ulogu u ubrzanju ekonomskog i društvenog napretka Evrope: izgradnja infrastrukture neophodne za digitalizaciju, kreiranje otvorenih platformi za uspostavljanje evropskog digitalnog standarda, kreiranje rešenja za ubrzanje digitalizacije u oblastima sa najvećom društveno-ekonomskom vrednošću, osposobljavanje stanovništva i radne snage podizanjem digitalne pismenosti na viši nivo, podsticanje razvoja ekosistema digitalnih inovacija koji pomaže da se odgovori na najveće izazove poput klimatskih promena i dr. [2]

Navedena uloga sektora telekomunikacija u ostvarivanju ciljeva digitalne transformacije Evropske unije analizira se u drugom poglavlju ovog rada. Nakon toga, u trećem poglavlju, prikazuju se aktuelni makroekonomski trendovi na globalnom nivou, te predstavljaju očekivanja za naredni kratkoročni period. Konačno, u četvrtom poglavlju rada se sagledavaju potencijalni efekti aktuelnog pogoršanja globalne makroekonomske situacije na sektor telekomunikacija.

## **2. Uloga sektora telekomunikacija u ostvarivanju ciljeva digitalne transformacije**

Najznačajnija uloga sektora telekomunikacija ogleda se u obezbeđenju neophodne infrastrukture za uspešnu digitalizaciju. Za izgradnju navedene infrastrukture u periodu do 2025. godine u Evropskoj uniji će biti potrebne investicije od oko 300 mlrd. evra, od čega se jedna polovina odnosi na postizanje gigabitnih brzina, a druga polovina na realizaciju pune 5G vizije za potrošače i privredu Evrope. Iako će većina navedenih investicija pozitivno uticati na poslovanje telekomunikacionih kompanija u vidu ostvarenja visokih stopa prinosa, određeni broj ulaganja u infrastrukturu ruralnih područja sa slabije razvijenom privredom ipak ne mora doneti poslovni uspeh kompanijama. Iskustva iz Nemačke, Austrije i Velike Britanije pokazuju da je stopa prinosa na uloženi kapital za od 20% do 40% oblasti niža i od cene kapitala, a u određenim slučajevima čak i negativna, što predstavlja izazov za kreatore politika koji moraju pronaći načine za podsticanje, odnosno finansiranje ovakvih investicija. [2]

Izgradnja 5G infrastrukture omogućava različite upotrebe u više različitih segmenata, od kojih se izdvajaju:

- poboljšani mobilni širokopolasni pristup (omogućava brže i pouzdanije korisničko iskustvo – striming, konferencije, virtuelne kancelarije, proširenu i virtuelnu stvarnost i dr.),
- fiksni bežični pristup (ultra brz stacionarni širokopolasni pristup velikog kapaciteta),
- masivan internet stvari (senzorske mreže – pametni domovi, pametni gradovi i pametna poljoprivreda, potrošački segment – nosivi uređaji i telefonske aplikacije, logistika i praćenje – praćenje imovine, daljinsko nadgledanje i monitoring u oblasti energetike i komunalnih usluga),

- kritične usluge (visoka pouzdanost i ultra niska latencija u oblasti industrijske automatizacije, zdravstva i bezbednosti, povezanih vozila). [3]

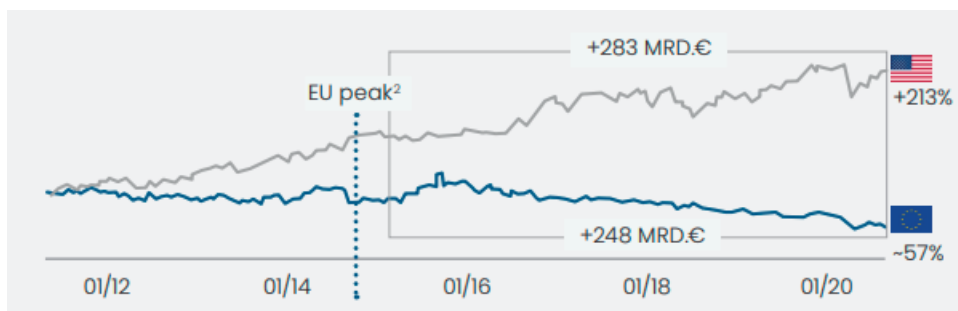
Procenjuje se da će navedene mogućnosti upotrebe 5G već 2025. godine činiti dve trećine ukupnih prihoda telekomunikacionih kompanija u Evropi, kao što je prikazano u Tabeli 1.

Tabela 1. Očekivana struktura prihoda telekomunikacionih kompanija od 5G u Evropi 2025. godine [2]

R.br.	Segment	Očekivani prihod (mlrd. EUR)	Učešće (%)	
1.	Mobilni širokopojasni pristup	206	59,7	
2.	Fiksni bežični pristup	18	5,2	
3.	Masivan internet stvari	Senzorske mreže	34	9,9
		Potrošački segment	16	4,6
		Logistika i praćenje	17	4,9
4.	Kritične usluge	Industrijska automatizacija	30	8,7
		Zdravstvo i bezbednost	10	2,9
		Povezana vozila	14	4,1
UKUPNO		345	100	

Osim pozitivnih efekata na sektor telekomunikacija, investicije u 5G infrastrukturu utičeće i na rast dodate vrednosti čitavog niza pratećih industrija, a osim ovog efekta multiplikatora, očekuju se i razni strateški, operativni i benefiti direktnih korisnika. [4]

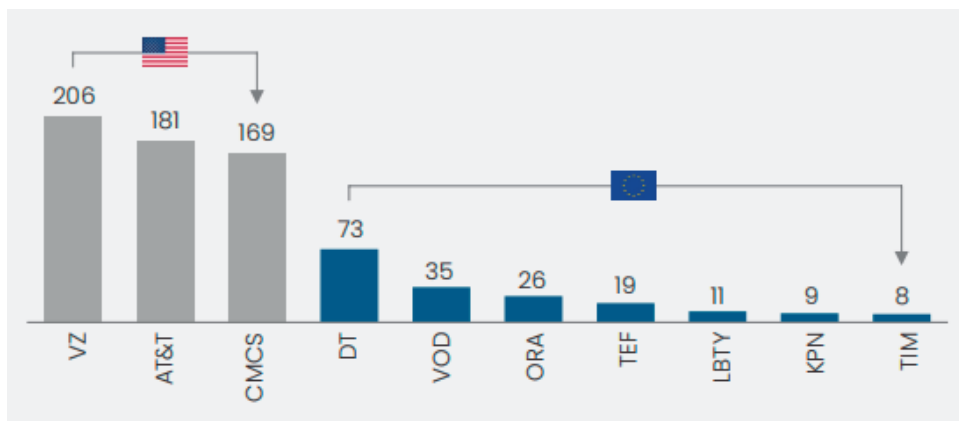
Na globalnom nivou, sektor telekomunikacija je ostvario prosečan godišnji prinos za akcionare od svega 6% između 2015. i 2019. godine. U Evropi je situacija još lošija, imajući u vidu opadanje vrednosti telekomunikacionih kompanija, posebno u poređenju sa kompanijama iz SAD-a. Na Slici 1. prikazano je stvaranje vrednosti u SAD-u naspram njene destrukcije u EU. Naime, u periodu od 2010. do 2020. godine, tržišna kapitalizacija sektora telekomunikacija je uvećana za 213%. U istom periodu, tržišna kapitalizacija sektora u EU je opala za 57%. [2]



Slika 1. Tržišna kapitalizacija kompanija iz sektora telekomunikacija u SAD i EU u periodu 2010-2020 [2]



Kada se pogleda tržišna kapitalizacija najznačajnijih pojedinačnih kompanija iz sektora na dan 15.08.2020. godine, primetno je da kompanije iz SAD-a imaju značajno veću vrednost u poređenju sa najznačajnijim igračima sa tržišta EU (Slika 2). [2]



Slika 2. Tržišna kapitalizacija najznačajnijih kompanija iz sektora telekomunikacija u SAD i EU, na dan 15.08.2020. godine, u milijardama evra [2]

Postavlja se pitanje na koji način je, u ovakvim uslovima, moguće obezbediti visoka sredstva potrebna za ulaganje u 5G infrastrukturu kako bi se obezbedile pretpostavke za ispunjenje ciljeva digitalizacije. Jedan od načina se odnosi na nove modele vlasništva koji uključuju dobrovoljno deljenje infrastrukture, što može uticati na brže uvođenje, smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu i povećan transfer znanja među partnerima. Drugi se odnosi na zajednička ulaganja operatora i infrastrukturnih fondova. Takođe, mogući su i modeli razdvajanja poslova izgradnje infrastrukture i pružanja telekomunikacionih usluga. [2]

Jedno od najvećih nerešenih pitanja u Evropi, koje utiče na ulaganje u mrežnu infrastrukturu odnosi se na nedostatak monetizacije podataka. Opterećenje mreža nastavlja da raste, međutim prihodi su i dalje slabi u poređenju sa приходima neevropskih telekomunikacionih kompanija. Usled ovakve neravnoteže, Evropa kasni sa uvođenjem 5G u odnosu na druge delove sveta, pre svega SAD, Kinu i razvijene zemlje Azije. [3] U postavljanju pretpostavki za rast sektora, važnu ulogu ima i politika spektra, a vladama su na raspolaganju različiti pristupi:

- maksimizacija vrednosti oskudnog resursa i povećanje prihoda od aukcije spektra (ovakvi nameti obično smanjuju ulaganja u novu infrastrukturu),
- podsticanje konkurencije, uključujući ponekad i subvencionisanje novih učesnika, kako bi se omogućile niske cene za potrošače,
- omogućavanje konkurentne mobilne širokopojasne infrastrukture (niske potrošačke cene za posledicu imaju sporiji razvoj mreže). [2]

Mnoge evropske vlade su favorizovale prva dva principa, što je dovelo do toga da su kapitalni izdaci telekomunikacionih kompanija za spektar visoki, ostavljajući manje novca na raspolaganju za razvoj infrastrukture. Osim toga, većina evropskih zemalja iznajmljuje vredne opsege spektra komercijalnim operatorima, što znači da operatori ne poseduju vredni resurs i moraju sa neizvesnošću planirati koliko će ih to iznajmljivanje

koštati u budućnosti. Sa druge strane, u SAD dominira pristup koji omogućava potpuno vlasništvo nad spektrom, što podstiče investicije u infrastrukturu. U Francuskoj postoji od 2018. godine inovativan sistem prema kome se alokacije spektra obnavljaju bez naknade ukoliko su postignuti ciljevi poboljšane pokrivenosti. U svakom slučaju, s obzirom na postojanje različitih politika i prioriteta regulatora, Udruženje evropskih operatora telekomunikacionih mreža smatra da bi fokus trebalo biti na razvoju infrastrukture kako bi se maksimizirale društvene koristi. [2]

### **3. Makroekonomska kretanja na globalnom nivou**

Postizanje ciljeva digitalizacije Evrope, kao i sama uloga sektora telekomunikacija u tome, u mnogome zavisi i od šireg makroekonomskog okruženja, koje iz dana u dan postaje sve složenije. Stoga se, radi njegovog boljeg razumevanja, u ovom poglavlju predstavljaju aktuelni makroekonomski trendovi na globalnom nivou.

Svet se trenutno nalazi u nestabilnom periodu, kome doprinose ekonomske, geopolitičke i ekološke promene. Inflacija širom sveta dostiže nivoe koji nisu viđeni decenijama, što dovodi do sve veće restriktivnosti monetarne politike i smanjenja kupovne moći domaćinstava, što se događa baš u trenucima kada fiskalna podrška usled pandemije kovida-19 opada. Mnoge zemlje sa nižim dohocima se suočavaju sa velikim fiskalnim poteškoćama. U isto vreme, rat u Ukrajini i tenzije u više različitih regiona sveta povećavaju mogućnost značajnijih globalnih poremećaja. Iako je uticaj pandemije ublažen u većini zemalja sveta, njeni dugotrajni talasi nastavljaju donekle da ometaju ekonomsku aktivnost, naročito u Kini. Uz to, intenzivni toplotni talasi i suše širom Evrope i centralne i južne Azije, kao posledica klimatskih promena, dodatno su doprinele nestabilnosti i pogoršanju poljoprivredne produktivnosti. [5]

Nedavni podaci Međunarodnog monetarnog fonda potvrđuju da se globalna ekonomija nalazi u fazi opšteg usporavanja. U drugom kvartalu 2022. godine globalni bruto domaći proizvod se smanjio za 0,1% u odnosu na isti kvartal prethodne godine, uz negativnu stopu rasta u Kini, Rusiji i SAD, kao i uz naglo usporavanje u zemljama istočne Evrope koje su najdirektnije pogođene ratom u Ukrajini. U isto vreme, neke velike privrede se nisu smanjile, zabeležen je rast u evrozoni u drugom kvartalu 2022. godine usled rasta u južnim zemljama zavisnim od turizma. Indikatori koji uvažavaju nove proizvodne porudžbine u prerađivačkoj industriji, očekivanja privrednika i raspoloženja potrošača ukazuju na usporavanje među glavnim privredama evrozone. [5]

Važan faktor usporavanja u prvoj polovini 2022. godine odnosi se na restriktivnu monetarnu politiku koja nastoji da ublaži visoku inflaciju. Više referentne kamatne stope znače veće troškove finansiranja investicija. Takođe, više referentne kamatne stope utiču na rast cena hipotekarnih i potrošačkih kredita, što utiče na pad tražnje. Pooštavanje monetarne politike je uglavnom praćeno smanjenjem fiskalne podrške građanima i privredi. Iako su nominalne kamatne stope trenutno na višim nivoima u odnosu na period pre pandemije, imajući u vidu visoku inflaciju, realne kamatne stope su još uvek na nižem nivou. [5]

Značajnije pooštavanje finansijskih uslova u SAD u odnosu na evrozonu uslovalo je snažnu realnu apresijaciju američkog dolara, čije posledice osećaju zemlje koje su zadužene u ovoj valuti.

Osim uticaja monetarne politike, kineska epidemija kovida-19 i ograničenja mobilnosti kao deo strategije nultog kovida, kao i rat u Ukrajini uticali su na smanjenje

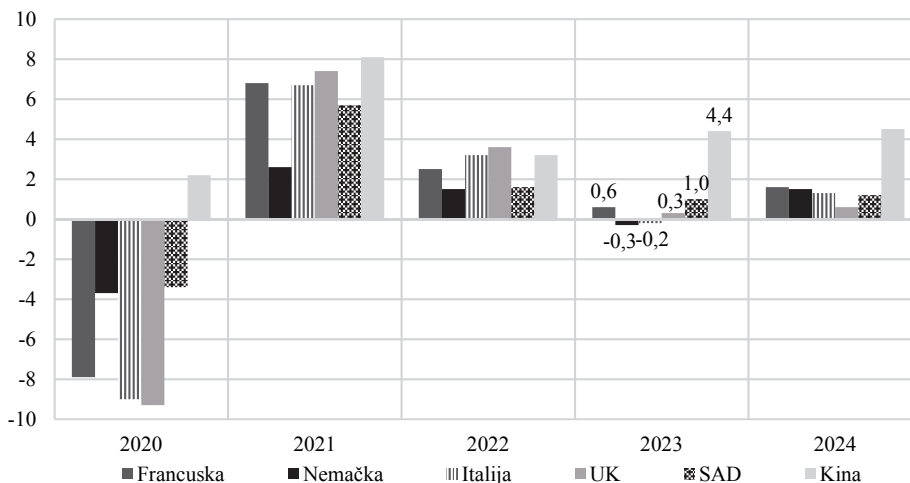
ekonomske aktivnosti. Kinesko nametanje značajnih ograničenja je zagušilo već napete lance snabdevanja, a rat u Ukrajini i sve veći rezovi u isporuci ruskog gasa Evropi intenzivirali su postojeće probleme na globalnim tržištima roba. Kontinuirana neizvesnost u pogledu snabdevanja energijom doprinela je sporijoj realnoj ekonomskoj aktivnosti u Evropi, posebno u prerađivačkoj industriji. Cene hrane, glavni pokretač svetske inflacije, poslednjih meseci donose retke dobre vesti, imajući u vidu crnomorske ugovore o žitu koji daju nadu da će se povećati ponuda hrane na svetskom tržištu, kao i pad cena fjučersa. [5]

Imajući sve navedeno u vidu, tri su ključna faktora koja oblikuju ekonomsku perspektivu u narednom periodu:

- inflacija i odgovor monetarne politike na nju,
- uticaj rata u Ukrajini na energetska krizu, smanjenje ponude hrane i drugih proizvoda,
- uticaj zatvaranja (pre svega u Kini) vezanih za pandemiju na poremećaje u lancima snabdevanja.

Prema procenama Međunarodnog monetarnog fonda, globalni rast će u 2022. godini biti značajno ispod nivoa od pre pandemije, a pogotovo ispod dostignutih učinaka tokom 2021. godine (oporavak od prvog udara pandemije). U 2022. godini se predviđa da će svetska privreda rasti po stopi od 3,2%, pri čemu se na razvijene privrede odnosi rast po stopi od 2,4%, a na zemlje u razvoju po stopi od 3,7%. Za globalni rast u 2023. godini očekuje se da će biti još sporiji i iznositi 2,7%, od čega se na razvijene privrede odnosi očekivana stopa rasta od 1,1%, a na zemlje u razvoju 3,7%. [5]

Ono što posebno zabrinjava, to su očekivana recesija u najznačajnijim privredama evrozone, kao što su Nemačka i Italija. Za njih se u 2023. godini očekuje smanjenje realnog bruto domaćeg proizvoda za 0,3%, odnosno za 0,2%. Za Francusku se očekuje veoma niska stopa rasta od 0,6%, a za Ujedinjeno Kraljevstvo svega 0,3%, što je značajno manje u odnosu na Kinu, ali i SAD. Iako Kina i dalje raste dosta brže od ostalih razvijenih zemalja, treba napomeniti da je očekivana stopa rasta od 3,2% u 2022. godini, nerachunajući onu iz 2020. godine, najniža još od 1970ih godina. Na Slici 3. prikazane su realne godišnje stope rasta najznačajnijih privreda, prema procenama Međunarodnog monetarnog fonda.



Slika 3. Realna godišnja stopa privrednog rasta u periodu 2020-2024, u % [6]

Kada je reč o Srbiji, poslednjih meseci je prisutan trend opadanja industrijske proizvodnje. Spoljnotrgovinski deficit raste, što je rezultat bržeg rasta vrednosti uvoza od rasta vrednosti izvoza. Pri tome, značajnije rastu uvozne cene u odnosu na količinski uvoz, pre svega cene sirove nafte i gasa, hemijskih proizvoda, osnovnih metala i električne energije. Inflacija se povećava iz meseca u mesec i u avgustu je dostigla 13,2% na međugodišnjem nivou. Inflacija će verovatno, kako u Evropi, tako i u Srbiji, ostati visoka na duži rok, uprkos činjenici što inflaciju za sada ne prati i brzi rast zarada, kao bitan faktor njenog trajnijeg održavanja. [7]

#### **4. Efekti negativnih makroekonomskih kretanja na sektor telekomunikacija**

Uticao negativnih makroekonomskih kretanja na sektor telekomunikacija obuhvata sledeće efekte:

- na tražnju za telekomunikacionim uslugama,
- na prihode telekomunikacionih kompanija,
- na obim i dinamiku ulaganja u telekomunikacionu infrastrukturu,
- na zaposlenost u sektoru,
- na lance snabdevanja kompanija,
- na troškove energije i dr.

Kada je reč o uticaju na tražnju telekomunikacionih usluga, tokom 2021. godine rast i oporavak privrede uticali su i na rast potrošnje telekomunikacionih usluga na globalnom od 1,6% u odnosu na 2020. godinu. Nakon toga, prognoze IDC-a su ukazivale na još intenzivniji očekivani rast u 2022. godini, međutim, nove okolnosti (inflacija, rast referentnih kamatnih stopa, te očekivana recesija) su smanjile prognoze rasta tražnje za 2022. godinu na 1,4%. [8]

Rat Ukrajini će značajno uticati na tražnju u ovoj zemlji, imajući u vidu i teret uništenja mrežne infrastrukture i odlazak mnogih građana. U Rusiji se takođe očekuje smanjenje tražnje usled pritiska recesije izazvane međunarodnim sankcijama. Sa druge strane, u susednim zemljama poput Poljske, Slovačke i Rumunije, moguće je očekivati rast tražnje po osnovu migracija stanovništva. [8]

U kontekstu tražnje za telekomunikacionim uslugama, važno je naglasiti da prethodni talasi kovida-19 nisu drastično uticali na globalno tržište telekomunikacionih usluga i da je ovaj sektor bio stabilan tokom pandemije. Telekomunikacije su delovale kao okosnica ekonomije na globalnom nivou, omogućavajući ljudima da komuniciraju, zabavljaju se i rade svoj posao dok su zatvoreni u svojim domovima. U tom smislu, očekuje se da će sektor telekomunikacija imati stabilnu tražnju i tokom očekivane recesije u narednom periodu. [9]

Ipak, globalna inflacija značajno utiče na troškove života pojedinaca, kao i na troškove privrede, što može uticati na kupce telekomunikacionih usluga i njihovu sposobnost da plate za navedene usluge. Ovo se posebno odnosi na tržišta zemalja u razvoju, gde je struktura potrošnje domaćinstava takva da hrana i odnosne životne namirnice učestvuju u potrošačkoj korpu sa više od 50%. [10]

Međutim, provajderi širokopojsnog pristupa nisu toliko zabrinuti zbog očekivane recesije i njenih potencijalnih efekata na tražnju. Iako bi recesija mogla usporiti korake ka višim nivoima usluga, verovatno neće usporiti ukupnu tražnju. Prema istraživanju kompanije *Recon Analytics*, među građanima sa visokim dohotkom (više od

150.000 dolara na godišnjem nivou) internet je rangiran na peto mesto prema važnosti osnovnih računa (plaćanja), a usluge mobilne telefonije na sedmo mesto. Ono što je posebno značajno, među građanima sa niskim dohotkom (do 25.000 dolara godišnje) internet je rangiran na treće, a usluge mobilne telefonije na četvrto mesto. Prema važnosti računa, ispred su samo plaćanje stanarine i energije, a manje važni su izdaci za kreditne kartice, zdravstveno osiguranje, penziono osiguranje, automobil i dr. Ovi podaci jasno pokazuju da građani SAD-a, a posebno oni za koje postoji najveća verovatnoća da će se suočiti sa ekonomskim problemima, daju veoma visok prioritet pristupu internetu i korišćenju mobilnog telefona. [11]

U tom smislu posebno je značajan *ACP* program pristupačne konekcije (*Affordable Connectivity Program*) koji nudi subvencije od 30 dolara mesečno za fiksni ili mobilni širokopojasni pristup kako bi oni sa najnižim zaradama ostali konektovani.[11] Ovakvi programi i Evropi bi mogli da budu rešenje za prevazilaženje potencijalne krize sa tražnjom usled recesije.

Može se očekivati da će pod uticajem inflacije kompanije povećavati cene. Efekti će se u početku najviše osetiti na tržištima sa većim udelom pripejd korisnika. Pri tome, uticaj inflacije može biti produžen imajući u vidu da veliki broj korisnika ima višegodišnje ugovore koji garantuju stabilnost cena tokom trajanja ugovora.[8] U rast poslovnih prihoda i uopšte u pozitivne izgledе poslovanja svojih kompanija veruje 85% izvršnih direktora 1325 kompanija sa prihodima većim od pola milijarde godišnje među kojima su i najznačajnije globalne telekomunikacione kompanije. [12]

Rastuće kamatne stope će uticati na razvoj infrastrukture, imajući u vidu da će kompanije biti primorane da smanje investicije, jer će isplativost zahtevati značajno više stope prinosa, što će usporiti razvoj infrastrukture u kratkom roku. Očekuje se da će ulaganja u *cloud* infrastrukturu ostati značajna, s obzirom da će to omogućiti i veću otpornost i kontinuitet poslovanja u slučaju recesije. Očekuje se i da se tražnja za *AI* platformama i aplikacijama koje su deo digitalne transformacije kompanija neće smanjivati. [13] Može se zaključiti i da neizvesnost podstiče digitalnu transformaciju privrede, imajući u vidu da više od četvrtine izvršnih direktora najznačajnijih kompanija smatra da je unapređenje digitalizacije ključno za postizanje ciljeva rasta u narednim godinama, kao i da tri četvrtine izvršnih direktora smatra da su digitalna i strateška ulaganja neraskidivo povezana. [12]

S obzirom na rastuće kamatne stope i očekivano usporavanje investicione dinamike, od posebne važnosti za telekomunikacione kompanije je da pronađu potencijalne partnere iz privrede koji bi pomogli u kreiranju proizvoda i usluga koji bi se distribuirali 5G mrežom i koji bi bili zainteresovani za zajednička ulaganja u infrastrukturu. [14]

Aktuelna makroekonomska kretanja imaju efekat i na zaposlenost u sektoru, imajući u vidu da je 39% najvećih kompanija već primenilo mere zamrzavanja zapošljavanja, a da 46% razmišlja od smanjenju zaposlenosti u periodu od narednih šest meseci. Kada je duži rok u pitanju, svega 9% očekuje dalje smanjenje broja zaposlenih u periodu od tri naredne godine. [12] I u okviru segmenta širokopojasnog pristupa, koji je prilično otporan na recesiju imajući u vidu karakteristike tražnje o kojima je bilo reči u ovom poglavlju, javlja se racionalizacija zaposlenih imajući u vidu rast troškova u vezi sa opremom, što se samo delom prenelo na prodajne cene. [15]

U segmentu prodaje opreme kompanije su teško pogođene problemima u lancima snabdevanja zbog kojih je teško da se dođe do čipova i drugih komponenti potrebnih za

proizvode. Prihod kompanija koje proizvode opremu nije funkcija ni tražnje ni proizvodnih kapaciteta, već pre svega funkcija dostupnosti komponenti. Ipak, optimistične prognoze ukazuju da bi nova recesija mogla da uspori kupovinu robe široke potrošnje koja koristi iste komponente koji su potrebni i za telekomunikacionu opremu, što bi povećalo dostupnost ovih komponenti sektoru telekomunikacija. [9]

Imajući u vidu dešavanja u sektoru energetike, a posebno kretanja cena na tržištu električne energije, očekuje se dalji rast troškova energije za kompanije u sektoru telekomunikacija u narednom kratkoročnom periodu. Troškovi materijala i energije učestvuju sa oko 8% u ukupnim troškovima sektora telekomunikacija (svih kompanija registrovanih za delatnost 61 – telekomunikacije, u okviru Klasifikacije delatnosti) [16], te rast ovih troškova može uticati na rezultate poslovanja sektora.

## 5. Zaključak

Telekomunikacione kompanije imaju značajnu ulogu u ostvarenju ciljeva digitalizacije Evrope do 2030. godine. Najznačajnija su ulaganja u 5G infrastrukturu koja će obezbediti održivi rast privrede i najmanje dve trećine ukupnih prihoda kompanija u sektoru telekomunikacija. Međutim, zaostajanje u tržišnoj vrednosti u odnosu na kompanije u SAD, kao i određena regulatorna ograničenja koja ne stavljaju investicije u infrastrukturu u prvi plan, već su uticale na zaostajanje Evrope u odnosu na SAD, Kinu, Japan i Južnu Koreju. Negativni makroekonomski trendovi, koji obuhvataju rastuću inflaciju, rast kamatnih stopa, energetska krizu i rast cena energije, prekide u lancima snabdevanja, značajno usporavanje ekonomske aktivnosti na globalnom nivou i moguću novu globalnu recesiju, mogu još više usporiti ulaganja u neophodnu infrastrukturu. Osim toga, identifikovani su i efekti na tražnju, poslovne prihode kompanija, zaposlenost u sektoru i dr.

## Literatura

- [1] European Commission, *Europe's Digital Decade: Digital Targets for 2030*, 2021, Available at: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/europes-digital-decade-digital-targets-2030\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/europes-digital-decade-digital-targets-2030_en).
- [2] ETNO, Research by Boston Consulting Group, *Connectivity and Beyond – How Telcos Can Accelerate a Digital Future for All*, 2021, Available at: <https://www.etno.eu/downloads/reports/connectivity%20and%20beyond.pdf>.
- [3] Miljković, M., Petrović-Vujačić, J., Uticaj 5G na globalnu ekonomiju, *XXXVIII Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2020*.
- [4] Miljković, M., Petrović-Vujačić, J., Ekonomski efekti investicija u 5G tehnologije, *Tematski zbornik radova – Ekonomska politika i razvoj*, Ekonomski fakultet u Beogradu, Katedra za ekonomsku politiku i razvoj, 2020.
- [5] International Monetary Fund, *World Economic Outlook – Countering the Cost-of-Living Crisis*, oktobar 2022.
- [6] International Monetary Fund, *World Economic Outlook Database October 2022*, Available at: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2022/October>.

- [7] Ekonomski institut i Privredna komora Srbije, *Makroekonomske analize i trendovi*, broj 333, oktobar 2022.
- [8] FutureCIO, *Economic Slowdown Looms Largely over Telco*, 2022, Available at: <https://futurecio.tech/economic-slowdown-looms-large-over-telco>.
- [9] Fierce Telecom, *CIENA CEO Says a Recession Might Actually Ease Supply Chain Crunch*, 2022, Available at: <https://www.fiercetelecom.com/telecom/ciena-ceo-says-recession-might-actually-ease-supply-chain-crunch>.
- [10] Neural Technologies, *The Global Challenge of Inflation and Bad Debt*, 2022, Available at: <https://www.neuralt.com/the-global-challenge-of-inflation-and-bad-debt>.
- [11] Fierce Telecom, *Is Broadband a Recession-Proof Product?*, 2022, Available at: <https://www.fiercetelecom.com/telecom/broadband-recession-proof-product>.
- [12] KPMG, *KPMG 2022 CEO Outlook – Growth Strategies in Turbulent Times*, oktobar 2022.
- [13] IDC, *The Economic Recession Is Not Impacting All European ICT Markets Equally*, 2022, Available at: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prEUR249515822>.
- [14] GSMA, *Realising 5G' Full Potential – Setting Policies for Success*, 2020.
- [15] Fierce Telecom, *Lumen Doesn't Think a Recession will impact fiber business*, 2022. Available at: <https://www.fiercetelecom.com/telecom/lumen-doesnt-think-recession-will-impact-fiber-business>.
- [16] APR, *Baza podataka o privrednim društvima*, Dostupno na: <https://pretraga2.apr.gov.rs/unifiedentitysearch>.

**Abstract:** *Since the beginning of the covid-19 pandemic, we have been facing a worsening macroeconomic situation at the global level. The war in Ukraine had an additional negative impact on the world economy. Monetary expansion during the previous decade, fiscal expansion in response to the pandemic, significant problems on the supply side of goods and services, supply chain disruptions, and the energy crisis have led to rising inflation in the world. Central banks around the world are now raising interest rates, which has not been seen in the past fifty years. According to World Bank estimates, such unfavorable trends will continue in 2023. Global economic growth is further slowing, with more and more individual countries being hit by recession. The topic of this paper is the consequences of such macroeconomic trends on companies operating in the telecommunications sector. These include rising energy costs, upward pressure on labor costs, lower rates of return, rising selling prices - an attempt to shift inflation to the buyer's side, rising indebtedness, reduced investment - slowing investment in 5G and more.*

**Keywords:** *inflation, recession, global economy, telecommunication companies*

## **EFFECTS OF DETERIORATION OF GLOBAL MACROECONOMIC CONDITIONS ON THE TELECOMMUNICATIONS SECTOR**

Marko Miljković, Jelica Petrović-Vujačić

## **LOGISTICS FIELD AUDIT – A NEW APPROACH FOR IMPROVING LOGISTICS PROCESSES**

Milan Andrejić

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering  
m.andrejjic@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** *The importance of efficient logistics processes in literature and practice has been recognized. In this paper, a new methodological approach for logistics process improvement, Logistics Field Audit (LFA) is proposed. The approach comprises seven interconnected steps: identification of needs and goals for LFA; priority definition of different LFA aspects for different subsystem; processes mapping, audit and questionnaire preparation; implementation in each subsystem according to priorities; analysis and evaluation; the definition of preventive and corrective measures, continuous improvement and periodical audit. Basic aspects of LFA such as the operational, safety, environmental, and service quality aspect are identified. The approach is applicable in both logistic and non-logistic systems with special emphasis on logistics subsystems such as procurement, distribution, transport, warehouse, etc. The developed methodology provides the basis for future theoretical research and practical implementation.*

**Key words:** *logistics processes, audit, improving, quality, safety, LFA*

### **1. Introduction**

The importance of logistics for all industrial sectors has long been recognized. The events in the last few years further highlight the importance of logistics. There are many challenges and problems in logistics. In order to operate successfully, companies must ensure the efficient operating of logistics processes ([1] i [2]). In that manner, companies must monitor and improve all aspects of logistics processes in both the logistics and non-logistics sectors. In practice, numerous standards, approaches, methods and tools are used to solve the mentioned problem.

However, a partial solution is not enough. In this way, conflicting goals that exist in different parts of the company cannot be resolved. In order to simultaneously improve all logistics processes, it is necessary to carry out a complete check in all aspects ([2], [3] and [4]). In this paper, a new methodological approach called Logistics Field Audit (LFA) was developed. The aim is to define all aspects of LFA in different logistics systems and subsystems. The paper makes a great basis for theory and practice.

LFA should be defined as a control and diagnostic tool for solving different problems in certain fields of logistics. There is no precisely defined way in which LFA is



applied in companies, but it is a process that is different for each company [5]. This paper fills the mentioned gap in theory and practice. A logistics audit is important because it positions and determines the exact place of logistics in the company's structure, as well as the position of the company in relation to the global and domestic markets.

Through the implementation of LFA, first of all, a complete picture of the observed processes in companies is obtained, as well as a plan for the further development of the company, together with a plan for how to improve the services, as well as all the costs associated with that service. Familiarity with the process within the company for which the audit is being done plays an important role when implementing a logistics audit. LFA allows measuring the efficiency of certain systems within the company. LFA also gives the opportunity to improve systems where a problem is noticed, as well as evaluate those systems and finally monitor system improvements.

The paper is organized as follows. The next section defines the goals and principles of LFA, as well as, steps in the implementation process. The third section defines different aspects of LFA, while section four describes LFA in logistics subsystems. Example of implementation is given in section five. The last section deals with concluding remarks and future research directions.

## **2. Definition and implementation process**

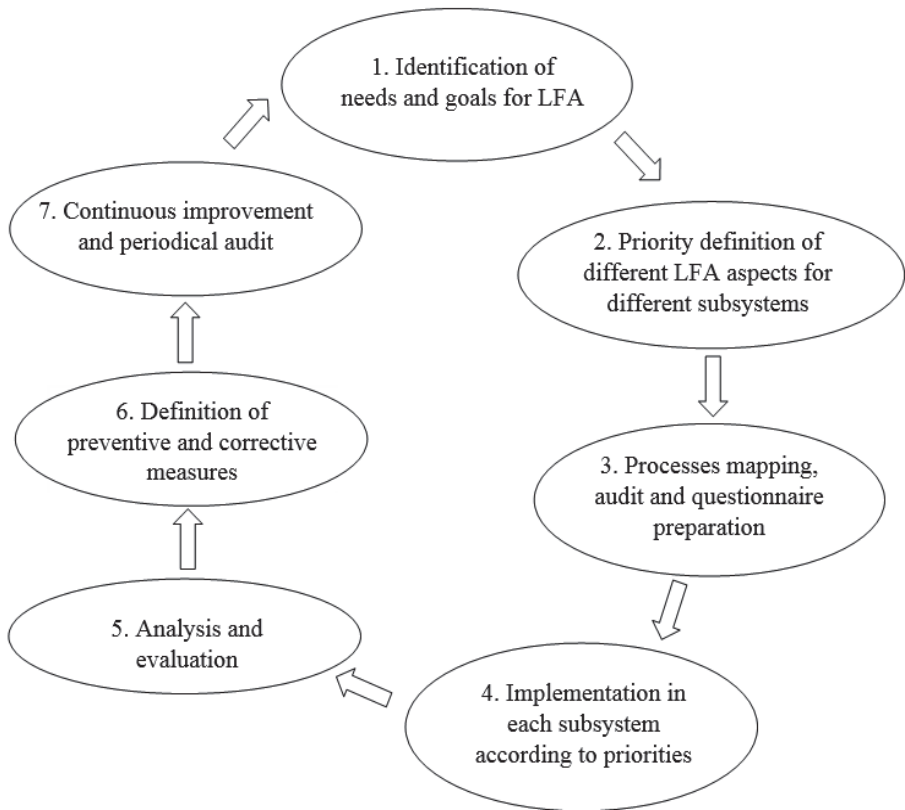
LFA represents a tool for improving logistics processes. There are different goals of logistics audit. The main goal of the logistics audit is to describe the current state of the system and define possible ways and directions in order to solve the problem or reduce it and improve the quality of the system's work. The results of the logistics audit are a description of the current state of the system, identification of problems, the proposal of measures for problems elimination, and setting priorities for reaching the desired state [4]. In order to successfully conduct an audit in a company, the auditor must observe the following principles ([5] and [6]):

- the objectivity of processing logistics audit - objectivity reflects objectively facts that are actually at the time of implementation audit,
- confidentiality of commercial information,
- commercial independence of the auditor - auditor isn't bound by a third person who may have the benefit of any audit results,
- professional independence of the auditor - auditor can't be an employee of the evaluated company,
- repeatability - when the audit has been repeated the comparability of results must be secured,
- control of results - the final report of the audit must be checked in terms of content and formal side at least with one other external auditor.

In this paper new methodological approach for the implementation of LFA is developed. The most important steps are below (Figure 1):

1. **Step 1:** Identification of needs and goals for LFA;
2. **Step 2:** Priority definition of different LFA aspects for different subsystems;
3. **Step 3:** Processes mapping, audit and questionnaire preparation;
4. **Step 4:** Implementation in each subsystem according to priorities;

5. **Step 5:** Analysis and evaluation;
6. **Step 6:** Definition of preventive and corrective measures;
7. **Step 7:** Continuous improvement and periodical audit.



*Figure 1. LFA implementation process – new approach*

The first step is the identification of the needs and goals of LFA in which the company must recognize the positive effects of process improvement. In the second step, the company needs to identify the priority of different LFA aspects in all logistics subsystems. This step can vary greatly from company to company. The next step is process mapping, as well as audit and questionnaire preparation. This largely depends on the type and size of the company. For process mapping, a large number of approaches can be used. The fourth, most important step is the audit process. Before starting, it is necessary for the auditor to understand all processes within the company, and also to review the current state of all processes. Comparing current and desired (future) states is very important. Analysis and evaluation of all information from the previous step is also very important phase. Critical and problem points must be defined in this phase. After that, the auditor can define preventive and corrective measures. Continuous improvement and periodical audit are the last steps in LFA.

### **3. Aspects of LFA**

As mentioned before implementation process of LFA largely depends on the logistics company. However, regardless of the size and type of company, four basic aspects were identified:

- operational,
- safety,
- environmental and
- service quality aspect.

#### ***Operational aspect***

One of the basic aspects is the company's operation which includes essential processes within a company, operating procedures, technologies, etc. For example, outsourcing transport processes is crucial for some companies. First of all, it means the selection of transport provider, as well as, the choice of type and form of procurement, etc. In the warehouse sector special attention is paid to the place and role of the warehouse in the system, the choice of storage technology, ordering technology, the type of internal transport, order picking technologies, value added activities, and all other important activities. Every company needs the best possible cooperation between procurement, transport, production, warehouse, distribution and other sectors [1].

#### ***Safety aspect***

First of all, the safety aspect of the logistics audit concern is the safety of all employees and then all visitors to the company. Safety is also reflected in vehicle speed control within the company and warehouse, protection of the working atmosphere, protection from noise, fire and explosions protection and security of racks and storage equipment, working with hazardous materials. Special procedures must be defined for visitors, as well as for securing entrances and exits to facilities [6].

#### ***Environmental aspect***

The importance of this aspect has been growing in recent years. Reverse logistics, green logistics, circular economy, and different international standards (for example ISO 14001) confirm the significance of the environmental aspect. The ecological aspects of LFA concern the protection of the environment: pollution, waste, energy consumption, water consumption, and other related problems [2].

#### ***Service quality aspect***

Logistics service quality is crucial for market success. In this sense, it is most important to pay attention to service quality level, customer satisfaction, and customer loyalty. Following issues are related to service quality: percentage of damaged goods at the exit, percentage of lost shipments, percentage of goods returned to the warehouse, speed of loading and unloading operations, number of additional activities carried out by

the warehouse, accuracy, and reliability of delivery, percentage of complaints and claims, number of wrongly delivered shipments in a certain period of time, number of wrongly routed shipments, number of wrongly delivered shipments, number of late deliveries, percentage of damaged shipments [1].

#### **4. LFA in logistics subsystems**

This section connects LFA aspects and basic logistics subsystems, namely: procurement, transport, warehouse, and distribution. Each of the basic logistics subsystems will be described in more details and connected to previously described logistics audits, together with the main items for the checklist. The checklist represents a range of different questions that the auditor would use when meeting the system. Of course, there is no universal checklist, but it is directly adapted to the observed system in the company.

##### ***4.1 Procurement***

The basic task of procurement is to secure the right amount of material, at the right time, in the right condition, from the best supplier [7]. The task of procurement is to monitor the flow of materials from the procurement market to the end customer or user. From the *operational aspect* the most important items are: type of procurement (direct/indirect/JIT); procurement operating (independently/within other sector); evaluation criteria (time, price, flexibility, reliability, etc); professional staff (specialized/secondary job); form of procurement (centralized/decentralized/combined); cooperation with other sectors (sectors/level of cooperation). The safety aspect of the procurement subsystem includes workplace safety, security, and protection of employees, information and data safety. Work atmosphere is also important, together with a clean and tidy office where the employees work.

The *environmental aspect* is critical for the observed logistics subsystem. The most important parts are: choice of transport mode (road/rail/air/ship) and vehicle choice (capacity/energy consumption/speed). At first glance *service quality aspect* is not crucial for procurement. However, the quality of procurement is very important for other subsystems and customers. Among others, the most important are: delay in ordering; frequency and size of delivery; the quality of the purchased products; customer satisfaction with realized service; order processing failure ([8], [9] and [10]).

##### ***4.2 Transport***

Transport is one of the basic processes for companies from various industries. Transport is present in many systems as its own process, although many companies decide to outsource it. There are several items from the *operational aspect* that must be taken into account: fleet/vehicle; employees in transport; type of transport (LTL/FTL/other); number of demands/turnover; product (goods) type; weight/volume/number of pallets; additional requirements: temperature regime, dangerous goods, oversized transport; insurance; driver licenses, training, etc ([1] and [2]).

There are two significant groups of parameters from the *safety aspect* of transport systems. The first one relates to the goods, while the second relates to the vehicle and driver. There are many reasons that can cause problems. It is very important to consider: goods lost; security certificates (TAPA, ISO, etc); technical inspection of the vehicle; medical certificates for drivers; the number of accidents on a monthly basis ([8], [9] and [10]). The impact of transport on the environment has long been clearly recognized. The *environmental aspect* of LFA for transport, among others, should include the number of km (traveled) in the observed period; engine type; fuel consumption; emission of greenhouse gases; the age of the fleet; empty drive; time and space utilization; tire, motor oil, and other waste disposals; driver's overtime. *Service quality aspect* in transport is critical for customers. Numerous parameters should be analyzed: complaints; delivery delays; changes in the properties of the goods during transport; theft.

### **4.3 Warehouse**

The role of warehouses in supply chains is crucial, regardless of the type. LFA is the most complex for warehouses. The number of items for each aspect confirms that. From the *operational aspect*, the most important are: a number of demands/turnover; warehouse type (distribution, production, etc); goods (final product, raw material, semi-final); the processing of goods in the warehouse (order picking/sorting/labeling packaging); capacity (m2, m3, pallets); forklifts; employees in the warehouse; warehouse overtime; allocation strategy; inventory strategy; location of order picking zones. As mentioned *safety aspect* is very complex. Some of the most important items are separate traffic lanes for pedestrians and forklifts; vehicle speed control; floor condition; cleanliness and tidiness; lighting inside the warehouse; control of security systems; the existence of fire roads; the existence of first aid kits; dangerous goods; temperature sensitive zone ([1] and [6]).

Energy consumption and waste generation are very present in the warehouses. In that manner *environmental aspects* of LFA should include: waste disposal; zone for return of goods; use of LED bulbs; air quality monitoring; noise level monitoring; vibration level monitoring; temperature monitoring; electricity consumption; other energy costs (water, gas); packaging resources consumption. The warehouse *service quality aspect* is recognized in the literature and practice. It is necessary to pay attention to the number of complaints; loading/unloading time; failures in order picking (typing failures; failures in amount (shortage, excess, etc.), omission failures, and condition failures (damage, lack of packaging, labeling)); write off expired goods.

### **4.4 Distribution**

Today, distribution is present in many systems, not only logistics. For customers, the distribution represents a picture of a complete logistics service [3]. Problems in distribution affect customer complaints. The *operational aspect* of LFA includes fleet/vehicle; the number of deliveries (total/per vehicle/ per driver); routing strategies; the appearance of the goods; gross weight/number of parcels; capacity of the vehicle. There are some similarities with the transport subsystem. The *safety aspect* in the

distribution has several items: GPS control; speed control; incentive and discipline measures; accidents.

The impact of distribution on the *environment* is very strong. In recent years, more and more attention has been paid to the environmental aspect: vehicle characteristics (engine, technical maintenance, etc); community restrictions; legal restrictions; fuel consumption; vehicle utilization ([8], [9] and [10]). As in transport, the crucial aspect for the end user is quality *service quality aspect*. For distribution very important are: failures; theft; complaints; delay; driver (overtime hours, training, licenses), etc.

## **5. Implementation of safety aspects of LFA in warehouse**

As mentioned before the implementation of a complete logistics audit is a complex process. In this part of the paper, the LFA of one segment is presented. Namely, the safety aspect of the warehouse system is analyzed, with a special emphasis on the risks of injuries of workers in the warehouse. In the observed logistics system, the need for the application of LFA was identified. The reason for the application is the more frequent injuries of workers in the warehouse in the last six months. It was found that the number of injuries increased and that an increasing number of workers were on leave. With the aim of successful implementation, a logistics audit was prepared. All processes are mapped. Since the company has implemented the ISO 9001 standard, some of the procedures already existed. A questionnaire with appropriate checklists was prepared. After that, the LFA implementation was carried out in the warehouse. Through analysis and evaluation, critical points and risks that caused problems were identified. Corresponding corrective and preventive measures are defined. In order to maintain the system, periodic audit (internal and external) is advised. The most important results are presented below.

The following table shows the most important risks, work activities and severity of consequences, exposure, and probability, applied security measures, risk assessment, and reducing/elimination measures (Table 1). Since the labor is exposed to various hazards (physical, chemical, and biological) when performing tasks in the warehouse, it is necessary to use certain Personal Protective Equipment (PPE). The greatest dangers are related to the legs, namely impact, slipping, scratches, etc. It was concluded that chemical and biological risks do not require the use of PPE for personal protection at work.

If an employee is injured in the company, a report on work injury and occupational disease that occurred at the workplace must be issued. Record of injuries is also one of the very important stages. The records should contain the name and surname of the injured person, the time of the injury (date, day of the week, and hour), the workplace where it occurred, the type of injury (individual or collective), the severity of the injury (light, serious, fatal injury at work, i.e. an injury due to which an employee is unable to work for more than three consecutive working days), the source of the injury at work (the material cause that is represented by an international code) as well as what is the cause that led to the injury (the manner of injury that is also represented by an international code).

*Table 1: Safety aspect of LFA for warehouse labor*

<b>Risks</b>	<b>Work activities and severity of consequences</b>	<b>Exposure and probability</b>	<b>Applied security measures</b>	<b>Risk assessment</b>	<b>Reducing/elimination measures</b>
<b>Mechanical hazards arising from the use of work equipment</b>					
Free movement of parts or materials	Falling of goods from pallets during packing/unpacking and storage of goods - possible injuries to parts of the body (minor consequences)	Daily exposure  Low probability	The employee is trained for safe work	Acceptable	Mandatory use of Personal Protective Equipment (PPE)
Internal transport and movement of work machines or vehicles, moving work equipment	Movement in warehouses, goods control, packaging, unpacking of goods - possible risk of being hit by a forklift (serious consequences)	Occasional exposure  Low probability	The employee is trained for safe work	Acceptable	Mark the paths (pedestrians/internal transport)
Hazardous work equipment that can produce explosions or fire	Fires and injuries can occur due to carelessness or failure to observe preventive measures (serious consequences)	Present exposure  Low probability	Sufficient number of extinguishers; Automatic fire alarm and extinguishing systems; Fire protection rules; Marked evacuation routes;	Acceptable	Act in accordance with prescribed technical instructions and regularly check whether laws and regulations are being followed
Other factors that may appear as mechanical sources	Injury in the form of cuts is possible by using a scalpel	Occasional exposure  Low probability	/	Insignificant	Apply the correct tool
<b>Hazards that appear in connection with the characteristics of the workplace</b>					
Hazardous surfaces that have sharp edges	When moving in warehouses, there is a possible risk of injury caused by hitting sharp edges, protruding parts of stored goods (very minor consequences)	Occasional exposure  Low probability	Secured movement	Insignificant	/
Wet or slippery surfaces	When moving on wet and slippery surfaces, it is possible to slip, fall and cause injuries (serious consequences)	Daily exposure  Negligible probability	Regular cleaning of floors in case of spillage of goods	Insignificant	In the case of wet floors, place a warning sign
<b>Hazards arising from the use of electricity</b>					

From direct contact with installations and equipment	During operation, if the insulation is mechanically damaged, electric shocks and injuries are possible (very serious consequences).	Occasional exposure  Negligible probability	Correctly and properly performed voltage and contact protection on electrical installations	Insignificant	Perform a daily visual inspection for mechanical damage
From indirect touch	Malfunction of the protective systems on the drive electric motors of the installed work equipment, which can lead to electric shock (very serious consequences)	Occasional exposure  Negligible probability	Control periodical inspections of electrical equipment	Insignificant	/

During the audit, it was established that the causes of the increased number of injuries are actually the result of changes at the operational level (operational aspects of LFA). Namely, due to the lack of workers and the increased number of demands, activities in the warehouse were also increased. There was a lot of overtime in the warehouse. Due to fatigue, and poor concentration, more frequent injuries occurred. The injuries were mostly minor, but there were also a few serious injuries. This further resulted in increased leave, and therefore an additional lack of labor. An additional problem identified in the given system is the replacement of jobs, for example, a recipient controller replaces the order picker and vice versa. All this led to the slowing down of the process and additional injuries. Measures to solve this problem are proposed.

## 6. Conclusion and future research directions

Based on the above, it can be concluded that the importance of a logistics audit is great. Regardless of the large number of standards that contribute to the improvement of processes, there are no systems that focus on the improvement of logistics processes in such an efficient and integrated way. Logistics audit is not a completely standardized procedure and it is different for each company. The LFA is directly influenced by the auditor and the management of the company. The degree of complexity of the company directly affects, first of all, the process of process mapping, and therefore the implementation of LFA. Previous example showed that it is necessary to monitor all aspects of LFA in all logistics subsystems. This is the only way to get a complete picture and identify all critical points. In order to achieve the best and most accurate result of the audit, it is necessary to approach it as objectively and rigorously as possible. It is very important to compare current and future states. LFA is a continuous process that must be repeated periodically. The first LFA cycle is actually the most demanding, while each subsequent cycle is simpler and faster.

LFA approach proposed in this paper does not exist in literature and practice. This also represents the greatest contribution of the paper. There are partial segments that are not systematized in this way and they are not implemented according to the methodology developed in this paper. In future research, it is necessary to conduct as many tests as possible on real systems in order to confirm the possibility of application. It



is also necessary to direct future research towards the implementation of specific methods in individual phases of LFA application (multi criteria decision making methods, managerial methods, statistical, simulation, etc).

## References

- [1] Andrejić, M., Bojović, N., Kilibarda, „Benchmarking distribution centres using Principal Component Analysis and Data Envelopment Analysis: a case study of Serbia“. *Expert Systems with applications*, Vol. (40), Issue (10), pp. 3926-3933, 2013.
- [2] Andrejić, M., Bojović, N., Kilibarda, M. „A framework for measuring transport efficiency in distribution centers“. *Transport Policy*, Vol. 45, Issue 1, pp 99-106, 2016.
- [3] Andrejić, M., Kilibarda, M., Popović, V. „Logistics failures in distribution process“. *Proceedings of the 2nd International Logistics conference*, pp. 247-253, 2015.
- [4] Andrejić, M., Kilibarda, M. „Failure management in distribution logistics applying FMEA approach“. *Proceedings of the 3rd International Logistics conference*, pp. 148-153, 2017.
- [5] Sekulová, J., Blinova, E. Nedeliaková, E., Majerčák, J. „Logistic audit of a company“, *Perner's Contacts*, Vol. 9, Issue 4, pp. 67-73, 2014.
- [6] Đurđević D., Andrejić M., Pavlov N. „Framework for improving warehouse safety“. *Proceedings of the 5th LOGIC Conference*. pp. 304 -314, 2022.
- [7] Agrebi, M., Abed, M. Mounir, B. „SADAUDIT for auditing procurement logistics information systems“, *Proceedings of International Conference on Advanced Logistics and Transport*, pp. 137-142, 2014.
- [8] International standard ISO 45001, Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization, Geneva, 2018.
- [9] International standard ISO 9001, Quality management systems - Requirements. International Organization for Standardization, Geneva, 2015.
- [10] International standard ISO 14001, Environmental management systems -Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization, Geneva, 2015.

**Abstract:** *Značaj efikasnih logističkih procesa prepoznat je u literaturi i praksi. U ovom radu je razvijen novi metodološki pristup za unapređenje logističkih procesa nazvan Logistics Field Audit (LFA). Pristup se sastoji od sedam povezanih koraka: identifikacija potreba i ciljeva LFA; definisanje prioriteta različitih aspekata za različite podsisteme; mapiranje procesa, priprema audita i kreiranje ček listi; implementacija u svakom podsistemu prema definisanim prioritetima; analiza i evaluacija; definisanje preventivnih i korektivnih mera; kontinualno unapređenje i periodično ponavljanje audita. Kao glavni aspekti LFA identifikovani su: operativni, bezbednosni, ekološki i aspekt kvaliteta. Pristup je primenljiv kako u logističkim tako i u drugim kompanijama čija osnovna delatnost nije logistika. Poseban akcenat je stavljen na podsisteme nabavke, distribucije, transporta i skladištenja. Razvijeni pristup pruža osnovu budućim teorijskim istraživanjima i praktičnoj primeni.*

**Keywords:** *logistika, audit, unapređenje, kvalitet, bezbednost, LFA*

## LOGISTIČKI AUDIT – NOVI PRISTUP ZA UNAPREĐENJE LOGISTIČKIH PROCESA

Milan Andrejić

## **AUTONOMNA VOZILA U LOGISTICI POSLEDNJE MILJE ZA POŠTANSKE I KURIRSKE SLUŽBE**

Svetlana Dabić-Miletić

Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, cecad@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Usled aktuelnih globalnih kriza, logistika poslednje milje izložena je velikim izazovima, uglavnom iz razloga što korisnici očekuju brzu i pouzdanu isporuku svoje porudžbine, bez obzira gde je kupe ili naruče. Logističke kompanije su prinuđene da razvijaju inovativna rešenja za isporuku robe kupcima kako bi zadovoljili njihove potrebe i zahteve. Najveći broj zahteva u okviru poslednje milje logističke kompanije preusmeravaju na poštanske i kurirske službe. Stoga su ove službe pod konstantnim pritiscima jer se povećava broj on line naručivanja kao i obim e-trgovine. Posledica toga su produženo vreme isporuke pošiljaka, greške u dostavi i nezadovoljstvo korisnika. Kako bi se efikasno odgovorilo na stohastične zahteve korisnika sve veća pažnja usmerena je na razvoj i primenu novih tehnologija baziranih na autonomiji kretanja za dostavu pošiljaka korisnicima. Ovaj rad ima za cilj da ukaže na prednosti autonomnih tehnologija za dostavu poštanskih pošiljaka, ali i određene izazove pri njihovoj implementaciji kao osnove za buduća istraživanja.*

**Ključne reči:** *autonomna vozila, logistika poslednje milje, poštanske pošiljke*

### **1. Uvod**

Urbanizacija, porast obima on-line naručivanja, intenziviranje e-trgovine predstavljaju neke od ključnih elemenata savremenog poslovanja koji vode ka povećanju složenosti funkcionisanja logističkih sistema. Savremeni uslovi poslovanja su sve stroži, tržište sve zahtevnije, zahtevi korisnika su promenljivi, odnosno stohastični i nestacionarni, što utiče na povećanje kompleksnosti funkcionisanja logističkih kompanija. Zbog toga su logistički sistemi sve više izloženi izazovima i problemima, odnosno rizicima, pa je neophodno primeniti savremena tehnološka rešenja Industrije 4.0, kako bi se povećala otpornost u opsluzi korisnika na svim nivoima.

Rizicima, odnosno izazovima posebno je izložena opsluga korisnika u urbanim gradskim sredinama. Logistika poslednje milje (LPM) predstavlja najosetljiviji deo svakog lanca snabdevanja (LS) jer korisnici u gradskim sredinama imaju visoka očekivanja vezana za realizaciju svojih zahteva u što kraćem roku, po što nižim troškovima, bez zastoja i grešaka [1]. Kako se LPM najvećim delom realizuje sredstvima drumskog transporta, jasno je da dostava robe do korisnika ima najveći uticaj na gužve u

saobraćaju, zastoje u transportu, opterećenje gradskih saobraćajnica i visok nivo zagađenja okruženja [1, 2]. Zbog povećane gužve u saobraćaju, ograničenja parking prostora i neophodnosti usaglašavanja i poštovanja sve oštrijih ekoloških propisa, LPM naročito u gusto naseljenim urbanim područjima suočava se sa ogromnim poteškoćama. Kao rezultat ovih izazova, u poslednjoj deceniji pojavila su se nova rešenja za dostavu robe do korisnika koja u okviru LPM imaju zadatak da poboljšaju performanse kako u saobraćaju, tako i u opsluzi korisnika. Budući na poteškoće i izazove sa kojima se suočavaju logističke kompanije u dostavi robe do korisnika, značajan deo zahteva realizuju kurirske, odnosno poštanske službe. Tipično se za dostavu pošiljaka koriste teretna kombi vozila, električni skuteri i bicikli. Međutim, zbog naglašene opterećenosti vozača koji ne smoo da upravljaju ovim vozilima, već se ujedno i staraju o pošiljkama komunicirajući sa operaterima i korisnicima, primena autonomnih vidova transporta postaje urgentna. Prema prognozama, predviđa se da će se do 2025. godine za više od 80% isporuka u okviru LPM koristiti autonomna vozila [2, 3].

Uslod brojnih izazova u LS koji su naročito naglašeni u opsluzi korisnika, ovaj rad ima za cilj da obezbedi uvid u benefite primene autonomnih vozila za poštanske i kurirske službe u okvirima LPM. Imajući u vidu ograničenja definisana postojećim urbanističkim planovima, ali i voznim parkovima kojima raspolažu poštanske i kurirske službe (tip i broj vozila, nosivost, starosna struktura itd.), svrha rada je da obrazloži neke od preduslova za postepenu, a ipak što bržu i efikasniju implementaciju autonomnih vozila. Kako su dronovi već opšte prihvaćeno i sve češće korišćeno rešenje koje deo transporta preusmerava sa “zemlje u vazdušni prostor”, ovaj rad obezbeđuje osnovne smernice za primenu autonomnih vozila koja će se kretati “po zemlji”. S tim u vezi, posebna pažnja u radu biće usmerena na droide i autonomne kombije, odnosno vanove. Pošto je elektrifikacija transporta ključni odgovor na smanjenje zagađenja okruženja, jasno je da su ovde analizirana autonomna rešenja na električni pogon, što je još jedan od izazova tradicionalnim dizel ili kombinovano pogonjenim vidovima transporta u okviru LPM.

Rad je organizovan kroz nekoliko delova. Nakon uvoda, u drugom delu biće objašnjeni osnovni problemi i izazovi u okviru LPM kojima su posebno izložene poštanske i kurirske službe. Treći deo rada detaljnije diskutuje droide i robotske vanove kao aktuelne i sve češće alternative za realizaciju dostave pošiljaka u gradskom urbanom području. Sa osvrtom na benefite i nedostatke njihove primene, biće ukazano na neke od ključnih smernica za njihovu implementaciju. U zaključku će biti diskutovana ograničenja u primeni analiziranih autonomnih transportnih sistema u kontekstu smernica za buduća akademska istraživanja sa osvrtom na mogućnosti njihove praktične primene.

## **2. Problemi i izazovi u logistici poslednje milje**

Zbog različitih i stohastičnih potreba svih aktera u e-trgovini, LPM predstavlja oblast sa velikim brojem izazova, ali i problema na koje se mora istovremeno odgovarati [3]. LPM se oslanja na lokalne uslove i infrastruktura ograničenja (npr. područja za istovar, odnosno mesta gde korisnici preuzimaju robu/narudžbine), kao i na aktuelne trendove kao što su rastuća potražnja za uslugama, složenost i neefikasnost u realizaciji zahteva krajnjeg korisnika itd. To je najskuplji, ekološki nepovoljan i socijalno najranjiviji segment globalnih LS [3, 4]. Kako je LPM najneefikasniji deo distribucije dobara jer se najvećim delom realizuje u urbanim sredinama, povećanje njene održivosti

je relativno teško zbog dinamičke prirode urbane sredine i naglašenih ekonomskih aktivnosti [5]. Kao rezultat navedenog, za efikasniji UFL u pametnim i održivim gradovima neophodno je fokusirati se podjednako i istovremeno na ekonomske, ekološke i društvene aspekte distribucije robe koja se sve češće realizuje resursima kurirskih i poštanskih operatera.

Da bi se smanjili odnosno eliminisali propusti u isporuci pošiljaka u LPM, u poslednjih 20-tak godina predloženo je nekoliko tipova inovativnih rešenja. Najveći izazovi vezani su za zadovoljstvo korisnika, posebno iz razloga što se jedna lokacija bira nezavisno od vremena kada će pošiljka biti isporučena. Pored toga, isporuka na zajedničkim lokacijama kao što su ormarići i prodavnice takođe je okarakterisana problemima u vezi sa kapacitetom ili radnim vremenom u trenutku isporuke [6]. Još jedan od sve većih izazova sa kojima se suočavaju i korisnici i poštanski operateri, odnosno kurirske službe odnosi se na greške u komunikaciji prilikom preuzimanja i/ili dostave pošiljaka. Kako su ove greške uglavnom uzrokovane ljudskim faktorom koji je ionako već prisutan i značajan izazov u urbanim gradskim područjima, savremeni tehnološki pristupi baziraju se na korišćenju vozila bez vozača, odnosno na autonomiji transporta u okviru LPM. Gradska urbana područja su permanentno izložena negativnim ekološkim uticajima (emisija CO<sub>2</sub> i buka), gužvama na gradskim saobraćajnicama, kašnjenjima, pogrešnim i nerealizovanim isporukama, što zajedno doprinosi smanjenju efikasnosti logističkih aktivnosti u okviru LPM [7]. Stoga se inovativna rešenja u transportu tereta uglavnom baziraju na korišćenju električnih vozila sa određenim nivoom autonomije.

Među pomenutim rešenjima, dronovi su prepoznati kao ekološki povoljno i socijalno prihvatljivo sredstvo za LPM koje se već primenjuje u razvijenim i gusto naseljenim svetskim metropolama. Međutim, osnovni izazov u njihovoj potpunoj implementaciji u LPM vezan je za visoke investicione troškove i ograničen domet. Osim što su ekonomski izazovni, dronovi se mogu implementirati samo za određene regione u kojima njihovo korišćenje podržava odgovarajuća zakonska regulativa. Značajan ograničavajući faktor je nosivost koja je ograničena na svega nekoliko desetina kg, te je ovaj način manipulisanja i transporta poštanskih pošiljaka još uvek izazovno istraživačko područje iako se njihovom primenom značajan deo tokova premešta "sa zemlje u vazduh" [7, 8]. Imajući u vidu da kurirske službe i poštanski operateri sve češće preuzimaju aktivnosti LPM od velikih logističkih kompanija pritisnutih povećanom urbanizacijom i obimom on-line naručivanja, smatra se da će isporuka pošiljaka dronovima biti neizostavno rešenje za ekološku održivost pametnih gradskih sredina. Kako je zakonska regulativa mnogih urbanih područja još uvek u razvoju kada je u pitanju primena dronova, analiziraju se ekološki prihvatljive alternative koje korisnike opslužuju tako što koriste postojeću saobraćajnu infrastrukturu sa osvrtnom na njihov značajan uticaj na već opterećen gradski saobraćaj. Usled velikih zagađenja i nezgoda uzrokovanih ljudskim faktorom, akcenat je na autonomnim drumskim električnim vozilima, kao rešenjima koja će povećati efikasnost LPM.

### **3. Savremena autonomna rešenja kao odgovor na izazove u logistici poslednje milje**

Autonomnu vožnju je među prvima testirao Continental pre više od 50 godina [9]. Do sada je razvijeno pet nivoa autonomije vožnje. Za distribuciju dobara već se koriste 3 nivoa. Implementacija 4. nivoa očekuje do 2025, dok se puna autonomija,

odnosno 5. nivo predviđa za 2027 [10]. Kako se očekuje da će oko 40% komercijalnih vozila biti autonomno do 2050. godine, procenjeno je da će se nivoi 4 i 5 do 2030. godine u potpunosti koristiti za realizaciju aktivnosti u okvirima LPM [10, 11]. Visoka automatizacija (nivo 4) podrazumeva opslugu korisnika u kojoj vozač nema ulogu u definisanoj ruti, već rutinski upravlja vozilom (pokretanje i zaustavljanje). Potpuna automatizacija (nivo 5) ne zahteva vozača, što se smatra jednim od najvećih izazova sa aspekta socijalne održivosti (percepcija korisnika kada nema direktan kontakt sa vozačem). Postepena, a ipak kratkoročna primena visoke (nivo 4) do potpuno autonomne vožnje (nivo 5), koja je predviđena za 2040. godinu, zahteva različite visoko povezane elemente i (njihove) funkcije kao što su senzori i video kamere, komunikacija vozila sa algoritmima za predviđanje i donošenje odluka [9]. Implementacija vozila visokog, 4. i 5. nivoa autonomije kao i povećanje bezbednosti saobraćaja u urbanim sredinama, skraćenje rokova isporuke, smanjenje gužvi i sl., samo su neki od brojnih prednosti autonomnih tehnologija za LPM. Osim što podržavaju sve elemente održivosti, ova pametna transportna rešenja razvijaju se tako da štede energiju pri korišćenju, ali i da su povoljna za integrisanje u već postojeća rešenja (npr. transportna električna vozila, kao i u vozne parkove u kojima su još uvek dominantna dizel vozila).

Imajući u vidu sve brojnije stohastične zahteve korisnika u LPM kao najskupljem delu LS, a sa osvrtom na zakonska ograničenja pri primeni dronova, rešenja su autonomna električna vozila koja se kreću "po zemlji". Nastavak ovog dela ukratko objašnjava dve sve češće korišćene alternative u poštanskim i kurirskim službama, a to su doidi i robotski vanovi.

### 3.1. Droidi kao savremeno rešenje za urbanu distribuciju

Droidi su mala autonomna vozila koja su za "nijansu" veća od standardnih/tipičnih paketa i dostavljaju pošiljke do krajnjih korisnika. Relativno su spora, te se kreću po pločnicima i pešačkim stazama. Stohastični zahtevi korisnika okarakterisani su skraćanjem vremena dostave uz smanjenje troškova. Kako kod droida koji se inače kreću malim brzinama, postoji potreba za stalnim nadzorom, ova sredstva još uvek ne mogu samostalno da opslužuju korisnike. Uprkos činjenici da je korišćenje droida u LPM još uvek u povoju, ova alternativa za poštanske i kurirske službe je obećavajuća sa aspekta rešavanja problema sa hitnim, kratkoročnim i stohastičkim isporukama, pa se ovo podsticajno rešenje stoga veoma uspešno koristi za potrebe kontrole [11]. Međutim, zbog svog ograničenog dometa i nosivosti, slično dronovima, ova vozila nisu u mogućnosti da se u potpunosti integrišu u aktivnosti LPM [4, 11]. Droidi uglavnom kreću koristeći pešačke staze, te ne zahtevaju posebno razvijenu mrežu saobraćajnica. Imajući u vidu da je u poređenju sa drugim savremenim rešenjima za LPM ovo vozilo na elektropogon, jedini tehnički problem odnosno pre izazov za implementaciju odnosi se na elektrifikaciju mreže saobraćajnica [8]. Naime, ovim i drugim električnim vozilima neophodno je obezbediti dovoljan broj mesta za dopunjavanje baterija kao i odgovarajuće servisne centre u kojima se obavlja (planska) zamena praznih za pune baterije.

Za razliku od dronova čija je ključna prednost vezana za rasterećenje drumskog saobraćaja, ova vozila su jednostavna za korišćenje jer ne zahtevaju posebnu zakonsku regulativu koja odobrava/podržava njihovu primenu. Međutim, iako pogodna naročito za isporuke malih količina, odnosno poštanske pošiljke, i one čiju dostavu realizuju kurirske

službe, ovo ekološko rešenje nije socijalno održivo sa aspekta percepcije korisnika [4]. Kako se obično nazivaju “urbanim robotima”, ova autonomna vozila se kreću bez vozača koristeći za to uglavnom pešačke staze ali i realizuju sve logističke aktivnosti, podrazumevajući i komunikaciju i isporuku/dostavu robe, odnosno pošiljke korisniku. Korisnik i droid komuniciraju preko zajedničke mreže, za šta je neophodna odgovarajuća internet podrška, razvijen i testiran softver koji je sposoban da identifikuje greške i promene u isporuci (npr. promena mesta preuzimanja pošiljke), ali i odgovarajući uređaj, najčešće mobilni telefon korisnika. S obzirom da ih najčešće koriste kurirske službe, Slika 1. ilustruje slanje/otpremu hrane i dostavu/prijem, gde se i kod pošiljaoca i kod primaoca jasno uočava neophodnost korišćenja mobilnih telefona pri slanju, odnosno prijemu pošiljke/robe (ovde hrana) [12].

Osim svih digitalnih preduslova, korisnik treba da ima odgovarajuću aplikaciju ali i veštinu za “komunikaciju” sa droidom u cilju uspešne realizacije zahteva. Ovakva tehnološka međuzavisnost zahteva visok nivo digitalizacije svih učesnika u LS, gde će se opsluga korisnika realizovati samo pri uspešnom korišćenju odgovarajuće, namenske aplikacije, što je ujedno i izazov i pri primeni drugih autonomnih vozila.



*Slika 1. Primer korišćenja dronova u isporuci i dostavi hrane*

Droide u dostavi u okviru LPM od 2019. god koristi kompanija Amazon u urbanim područjima Južne Kalifornije. Rezultati korišćenja su ukazali na mogućnost da droidi zamene kombije i vozila za prevashodno pojedinačnu opslugu korisnika na kraćim relacijama. Razvijajući sopstveni sistem isporuke, kompanija Amazon je nakon testiranja u Kaliforniji, korišćenje droida proširila na Atlantu, Džordžiju i Tenesi, tako što je razvila sopstvenu aplikaciju koja olakšava komunikaciju korisnika sa distributivnim centrom. Ova autonomna vozila uspešno koristi i kompanija Fedex za dostavu pošiljaka do korisnika u okvirima LPM [13]. Međutim, njihova implementacija zahteva visok nivo digitalizacije svih učesnika u LS, tako da sa tog aspekta još uvek predstavlja tehnologiju sa značajnim brojem izazova naročito u delu dostave pošiljke krajnjim korisnicima.

### 3.2. Robotski vanovi u logistici poslednje milje

U cilju davanja odgovora na brojne izazove u LPM, jedno od poznatih i efikasnih autonomnih rešenja odnosi se na korišćenje robotskih vanova. Naročito su značajni za izazove u urbanim sredinama kada kupac može da navede nekoliko opcija isporuke zajedno sa nivoima preferencija i vremenskim okvirima. Primenom robotskih vanova, podstiče se konsolidacija pošiljaka na zajedničkim lokacijama isporuke u LPM. Robotski vanovi su električna vozila bez vozača razvijena sa ciljem da eliminišu ljudske greške u drumskom teretnom transportu. Unapređeni sistemi zaustavljanja u novijim generacijama ovih vozila doprinose smanjenju saobraćajnih zagušenja, operativnih troškova i štetnih emisija [14]. Robotski vanovi su uporedivi sa električnim kombijima sa aspekta nosivosti, brzine vožnje i ekološke održivosti. Dodatno, ovi autonomni sistemi preventivno utiču na nastanak nezgoda uzrokovanih ljudskim faktorom, smanjenje emisija i buke, kao i fleksibilnost u pogledu usluga korisnicima [15]. Neki od ključnih nedostataka su nerazvijene vladine politike za subvencije za čistiji pogon, neadekvatno razvijena mreža električnih punjača baterija i nedovoljno razvijena svest ljudi o saobraćajnim tokovima bez vozača [16]. Autonomni robotski vanovi projektuju se tako da se jednostavno kombinuju sa drugim (autonomnim alternativama) i stoga se smatraju “vozilom budućnosti“ ne samo u okvirima LPM, već i u kompletnom LS-u (Slika 2) [15].



*Slika 2. Autonomni robotski kombi integrisan sa dronom i droidima*

### 3.3. Uporedni prikaz karakteristika autonomnih vozila

Pod kontinualnim “pritiskom tehnološkog razvoja”, implementacija autonomnih rešenja za dostavu robe i/ili pošiljaka u LPM postaje ključni izazov sa različitih aspekata u svim delovima LS. Dok su za kompaniju ključni elementi cena i vreme implementacije, za korisnike je najvažniji kvalitet usluge (tačnost, brzina, pogodnost,..., troškovi). U cilju podrške pri izboru odgovarajuće alternative za određenu kurirsku službu, odnosno poštanskog operatera, u Tabeli 1 dat je uporedni prikaz tri analizirane alternative

autonomnih vozila za LPM. Imajući u vidu brojne aspekte različitih istraživanja, u tabeli je dat pregled najčešće diskutovanih u analiziranoj literaturi [3, 4, 7, 8, 10, 14, 15, 16].

Na osnovu Tabele 1, a prema ovde definisanim kriterijumima, može se zaključiti da su robotski vanovi trenutno najpovoljnija alternativa za LPM, kako za poštansku odnosno kurirsku službu koja ih implementira, tako i za korisnika koji zahteva pouzdanu, brzu, tačnu i isplativu opslugu. Dronovi i droidi su povoljni za gusto naseljena urbana područja, istorijske centre i pešačke zone. Transfer značajnog broja dostava manjih težina “sa zemlje u vazduh” favorizuje dronove u odnosu na droide u smislu rasterećenja saobraćaja [4]. Ipak, za njihovo korišćenje je potrebna odgovarajuća zakonska regulativa, tj. dozvole, ali i detaljna uputstva pri korišćenju za sve učesnike u LS-u. Korišćenje droida je uglavnom zastupljeno u razvijenijim zemljama, gde su prednosti robotskih rešenja decenijama unazad prepoznata u svim segmentima poslovanja i gde je socijalna distanca okarakterisana kao jedna od osnovna savremenog života. Stoga je angažovanje robotskih vanova identifikovano kao najbrže primenljivo autonomno rešenje jer, za razliku od dronova i droida, i ako bez vozača, ova vozila za dostavu i kretanje koriste gradsku putnu mrežu [12, 13, 14].

Međutim, kako robotski vanovi ipak opterećuju gradsku mrežu, a i nisu pogodni za korišćenje u istorijskim centrima i pešačkim zonama zbog svojih gabarita (nosivosti), sve češće se poštanske i kurirske službe opredeljuju za upošljavanje droida. Ova sredstva se najčešće koriste za kratka rastojanja, male težine i pojedinačne isporuke, pa se najčešće angažuju u kombinaciji sa nekim sredstvom drumskog transporta (najčešće električnim vozilima različitih tipova).

*Tabela 1. Poređenje autonomnih vozila za potrebe LPM*

	Dronovi	Droidi	<i>Robotski vanovi</i>
nosivost	više od 50 kg	do 50 kg	2-5 t
domet pri jednom punjenju baterije	do 20 km	do 5 km	100 – 150 km
vreme rada između (dva) punjenja	30 min	20 min	45min
brzina	100-120 km/h	5-10 km/h	70-100 km/h
uticaj na gradski saobraćaj	nema	mali	značajan
očekivano vreme ispunjenja zahteva kompanije za implementaciju	srednje do dugo	srednje	kratko
pogodnost za LPM	delimično/ograničeno	delimično	potpuno
ključni izazov za LPM	regulativa	mala nosivost	elektrifikacija saobraćajnica

Izbor optimalne autonomne alternative za logističku kompaniju dodatno je opravdan povećanjem obima on-line naručivanja i zahteva korisnika za pojedinačnim isporukama, i kao takav, čest je fokus aktuelnih istraživanja [3, 4, 14, 15]. Analizirana rešenja su ekološki održiva jer su na elektropogon čime smanjuju emisije kako u radnom, tako i u životnom okruženju. Imajući u vidu potpunu autonomiju pri kretanju i rukovanju



materijalima, korišćenjem ovih vozila smanjuju se greške i nezgode uzrokovane ljudskim faktorom. Uprkos značajnim investicijama pri njihovoj implementaciji, sve autonomne alternative prepoznatljive su po tome što doprinose povećanju ekonomskih efekata kroz eliminisanje plata vozača, koje su u voznim parkovima sa tzv. tradicionalnim vozilima značajna finansijska stavka, uglavnom podložna promenama sa stohastičnim obeležjima. Imajući u vidu njihov uticaj na finansije kroz eliminisanje plata vozača, sva autonomna rešenja su u tom smislu ekonomski opravdana, a visina investicija zavisi od više faktora, među kojima su: veličina voznog parka, namena, način korišćenja, proizvođač, kvalitet i sl. Kako su autonomne alternative u transportu i rukovanju materijalima savremena rešenja koja nude brojne benefite pri korišćenju, visina investicija je uglavnom vezana za planove kompanije koja namerava da ih implementira, što je jedan od ključnih ograničenja, kako za praktičnu primenu, tako i za akademska istraživanja.

Korišćenje ovih i drugih autonomnih vozila pored brojnih prednosti, nosi i određene rizike, probleme, odnosno izazove. Jedan od ključnih izazova vezan je socijalnu održivost, a odnosi se na percepciju korisnika pri dostavi robe vozilima bez vozača. Takođe postoje i određeni rizici u primeni savremenih informaciono-komunikacionih tehnologija sa aspekta zahteva za stabilnom i brzom internet podrškom pri korišćenju sve brojnijih korisničkih aplikacija. Dodatni, a uvek prisutni izazov odnosi se na pojavni oblik i količinu tereta kojom treba da manipuliše određeno sredstvo. Imajući u vidu da autonomne alternative eliminišu greške uzrokovane ljudskim faktorom, izazovi su vezani za percepciju korisnika koji nemaju mogućnost komunikacije sa čovekom prilikom preuzimanja pošiljke, odnosno narudžbine, već sa raspoloživom aplikacijom koja neretko nije dovoljno fleksibilna svim korisnicima [3, 4, 10, 15, 16].

#### **4. Zaključna razmatranja i pravci budućih istraživanja**

Savremeno poslovanje bilo koje logističke kompanije danas nije opravdano bez primene informacionih tehnologija čije uspeh funkcionisanja direktno zavisi od primenjenog (relativno visokog) nivoa autonomije u realizaciji stohastičnih tehnoloških zahteva. Poštanski operateri i kurirske službe, koje su zbog povećane urbanizacije, intenzivne digitalizacije i razvoja e-trgovine značajna podrška većini velikih poslovnih sistema naročito u okvirima LPM, nastoje da kroz primenu novih tehnologija unaprede poslovanje najpre kroz kvalitetniju opslugu korisnika, a sa ciljem da prošire sopstvenu distributivnu mrežu [3, 4].

Urbano stanovništvo se sve češće opredeljuje da, osim robe široke potrošnje, korišćenjem kurirskih službi naručuje hranu i lekove. S obzirom da se retko u praksi može sresti osoba koja ne koristi ove službe osim za poštanske pošiljke, jasno je da je ekspanzija savremenih transportno-manipulativnih aktivnosti u ovim oblastima sve izraženija. Stoga je pritisak na logističke kompanije sve veći, ne samo sa aspekta obima naručivanja, već i povećanja broja korisnika i njihovih zahteva, pa se za opslugu korisnika sve češće angažuju poštanske i kurirske službe. Primena autonomnih vozila povećava efikasnost opsluge korisnika, ali, ipak, automatizacija može biti kritična za primenu u distribuciji robe u LS kada se uzmu u obzir operativni troškovi, održavanje, gubitak posla, odsustvo ljudi u rukovanju materijalom [9, 10, 11]. Posebno je izazovima izložen socijalni aspekt održivog poslovanja usled problema pri komunikaciji korisnika „sa uređajem“ prilikom isporuke pošiljke/robe. Naravno, to zahteva dodatnu obuku korisnika, ali i prilagođavanje autonomne flote autonomnih vozila stohastičkim i

individualnim zahtevima korisnika. Da bi se prevazišao jedan od ključnih izazova povezan sa neuspešnom realizacijom “prve isporuke”, potrebno je povećati broj gradskih čvorišta u distributivnim zonama. Osim toga, mobilni ormarići za pakete, koji mogu autonomno menjati svoju lokaciju tokom dana, mogu se implementirati u mreže dostave kako bi se prevazišla ova barijera. U nastojanju da se u što kraćem roku implementiraju savremene tehnologije koje bi bile podjednako efikasne kako za logističke kompanije i poštanske operatere, odnosno kurirske službe, tako i za korisnike, na tržištu je prisutan značajan broj inovacija i aplikacija koje se koriste za praćenje robe, odnosno pošiljaka, kurira, vozača i vozila. Kao vodeći trendovi za dostavu u urbanim područjima prepoznati su dronovi i kolaborativna dostava, koja je još uvek u začecima imajući u vidu da zahteva angažovanje najmanje dva transportna sredstva.

Izazovi u oblasti primene različitih autonomnih alternativa u oblasti LPM su sve brojniji, kako za akademska istraživanja, tako i za sve elemente praktične implementacije koja ima uticaj na efikasnost kompletnog LS, uključujući sve aspekte održivosti njegovog menadžmenta. Izbor optimalne alternative analizira se sa aspekta ekološke, ekonomske i socijalne održivosti, ali i sposobnosti logističke kompanije da angažuje kurirske i poštanske službe za opslugu korisnika. Stoga je svaki doprinos vezan za unapređenje primene autonomnih rešenja u LPM ujedno i osnov za buduća istraživanja u analizi opravdanosti nadograđivanih postojećih i implementaciji novih rešenja, kao i drugih povoljnosti koje iz toga proističu, kako za poštanske i kurirske službe i korisnike, tako i za kompletan LS.

## Literatura

- [1] C. Chen, E. Demir, Y. Huang, R. Qiu, R. “The adoption of self-driving delivery robots in last mile logistics”. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 146, 102214, 2021
- [2] H. Akeb, B. Moncef, B. Durand. “Building a collaborative solution in dense urban city settings to enhance parcel delivery: An effective crowd model in Paris”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 119, pp. 223-233., 2018
- [3] A. Saha, V. Simic, T. Senapati, S. Dabic-Miletic, and A. Ala. “A dual hesitant fuzzy sets-based methodology for advantage prioritization of zero-emission last-mile delivery solutions for sustainable city logistics”. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2022
- [4] M. Kiba-Janiak, J. Marcinkowski, A. Jagoda and A. Skowrońska. “Sustainable last mile delivery on e-commerce market in cities from the perspective of various stakeholders. Literature review”. *Sustainable Cities and Society*, 71, 102984, 2021
- [5] A. Garus, B. Alonso, M.A. Raposo, M. Grosso, J. Krause, A.Mourtzouchou, et al. “Last-mile delivery by automated droids. Sustainability assessment on a real-world case study”. *Sustainable Cities and Society*, 103728, 2022
- [6] M. A. Figliozzi. “Carbon emissions reductions in last mile and grocery deliveries utilizing air and ground autonomous vehicles”. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 85, 102443, 2020
- [7] D. Dumez, F. Lehuédé, and O. Péton, “A large neighborhood search approach to the vehicle routing problem with delivery options”. *Transportation Research Part B: Methodological*, 144, pp. 103-132., 2021

- [8] L. Švadlenka, V. Simić, M. Dobrodolac, D. Lazarević, and G. Todorović, G. “Picture fuzzy decision-making approach for sustainable last-mile delivery”. *IEEE Access*, 8, pp. 209393-209414, 2020
- [9] S. Shaheen and A. Cohen. “Mobility on demand (MOD) and mobility as a service (MaaS): Early understanding of shared mobility impacts and public transit partnerships”. In *Demand for emerging transportation systems (pp. 37-59)*. Elsevier, 2020
- [10] C. Fritschy and S. Spinler. “The impact of autonomous trucks on business models in the automotive and logistics industry—a Delphi-based scenario study”. *Technological Forecasting and Social Change*, 148, 119736., 2019
- [11] A. Raj, J.A. Kumar and P. Bansal. “A multicriteria decision making approach to study barriers to the adoption of autonomous vehicles”. *Transportation research part A: policy and practice*, 133, pp. 122-137., 2020
- [12] A. Rejeb, K. Rejeb, S. J. Simske and H. Treiblmaier, H. “Drones for supply chain management and logistics: a review and research agenda”. *International Journal of Logistics Research and Applications*, pp. 1-24.
- [13] A. Welch, “A cost-benefit analysis of Amazon Prime Air”. *Honours Theses*. 2015
- [14] G. Yu, A. Liu, J. Zhang and H. Sun “Optimal operations planning of electric autonomous vehicles via asynchronous learning in ride-hailing systems”. *Omega*, 103, 102448, 2021
- [15] H. Zhang, C. J. Sheppard, T. E. Lipman, T. Zeng and S. J. Moura, “Charging infrastructure demands of shared-use autonomous electric vehicles in urban areas” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 78, 102210, 2020
- [16] N. Boysen, S. Schwerdfeger and F. Weidinger, “Scheduling last-mile deliveries with truck-based autonomous robots”. *European Journal of Operational Research*, 271(3), pp. 1085-1099, 2018

**Abstract:** *Due to the current global crises, last mile logistics is exposed to significant challenges, mainly because customers expect fast and reliable delivery of their order, regardless of where they buy or order it. Logistics companies are forced to develop innovative solutions for delivering goods to customers to meet their needs and demands. The largest number of requests within the last mile are redirected by logistics companies to postal and courier services. Therefore, these services are under constant pressure because the number of online orders and the volume of e-commerce are increasing. This results in longer delivery times, delivery errors, and customer dissatisfaction. In order to effectively respond to the stochastic demands of users, increasing attention is focused on the development and application of new technologies based on the autonomy of movement for the delivery of shipments to users. This paper aims to point out the advantages of autonomous technologies for the delivery of postal items, but also certain challenges in their implementation as the basis for future research.*

**Keywords:** *autonomous vehicles, last mile logistics, postal shipments*

## **AUTONOMOUS VEHICLES IN LAST MILE LOGISTICS FOR POSTAL AND COURIER SERVICES**

Svetlana Dabić-Miletić

## **CROWDSOURCED DOSTAVA: MOGUĆNOSTI I IZAZOVI**

Nataša Bojković, Marijana Petrović, Tanja Živojinović  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet  
n.bojkovic@sf.bg.ac.rs, marijana.p@sf.bg.ac.rs, t.zivojinovic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Aktiviranje potencijalno velikog broja ljudi koji dostavljaju robu uz učešće digitalnih platformi koje kontrolišu ponudu i potražnju, poznato pod pojmom crowdsourced dostava, jedan je od odgovora na sve veću potražnju za dostavama na zahtev. U radu se analizira trenutni status ove perspektivne forme ekonomije deljenja u oblasti dostave pošiljaka, modeli poslovanja startupova i interakcija sa tradicionalnim dostavljačima. Na bazi postojeće prakse, izdvojeni su i analizirani najznačajniji izazovi implementacije među kojima su izgradnja poverenja između učesnika, koordinisanje ponude i potražnje i radni status vozača - isporučioaca.*

**Ključne reči:** *crowdsourcing, dostava na zahtev, ekonomija deljenja, poslovni modeli*

### **1. Uvod**

Dok konstantan uspon e-trgovine podstiče poštanske operatore i njihove maloprodajne partnere da uruče više pošiljaka, kraće vreme dostave postaje ključna konkurentna prednost. To naročito važi za mlade potrošače (takozvane milenijalce ili generaciju Y) koji čine i najveći deo onlajn kupaca. Odrastajući u eri digitalnih tehnologija i ekonomije na zahtev, mlađa populacija ispoljava sve veća očekivanja u pogledu brze dostave (ponekad za manje od sat vremena) vezujući je i za lojalnost brendu.

U nadmetanju za zadovoljenjem rastuće potražnje potrošača za efikasnom i pouzdanom dostavom uz manje troškove, jedan od modela uručjenja pošiljaka za koji se može reći da stiče sve veću popularnost jeste crowdsourced dostava. Koncept je u literaturi poznat i kao *crowdshipping*, *crowdlogistics* ili *kolaborativna logistika* [1,2,3]. Suština je da se iskoristi resurs mase, odnosno da se angažuje veliki broj ljudi koji će na dobrovoljnoj bazi postati dostavljači, a sve uz podršku digitalnih platformi koje koordinišu aktivnosti između učesnika stavljajući ponudu i potražnju u neposredan odnos. U sistemu *crowdsourced* dostave, dostavljači su dinamički raspoloživi, kandiduju se sami ili automatski na osnovu blizine lokacija preuzimanja i odredišta, pri čemu se obezbeđuje i neprekidno praćenje pošiljke u realnom vremenu. Za razliku od profesionalnih kurirskih službi, *crowdsourced* model dostave podrazumeva aktiviranje ljudi koji nisu nužno

profesionalni dostavljači, već su voljni da, za određenu nadoknadu, a krećući se gradom zbog sopstvenih potreba (najčešće koristeći svoj automobil) postanu privremeni dostavljači pošiljaka (robe). S obzirom da ne postoji jasno razgraničenje motivacije za dostavom, a vodeći se praksom, može se reći da nije nužno da se dostava obavlja kao deo već planiranog kretanja, već se uključuju i koncepti u kojima ljudi koji imaju dovoljno vremena, volje ili prostora da dostavljaju pošiljke u želji da ostvare dodatni prihod.

Ono što *crowdsourced* dostavu (u daljem tekstu CSD) čini atraktivnom za pošiljaoca su praćenje i fleksibilniji uslovi preuzimanja i same dostave, tehnologija kojom se kontinualno prati pošiljka ali pre svega očekivano niži troškovi u odnosu na tradicionalne dostavljače, poštanske operatore i druge logističke poslovne sisteme, i često skupe kurirske službe. Iako načelno konkurenti, tradicionalni dostavljači mogu iskoristiti prisustvo CSD kao resurs u uslovima ograničenog kapaciteta i time povećati sopstvenu konkurentnost. Sa aspekta poštanskih operatera i logističkih kompanija, partnerstvo sa CSD nudi fleksibilan način ustupanja uručenja na poslednjem kilometru, što je rešenje za ograničene kapacitete transportnih resursa - voznog parka i vozača u uslovima povećanog obima posla [4]. Pored nižih operativnih troškova, kako se navodi u [5] i [6], još jedna od prednosti za poštanske operatore je smanjenje potreba za skladišnim kapacitetima zbog bržeg procesa distribucije pošiljaka. S druge strane, profesionalne kurirske službe unose nove elemente u svoje poslovanje gradeći svoju "verziju" CSD. Reč je o saradnji sa startap platformama koje obezbeđuju lak i efikasan pristup profesionalnim dostavljačima, u realnom vremenu čime u suštini stvaraju infrastrukturu dostave na zahtev zasnovane na veb tehnologiji.

Iz perspektive fizičkih lica - dostavljača, *crowdsourced* dostava omogućava ostvarivanje dodatnog prihoda, pri čemu svako može biti korisnik ali i pružalac usluge. Za primaoca pošiljaka kao krajnje korisnike, CSD pruža veću kontrolu nad dostavom; zadovoljava njihovu potrebu za brzinom, a što je jednako važno i za fleksibilnošću (mogu odabrati željeni termin dostave) i mogu pratiti svoje pošiljke na putu.

Kada je reč o ekološkim efektima kao opštem društvenom interesu, CSD može biti rešenje za povećan obim saobraćaja u gradovima i veći broj putovanja vozilima koji generiše e-trgovina i prenos od vrata do vrata. Taj potencijal utemeljen je u samoj suštini CSD koji povezuje transport robe i mobilnosti ljudi. U literaturi se ova ideja može naći i kao koncept HCL (engl. *Hyper-connected City Logistics*) koji, kako se navodi u [7], "koristi formiranje *sinergetske eksploatacije* sistema prevoza putnika i isporuke robe sa ciljem poboljšanja efikasnosti i održivosti logističkih i transportnih aktivnosti unutar gradova". Upravo zbog ovog argumenta, ekološka održivost se često naglašava u marketinškim kampanjama CSD platformi, iako ona umnogome zavisi od primenjenog poslovnog modela, a u svakom slučaju, prema [8], empirijska analiza koja bi naučno evidentirala i kvantifikovala smanjenje ekoloških pritisaka, tek predstoji.

U nastavku rada su predstavljeni glavni akteri i njihove interakcije u okviru CSD, kao i poslovni izazovi sa kojima se suočavaju, a koji se u određenoj meri preklapaju sa izazovima ekonomije deljenja kao šireg konteksta. Na ovom mestu treba istaći da je predmet interesovanja rada tržište dostave robe na kome se CSD ukršta sa "tradicionalnim" dostavljačima te s tim u vezi nisu razmatrane CSD platforme koje organizuju dostavu hrane i/ili namirnica.

## 2. Ekosistem i karakteristike poslovanja CSD

CSD se u literaturi prepoznaje kao inovativan poslovni model koji je po svojim karakteristikama ne samo blizak već i potpada pod širi koncept *ekonomije deljenja*, ili kako se često formuliše *kolaborativne ekonomije*. Nastao kao i svi drugi modeli ekonomije deljenja, pod uticajem intenzivnog razvoja interakcija putem digitalnih platformi, CSD transformiše i nudi alternativu tradicionalnom poslovanju u oblasti dostave robe. Angažovanjem dostavljača koji momentalno procesuiraju dostavu, vrši se „uberizacija“ dostave po modelu pružanja usluge zasnovane na imovini. Radi se o jednom od tri modela ekonomije deljenja [9], čiji je tipičan predstavnik i sinonim za ekonomiju deljenja uopšte kompanija *Uber*, a koji pretpostavlja isporuku usluge na bazi vlasništva nad imovinom.

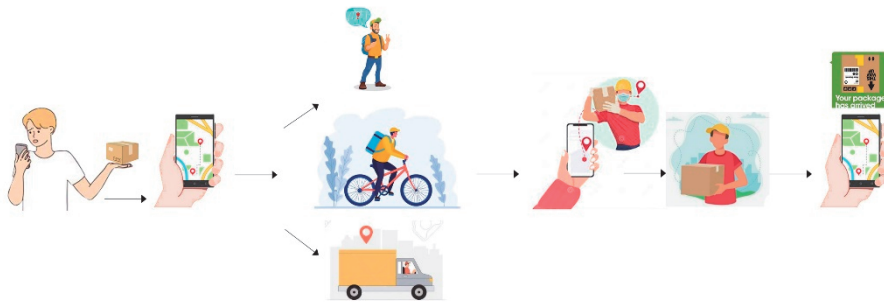
U poslovnim modelima ekonomije deljenja uobičajeno se uspostavlja trojni odnos između *provajdera*, koji je vlasnik resursa ili kompetencija, *potrošača* kome se isporučuju funkcionalni rezultati i *platforme* koja ima ulogu posrednika u formiranju tržišnih odnosa između provajdera i potrošača. U konceptu CSD okosnicu ekosistema čine *dostavljač*, koji je vlasnik resursa dostave (prevoznog sredstva), *primalac* kome se roba dostavlja, i posrednik - *platforma* koja obezbeđuje tržišne transakcije koje su osnov za ostvarivanje profita na bazi provizije. Osim ova tri učesnika, u praksi se kao deo ekosistema najčešće javljaju i *organizacije koje angažuju dostavljače preko platforme - kurirske službe ili velike trgovinske i prodajne kuće*. O ubrzanom razvoju CSD svedoči pojava mnogobrojnih platformi - startapova od kojih su neki uspeli da se probiju i na međunarodno tržište.

### 2.1. Poslovni modeli

Iako se vode istom logikom – aktiviranje mase ljudi kao resursa za bržu i pouzdaniju dostavu, poslovni modeli se razlikuju u odnosu na to koga i na koji način platforma povezuje. Na ovom mestu treba naglasiti da, kako se navodi u [10], obogaćivanje ponude, česta pojava novih platformi i novih tržišta, kao i integracija različitih aktera na tržištu, vode ka činjenici da u CSD, kao i u ekonomiji deljenja uopšte, „praksa kreira teoriju” i da je česta pojava da se pod istim pojmom pojavljuju mnogi suštinski različiti poslovni modeli.

Model koji je po svojim karakteristikama najbliži izvornoj ideji ekonomije deljenja, a to je uzajamno pružanje usluga među pojedincima po principu *peer-to-peer* (P2P), postoji i u oblasti dostave robe (Slika 1). Radi se o platformama koje direktno povezuju ljude koji imaju zahtev za slanjem, sa onima kojima je trajektorija pošiljke ili na putu (slično konceptu *BlaBlaCar* u prevozu putnika) ili su jednostavno voljni da povremenim dostavama ostvare dodatni prihod (poput *Uber* modela). Ovde nije reč samo o ustupanju posla već se prati logika ekonomije deljenja koja uspostavlja nove načine rada i teži racionalnijem korišćenju resursa, što se u ovom slučaju postiže kroz napred pomenuti koncept HCL.

Najpoznatiji predstavnici ovakvih platformi su norveški *Nimber* ([www.nimber.com](http://www.nimber.com)), američki *Hitch* ([www.hitchtransport.com](http://www.hitchtransport.com)) i belgijski *PiggyBee* ([www.piggybee.com](http://www.piggybee.com)). *Nimber* funkcioniše kao kolaborativni P2P servis na principu trenutnog povezivanja onih kojima je potrebno slanje paketa sa onima koji se kreću u istom pravcu pri čemu se dostavljači mogu kretati svojim automobilom ali se podstiče i korišćenje javnog transporta, bicikla, ili čak pešačenje. Unapređenje funkcionisanja lokalne zajednice i zaštita životne sredine, se navode kao osnovna inspiracija nastanka ovog startapa.



Slika 1. P2P crowdsourced dostava

Dosadašnja praksa pokazuje da veći uspeh u poslovanju postižu platforme koje povezuju prodajne i trgovinske kompanije sa korisnicima/kupcima, te se kao takve promovišu i kao logističke mreže bez sopstvene imovine. Kompanije *Deliv* ([www.deliv.co](http://www.deliv.co)) i *Zipments* ([www.zipments.com](http://www.zipments.com)) koje spadaju u vodeće u ovoj oblasti poslovanja, nastoje da uspostave partnerstva kako sa velikim kompanijama i korporativnim klijentima, tako i sa lokalnim trgovcima.

Jedan broj CSD platformi razvile su velike međunarodne kompanije, kao maloprodajna trgovinska kompanija *Walmart*, vodeći operator ekspres poštanske industrije *DHL*, i lider e-trgovine *Amazon*. Kao način proširenja dostavnih kapaciteta, *Amazon* je implementirao sistem *Amazon Flex*, dok je *DHL* putem aplikacije *MyWays* omogućio korisnicima - primaocima da navedu ne samo mesto i vreme željene dostave već i da ponude visinu naknade za uslugu. Pored razvijanja sopstvenih platformi, kompanije nalaze interes u investiranju postojećih startupova. Tako je *UPS* (*United Parcel Service*), globalna kompanija za dostavu paketa, investirala u CSD startup *Deliv* kako bi, prema rečima člника ove kompanije “bila u mogućnosti da bolje prouči dostavu na zahtev”<sup>1</sup>.

## 2.2. Profili dostavljača i mehanizmi uparivanja

Uz razlike u konceptu poslovanja platformi, razlikuju se i profili dostavljača. Dok neke CSD platforme angažuju profesionalne dostavljače, sa prethodnim iskustvom kojima je dostava osnovna delatnost (primer *Zipments*) većina se oslanja na povremene, honorarne, kojima je motiv dodatni prihod ili im je ovakav vid angažovanja jednostavno blizak stilu života (primeri *Nimber*, *Hitch*, *Deliv*). U grupi honorarnih su oni koji se angažuju isključivo radi dostave kao i oni koji dostavu obavljaju *ad-hoc*, tj. onda kada su voljni da je obave uz svoje planirano kretanje. U odnosu na način nadoknade za dostavljače, jednako je

<sup>1</sup> [With Deliv investment, UPS hopes to study same-day delivery market | Reuters](#)

zastupljeno plaćanje na sat i po obavljenoj dostavi. Nije neuobičajeno da platforme prepuštaju primaocu i dostavljaču da sami odrede visinu nadoknade (kao što je *Nimber* ili *Hitch*).

Baveći se analizom platformi sa aspekta načina uparivanja, što je važan element balansiranja ponude i potražnje, u [11] se izdvajaju četiri moguća scenarija. U prvom se dostavljači sami prijavljuju u vremenu kada su raspoloživi i voljni da obave posao. Ovaj, tzv. model samozakazivanja može biti atraktivan za obezbeđenje većeg broja dostavljača jer nudi fleksibilan način rada. U drugom, tzv. centralizovanom modelu dostavljači moraju unapred prijaviti svoju raspoloživost, ili izabrati radne sate koji im se uklapaju u raspored. Ovaj scenario omogućava bolju kontrolu ponude i potražnje ali je manje fleksibilan za dostavljača u odnosu na prethodni. Za razliku od prva dva modela, i kod trećeg i kod četvrtog dostavljači vrše uslugu dostave uz svoja planirana kretanja. U trećem modelu vozači preko mobilne aplikacije daju informacije o vremenu i mestu polaska i destinacije predstojećeg kretanja, nakon čega aplikacija uz pomoć specijalizovanog algoritma vrši uparivanje sa onim zahtevom za dostavu koji ima najmanje prostorno i vremensko odstupanje od tog kretanja. U četvrtom modelu aplikacija služi kao vrsta oglasne table na kojoj se pojavljuju ili karakteristike zahteva za dostavom ili planovi putovanja, nakon čega se pošiljaoci/primaoci i dostavljači sami prijavljuju za realizaciju dostave.

### **3. Izazovi implementacije i funkcionisanja CSD**

Iz perspektive korisnika - primaoca pošiljke, u procesu dostave robe po modelu CSD, postoje bezbednosni rizici koji se odnose na povećan rizik od krađe, oštećenja, pitanje kompetencija dostavljača, sigurnost novčanih transakcija, kao i zaštita privatnosti. S druge strane, dostavljači su zainteresovani za pitanja osiguranja i radnog statusa, dok je za platforme kao posrednike ključno pitanje kontrola odnosno koordinacija ponude i potražnje kako bi se obezbedio kvalitet i pouzdanost usluge.

#### **3.1. Poverenje**

Izgradnja poverenja i zaštita kako korisnika tako i pružaoca usluga prilikom onlajn interakcija jeste uslov za omasovljenje koncepta CSD, naročito jer je dostavljač fizičko, a ne pravno lice. Ovde ključnu ulogu ima platforma koja osim što treba da uspešno pronalazi i povezuje učesnike, sigurno i pouzdano upravlja podacima, obezbedi dobro funkcionisanje korisničke podrške, i da naplaćujući posredničke usluge vodi računa o interesu svojih korisnika.

Jedan od, sada već standardnih mehanizama povećanja poverenja i transparentnosti, je sistem rejtingovanja ili recenzija odnosno različite forme podataka vezanih za lični i profesionalni profil učesnika, uključujući i njihovo prethodno iskustvo i reputaciju. Ono što dodatno ide u prilog transparentnosti poslovanja u digitalnom dobu je „akumulacija poverenja“ koja sublimira sopstveno predstavljanje i način na koji nas ocenjuju osobe sa kojima smo bili u interakciji. U oblasti CSD, većina platformi primenjuje sistem rejtingovanja i/ili recenziranja dostavljača od strane korisnika. Primenjuje se jednosmerni sistem rejtingovanja (korisnik ocenjuje dostavljača) jer dvosmerni, koji u principu smanjuje asimetričnost informacija, a koji je zastupljen u sektoru transporta u



okviru ekonomije deljenja (koriste ga npr. *Uber* i *Lyft*), pretpostavlja veću interakciju između ljudi nego što je slučaj prilikom dostave pošiljke.

Osim rejtingovanja nakon realizacije posla, pojedini startapovi pribegavaju strožijoj selekciji dostavljača (koja obuhvata proveru vozačkih kompetencija i ispravnosti vozila, kao i intervju) dok drugi postavljaju naloge na društvenim mrežama jer su oni povezani sa stvarnim identitetom dostavljača [6]. Praksa pokazuje da CSD pretežno nastoji da zaštiti korisnike (primaocce i pošiljaocce) proverom identiteta, pouzdanosti i kompetencija dostavljača. U manje kontrolisanim P2P CSD modelima, gde se lakše “postaje” dostavljač, više je izražena potreba da se zašтите ne samo pošiljalac i primalac već i sam dostavljač, na primer od nelegalnih sadržaja same pošiljke koja se dostavlja.

Poveravanje pošiljke nepoznatim licima otvara pitanje uverenja vlasnika da dostavljači imaju odgovarajuće kompetencije. Baveći se detaljno pitanjem kompetentnosti dostavljača primenom višekriterijumske analize različitih parametara kompetentnosti kroz studiju slučaja [12], došlo su do nalaza da su veštine kao funkcionalne/bihejviorističke komponente kompetentnosti, daleko značajniji element od znanja kao kognitivne komponente.

Interesantno je i u izvesnoj meri neočekivano da neki od izazova koji su mnogo aktuelniji u slučaju karakterističnih predstavnika ekonomije deljenja *Uber*-a i *Airbnb*-a ne treba zanemariti ni u slučaju CSD. Reč je o tome da kompetentnost, iskustvo i kvalitet recenzije ne moraju biti jedini faktori izbora dostavljača. Tako se u [13] korišćenjem eksperimentalnih podataka došlo do zaključka da podaci o identitetu vozača (dostavljača) povećavaju poverenje i zadovoljstvo klijenata samo kada oni uoče da su vozači slični njima, posebno u pogledu etničke pripadnosti.

Važan aspekt uspostavljanja poverenja u CSD jeste način na koji je regulisano osiguranje od eventualne štete. Ovo pitanje dobija na značaju i zbog činjenice da mnoge zemlje u okviru postojećih polisa osiguranja ne pokrivaju angažmane u ekonomiji deljenja. Pojedine kompanije kao što je *Zipments*, daju neku vrstu garancija i imaju predviđene novčane sume za kompenzaciju štete, dok se druge smatraju neutralnim i ne predviđaju nadoknade za izgublenu, oštećenu ili ukradenu pošiljku.

### **3.2. Radni status dostavljača**

Na regulisanje odnosa između pružaoca i korisnika usluga utiču i pitanja radnog statusa dostavljača u CSD, odnosno da li se oni smatraju zaposlenima u CSD kompaniji ili nezavisnim ugovaračima. Slično kao i u drugim oblastima ekonomije deljenja, pitanja radnog statusa i svih prava i obaveza koja iz njega proističu kako za dostavljače, tako i za platforme mora se razmatrati “od slučaja do slučaja” [14]. Neke platforme u većoj meri kontrolišu dostavu (utvrđuju cene, pravce kretanja, daju interne instrukcije i obavljaju intervju za posao), dok druge daju mnogo veći stepen autonomije dostavljačima. Prilikom profilisanja radnih aktivnosti dostavljača, uz fleksibilnost radnog vremena treba istaći veću nestabilnost prihoda, a takođe i sopstvenu odgovornost za investiciona ulaganja i održavanje. Zbog specifičnosti radnog statusa u ekonomiji deljenja uopšte, postoji zalaganje kako u Evropi tako i van nje, da se pruži nova perspektiva i pravno ustanovi posebna kategorija zaposlenih, tzv. „zavisni ugovarači“ ili „ekonomski zavisni zaposleni“ [15, 9]. Time bi honorarni dostavljači, koji imaju ugovorni odnos sa CSD kompanijom

imali društvenu zaštitu adekvatnu svom položaju - manju nego stalno zaposleni, a veću u odnosu na nezaposlena lica.

### 3.3. Koordinisanje ponude i potražnje

Povezivanje dostavljača sa zahtevima za dostavom odnosno balansiranje ponude i potražnje je problem koji možda pobuđuje i najviše interesovanje u naučnoj literaturi. Složenost ove tematike u velikoj meri zavisi od CSD modela poslovanja. Kako se navodi u [16], kada dostavljači vrše dostavu uz svoje planirano kretanje, mora se imati u vidu da se oni umnogome razlikuju. U odnosu na to koliko su voljni da angažuju dodatno vreme i/ili da odstupe od planiranog puta, a sa druge strane pojedini žele da naprave i više od jedne dostave. Iz perspektive poštanskih operatora i drugih organizacija koje se bave dostavom, osnovno pitanje je koliko je efikasno angažovanje *ad-hoc* vozača i u kojoj meri može da zameni profesionalne dostavljače koji koriste vozni park organizacije. Analitički modeli bazirani na različitim metodama optimizacije, ukazuju da postoje jasne ekonomske koristi od CSD ali da je zbog pouzdanosti i kvaliteta usluge potreban i određeni broj sopstvenih vozila i stalno angažovanih vozača. Prema istraživanju [16], prilikom onlajn kupovine, najmanje potrebno angažovanje sopstvenih resursa je u slučaju kada kupci u prodavnici postaju dostavljači, ideja koju je lansirao *Walmart* još 2013. godine. Na slično pitanje – ko je potencijalni dostavljač u [17] se lansirala ideja da zaposleni u velikim distributivnim centrima ili prodajnim objektima dostavljaju pošiljke na povratku sa posla.

Koliko će CSD biti dobra alternativa tradicionalnim kurirskim službama u velikoj meri zavisi od cene. Osim u slučaju kada dostavljač i korisnik sami ugovaraju visinu naknade, cena može biti barijera za odluku o angažovanju nezavisnih dostavljača kako za krajnje korisnike tako i za organizacije koje angažuju dostavljače. Zbog relativno visokih zarada za dostavljače (koje se npr. u Americi kreću između \$16 i \$25 na sat), mnoge kompanije pribegavaju korišćenju CSD samo kao ispomoć u slučaju kada im postojeći resursi nisu dovoljni. Istraživanja tržišta pokazuju da u onlajn kupovini kupci sve više ispoljavaju zahteve za dostavom prema sopstvenim preferencijama i voljni su da za to plate - studija [18] ukazuje da čak 66% kupaca žele da sami odrede vreme, dan i lokaciju dostave. Jedan od načina da platforma bolje kontroliše ponudu i potražnju je strategija dinamičkog određivanja cena po uzoru na platforme *Uber* i *Lyft* u oblasti prevoza putnika.

Prethodno elaborirane ključne prednosti i izazovi CSD dostave rezimirani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Prednosti i izazovi crowdsourced dostave

Prednosti	Izazovi
Bolja iskorišćenost resursa	Zaštita privatnosti
Mogućnost ostvarivanja prihoda	Sigurnost novčanih transakcija
Brza i jeftina dostava	Kompetencije dostavljača
Ekološki pogodna	Kvalitet i pouzdanost usluge
Veća dostupnost robe	Bezbednosni rizici

#### 4. Zaključak

Rad daje uvid u osnovne karakteristike, načine poslovanja i izazove implementacije koncepta CSD koji je već nekoliko godina prisutan kao perspektivna forma ekonomije deljenja u oblasti dostave pošiljaka. Zahvaljujući ideji formiranja infrastrukture dostave na zahtev zasnovanoj na veb tehnologiji, CSD je postao ne samo komercijalno atraktivan za razvoj startapova, već je inspirisao lidere e-trgovine i vodeće poštanske operatore da ga i sami implementiraju. Potencijal rasterećenja putne mreže u urbanim sredinama i pozitivni ekološki efekti su takođe mogući, ali ih je realno očekivati samo u poslovnim modelima u kojima nema generisanja novih putovanja, odnosno u slučaju kada se mobilnost ljudi povezuje sa transportom robe. Budući da mnogi startapovi predviđaju da dostavljači pošiljaka sami odlučuju kada i koliko će da rade, koordinisanje ponude i potražnje postaje ključno pitanje opstanka platformi. U tom smislu se kao neka od rešenja povećanja pouzdanosti i kvaliteta usluge vidi saradnja sa profesionalnim kurirskim službama ili posedovanje manjeg broja sopstvenih vozila i stalno angažovanih dostavljača.

#### Zahvalnica

Istraživanje sprovedeno uz podršku Fonda za nauku Republike Srbije, br. projekta 7523041, Postavljanje osnova za jačanje kapaciteta zajednice ekonomije deljenja u Srbiji – PANACEA.

#### Literatura

- [1] Ghaderi, H., Zhang, L., Tsai, P. W., & Woo, J. (2022). Crowdsourced last-mile delivery with parcel lockers. *International Journal of Production Economics*, 251, 108549. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108549>
- [2] Buldeo Rai, H., Verlinde, S., Merckx, J., & Macharis, C. (2017). Crowd logistics: an opportunity for more sustainable urban freight transport?. *European Transport Research Review*, 9(3), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12544-017-0256-6>
- [3] Buldeo Rai, H., Verlinde, S., Merckx, J., & Macharis, C. (2018). Can the crowd deliver? Analysis of crowd logistics' types and stakeholder support. In Taniguchi, E. & Thompson, E. (Eds.) *City logistics 3: Towards sustainable and liveable cities* (pp. 89-108). Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/9781119425472.ch5>
- [4] Punel, A., & Stathopoulos, A. (2017). Modeling the acceptability of crowdsourced goods deliveries: Role of context and experience effects. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 105, 18-38. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.06.007>
- [5] Dumnić, S., Ninović, M., & Dupljanin, Đ. (2021). Logistička saradnja u ekonomiji deljenja. *XXXIX Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2021, Beograd*, <https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954455/POSTEL.2021.012>

- [6] Rougès, J. F., & Montreuil, B. (2014). Crowdsourcing delivery: New interconnected business models to reinvent delivery. In *1st international physical internet conference* (Vol. 1, pp. 1-19). Dostupno na <https://www.cirrelt.ca/ipic2014/pdf/1027a.pdf>
- [7] Crainic, T. G., & Montreuil, B. (2016). Physical internet enabled hyperconnected city logistics. *Transportation Research Procedia*, 12, 383-398. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.074>
- [8] Paloheimo, H., Lettenmeier, M., & Waris, H. (2016). Transport reduction by crowdsourced deliveries - a library case in Finland. *Journal of Cleaner Production*, 132, 240-251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.103>
- [9] Treľová, S. (2021). Models of work in collaborative economy and legislative challenges. In *SHS Web of Conferences* (Vol. 92). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20219205026>
- [10] Bojković, N., Petrović, M., Živojinović, T., ..., Jeremić, V. (2022). Ekonomija deljenja: karakteristike, poslovni modeli, primeri platformi i razvojni izazovi. Preuzeto sa <https://panacea-ideje.rs/wp-content/uploads/2022/07/D1.1-State-of-the-art-on-body-of-knowledge-for-Sharing-Community.pdf>
- [11] Alnaggar, A., Gzara, F., & Bookbinder, J. H. (2021). Crowdsourced delivery: A review of platforms and academic literature. *Omega*, 98, 102139. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.102139>
- [12] Li, L., Wang, X., & Rezaei, J. (2020). A Bayesian best-worst method-based multicriteria competence analysis of crowdsourcing delivery personnel. *Complexity*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4250417>
- [13] Ta, H., Esper, T. L., & Hofer, A. R. (2018). Designing crowdsourced delivery systems: The effect of driver disclosure and ethnic similarity. *Journal of Operations Management*, 60, 19-33. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2018.06.001>
- [14] Petropoulos, G. (2017). *An economic review of the collaborative economy* (No. 2017/5). Bruegel Policy Contribution, European Parliament, Directorate-General for Internal Policies. Dostupno na <https://www.bruegel.org/sites/default/files/wp-content/uploads/2017/02/PC-05-2017.pdf>
- [15] EU Commission. (2016). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A European Agenda for the collaborative economy. *Brussel*, 2, 2016. Dostupno na <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0356&from=EN>
- [16] Arslan, A. M., Agatz, N., Kroon, L., & Zuidwijk, R. (2019). Crowdsourced delivery—a dynamic pickup and delivery problem with ad hoc drivers. *Transportation Science*, 53(1), 222-235. <https://doi.org/10.1287/trsc.2017.0803>
- [17] Boysen, N., Emde, S., & Schwerdfeger, S. (2022). Crowdshipping by employees of distribution centers: Optimization approaches for matching supply and demand. *European Journal of Operational Research*, 296(2), 539-556. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.04.002>

- [18] Nowak, G., Maluck, J., Stürmer, C., & Pasemann, J. (2016). The era of digitized trucking. Transforming the logistics value chain. *PWC, White Paper*. Dostupno na <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/2016/the-era-of-digitized-trucking/the-era-of-digitized-trucking-transforming.pdf>

**Abstract:** *Activating a potentially large number of people delivering goods with the participation of digital platforms that control supply and demand, known as crowdsourced delivery, is one of the responses to the growing demand for on-demand deliveries. The work analyzes the current status of this promising form of sharing economy in the field of shipment delivery, start-up business models and interactions with traditional delivery operators. Based on existing practice, the most important implementation challenges were pointed out and analyzed, including building trust between participants, co-ordinating supply and demand, and working status of delivery drivers.*

**Keywords:** *crowdsourcing, delivery on-demand, sharing economy, business models*

## **CROWDSOURCED DELIVERY: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES**

Nataša Bojković, Marijana Petrović, Tanja Živojinović

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.007>

## **ANALIZA RIZIKA POREMEĆAJA U FUNKCIONISANJU USLUŽNIH MREŽA**

Branka Dimitrijević, Branislava Ratković, Vladimir Simić  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd  
b.dimitrijevic@sf.bg.sc.rs, b.ratkovic@sf.bg.sc.rs, vsima@sf.bg.sc.rs

**Rezime:** *Generalno gledano strateško planiranje lokacija objekata uslužnih mreža opredeljeno je troškovima uspostavljanja tih sistema i/ili postizanja određenog standarda u pogledu zadovoljenja korisničke tražnje. Tako projektovani sistemi baziraju se na ideji da će funkcionisati u regularnim uslovima eksploatacije, bez ikakvih ometanja. Međutim, različiti poremećaji mogu dovesti do delimičnog ili potpunog prestanka funkcionisanja delova uslužnih mreža. U radu je ukazano na značaj analize poremećaja u funkcionisanju uslužnih mreža i predstavljen je lokacijski model r-medijana interdikcije kao jedan od pristupa razvijenih u te svrhe. Dat je ilustrativni primer određivanja najranjivijih tačaka uslužnih mreža čije određivanje pruža mogućnost sagledavanja efekata potencijalnih poremećaja u njihovom funkcionisanju i preduzimanja odgovarajućih preventivnih radnji koje će te situacije eliminisati ili bar ublažiti.*

**Ključne reči:** *uslužne mreže, poremećaji, lokacijska analiza, r-medijana interdikcije*

### **1. Uvod**

Tradicionalni pristupi lociranju objekata zasnovani su na pretpostavci da će sistemi funkcionisati onako kako je zamišljeno i isprojektovano, bez ikakvih ometanja. Međutim, neželjeni događaji uzrokovani namerom (npr. sajber napadi, štrajkovi, teroristički napadi i krađa), nenamerne ljudske aktivnosti (npr. slučajni gubitak podataka ili oštećenje opreme), tehnološke katastrofe ili elementarne nepogode (npr. zemljotresi, uragani, klizišta, poplave itd) mogu isprojektovane sisteme učiniti nefunkcionalnim ili neefikasnim na neko vreme. Danas se sve više uočava značaj identifikovanja potencijalnih štetnih događaja i rizika od njihovog uticaja na postojeće sisteme. Naime, kada se desi neki od ometajućih događaja, usluge koje pruža posmatrani sistem mogu biti degradirane ili čak uništene.

Transportna mreža i objekti koji se nalaze na njoj predstavljaju ključne elemente svakog proizvodnog, distributivnog i uslužnog sistema i istraživanje rizika od neželjenih događaja i njihovog uticaja na poremećaje u funkcionisanju ovih sistema spada u oblast upravljanja katastrofama (engl. Disaster Management). U fokusu ovog rada je istraživanje poremećaja u funkcionisanju objekata uslužnih mreža kao posledica pojave neželjenih događaja, čije je modeliranje u teoriji lokacije relativno novo. U literaturi se navode tri

glavna pitanja na koje je, u istraživanju poremećaja funkcionisanja objekata različitih sistema, potrebno dati odgovore [1]:

- Koliko poremećaj može biti poguban za sistem, odnosno koliko štete može da nanese? Odgovorom na ovo pitanje se pronalaze vitalni objekti, odnosno objekti čijim onesposobljavanjem se nanosi najveća šteta sistemu.
- Da li postoje načini da se sistem zaštiti od poremećaja? Odgovorom na ovo pitanje pronalaze se načini zaštite objekata kako bi se sprečili poremećaji u funkcionisanju sistema. U zavisnosti od neželjenih događaja i poremećaja koje sistem zbog njih trpi, zaštita objekata može podrazumevati i jednostavnije aktivnosti kao što je obezbeđivanje rezervnih generatora za napajanje ili pojačanje bezbednosnih i sigurnosnih sistema koji će odbiti potencijalne napadače. Sa druge strane, takve aktivnosti bi mogle uključiti i planiranje izmeštanja nekog objekta na obližnju lokaciju koja je manje podložna nekom neželjenom događaju, kao što je na primer poplava.
- Da li postoji mogućnost za rekonfiguraciju postojećeg sistema ili kreiranje novih koji je će u boljoj meri odgovoriti na rizike od potencijalnih poremećaja? Odgovorom na ovo pitanje se otvara mogućnost kreiranja potpuno novih sistema otporni(ji)h na potencijalne uticaje poremećaja.

Predmet ovog rada je analiza rizika poremećaja u funkcionisanju uslužnih mreža poput poštanske mreže, mreže paketomata, bankomata itd. kroz modeliranje uslužne mreže na način koji određuje najnepovoljnije efekte prestanka funkcionisanja zadanog broja objekata u posmatranom sistemu primenom lokacijskog modela  $r$ -medijana interdikcije (engl.  $r$ -interdiction median). Cilj je da se analizom ustanove vitalni objekti uslužne mreže, odnosno objekti čijim onesposobljavanjem se nanosi najveća šteta sistemu, što predstavlja prvi korak u analizi rizika od poremećaja u funkcionisanju uslužnih mreža i preduslov za pravljenje strategije u cilju sprečavanja ili pak ublažavanja efekata poremećaja.

Rad je organizovan na sledeći način. U narednom poglavlju dat je kratak pregled literature vezano za lokacijski model  $r$ -medijana interdikcije. U trećem poglavlju prikazana je i objašnjena formulacija ovog modela, a četvrto poglavlje sadrži ilustrativni primer uslužne mreže na kome je demonstrirana njegova primena, dati rezultati i njihova diskusija. U poslednjem poglavlju rada data su zaključna razmatranja i pravci daljih istraživanja.

## 2. Pregled literature

Do početka XXI veka, gotovo svi autori koji su se bavili lokacijskom analizom ignorisali su analizu rizika od poremećaja u funkcionisanju sistema pri optimizaciji lokacija objekata. Usled veoma širokog spektra poremećaja koji su postali izraženi u poslednjih dvadeset godina (od prirodnih i tehnoloških katastrofa do štrajkova i terorističkih napada) povećano je interesovanje za modeliranje ranjivosti posmatranih mreža. Radovi [2] i [3] bili su fundamentalni radovi koji su se bavili problemom ispitivanja pouzdanosti i rezilijentnosti lociranih objekata na mreži. Autori su u radu [2] predložili dva nova lokacijska modela bazirana na  $p$ -medijana modelu i modelu maksimalnog pokrivanja. Oba modela za posmatrani sistem identifikuju one lokacije objekata koje u slučaju da postanu nefunkcionalne najviše utiču na pružanje usluga. Nadalje su autori nadograđivali pomenute modele, pa se tako u radu [3] predlaže višekriterijumski model baziran na  $p$ -medijan modelu, u kome je pretpostavljeno da  $p$  objekata ima podjednaku verovatnoću da ispadnu iz sistema, a zatim se svaki od korisnika alocira ka objektima nižeg hijerarhijskog nivoa u

slučaju da su svi objekti višeg nivoa nefunkcionalni. Prva funkcija cilja predstavlja ukupno pređeno rastojanje korisnika do objekata višeg hijerarhijskog nivoa, dok druga funkcija cilja predstavlja očekivane transportne troškove usled otkaza pojedinih objekata na nižem hijerarhijskom nivou sistema. U radu [4] autori su posmatrali problem lociranja objekata koji eksplicitno uzima u obzir mogućnost da neki od objekata ispadnu iz sistema, što dovodi do toga da korisnici traže uslugu od funkcionalnih objekata, međutim to za rezultat ima povećanje transportnih troškova. Predloženi model predstavlja generalizaciju  $p$ -medijana modela, a model je primenjen na lokacije opštih bolnica u Torontu. Primenjeni model je pokazao da ocena kvaliteta trenutnih lokacija bolnica u velikoj meri zavisi od toga da li se uzima u obzir mogućnost poremećaja, pri čemu trenutni sistem funkcioniše blizu optimalnog ukoliko je verovatnoća pojave poremećaja velika. Rad [5] razmatra problem zaštite kritične infrastrukture u sistemima snabdevanja u pogledu potencijalnih namernih napada. Autori su predložili probabilistički model  $r$ -medijana interdikcije, a za rešavanje problema većih dimenzija razvili su gramzivu heuristiku. U radu [6], autori su proširili model  $r$ -medijana interdikcije kako bi obuhvatili i aspekt zaštite objekata od potencijalnih poremećaja u funkcionisanju kao posledica neželjenih događaja uzrokovanih namerom. Predstavljeni model celobrojnog programiranja uzima u obzir ograničene resurse za zaštitu objekata. U radu [7], model  $r$ -medijana interdikcije je takođe proširen kako bi obuhvatio zaštitu objekata što je rezultiralo dvonivojskim modelom matematičkog programiranja koji istovremeno uzima u obzir i egzogene i endogene poremećaje izazvane namernim napadima na sistem. Rad [8] se bavi modeliranjem i formulacijom  $r$ -medijana interdikcije sa zaštitom objekata u fazi okruženju.

### 3. Lokacijski problem $r$ -medijana interdikcije

Ovaj lokacijski model je izabran da bude predstavljen jer posmatra postojeću uslužnu mrežu kao medijana problem, što je u praksi i najčešća situacija. Njime se određuju najnepovoljniji efekti prestanka funkcionisanja zadatog broja objekata ( $r$ ) na mreži, određujući maksimalno ponderisano rastojanje između preostalih objekata na mreži i korisnika pridruženih njima najbližim preostalim objektima. Dakle, nemogućnost jednog ili više objekata da pružaju usluge rezultira smanjenjem kvaliteta usluga posmatrane mreže kroz povećanje transportnih troškova, a lokacijski problem  $r$ -medijana interdikcije ustanovljava kojih  $r$  uslužnih objekata bi svojim prestankom funkcionisanja doveli do najvećeg povećanja transportnih troškova u pružanju usluga korisnicima.

U nastavku je prikazana korišćena notacija i promenljive koje figurišu u formulaciji lokacijskog problema  $r$ -medijana interdikcije.

Notacija:

$I$  – skup čvorova postojećih lokacija objekata,

$J$  – skup čvorova korisnika,

$i, k$  – indeksi čvorova postojećih lokacija,

$j$  – indeks čvorova korisnika,

$V_j$  – težinski koeficijent korisničkog čvora  $j$  (zahtevi ili potražnja korisnika  $j$ ),

$d_{ij}$  – najkraće rastojanje između objekta  $i$  i korisnika  $j$ ,

$r$  – unapred definisan broj objekata čija je funkcionalnost onemogućena,

$T_{ij} = \{k \in I \mid d_{kj} > d_{ij}\}$ ,  $\forall i \in I, j \in J$  – skupovi koje čine one lokacije objekata  $k$  iz skupa  $I$

koje su na većem rastojanju od korisnika  $j$  nego što je posmatrana lokacija  $i$ .



Promenljive:

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{ako je lokacija objekta } i \text{ van funkcije} \\ 0, & \text{ako nije} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ako lokacija } i \text{ opslužuje korisnike u čvoru } j \\ 0, & \text{ako ne} \end{cases}$$

Formulacija problema [2]:

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} V_j d_{ij} Y_{ij} \quad (1)$$

pri ograničenjima:

$$\sum_{i \in I} Y_{ij} = 1, \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} X_i = r \quad (3)$$

$$\sum_{k \in T_{ij}} Y_{kj} \leq X_i, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4)$$

$$X_i = \{0,1\}, \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$Y_{ij} = \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (6)$$

Funkcija cilja (1) maksimizira sumu ponderisanih rastojanja između objekata  $i$  i korisnika  $j$ . Prvi skup ograničenja (2) se odnosi na činjenicu da svaki korisnik mora biti opslužen iz nekog od uslužnih objekata koji su u funkciji. Drugo ograničenje (3) podrazumeva da je broj objekata koji nisu u funkciji jednak  $r$ . Treći skup ograničenja (4) obezbeđuje da se korisnici opslužuju u njima najbližim objektima koji su u funkciji. Konačno, ograničenja (5) i (6) se odnose na binarnu prirodu promenljivih  $X_i$  i  $Y_{ij}$ .

#### 4. Ilustrativni primer i analiza rezultata

Neka hipotetičku uslužnu mrežu čini 16 čvorova - postojećih lokacija objekata ( $i=1, \dots, 16$ ) i 17 čvorova agregirane korisničke tražnje ( $j=1, \dots, 17$ ). Tražnja za uslugom, izražena npr. kroz broj potencijalnih korisnika, u svakom od korisničkih čvorova data je u tabeli 1, dok je u tabeli 2 data matrica najkraćih rastojanja između uslužnih objekata i korisnika.

Tabela 1. Korisnička tražnja

$j$	Broj potencijalnih korisnika	$j$	Broj potencijalnih korisnika
1	213742	10	57607
2	183003	11	56865
3	177338	12	51889
4	174197	13	46406
5	168841	14	45253
6	165739	15	35732
7	108198	16	26855
8	86585	17	19819
9	72124		

Tabela 2. Matrica najkraćih rastojanja između lokacija objekata i korisnika u km

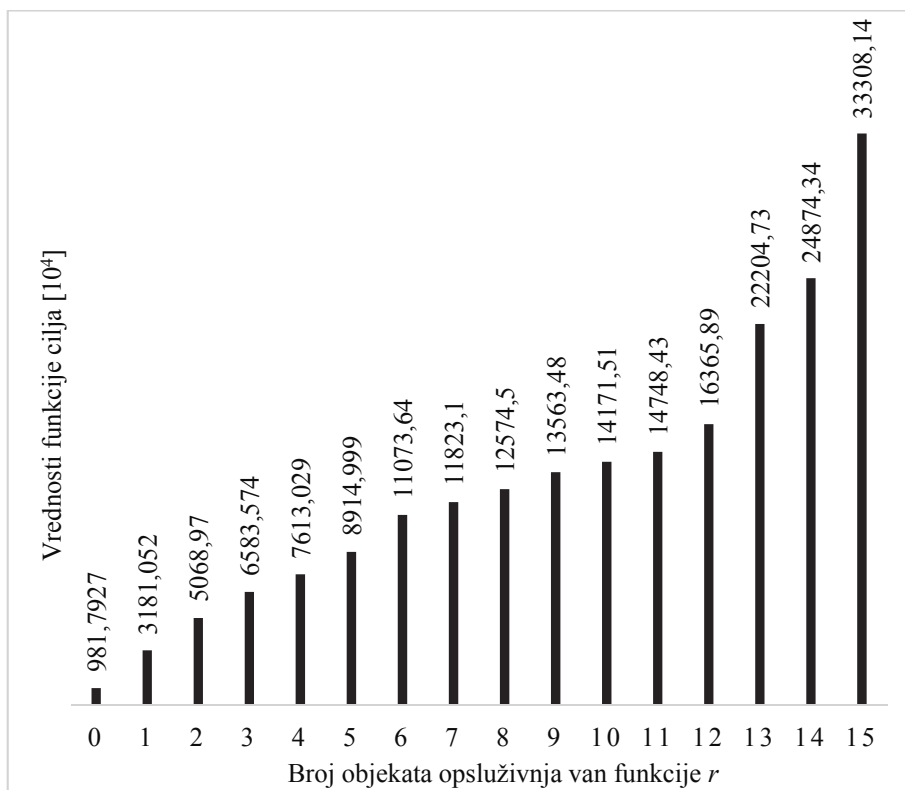
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	8,0	9,5	11,2	9,4	3,9	1,3	11,4	27,7	34,2	3,3	62,6	52,5	27,2	2,7	3,0	34,1	53,7
2	8,4	14,3	10,6	11,1	1,5	3,7	8,4	31,9	33,6	2,6	59,2	47,9	26,6	4,9	3,5	30,7	49,1
3	2,8	13,8	11,5	1,5	10,3	7,4	13,9	40,8	44,7	9,9	62,9	56,8	20,0	6,3	6,5	34,4	58,0
4	10,0	27,0	2,9	13,9	8,7	10,4	2,2	41,2	30,0	8,3	52,2	57,2	25,9	10,2	9,8	23,7	35,9
5	43,3	51,4	27,8	44,8	33,4	33,4	33,1	64,0	0,9	33,1	40,5	61,1	27,7	33,2	32,0	24,7	45,3
6	77,7	85,8	52,1	79,2	62,3	62,3	52,8	70,9	41,8	62,0	1,1	48,9	63,2	63,3	62,0	35,8	41,3
7	54,5	70,5	54,6	57,4	48,2	50,5	57,1	36,0	79,6	49,1	50,4	0,8	72,7	52,3	50,0	33,7	14,7
8	40,0	36,8	42,2	43	33,7	36,1	42,6	1,0	65,2	34,7	71,4	36,0	58,2	37,9	35,6	38,2	38,5
9	22,6	38,7	12,6	25,6	10,7	11,7	9,0	26,4	47,8	10,3	61,3	42,4	40,8	12,9	11,2	32,8	37,3
10	56,2	72,3	35,2	59,1	49,9	52,2	35,8	37,8	45,7	50,9	43,1	15,2	50,2	54,1	51,7	20,0	0,15
11	34,4	61,6	22,9	37,3	33,1	33,6	23,5	37,6	24,6	32,8	34,3	37,5	37,8	32,9	31,6	0,3	21,7
12	18,5	19,6	43,1	14,9	24,8	24,6	28,4	55,2	48,9	24,3	86,2	71,3	24,2	22,8	23,6	57,7	69,9
13	18,9	27,4	23,1	20,8	25,6	25,4	26,7	56,6	28,9	27,2	66,2	72,1	0,75	23,6	24,8	37,7	49,8
14	25,8	6,9	21,4	20,9	16,0	12,4	21,5	48,7	60,4	14,7	72,8	63,2	35,7	13,0	13,2	44,3	64,4
15	5,5	14,7	9,7	7,2	5,3	3,8	10,1	37,0	32,6	3,7	66,2	53,0	25,9	2,6	2,2	32,4	47,9
16	16,1	32,2	5,8	19,0	14,8	16,5	9,6	45,4	21,9	14,6	55,7	58,5	16,9	14,7	13,4	23,2	35,4

Za rešavanje ovog lokacijskog problema korišćen je solver LINGO 19.0. Na slici 1 data su rešenja problema u pogledu maksimalne vrednosti funkcije cilja za različite vrednosti parametra  $r$ , dok su u tabeli 3 dati indeksi lokacija objekata na ilustrativnoj uslužnoj mreži koji za dato  $r$  dovode do najvećih poremećaja u njenom funkcionisanju, odnosno do maksimalnih vrednosti funkcije cilja.

U slučaju kada je  $r=0$ , odnosno kada svi postojeći objekti funkcionišu (regularno stanje), vrednost funkcije cilja iznosi 9817927. Treba napomenuti da je to ujedno i vrednost funkcije cilja kada bi ovaj problem bio rešavan kao  $p$ -medijana lokacijski problem za  $p=16$ , odakle se jasno uočava veza između  $r$ -medijana interdikcije i  $p$ -medijana lokacijskog problema.

U slučaju da se desi poremećaj u funkcionisanju sistema koji podrazumeva ispadanje iz funkcije jednog od uslužnih objekata ( $r=1$ ), na sistem bi najveći negativan uticaj imalo ispadanje objekta 8 (tabela 3) kada bi vrednost funkcije cilja iznosila 31810520, što je 3,24 puta veća vrednost nego kada su svi objekti u funkciji, odnosno transportni troškovi pružanja usluga bi se u tom slučaju uvećali za 324% u odnosu na regularne uslove funkcionisanja sistema. Kada je  $r=2$  vrednost funkcije cilja iznosi 50698700, a dva objekta čiji bi prestanak funkcionisanja doveo do tolike vrednosti kriterijumske funkcije, odnosno imao najveći negativan uticaj na transportne troškove uslužne mreže, su 6 i 8 (tabela 3) i tako redom.

Dakle, rezultati iz tabele 3 daju analitičarima i menadžmentu sistema informacije koji su to objekti čijim ispadanjem dolazi do najvećih poremećaja u funkcionisanju uslužne mreže što otvara mogućnost da se u skladu sa raspoloživim finansijama odrede i prioriteta, odnosno redosled kojim bi se preduzimale aktivnosti prevencije ovih objekata u cilju smanjenja rizika od identifikovanih potencijalnih poremećaja.



Slika 1. Vrednosti funkcije cilja u zavisnosti od broja lokacija van funkcije

Tabela 3.  $r$  lokacija čije nefunkcionisanje ima najveći negativan uticaj na sistem

$r$	Lokacije van funkcije
1	8
2	6,8
3	5,6,8
4	5,6,8,11
5	5,6,7,8,11
6	5,6,7,8,10,11
7	5,6,7,8,10,11,13
8	5,6,7,8,10,11,13,16
9	4,5,6,7,8,10,11,13,16
10	4,5,6,7,8,9,10,11,13,16
11	2,4,5,6,7,8,9,10,11,13,16
12	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,15
13	1,2,3,4,5,8,9,11,12,13,14,15,16
14	1,2,3,4,5,6,8,9,11,12,13,14,15,16
15	1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16

## 5. Zaključak

U radu je naglašena važnost sprovođenja analize rizika poremećaja u funkcionisanju uslužnih mreža. Lokacijski problem  $r$ -medijana interdikcije primenjen je za modeliranje razmatranog problema. Priložen je numerički primer određivanja najranjivijih tačaka korisničkih mreža kako bi se detaljno analizirali efekti poremećaja i utvrdio redosled kojim bi se preduzimale aktivnosti prevencije.

Značajan pravac budućeg istraživanja ranjivosti uslužnih mreža predstavlja proširenje predstavljenog modela  $r$ -medijana interdikcije. U skladu sa konceptom održivog razvoja, za modeliranje ranjivosti uslužnih mreža, pored transportnih troškova koji vrlo dobro reprezentuju kako funkcionisanje uslužnih mreža, tako i efekte poremećaja, ima smisla uključiti u razmatranje i ostale reprezentive poremećaja, poput bezbednosti korisnika uslužnih mreža, a u nekim slučajevima i negativne ekološke efekte koje poremećaji mogu izazvati u okruženju. Na taj način bi se posmatrani problem preselio u domen višekriterijumske optimizacije. Za rešavanje ovako strukturiranog višekriterijumskog optimizacionog modela, u slučajevima kada postoji veliki broj postojećih lokacija objekata uslužne mreže i korisničkih čvorova, neophodna je primena neke od mnoštva postojećih metaheuristika ili razvoj nove. U tom smislu, buduća istraživanja će ići i pravcu rešavanja problema većih dimenzija koji bi bio realna uslužna mreža.

## Literatura

- [1] G. Laporte, S. Nickel, F. Saldanha da Gama, *Location Science*, Springer, Switzerland, 2015.
- [2] R.L. Church, M.P. Scaparra, and R.S. Middleton, „Identifying critical infrastructure: the median and covering facility interdiction problems”. *Annals of the Association of American Geographers* 94, pp. 491–502, 2004. DOI: 10.1111/j.1467-8306.2004.00410.x
- [3] L.V. Snyder, and M.S. Daskin, “Reliability models for facility location: the expected failure cost case”. *Transportation Science* 39, pp. 400–416, 2005. DOI: 10.1287/trsc.1040.0107
- [4] O. Berman, D. Krass, and M.B.C. Menezes, “Facility Reliability Issues in Network  $p$ -Median Problems: Strategic Centralization and Co-location Effects”. *Operations Research, INFORMS*, 55 (2), pp.332-350, 2007, DOI: 10.1287/opre.1060.0348.
- [5] Y. Zhu, Z. Zheng, X. Zhang, and K. Cai, “The  $r$ -interdiction median problem with probabilistic protection and its solution algorithm”. *Computers & Operations Research*, 40(1), pp. 451–462, 2013. DOI: 10.1016/j.cor.2012.07.017
- [6] K. Zhang, X. Li, M. Jin, “Efficient Solution Methods for a General  $r$ -Interdiction Median Problem with Fortification”. *INFORMS Journal on Computing*, 34(2), pp.1272-1290, 2021, DOI: 10.1287/ijoc.2021.1111.
- [7] R.L. Church, M.P. Scaparra, “Protecting Critical Assets: The  $r$ -Interdiction Median Problem with Fortification”. *Geographical analysis*, 39(2), pp. 129-146, 2007, DOI: 10.1111/j.1538-4632.2007.00698.x
- [8] H. R. Maleki, R. Khanduzi, "Modeling  $r$ -interdiction median problem with fortification in a fuzzy environment". *4th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems (CFIS)*, pp. 1-5, 2015, DOI: 10.1109/CFIS.2015.7391685

**Abstract:** *The facility location problem in the context of user networks is predetermined by the investment costs and/or achieving a certain standard of satisfying users' demand. Systems designed in this way are based on the idea that they will function in regular exploitation conditions, without any interference. Various disruption events can lead to a partial or complete shutdown of parts of the user networks. First, the paper highlights the importance of the impact assessment of disruption events on user networks. Then, the  $r$ -interdiction median location model is presented as a potential solution approach. Finally, a numerical example of the determination of the most vulnerable points of user networks is provided to illustrate the effects of potential disruptions, as well as appropriate preventive actions that eliminate or at least mitigate those situations.*

**Keywords:** *user networks, disruptions, location analysis,  $r$ -interdiction median*

## **DISRUPTION RISK ANALYSIS OF USER NETWORKS**

Branka Dimitrijević, Branislava Ratković, Vladimir Simić

## TESTING FOR IMPROVEMENT IN PREDICTION MODEL PERFORMANCE IN POST

Nataša Milosavljević<sup>1</sup>, Nikola Knežević<sup>2</sup>, Nebojša Bojović<sup>2</sup>, Miloš Milenković<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Belgrade - Faculty of Agriculture,  
natasam@agrif.bg.ac.rs

<sup>2</sup>University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering,  
n.knezevic@sf.bg.ac.rs, nb.bojovic@sf.bg.ac.rs, m.milenkovic@sf.bg.ac.rs

**Abstract:** *The aim of this research is to compare the performance of predictive models when different metaheuristics are used. We improved the neural networks using the bee algorithm (BCO) and the ant colony algorithm (ACO) on the shipment data. They compared the obtained results and found that the model of the BCO algorithm performed better than the ACO, and both better than the basic model of neural networks. In further research, our goal is to achieve even better performance by combining several algorithms in one. For the model of neural networks without using metaheuristics, we used R, and we implemented the other models in the programming language python.*

**Key words:** *Prediction, machine learning, hybrid models, meta-heuristic algorithms, artificial intelligence.*

### 1. Introduction

Intelligent Transportation System (ITS) aims to increase the operational efficiency and capacity of the transportation system by creating an integrated system of people, roads and vehicles (An et al., 2011). An efficient ITS environment requires a continuous flow of information regarding how traffic conditions evolve with time (Lieu, 2000), and one of the most frequently studied conditions is traffic flow (Vlahogianni et al., 2004), which refers to the number of vehicles passing through a given point on a road segment in a certain time span. Traffic flow forecasting can be used for specific tasks ranging from road condition controlling (Jiang and Adeli, 2005) to travel planning (Lee et al., 2009), hence is strongly needed for individual road users, business sectors, and government agencies.

A predominant change in ITS recently is extensive data can be collected from various sources (Zhang et al., 2011), which prompts the prevalence of data-driven methods for traffic forecasting. Unlike knowledge-driven methods employing analytical or simulation models (Cascetta, 2013), data-driven approaches develop models directly learning the traffic dynamics from traffic data, and are generally more accurate and robust (Van Lint and Van Hinsbergen, 2012). From the perspective of the forecasting period, data-driven methods can be classified into short-term (from a few seconds to a few hours) (Vlahogianni et al., 2014) and long-term (longer than short-term and up to 24 hours)

forecasting (Hou et al., 2015), and the former has attracted most effort till several years ago (Vlahogianni et al., 2014).

The goal of this research is to deal with predictive models based on the data of the Post of Serbia. We will not follow the problems of transport itself, which is connected with letters, packages and express shipments, which will be the goal of our research. The work is based on the description of the methods that we used in this research, and then we will describe the data, present the results and give the conclusion of this research.

## 2. Methodology

Traditionally, NNs models learn by changing the interconnection weights of their associated neurons. It can be trained by different approaches such as: BP, Improved BP algorithm, Evolutionary Algorithms (EA), Swarm Intelligence (SI), Differential Evolution (DE) and Hybrid Bee Ant Colony (HBAC), IABC-MLP and recently HABC Algorithms. However, BP algorithm results in long training time and insufficient performance for the binary classification task. However, a BP learning algorithm has some difficulties; especially, it's getting trapped in local minima, where it can affect the NNs performance (Bonabeau et al. 1999.).

NN learning is a process of obtaining new knowledge or adjusting the existing knowledge through the training process. The combination of weights, which minimizes the error function is considered to be a solution of the learning problem. This step by step mathematical procedure adjusts the weights according to the error function. So, the adjustment of weights, which decrease the error function is considered to be the optimal solution of the problem. In the input layer only inputs propagate through weights and passing through hidden layers and get output by some local information. For the BP error, each hidden unit is responsible for some part of the error.

Ant Colony Optimization (ACO) is a meta-heuristic procedure for the solution of a combinatorial optimization and discrete problems that has been inspired by the social insect's foraging behaviour of real ant decision developed in 1990s. Real ants are capable of finding Food Source (FS) by a short way through exploiting pheromone information, because ants leave pheromone on the ground, and have a probabilistic preference for trajectory with larger quantity of pheromone. Ants appear at a critical point in which they have to choose to get food, whether to turn right or left. Initially, they have no information about which is the best way for getting the FS.

Ants move from the nest to the FS blindly for discovering the shortest path. The above behavior of real ants has inspired ACO, an algorithm in which a set of artificial ants cooperate in the solution of a problem by sharing information. When searching for food, ants initially explore the area surrounding their nest in a random manner. As soon as an ant finds FS, it evaluates the quantity and the quality of the food and carries some of it back to the nest. The following is the ACO pseudo code.

```
Initialize Trail
Do While (Stopping Criteria Not Satisfied) – Cycle Loop
Do Until (Each Ant Completes a Tour) – Tour Loop
Local Trail Update
End Do
Analyze Tours
Global Trail Update
End Do
```

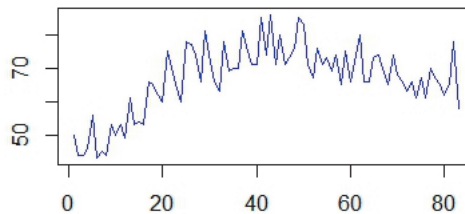
Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm was proposed for optimization, classification, and NNs problem solution based on the intelligent foraging behavior of honey bee. The three bees determine the objects of problems by sharing information to other's bees. The employed bees use multidirectional search space for FS with initialization of the area. They get news and all possibilities to find FS and solution space. Sharing of information with onlooker bees is performed by employed bees. Onlooker bees: Onlooker bees evaluate the nectar quantity obtained by employed bees and choose a FS depending on the probability values calculated using the fitness values. Onlooker bees watch the dance of hive bees and select the best FS according to the probability proportional to the quality of that FS. Scout bees: Scout bees select the FS randomly without experience. If the nectar quantity of a FS is higher than that of the old source in their memory, they memories the new position and forget the previous position. Whenever employed bees get a FS and use the FS very well again, they become scout bees to find a new FS by memorizing the best path.

Bee colony and ant colony we used to get an arrangement of neurons in the middle layer that would give better results than a regular neural network algorithm.

### 3. Results and discussion

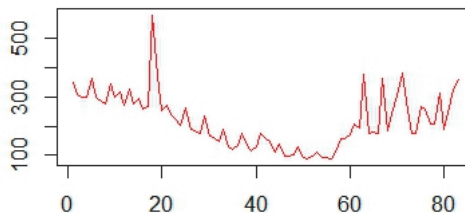
In our research, we used data from the Post of Serbia. We had three time series: letters, packages, and express packages. Letters (Figure 1.) and packages (Figure 2.) had 83 observations, covering the period from 2001 to 2022 (4 data for each year, with 2001 having 1 and 2022 having 2 data). Express packages (Figure 3) had 57 observations and covered the period from 2008 to 2022 (3 data in 2008 and 2 in 2022).

**Time series of letters (in millions)**



*Figure 1. Time series observation for letters from 2001. to 2022.*

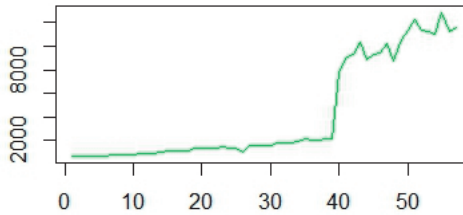
**Time series of packages (in thousands)**



*Figure 2. Time series observation for packages from 2001. to 2022.*



**Time series of express (in thousands)**



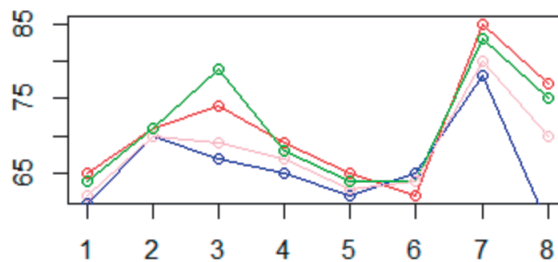
*Figure 3. Time series observation for express packages from 2008. to 2022.*

The neural network used in the first two time series 75 observations were for training the neural network, and 8 for prediction validation. In the third, we used 50 for training the neural network, and 7 for validating the prediction.

We varied the number of neurons in the middle layer. It went from 5 to 15. The criterion, both with the simple and with the combination of models, was the smallest prediction error.

When looking at a time series of letters the smallest prediction error was not achieved in the model to be the same in each model for the same number of neurons in the middle layer. In the case of the ordinary neural network, this was achieved with 7 neurons in the middle and it was 0.31, in the dark colony it was with 9 neurons in the middle and it was 0.22, and in the case of the bee colony 5 neurons in the middle and it was 0.20. The criterion we decided to show the results and compare these three models was to select the number of neurons in the middle where all three models had the best prediction result (in terms of average model success value).

The bee colony model generally performed best, then the ant model and finally the regular neural network model. According to the criteria we decided on, the models showed the best prediction for 8 neurons in the middle layer (Figure 4.).



*Figure 4. The model for letters that proved to be the best. Blue represents the original data, red the neural network, green the ant colony, and pink the bee colony.*

The bee model also performed best with the package. There, the best result was shown with 10 neurons in the middle layer (Figure 5.), while in particular, the best result was achieved by a neural network with 8 neurons in the middle, an ant colony with 12, and bees with 10 neurons in the middle. In this case, the model errors were: neural networks 0.34, ant colony 0.29, and bee algorithm 0.27.

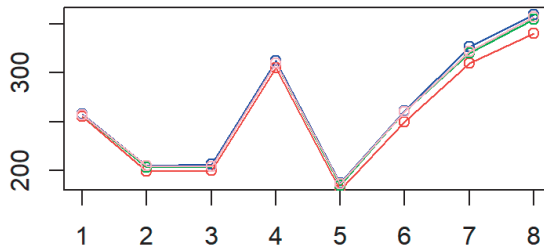


Figure 5. The model for packages that proved to be the best. Blue represents the original data, red the neural network, green the ant colony, and pink the bee colony.

The situation is similar with regard to the model of the express package. The best was the bee algorithm with an error of 0.12, followed by the ant algorithm with 0.26 and finally the neuron algorithm with 0.41 (Figure 6.). The number of neurons in the middle layer for this case was 7. If we look at the individual behavior of the error movement here as well, the neural networks were the most successful for 12 neurons in the middle, the ant colony for 9, and the bee algorithm for 10.

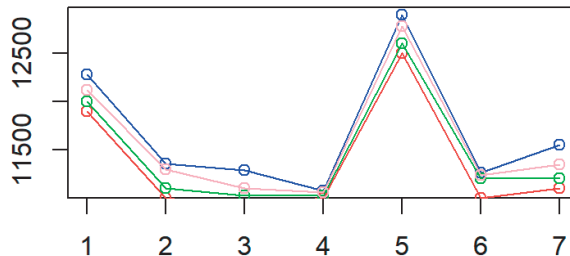


Figure 6. The model for express packages that proved to be the best. Blue represents the original data, red the neural network, green the ant colony, and pink the bee colony.

#### 4. Conclusion

From the results achieved in this research, as well as from the results of other researchers who dealt with similar problems, combining different models proved to be better than traditional models.

In our research, the hybrid model that used bees to improve the standard neural network proved to be better, but in general it is necessary to examine the variation of not only the neurons in the middle layer, but also to use the advantages of metaheuristic algorithms and to vary their parameters together with the parameters of the neural network in order to achieve even better results. Our future research will go exactly in this direction.

#### Acknowledgement

This work was created as a result of research within the Agreement on the implementation and financing of scientific research work in 2022 between the Faculty of Agriculture in Belgrade and the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, contract registration number: 451-03-68/2022-14/200116.

## Literature

- [1] AN, S.-H., LEE, B.-H. & SHIN, D.-R. A survey of intelligent transportation systems. 2011.
- [2] LIEU, H. C. 2000. Traffic estimation and prediction system.
- [3] VLAHOGIANNI, E. I., GOLIAS, J. C. & KARLAFTIS, M. G. 2004. Short-term traffic forecasting: Overview of objectives and methods. Transport reviews, 24, 533-557.
- [4] JIANG, X. & ADELI, H. 2005. Dynamic wavelet neural network model for traffic flow forecasting. Journal of transportation engineering, 131, 771-779.
- [5] LEE, W.-H., TSENG, S.-S. & TSAI, S.-H. 2009. A knowledge based real-time travel time prediction system for urban network. Expert systems with Applications, 36, 4239-4247.
- [6] ZHANG, J., WANG, F.-Y., WANG, K., LIN, W.-H., XU, X. & CHEN, C. 2011. Data-driven intelligent transportation systems: A survey. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 12, 1624-1639.
- [7] CASCETTA, E. 2013. Transportation systems engineering: theory and methods, Springer Science & Business Media.
- [8] VAN LINT, J. & VAN HINSBERGEN, C. 2012. Short-term traffic and travel time prediction models. Artificial Intelligence Applications to Critical Transportation Issues, 22, 22-41
- [9] VLAHOGIANNI, E. I., KARLAFTIS, M. G. & GOLIAS, J. C. 2014. Short-term traffic forecasting: Where we are and where we're going. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 43, 3-19.
- [10] HOU, Y., EDARA, P. & SUN, C. 2015. Traffic Flow Forecasting for Urban Work Zones. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 16, 1761-1770.
- [11] BONABEAU, E., DORIGO, M., THERAULAZ, G.: Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems. Oxford University Press, NY (1999).

**Sadržaj:** *Cilj ovog istraživanja je da uporedi performanse prediktivnih modela kada se koriste različite metaheuristike. Neuronske mreže smo unapredili korišćenjem pčelinjeg algoritma i algoritma kolonije mrava na podacima pošiljki. Uporedili dobijene rezultate i dobili da se bolje pokazao model pčelinjeg algoritma od kolonije mrava, a oba bolje od osnovnog modela neuronskih mreža. U daljim istraživanjima cilj nam je da kombinacijama više algoritama u jednom postignemo još bolje performanse. Za model neuronskih mreža bez korišćenja metaheuristike koristili smo R, a ostale modele smo implementirali u programskom jeziku python.*

**Ključne reči:** *Predikcija, mašinsko učenje, hibridni modeli, metaheuristički algoritmi, veštačka inteligencija.*

### TESTIRANJE MODELA PREDVIĐANJA U CILJU POBOLJŠANJA PERFORMANSI U POŠTI

Nataša Milosavljević, Nikola Knežević, Nebojša Bojović, Miloš Milenković

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.009>

## **PREDVIĐANJE OBIMA PRIMLJENIH EMS POŠILJAKA NA NIVOU SRBIJE POMOĆU SARIMA, RANDOM FORESTS I ELM MODELA**

Ivana D. Rogan, Olivera R. Pronić-Rančić  
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija,  
ivana84p@gmail.com, olivera.pronic@elfak.ni.ac.rs

**Rezime:** *U radu su prikazani rezultati validacije / predviđanja obima primljenih EMS (Express Mail Service) pošiljaka na nivou Srbije u periodu od 2016 do 2021. godine, zadatih mesečno. Korišćeni su sledeći modeli: sezonski autoregresivni integrisani pokretni prosek (SARIMA), algoritam nadgledanog mašinskog učenja tzv. Slučajnih šuma (RF-random forests) u XLSTAT dodatku za Excel i jedan model veštačke neuronske mreže (ANN) – Ekstremno mašinsko učenje (ELM – extreme learning machine) u Matlab okruženju. U okviru procesa validacije modela, pokazana je izrazita prednost primene RF modela u odnosu na ELM i SARIMA model. Korišćenjem RF modela dobijena je najmanja vrednost RMSE (oko 30% manja od one u ELM modelu i oko 70% manju od SARIMA metoda), kao i najkraće vreme izvršavanja programa.*

**Ključne reči:** *analiza vremenskih serija, EMS, SARIMA, ELM, RF.*

### **1. Uvod**

EMS pošiljke su registrovane poštanske pošiljke bez označene vrednosti i bez posebnih usluga, mase do 30 kg. EMS pošiljke u međunarodnom saobraćaju mogu sadržati: dokumenta, robu, druge predmete, osim onih za koje važe zabrane Svetskog Poštanskog saveza i zakonodavstava pojedinih zemalja [1].

Proces prognoziranja, u okviru poslovnih fenomena, predstavlja predviđanje budućih ishoda različitih poslova. U okviru usluga brze pošte u međunarodnom saobraćaju, predviđanje obima je interesantno i samo po sebi u okviru ukupnog poslovanja kompanije. Pored periodične poslovne provere zastupljenosti pojedinih usluga kompanije na tržištu, prognoze se koriste za planiranje novih usluga.

U slučaju prognoziranja, uglavnom se koriste određeni matematički modeli, te se na osnovu prostorno-vremenski organizovanih podataka ocenjuju parametri modela i određuju vrednosti budućih podataka. U tom smislu najinteresantniji, i za praksu najvažniji, jeste koncept vremenskih serija. Neki od prvih i osnovnih modela vremenskih

serija jesu oni statistički. U okviru ovih modela koriste se odgovarajući testovi i kriterijumi kojima se verifikuje valjanost ocenjenog modela i njegovog predviđanja.

U ovom radu primenjena je jedna klasa statističkih sezoniziranih autoregresivnih modela integrisanih pokretnih sredina, tzv ARIMA (p,d,q) (P,D,Q) s - SARIMA. Model se zasniva na Box i Jenkins metodologiji, [2] na validaciji pomoću RMSE (*Root Mean Square Error*). Kod ove klase linearnih metoda, pretpostavka je da tekuća vrednost člana serije zavisi od vrednosti prethodnih članova serije. Tekuće vrednosti, modelski određenog tipa slučajnog procesa, sa normalnim ili sličnim raspodelama, imaju i periodičnu, sezonsku komponentu. Okruženje u kojem je analiza rađena je Excel – XLSTAT dodatak [3]. On je korišćen u [4-6], kao crna kutija.

Drugi algoritam čija će se prediktivna svojstva ispitivati za istu vremensku seriju jeste Mašina za ekstremno učenje – ELM, [7-12]. ELM je algoritam koji u suštini predstavlja jednoslojnu *feedforward* neuronsku mrežu. Njegova struktura se sastoji, pored ulaza, i od jednog sloja skrivenih čvorova. U njemu su dodeljene vrednosti težina između ulaza i skrivenih čvorova, kao i biasi (vrednosti tresholda- pragova), neophodni za aktivacione - transfer funkcije koje su slučajne veličine. To znači da nije potreban proces učenja za izračunavanje parametara modela koji se nalaze u okviru ulaznih težina. Dakle, vrednosti izlaznih težina koje povezuju skrivene čvorove i izlaze mogu se brzo dobiti računanjem matricnog Mur-Penrouzovog pseudoinverza (Moore–Penrose inverse). Pomoću datog ulaznog niza i targetnog niza (trening skupa, tačnih vrednosti), na kraju se dobija izlazni niz. Praktično, testni deo ulaznog niza je neka vrsta targeta koji se realizuje izlazom, te se pomoću njega vrši njihovo upoređivanje sa targetom (validacija) pomoću RMSE i/ili  $R^2$  (koeficijent determinacije). Najveća prednost ELM-a je njegova računarska brzina i jednostavnost. ELM se koristi za klasifikaciju uzoraka, regresiju, kao i za implementaciju raznih online modela.

Treći algoritam koji se ovde koristi je RF [13]. On, preko šuma (skupova stabala - teorija grafova) preko slučajnih odluka grupno (ansambalski) služi za klasifikaciju, regresiju i druge zadatke koji preko konstruisanja skupa stabala vrši adekvatna odlučivanja. Za zadatke regresije, vraća se srednja vrednost ili prosečno slučajno predviđanje pojedinačnih stabala po nekom kriterijumu, a sve sa tendencijom smanjivanja *RMSE*. Stabla odlučivanja su uobičajeni pojedinačni algoritmi učenja pod nadzorom, koji mogu biti skloni problemima kao što su pristrasnost i prekomerno prilagođavanje. Međutim, kada višestruka stabla odluka formiraju ansambl u algoritmu slučajne šume, ona predviđaju tačnije rezultate, posebno kada pojedina stabla nisu u korelaciji jedno s drugim. Ovde je korišćen Bagging metod u RF, poznat i kao bootstrap agregacija. To je metod učenja ansambla koji se obično koristi za smanjenje varijanse unutar skupa podataka sa šumovima. Mnogo je veći opseg problema koje efikasno rešavaju RF metodi nego ELM. Poznato je da su za ovu klasu problema dosada bili bolji samo ELM predviđanja - validacije od ARIMA [6]. Osnovni razlozi za primenu ova tri algoritma jesu njihova dosadašnja primena u slične svrhe, mogućnosti za njihovo poboljšanje i kombinovanje.

U ovom radu razmatrano je validiranje / predviđanje na osnovu obima primljenih EMS pošiljaka na mesečnom nivou u periodu od 2016. do 2021. godine (72 meseca). Predikcija je urađena u okviru ARIMA za sledeća 24 meseca (73-96). Validacija za poslednjih 12 članova serije izvršena je primenom razvijenih ARIMA, ELM i RF modela. Izvršeno je poređenje tačnosti razvijenih modela, kao i vremena izvršavanja programa.

## 2. Teorijske osnove SARIMA, ELM i RF modela analize vremenskih serija

Vremenska serija  $x_t$  jeste funkcija koja se sastoji od diskretnih vremenskih koraka - vremena  $x_t: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{R}^+ \cup \{0\}$ . Njena konkretna realizacija obuhvata konačan broj, u ovom slučaju  $N$ .

### 2.1. Osnove SARIMA modela u okviru dodatka XLSTAT za Excel

Osnove SARIMA modela date su u [2]. Neka je  $B$  operator vremenskog pomeraja:  $Bx_t = x_{t-1}$ , operator njegovog stepena  $B^s x_t = x_{t-s}$ ,  $s = 0, 1, 2, \dots$ . Osnovna jednačina, ovog linearnog, specifično nestacionarnog modela ( $a_t$  je beli šum,  $\nabla x_t = (1-B)x_t$ ) je

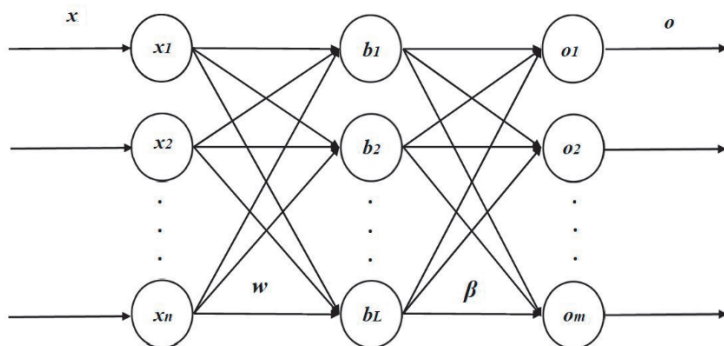
$$\varphi_p(B)\delta_p(B^s)\nabla^d(1-B^s)^D x_t = \mu + \chi_Q(B^s)\theta_q(B)a_t. \quad (1)$$

U prethodnoj jednačini sa  $\varphi$ ,  $\delta$ ,  $\chi$ ,  $\theta$ , označeni su polinomi odgovarajućih stepena. Konstanta  $\mu$  opisuje stacionaran trend.  $S$  je sezonski indeks, njime se opisuje vremenska periodičnost procesa. Malim latiničnim slovima obeležene se nesezonske komponente modela, dok su velikim latiničnim slovima obeležene sezonske komponente modela. Postoje tri osnovne faze u analiziranju i modelovanju Box-Jenkins modela vremenskih serija: 1) identifikacija modela; 2) estimacija modela; 3) validacija modela (koja ovde nije samo računanje RMSE). Važni pojmovi su: deskriptivna analiza, grafici funkcije autokorelacije (ACF) i parcijalne funkcije autokorelacije (PACF) koji se porede sa teorijskim ponašanjem ovih funkcija. Pomoću njih se vrši identifikacija modela. Postupak estimacije - fitovanja, podrazumeva nalaženje vrednosti odgovarajućih konstantni modela pomoću metode najmanjih kvadrata ili maksimalne verodostojnosti. Nakon što je odgovarajući model usvojen, i njegovi parametri estimovani, Box-Jenkins metodologija zahteva proveru kvaliteta razlike aktuelnih vrednosti i onih estimovanih, od strane prihvaćenog modela. Najčešći kriterijumi, koji su i ovde korišćeni, su AICC (*Akaike information criterion*) i SBC (*Bayesian information criterion*). U okviru procene količine informacija koje je model izgubio, AICC se bavi kompromisom između dobrog uklapanja modela i jednostavnosti modela (funkcije maksimalne verodostojnosti - najmanjih kvadrata i broja parametara, te obima serije  $n$ ). SBC kriterijum bolje opisuje navedeni gubitak informacija. On zavisi od proizvoda broja parametara i  $\ln(n)$ , kada je  $n$  mnogo veće od broja parametara. Oba kriterijuma zasnovana su na primeni odgovarajućih formula.

U XLSTAT-u postoje sve navedene opcije za razmatranje SARIMA modela, za  $S=0$ ,  $S \neq 0$ , automatski i vrlo brzo, uz jednostavni i intuitivni interfejs, do praktično dovoljno velikih vrednosti  $p$ ,  $P$ ,  $q$ ,  $Q$ ,  $d$ ,  $D$ . Pored vremenskog perioda za validaciju, moguće je menjati i vreme predikcije (npr. koristi se promenljiv interval poverenja za buduće događaje). Pored SBC i AICC dostupno je još 12 kriterijuma za analizu podataka [3], [5]. Po AICC i SBC se vrši odabir najboljih SARIMA modela.

### 2.2. Osnove ELM modela

Huang i autori su 2004 predložili algoritam „mašine za ekstremno učenje (ELM)” [6-10]. Algoritam predstavlja poseban slučaj ANN-FNN sa jednim skrivenim slojem, takozvanom *Single Hidden Layer Feedforward Neural Network* (SLFN). Na Slici 1 dat je prikaz karakteristične, jednostavne SLFN.



Slika 1. Šema SLFN.

Na Slici 1 prikazan je vektor ulaza  $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \in R^n$ , vektor biasa  $\mathbf{b} = [b_1, b_2, \dots, b_L]^T \in R^L$ , vektor izlaza  $\mathbf{o} = [o_1, o_2, \dots, o_m]^T \in R^m$ , kao i vektori ulaznih i izlaznih težina  $\mathbf{w}$  i  $\beta$ .

Algoritam ELM modela opisuje se na sledeći način: razmatra se samo jedan uzorak - vremenska serija, ulaznih veličina  $x_i$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ . Pored njih, značajni su vektori targeta (ciljeva)  $t_i$  i izlaza  $o_i$ . ELM je SLFN sa skrivenim slojem koji se, u okviru ovog razmatranja, sastoji od  $N'$  skrivenih čvorova-neurona. Standardna aktivaciona funkcija ovde se pojavljuje u jednom od tri karakteristična oblika (prvi oblik - sigmoidna funkcija, obično daje najbolje rezultate),

$$\begin{aligned} g(x) &= \frac{1}{1 + \exp(-x)}; \\ g(x) &= \sin(x); \\ g(x) &= \text{hard lim}(x). \end{aligned} \quad (2)$$

Karakterističan za ELM je vektor targeta  $\mathbf{T} = [t_1, t_2, \dots, t_N]^T \in R^N$ . U okviru modela važi, kada  $N \rightarrow \infty$ ,

$$\sum_{i=1}^N \|o_i - t_i\| \rightarrow 0. \quad (3)$$

Osnovna jednačina ELM modela je

$$\sum_{i=1}^{N'} \beta_i g_i(x_j) = \sum_{i=1}^{N'} \beta_i g(w_i \cdot x_j + b_i) = t_j. \quad (4)$$

Ovde su vektor ulaznih težina  $\mathbf{w} = [w_1, w_2, \dots, w_{N'}]^T$  i vektor izlaznih težina  $\beta = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N'}]^T$ .

U matričnom obliku

$$\mathbf{H}\beta = \mathbf{T}. \quad (5)$$

Eksplicitno zapisana matrica  $\mathbf{H}$  je

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} g(w_1 \cdot x_1 + b_1) & \dots & g(w_{N'} \cdot x_1 + b_{N'}) \\ \dots & & \dots \\ g(w_1 \cdot x_{N'} + b_1) & \dots & g(w_{N'} \cdot x_{N'} + b_{N'}) \end{bmatrix}_{N \times N'} \quad (6)$$

Obično se slučajno generišu  $w_i, b_i$  za date ulaze  $x_i$  (trening skup) i date targete, ovde izlaze,  $t_i$ . Preko pseudoinverza, prvo se dobijaju vrednosti  $\beta_i, \beta$ . Onda se za neki novi test skup  $x'_i$  izračunaju novi test izlazi - validacija od  $t'_i$  koji se upoređuje sa stvarnim testnim targetom  $t'_i$ . Obično se umesto targeta koriste stvarni podaci  $x$ . To znači, u jednom slučaju, da se originalan ukupan skup  $x$ -ova - ulaza podeli na dva skupa jedan je trening, a drugi je test skup, te su, dakle, ulazi istovremeno i targeti. Razlog za slučajna generisanja datih parametra je u tome da se umesto pretrage celog prostora parametra  $(\mathbf{w}, \mathbf{b}, \beta)$ , drastično smanji i pojednostavi navedena procedura. Ispostavlja se da RMSE i/ili  $R^2$  mogu imati, u pojedinim slučajevima prilikom validacije, vrlo loše vrednosti zbog slučajnog generisanja  $(\mathbf{w}, \mathbf{b})$ , što se kompenzuje izvršenjem velikog broja ciklusa primene ELM. ELM je u ovom radu primenjen u programskom paketu Matlab.

## 2.2. Osnove RF bagging modela

U ovom modelu slučajno se generišu različiti skupovi za obuku uzorkovanjem uz, eventualno, ponavljajuću zamenu iz originalnog ulaznog skupa  $x$ , [13]. Svaki od tih izbora bi mogao biti primer ulaza. Zatim se pokreće mašinsko učenje za jednu zamenu, ovde prvu hipotezu  $h_1(x)$  (obično neku funkciju raspodele adekvatno opisanu) uz  $N$  takvih računski generisanih vrednosti izbora ulaza. Postupak se ponavlja sve dok se ne iscrpi skup hipoteza, čiji je ukupan broj obeležen sa  $K$ , koji čine stablo odluka. U problemu regresije izlaz je funkcija raspodele

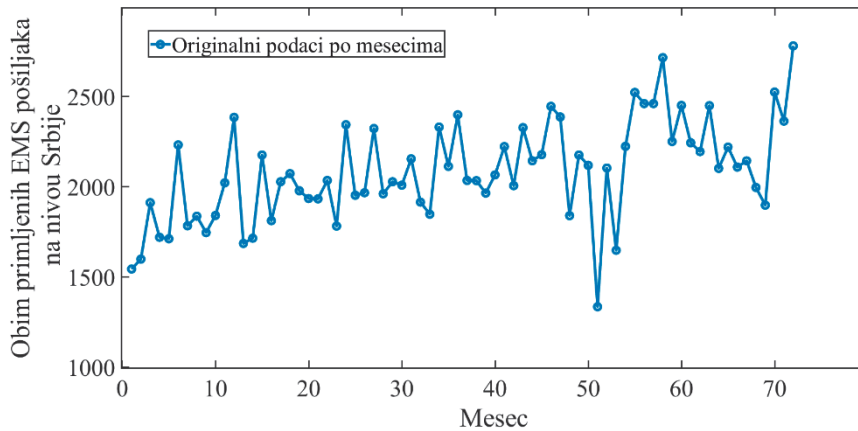
$$h(\mathbf{x}) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K h_i(\mathbf{x}). \quad (7)$$

Uzorci, dakle, čine stablo odluka, a više ovih stabala šumu. Slučajne šume – RF, kao što im ime sugerise, na slučajan način generise stabla / šumu. Koreni novih stabala, sa odgovarajućim svojim prvim hipotezama dalje se mogu paralelno procesirati (situacija je idealna za višeprocorski sistem ili više računara), obrazujući ovakve šume. U praksi, mogu biti različiti tipovi šuma, na primer, centrirane, uniformne. Cilj RF algoritma je da se smanje korelacije među stablima odluka i time smanji ulazna varijansa. Mogu se validirati svi elementi ulaza. Stvarna predikcija se ostvaruje generisanjem novih elemenata pomoću ukupne funkcije raspodele. RF je primenjen ovom radu u okviru Excel dodatka XLSTAT.



### 3. Numerički rezultati

Modeli opisani u prethodnoj sekciji primenjeni su za simulaciju, validiranje ili predviđanje podataka vremenske serija obima 72 – obima mesečno primljenih EMS pošiljaka na nivou Srbije u intervalu od 2016. do 2021. godine. Relevantne karakteristike korišćene računarske konfiguracije su: Intel(R) Core(TM) i5-3570 CPU @ 3.40GHz, 3.40 GHz pri instaliranoj RAM memoriji od 16.0 GB. Originalni podaci koji se odnose na obim primljenih EMS pošiljaka su predstavljeni na Slici 2.



Slika 2. Mesečni obim primljenih EMS pošiljaka u Srbiji.

Primećuje se da obim primljenih EMS pošiljaka na nivou Srbije varira od preko 1000 komada mesečno do preko 2500 komada mesečno, te da postoji trend blagog rasta (nije konstantna veličina, karakteristična za SARIMA metod).

#### 3.1. SARIMA model

Prikazan je deo uobičajene procedure u XLSTAT-u, koja može biti i kompleksnija, u zavisnosti od slučaja, [14]. Standardne setovane vrednosti parametara u okviru ovog okruženja su: convergence value je  $10^{-5}$ ; maximum iterations 500000;  $S=0$ ,  $12$ ;  $p \leq 4$ ;  $q \leq 3$ ;  $d=0,1$ ;  $P \leq 2$ ;  $D=0,1$ ;  $Q \leq 2$ ; confidence intervals je 90%. Razmatrana je optimizacija i po AICC i po SBC kriterijumu, za navedene različite vrednosti parametara. Optimalan model ima vrednosti parametara  $S=12$ ,  $p=4$ ,  $q=3$ ,  $P=2$ ,  $Q=2$ ,  $d=D=1$ . AICC=665.957, broj iteracija 682, SBC=680.954, broj iteracija 354. Razlike u vrednostima parametara opisanih jednačinom (1) su, za navedene kriterijume, velike. Za SBC su dati neki od rezultata, bez grešaka, ali sa vrednostima gornjih i donjih granica, prikazani u Tabelama I i II, u oznakama XLSTAT okruženja.

TABELA I  
TREND COMPONENT,  $\mu$

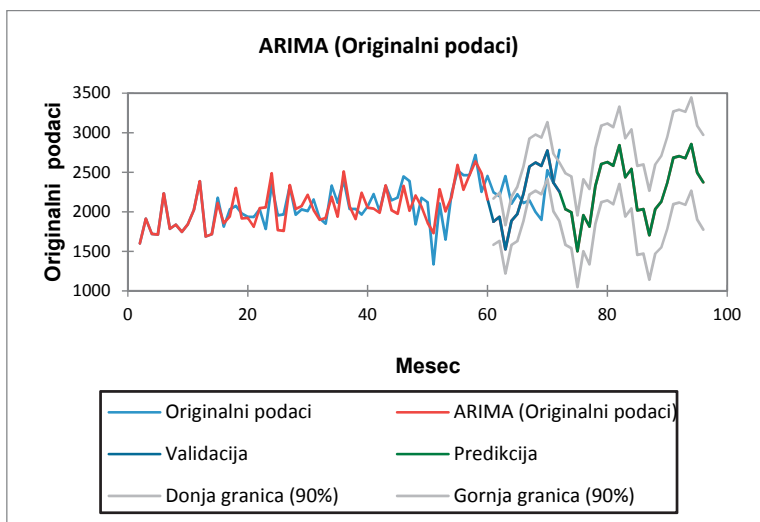
Parameter	Value	Lower bound (90%)	Upper bound (90%)
Constant $\mu$	-0.502	-1.356	0.353

TABELA II  
VALUES OF SARIMA MODEL

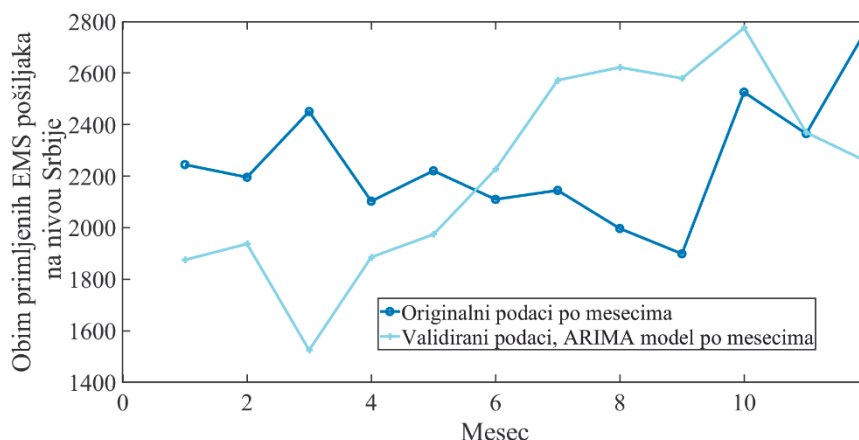
Parameter	Value	Lower bound (90%)	Upper bound (90%)
AR(1)	0.440	0.135	0.746
AR(2)	0.399	-0.206	1.004
AR(3)	0.023	-0.563	0.609
AR(4)	-0.535		
SAR(1)	0.000	-0.065	0.065
SAR(2)	0.000	-0.267	0.267
MA(1)	-1.747	-1.911	-1.583
MA(2)	0.531	-0.269	1.331
MA(3)	0.228	-0.459	0.915
SMA(1)	0.000	-1.007	1.007
SMA(2)	0.000	-0.565	0.565

Na Slici 3 prikazani su rezultati simulacije (validacije i predikcije) nad podacima pomoću XLSTAT-a. Pomoću XLSTAT-a je moguće dobiti i ostale dijagrame, na primer, reziduala, PACF, ACF, propratnih kalkulacija itd. Vrednosti vremena simulacije eksponencijalno rastu sa povećanjem vrednosti parametra  $p$ , a slično važi i za druge parametre, što je dobijeno u procesu procene vremena neophodnog za obradu podataka.

Na Slici 4 prikazano je uporedo poslednjih 12 oginalnih podataka o obimu EMS pošiljaka i validiranih SARIMA podataka. Uočljivo je izrazito neslaganje originalnih i validacionih podataka. Vrednosti kvaliteta fita su  $RMSE=462.0147$ , odnosno  $R^2=0.0197$ . Na osnovu obe vrednosti parametara, očigledno je da je ova validacija loša za ovakvu vrstu problema. Samim tim, i predikcija narednih 24 vrednosti nema veći značaj. Interval poverenja od 90% je dovoljno širok da bi se eventualne vrednosti predikcije mogle naći unutar njega. Ovaj interval se značajno širi sa porastom vremena - postupak je divergentan. Vreme izvršenja programa je oko 10 minuta.



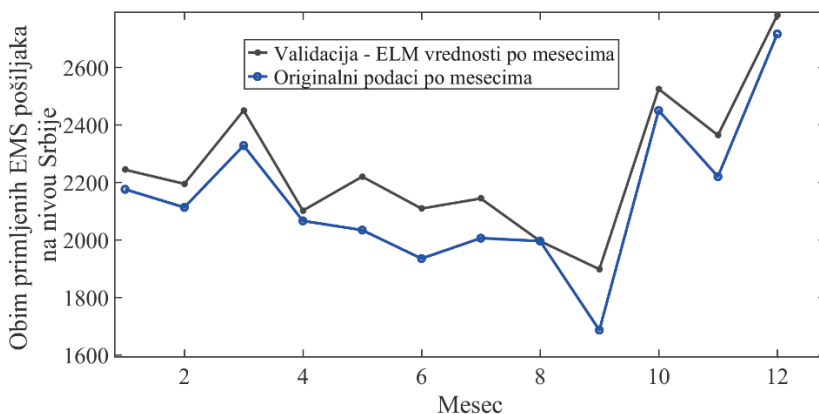
Slika 3. Prikaz podataka i rezultata dobijenih pomoću SARIMA metoda u okruženju XLSTAT.



Slika 4. Poređenje poslednjih 12 originalanih podataka sa (S)ARIMA modelom.

### 3.2. ELM model

Razvijeni ELM model primenjen je na sledeći način: ukupan broj podataka 72 deli se na dva podskupa. Prvi, trening podskup sadrži prvih 60 elemenata, dok drugi, test skup, preostalih 12. Pošto ELM nema predikcije, postoji samo validacija na ovih 12 elemenata. Broj neurona je  $N=60$ . Taj broj treba da bude, u principu, uporediv sa brojem podataka, na osnovu dosadašnjeg eksperimentisanja na vremenskim serijama sa brojem članova oko stotinu. Rezultati najbolje simulacije u Matlabu su prikazani na Slici 5.



Slika 5. Poređenje poslednjih 12 originalanih podataka sa ELM modelom

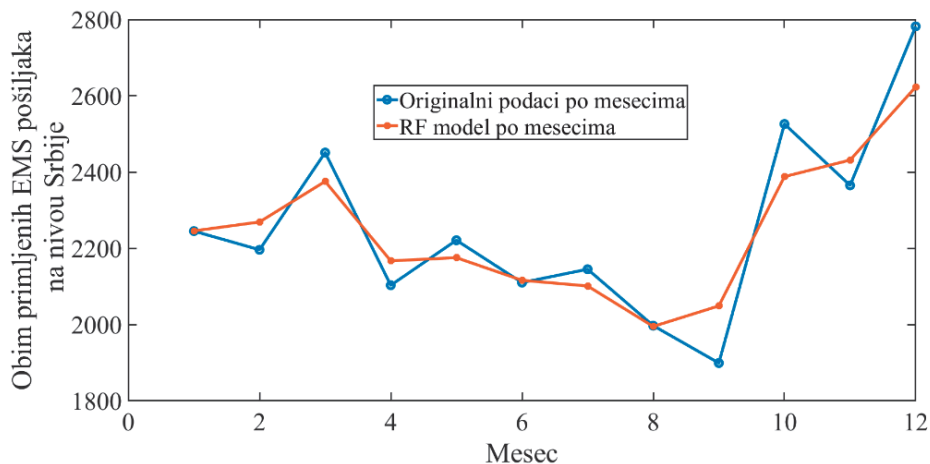
Usled slučajno biranih vrednosti za  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{w}$ , vrednosti za RMSE i  $R^2$  mogu biti vrlo različite. Da bi se one poboljšale, neophodno je naći odgovarajući kriterijum za to. Odabrane su na osnovu eksperimenata i proba, samo one koje imaju ove vrednosti RMSE ispod 125 i  $R^2$  većih od 0.75. Broj ciklusa određen je takođe eksperimentalno; on je jednak 500000. Vrednosti karakterističnih parametara odabrane najbolje simulacije su: RMSE=124.7242 i  $R^2=0.94367$ . Dobijena vrednost RMSE je manja za 72%, dok je vrednost  $R^2$  približno 48 puta veća u odnosu na odgovarajuće vrednosti kod SARIMA modela. Vreme izvršenja programa u ovom slučaju je oko 2.5h.

### 3.2. RF model

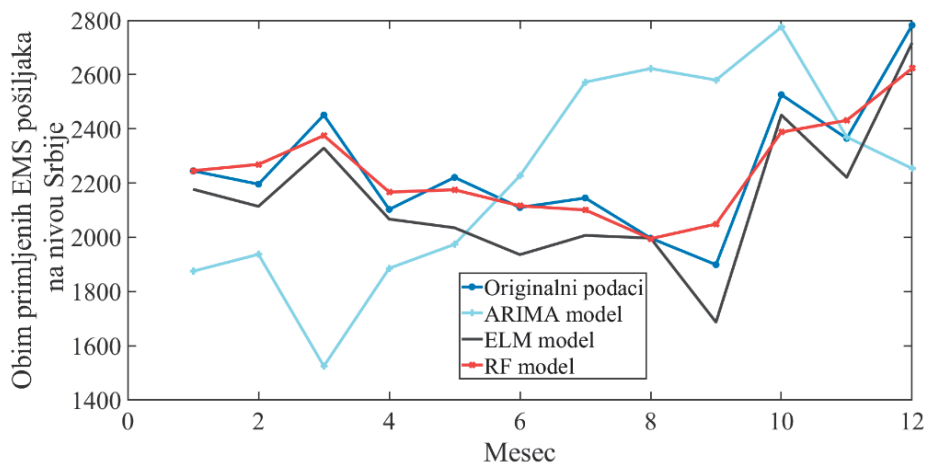
Algoritam RF regresije, u okruženju XLSTAT, u svojoj najjednostavnijoj, bagging varijanti, prisutan je preko svog demoa, [15]. Ako se za datih 72 podataka izvrši navedena RF simulacija, dobiće se novih 72 podataka koji po samoj strukturi algoritma imaju manju varijansu. Broj stabala u RF je 100, on se može menjati. Iako su validirane sve vrednosti, od interesa je validacija poslednjih 12 podataka. Dobijeni rezultati prikazani su na Slici 6. Vrednosti karakterističnih parametara odabrane simulacije su: RMSE=86.7604 i  $R^2=0.9060$ . Trajanje procesa rada XLSTAT-a, u ovom slučaju, je desetak sekundi.

Na Slici 7 uporedo su prikazani ukupni rezultati simulacije dobijeni pomoću svih primenjenih modela i originalni podaci koji se odnose na obim primljenih EMS pošiljaka za poslednjih 12 meseci razmatranog perioda. Za datu malu vremensku seriju, direktno programiranje u Matlabu se pokazalo sporijim sredstvom od XLSTAT Excel dodatka. Treba napomenuti da je korišćenje SARIMA u Matlabu (Econometrics Toolbox), daleko sporije od XLSTAT-a [5]. Slično treba očekivati i za RF. ELM, kao relativno nova tehnika, nije izdvojena, kao ostale dve, u okviru ovih okruženja. XLSTAT ima, u principu, bolje organizovano okruženje od Matlaba, sa gotovim optimalizovanim alatima, ali, uz male mogućnosti za programiranje. To se vidi i po vremenima izvršenja algoritama. Skup alata za ispitivanje vremenskih serija mu je ograničen, kao i veličine skupova podataka na koje se može primeniti (big data podaci su mu nedostižni). RF se slično ponaša kao standardni

Savitzky-Golay filter [4], koji je brz, ali je RF u principu, u odnosu na ovaj filter mnogo efikasniji (otežinjeno polinomno usrednjavanje filtera ima tačnu formulu preko koje on radi, dok se pomoću RF formula slučajno modelira, te sa povećanjem nezavisnih stabala odlučivanja može biti dovoljno komplikovanija). U radu [5] korišćen je ANN LSTM (*long short-term memory network*) algoritam. ELM je za praktično isto vreme izvršavanja imao oko 30% manju RMSE od LSTM, slično kao ovde RF u odnosu na ELM. Skraćivanje vremena izvršavanja Matlab programa, pored softverskih inovacija, moguće je ostvariti i u cloud-u [16]. Pored navedenog, za dati problem, od interesa su i drugi jezici i okruženja (Python, C++, Julia, Mathematica, Maple, itd).



Slika 6. Poređenje poslednjih 12 originalanih podataka sa RF modelom.



Slika 7. Poređenje poslednjih 12 originalanih podataka sa predloženim modelima.

#### 4. Zaključak

Istraživanje vremenskih serija obima mesečno primljenih EMS pošiljaka na nivou Srbije u periodu od 2016. do 2021. godine, u okviru procesa validacije u programskim okruženjima XLSTAT-Excel i Matlab, pokazalo je izrazitu prednost RF modela u odnosu na ELM i SARIMA model. Pokazano je da RF model ima za oko 30% manju vrednost RMSE od ELM-a i oko 70% manju od SARIMA metoda, uz mnogo veći  $R^2$ . Pored toga, korišćenjem RF modela ostvareno je i najkraće vreme izvršavanja programa.

#### Literatura

- [1] <https://www.posta.rs/eng/stanovnistvo/usluga.aspx?usluga=postal-services/express-services-international/ems-express-mail-service> .
- [2] G.E. Box, G.M. Jenkins, G.C. Reinsel, G. M. Ljung, *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. New Jersey, John Wiley and Sons, 2016.
- [3] <https://www.xlstat.com/en/>.
- [4] I. D. Rogan and O. R. Pronić-Rančić, "Forecasting the volume of postal services using Savitzky-Golay filter modification," 56th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST), 2021, pp. 123-126, doi: 10.1109/ICEST52640.2021.9483459.
- [5] I. D. Rogan and O. R. Pronić-Rančić, "SARIMA and ANN Approaches in Forecasting the Volume of Postal Services," 15th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS), 2021, pp. 193-196, doi: 10.1109/TELSIKS52058.2021.9606429.
- [6] Ivana D. Rogan, Olivera Pronić-Rančić, "Combined techniques for forecasting the volume of packages in internal postal traffic of Serbia", *Facta Universitatis, Series: Automatic Control and Robotics*, 2022, in press.
- [7] Jorge Garza-Ulloa, *Applied Biomedical Engineering Using Artificial Intelligence and Cognitive Models*. Academic Press, 2021.
- [8] Guang-Bin Huang, Qin-Yu Zhu, Chee-Kheong Siew, "Extreme learning machine: theory and applications," *Neurocomputing*. 70 (1): 489–501, 2006.
- [9] Guang-Bin Huang, Qin-Yu Zhu, K. Z. Mao, Chee-Kheong Siew, P. Saratchandran and N. Sundararajan, "Can threshold networks be trained directly?," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 53, no. 3, pp. 187-191, March 2006, doi: 10.1109/TCSII.2005.857540.
- [10] G. -B. Huang, H. Zhou, X. Ding and R. Zhang, "Extreme Learning Machine for Regression and Multiclass Classification," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 42, no. 2, pp. 513-529, April 2012, doi: 10.1109/TSMCB.2011.2168604.
- [11] Guang-Bin Huang, "What are Extreme Learning Machines? Filling the Gap Between Frank Rosenblatt's Dream and John von Neumann's Puzzle," *Cognitive Computation*, volume 7, issue 3 2015.
- [12] J. Wang, S. Lu, Shui-Hua Wang, Yu-Dong Zhang, "A review on extreme learning machine," *Multimed Tools Appl*, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11007-7> .

- [13] Stuart J. Russell and Peter Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson; 4th edition, 2020.
- [14] <https://help.xlstat.com/6753-fit-arima-model-time-series-excel>
- [15] <https://help.xlstat.com/6551-random-forest-regression-excel-tutorial>
- [16] <https://www.mathworks.com/videos/how-to-run-matlab-in-the-cloud-with-amazon-web-services-1542634996553.html>

**Abstract:** The paper presents the results of validation/prediction of the time series data of the volume of monthly received EMS (Express Mail Service) items at the level of Serbia in the interval 2016 - 2021. The following models were used: a model of seasonal autoregressive integrated moving averages (SARIMA), Random forests (RF) in the XLSTAT add-on for Excel and within the Matlab environment - Extreme Machine Learning (ELM). The validation process demonstrated a distinct advantage of the RF model over the ELM and SARIMA model. It is shown that the RF model has about 30% lower RMSE than ELM and about 70% lower than the SARIMA method, with a much higher R<sup>2</sup>. In addition, the shortest program execution time was achieved by using the RF model.

**Keywords:** *time series analysis, EMS, SARIMA, ELM, RF.*

## **FORECASTING THE VOLUME OF RECEIVED EMS ITEMS IN SERBIA USING SARIMA, RANDOM FORESTS AND ELM MODELS**

Ivana D. Rogan, Olivera R. Pronić-Rančić

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.010>

## **IZBOR TEHNOLOGIJE SKLADIŠTENJA**

Dragan Đurđević, Nikola Pavlov, Mladen Božić  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet  
d.djurdjevic@sf.bg.ac.rs, n.pavlov@sf.bg.ac.rs, mladen.bozic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Tehnološko projektovanje skladišta karakteriše donošenje različitih projektnih odluka. Između njih, odluka o izboru tehnologije skladištenja u skladišnoj zoni ima poseban značaj. U procesu tehnološkog projektovanja skladišta ova odluka se donosi u fazi generisanja tehnoloških koncepcija. Tada je potrebno da projektant, shodno projektnom zadatku, generiše određeni broj potencijalno primenjivih tehnoloških koncepcija i potom od njih izabere jednu. Radi se o kompleksnom problemu od čijeg uspešnog rešavanja zavisi buduće funkcionisanje skladišta. Donošenje projektne odluke komplikuje prisustvo većeg broja relevantnih karakteristika projektnog zadatka sa jedne strane i mogućnost primene više različitih tehnologija sa druge strane. Nesrazmerno značaju ove problematike, u raspoloživoj literaturi broj radova posvećenih ovoj temi je mali. Otuda, osnovni cilj ovoga rada je da da doprinos u rešavanju ovog vrlo značajnog projektnog problema. U radu je predstavljen postupak za izbor tehnologije skladištenja baziran na primeni AHP metode. Primena ovog postupka demonstrirana je na rešavanju jednog tipičnog projektnog zadatka iz prakse.

**Ključne reči:** skladište, tehnologije skladištenja, paletne jedinice tereta, AHP

### **1. Uvod**

Tehnološko projektovanje skladišta je specifičan oblik projektovanja kojim se kreira/definiše tehnološko rešenje. Tehnološko rešenje treba da omogućiti da se realizacija tokova (materijala i informacija) u okviru skladišta realizuje na zahtevani način shodno prethodno definisanoj funkciji cilja. Često se u funkciji cilja pri projektovanju skladišta postavlja minimizacija ukupnih troškova potrebnih za formiranje i rad skladišta za zahtevani kapacitet, proizvodnost, servis stepen ili neki drugi tehnološki izmeritelj [1]. Proces projektovanja je višefazni iterativni proces [2] i podrazumeva donošenje većeg broja projektnih odluka različitog karaktera i nivoa. U pogledu dugoročnosti, obuhvata i stepena detaljnosti one se hijerarhijski strukturiraju kao odluke strateškog, taktičkog i operativnog karaktera [3]. Donošenje odluke/a o izboru tehnologije, kao odluke strateškog karaktera, ima izuzetan značaj sa posledicama na buduće funkcionisanje skladišta – njegove troškove i performanse. Ova/e odluka/e, u procesu projektovanja, se donose u



kontekstu generisanja i izbora tehnološke koncepcije<sup>1</sup>. Tada projektant generiše određeni broj varijantnih tehnoloških koncepcija, a potom, u daljim fazama procesa projektovanja od njih izabere preferentnu. Generisanje varijantnih tehnoloških koncepcija zavisi je od projektantovog: sagledavanja karakteristika zahteva, poznavanja potencijalno primenjivih tehnologija i od sposobnosti za njihovo kombinovanje i uklapanja u jedinstveno rešenje - tehnološku koncepciju. U rešavanju ovog projektnog problema projektanti su po pravilu vođeni prethodnim iskustvima (izvedenim rešenjima sličnih sistema) i preporukama proizvođača ove tehnologije. Kao pomoć pri izboru između različitih varijantnih tehnologija za odmeravanje njihovih karakteristika koriste: liste, matrice ili tabela [4, 5] koje sadrže ocenu potencijalnih tehnologija po različitim tehnološkim i ekonomskim izmeriteljima. Ono što komplikuje proces odlučivanja/izbora je da se on po pravilu sprovodi u uslovima prisustva konfliktnih ciljeva, zahteva, ograničenja i dr, a sve uz postojanje velikog broja potencijalno primenjivih varijanti. Sve ovo jasno upućuje na potrebu za jednim pogodnim metodološkim pristupom kao pomoćnim „alatom“ za rešavanje ovog složenog zadatka. Ovakav „alat“ po saznanju autora nedostaje u literaturi. Otuda, osnovni cilj ovoga rada je da predstavi postupak za izbor tehnologije skladištenja baziran na primeni AHP metode. Primena ovog postupka demonstrirana je na rešavanju jednog tipičnog projektog zadatka iz prakse.

Rad sadrži četiri tačke. Nakon uvoda, druga tačka je posvećena analizi referentnih radova iz oblasti izbora tehnologija skladištenja. U trećoj tački, dat je postupak izbora tehnologija skladištenja baziran na primeni AHP (*engl. Analytic Hierarchy Process*). U četvrtoj tački demonstrirana je primena postupka iz tačke 3 na rešavanju jednog tipičnog projektog zadatka iz prakse. Na kraju u zaključku su data zaključna razmatranja, kao i pravci daljeg istraživanja.

## 2. Pregled literature

Problemi izbora tehnologije u skladištu odnose se na izbor: tehnologije skladištenja, transportno-manipulativne tehnologije i tehnologije komisioniranja. Generalno ovoj problematici u literaturi je posvećen značajan broj radova. Fokus ovog rada je na izboru tehnologije skladištenja, pa je i pregled literature ograničen je pre svega na referentne radove posvećene ovom problemu. Takođe su predstavljeni i neki od radova posvećeni problemima izbora transportno-manipulativne tehnologije i tehnologije komisioniranja, pre svega sa aspekta primenjenih metoda odlučivanja.

*Izbor tehnologije skladištenja* bio je tema radova [6,7,8,9,10]. Autori rada [6] su predstavili analitičke modele za izbor tehnologije skladištenja za slučaj primene tehnologija : podnog skladištenja-blok, selektivnih regala, dvostrukih selektivnih i regala sa povećanom dubinom. Izbor tehnologije skladištenja se zasniva na troškovima prostora i manipulisanja kao osnovnim kriterijumima. U radu [7] tema je bila izbor tehnologija skladištenja sitnih pozicija. Upoređivane su sledeće tehnologije: police za ručno odlaganje i uzimanje, karuseli, AS/RS manjih jedinica i dr. Kao kritični faktor/kriterijum, pri izboru

---

<sup>1</sup> Tehnološka koncepcija predstavlja skup tehnologija kojima su obuhvaćeni svi tehnološki zahtevi (deo skladišnog zadatka) u jednom sistemu. Za potpuno definisanje tehnološke koncepcije pored izbora odgovarajućih tehnologija koje čine jednu tehnološku koncepciju, potrebno je dodati i informacije koje se odnose na način organizacije tj. oblik upravljanja i na oblast korišćenja prostora.

tehnologije, izdvojili su veličinu proizvoda koja deluju opredeljujuće da određena tehnologija bude odbačena. Pored tog kriterijuma, sprovedena je i troškovna analiza koja procenjuje ukupne troškove i omogućava konačan izbor. Rad [8] je posvećen izboru tehnologije skladištenja primenom drveta odlučivanja. Drvo odlučivanja predstavlja hijerarhiju kriterijuma relevantnih za izbor tehnologije. Prateći grane drveta odlučivanja izborom kriterijuma i njihove vrednosti usmerava se proces izbora. Na završnoj grani dolazi se do tehnologije koja ispunjava izabrane kriterijume. Autor rada [9] je razmatrao izbor skladišne tehnologije za skladištenja odeće primenom AHP metode. Predmet analize su tipične tehnologije skladištenja: blok tehnologija, selektivni paletni regal i regali povećane dubine skladištenja. Kriterijumi koje je autor uzeo u obzir su: cena opreme, iskorišćenost prostora, vreme komisioniranja po narudžbini, vreme obrta zaliha itd. U radu [10] autori su rešavali problem izbora automatizovanog ili manuelnog skladišta. Polazeći od minimizacije investicionih i operativnih troškova u funkciji cilja, uz uslov ispunjenja zadatog protoka/proizvodnosti. Za rešavanje postavljenog zadatka kreirali su u Excel-u svojevrsni DSS za podršku odlučivanju.

Radovi posvećeni izboru *transportno manipulativno tehnologije* zastupljeni su u literature u velikom broju. Shodno temi rada i prostornog ograničenja ovde su navedeni samo karakteristični radovi [11,12,13,14], a komentarisani u pogledu primenjenih metoda za izbor tehnologije samo radovi [11,14]. U radu [11] izvršeno je poređenje nekoliko različitih konvejera i (*Automated Guided Vehicles*) AGVs vozila. Za poređenje primenjuju veći broj metoda višekriterijumskog odlučivanja, kao što su: EDAS (*Evaluation based on Distance from Average Solution*), CODAS (*COmbinative Distance-based Assessment*) i MOORA (*Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis*). Autori rada [14] se bave izborom sredstava intralogistike. Za dobijanje ranga izabranih alternative/varijanti koristile dve metode: AHP metoda je korišćena za dobijanje težina kriterijuma, a MOORA za dobijanje konačnog ranga.

Posebnu vrstu problematike prilikom projektovanja skladišnih sistema predstavlja *izbor tehnologije komisioniranja* u komisionoj zoni. Ona je bila je tema radova [15,16,17]. Rad [15] je posvećen rešavanju problema izbora tipa komisijone zone. Za njegovo rešavanje autori predlažu metodološki postupak baziran na ključnim performansama sistema i analizi specifičnih troškova. U radu [16] tema je izbor tehnologije komisioniranja pojedinačnih jedinica robe. Za rešavanje ovog problema autori predlažu jedan empirijski postupak rešavanja baziran na izboru merodavnih kriterijuma za donošenje parcijalnih odluka. Rad [17] daje značajan doprinos metodama za rešavanje problema izbora tehnologije u komisionoj zoni. Za rešavanje ovog problema, i donošenje strateških odluka razvijen je model koji primenjuje neuronske mreže.

Uvidom u raspoloživu literaturu zaključuje se da je relativno malo istraživanja posvećeno problemu izbora tehnologije skladištenja, nesrazmerno značaju koji on ima za tehnološko projektovanje. Određeni aspekti problema bili su predmet rešavanja u gore citiranim radovima, ali još uvek ima značajnog prostora za dalje istraživanje. Analizirani radovi koji se bave izborom tehnologija skladištenja ne daju u potpunosti odgovore na ključna pitanja za projektanta: kako generisati varijantne tehnologije za zadate karakteristike projektnog zadatka i kako odabrati preferentnu varijantu. Većina autora se opredeljuje za izbor tehnologiju skladištenja primenom ograničenog broja kriterijuma najčešće troškova, protoka, iskorišćenja prostora i sl. Drvo odlučivanja predstavlja pogodan alat jer ono u suštini sledi način kako projektanti-eksperti razmišljaju o problemu izbora. Međutim, osnovni nedostatak ovog pristupa je što ne obuhvata većinu mogućih

scenarija (kombinacije kriterijuma i njihovih vrednosti), pa bi njegova primena bila pogodna samo u fazi generisanja varijanti za svodenje broja potencijalnih varijantnih tehnologija. Radovi posvećeni izboru transportno-manipulativne tehnologije (tehnologije rukovanja materijalima) u velikoj meri afirmišu primenu MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*) metoda kao odgovor na kompleksnost koja prati ovu problematiku izbora. Ovo može da posluži kao primer i ukaže na mogućnost primene i na zadacima izbora tehnologije skladištenja, jer se radi o sličnoj klasi problema.

Navedeno jasno ukazuje da nema odgovarajućeg postupka koji problem rešava na sveobuhvatan način. Za prevazilaženje ovoga nedostatka u nastavku rada predstavljen je jedan postupak prilagođen potrebama praktičnog rešavanja problema izbora tehnologije skladištenja.

### 3. Postupak za izbor tehnologije skladištenja

Za rešavanje problema izbora tehnologije skladištenja predlaže se postupak prikazan na slici 1. Postupak se sastoji od 2 faze: I faza - generisanja prihvatljivih varijanti i II faza - izbor preferentne varijante. U okviru prve faze vrši se sužavanje skupa prihvatljivih varijanti u skup varijanti koje ispunjavaju postavljene uslove. To se postiže sagledavanjem karakteristika zadatka i kritičnih faktora/kriterijuma koji eliminišu određene potencijalne tehnologije od daljeg razmatranja. U drugoj fazi je taj skup varijanti predmet poređenja po definisanim/merodavnim kriterijumima. Za poređenje je korišćena AHP metoda, U okviru nje su izabrani relevantni kriterijumi na osnovu kojih su varijante poređene. Pored toga, potrebno je definisati i scenarije na osnovu kojih se testira dobijeno rešenje. Sledi kratak opis MCDM metoda, kao široko korišćenog pristupa za rešavanje ove klase zadataka odlučivanja, sa posebnim akcentom na AHP metodi.

Uzimajući u obzir prirodu problema, neophodno je sagledati problem sa više aspekata (kriterijuma ili atributa). MCDM metode su kompleksni alati za podršku odlučivanju jer sagledavaju kako kvalitativne, tako i kvantitativne aspekte problema. Vrlo često su kriterijumi konfliktni, što dodatno otežava problem. Neke od najčešće korišćenih metoda su: AHP, Topsis (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), Saw (*Simple Additive Weighting*) i dr. U daljem radu će biti detaljnije predstavljena AHP metoda.

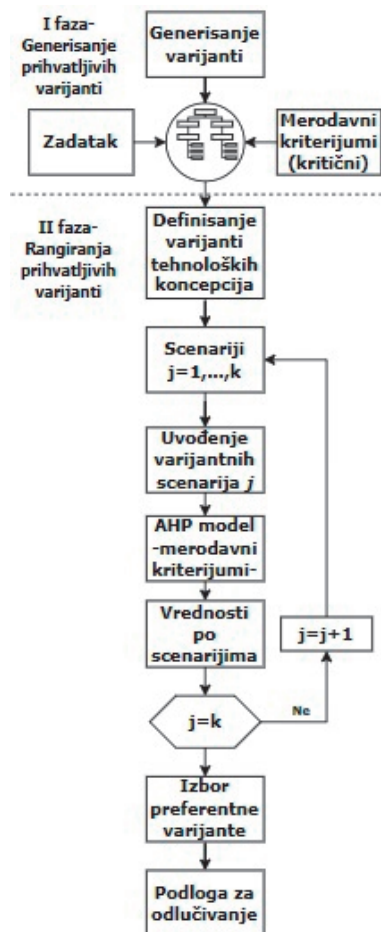
Ulazni podaci koji su potrebni jesu alternative, kriterijumi, vrednost alternativa po kriterijumima i težine kriterijuma. AHP metoda određuje težine kriterijuma metodom poređenja po parovima. Ovakvo poređenje je moguće usled hijerarhijske strukture AHP metode. Postavljeni cilj predstavlja svrhu donošenja odluka, odnosno razlog zbog čega donosioci odluka razmatraju postavljeni problem. Potrebno je izvršiti poređenje svih elemenata na jednom hijerarhijskom nivou u odnosu na element na višem nivou. AHP metoda razmatra i kvantitativne i kvalitativne kriterijume. Poređenje se vrši pomoću Saatyjeve skale koja je u rasponu od 1 do 9, i u recipročnoj vrednosti od 1/9 do 1. Što je broj veći prilikom ocenjivanja, to je preferentnost posmatranog elementa veća. Izlaz iz poređenja po parovima treba da bude određivanje težine kriterijuma i potkriterijuma, ali i alternativa u odnosu na kriterijume i potkriterijume. Nakon određivanja težina kriterijuma, vrši se agregacija svih ocena po kriterijumima za svaku alternativu. Nakon toga, dolazi se do ranga alternativa, od najbolje do najlošije [18]. U radu će biti korišćen softverski alat *Super Decisions* koji je zasnovan na AHP metodi.

Nakon izbora metode odlučivanja, neophodno je definisati/izabrati kriterijume<sup>2</sup> na osnovu kojih će tehnologije biti upoređivanje. Kriterijumi mogu biti kvantitativne ili kvalitativne prirode. Njih definiše donosilac odluke, gde on bira kriterijume koji su njemu značajni sa aspekta karakteristika zadatka.

Jedan od značajnih kvantitativnih kriterijuma jesu troškovi. U okviru troškova mogu se razlikovati nekoliko atributa: troškovi investicije, operativni troškovi, troškovi zemljišta i izgradnje objekta, troškovi održavanja i dr. Pored toga, još jedan od kriterijuma iz te grupe može biti iskorišćenost prostora, sa atributima iskorišćenost površine i iskorišćenost zapremine. Važni kriterijumi su i protok robe i gustina skladištenja. Mogu se razmatrati i kriterijumi kao što su maksimalna visina slaganja ili maksimalna dubina skladištenja [19].

Kao relevantni kvalitativni kriterijumi izdvajaju se [5] fleksibilnost, kvalitet usluge, rizik, efikasnost, selektivnost, odnosno, mogućnost pristupa svakoj jedinici skladištenja i dr. Njih je teže oceniti od kvantitativnih, a samim tim i izvršiti poređenje. Pored prethodno navedenih kriterijuma, u razmatranje mogu ući i bezbednost skladišne opreme, broj različitih artikala koje je moguće skladištiti (u odnosu na kapacitet), vek trajanja opreme, nivo zaliha koji obezbeđuju i dr. Za kriterijume koje je teško egzaktno odrediti koriste se ekspertske ocene.

Ovako definisani postupak primenjen je na realnom zadatku iz prakse koji je obrađen u sledećoj tački.



Slika 1. Algoritam postupka za izbor tehnologije skladištenja

#### 4. Projektni zadatak- Izbor tehnologije skladištenja

U ovom delu rada biće prikazan primer izbora tehnološke koncepcije za projektni zadatak čiji su osnovni parametri dati u tabeli 1.

U rešavanju ovakvog zadatka jedna od prvih odluka odnosi se na izbor između manualnih ili automatske sisteme. Za rešavanje ovog problema može se koristiti i drvo odlučivanja, koje na osnovu karakteristika zadatka usmerava donosioca odluke na određene tehnologije skladištenja [8, 20]. S obzirom na karakteristike projektnog zadatka u daljem radu će biti razmatrani samo manualni sistemi. Sledeći kritični faktor je pojavni oblik, koji diktira primenu određenih tehnologija skladištenja. Pri rešavanju problema nije

<sup>2</sup> Kriterijumi su sredstva za vrednovanje i poređenje alternativa izvedeni iz jasno definisanih ciljeva, a kreirani na osnovu jednog ili više srodnih atributa pridruženih alternativama [18].

uzeta u obzir strategija rotiranja zaliha. Ukoliko bi bila izabrana FIFO (*First in First Out*) strategija, to bi kao kritičan kriterijum isključilo određenu grupu tehnologija iz daljeg razmatranja.

Tabela 1- Karakteristike projektnog zadatka

Karakteristike zadatka	
Pojavni oblik	Paleta
Kapacitet [br. paleta]	6000
Dimenzije paletnog paketa [mm]	1200x800x1300
Nivo zaliha [br. paleta po artiklu]	Od 1 do 20
Protok [br. paleta/dan]	od 300 do 600
Veličina asortimana [br. artikala]	od 100 do 500

Uzimajući u obzir karakteristike zadatka i kritične faktore (na bazi primene drveta odlučivanja) došlo se do skupa izvodljivih tehnologija koje će biti predmet poređenja po kriterijumima. Te tehnologije su: selektivni paletni regali i mobilni paletni regali, blok skladište (sa unificiranim poljima), *push-back* i prolazni regali (*drive-trough*). Ove tehnologije skladištenja će biti poređene po nekoliko kriterijuma iz skupa prethodno definisanih. Kriterijumi koji su izabrani za potrebe ovog rada su: troškovi, pokazatelji iskorišćenosti prostora, nivo zaliha, protok i veličina asortimana.

U okviru kriterijuma troškova definisani su potkriterijumi troškovi investicija i troškovi izgradnje objekta, a kod kriterijuma iskorišćenosti prostora definisani su potkriterijumi iskorišćenost površine i gustina skladištenja. Operativni troškovi nisu uzeti u razmatranje.

Troškovi investicije predstavljaju cenu nabavke i instalacije skladišne opreme. Ovi troškovi se izražavaju novčanim jedinicama po paletnom mestu. Troškovi izgradnje predstavljaju cenu izgradnje objekta za dati kapacitet [5]. Za svaku tehnologiju posmatrana je tehnološka koncepcija kapaciteta 6000 paletnih mesta. Svaka od njih zahteva različitu potrebnu površinu za izgradnju objekta. Potrebna površina u funkciji je od visine i dubine skladištenja. Za selektivne paletne regale visina je 6 paletnih mesta, dok je za mobilne paletne regale to 5 paletnih mesta. Dubina skladištenja za obe tehnologije je jedno paletno mesto. Za blok tehnologiju skladištenja visina slaganja je 4 paletnih mesta, dok je dubina 5. Kod *push-back* i kod prolaznih regala, visina slaganja je 5 paletnih mesta, dok je dubina slaganja 5, odnosno, 4 paletna mesta. Iskorišćenost površine predstavlja odnos površine koju zauzimaju palete i ukupne površine skladišta. Gustina skladištenja predstavlja odnos kapaciteta i površine skladišta. Nivo zaliha se odnosi se na to koliko zaliha jednog proizvoda se nalazi u sistemu. U posmatranom primeru, nivoi zaliha za proizvode se kreću u opsegu od 1 do 20 paleta. Pri poređenju tehnologija preferentnija je ona koja omogućava skladištenje veće količine zaliha. Protok predstavlja broj paleta koje se na dnevnom nivou otpreme iz skladišta. Veličina asortimana se odnosi na broj različitih artikala koji se nalaze u skladištu.

Ulazni podaci za primenu AHP metode dati su u tabeli 2. Podaci su dobijeni na više načina. Vrednosti za troškove i protok su preuzeti iz referentnih radova [4, 5, 21, 22], dok su pokazatelji iskorišćenosti i veličine asortimana proračunati za standardnu konfiguraciju skladišnog sistema koji obezbeđuje kapacitet od 6000 paletnih mesta. Veličina asortimana je ocenjena sa aspekta maksimalnog broja različitih artikala koji mogu da se nađu u skladištu definisanog kapaciteta. Na osnovu vrednosti alternativa po kriterijumima vrši se njihovo poređenje po parovima na Satty-jevoj skali pri određivanju

relativnih važnosti poređenih elemenata. Kriterijumi koji su kvantitativne prirode su poređeni na osnovu svojih vrednosti, dok su vrednosti kvalitativnih kriterijuma izražene na ordinalnoj skali (od 1 do 5) i na osnovu toga su upoređeni. Kriterijum troškova je jedini minimizacionog tipa, dok su svi ostali maksimizacionog.

Tabela 2- Vrednosti alternativa po kriterijumima (na bazi [4, 5, 21, 22])

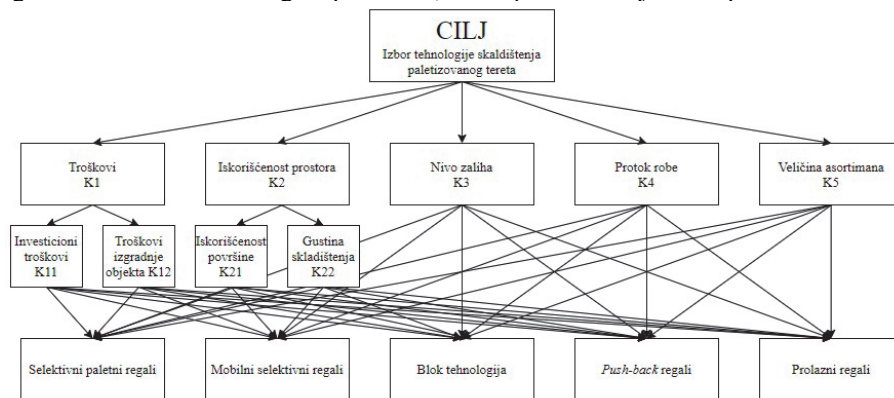
Tehnologija		Selektivni regali	Mobilni selektivni regali	Blok tehn.	Push-back regali	Prolazni regali
Kriterijum						
Troškovi	Investicije (€/pal. mestu)	63	180	0	260	173,5
	Izgradnje objekta (€)	716 760	460 560	605 040	516 060	559 380
Iskorišćenost prostora	Površine	0,4	0,71	0,71	0,67	0,62
	Gustina skladištenja (pal/m <sup>2</sup> )	2,51	3,26	2,97	3,49	3,22
Nivo zaliha (po artiklu)		Nizak	Nizak	Veoma visok	Umeren	Veoma visok
Protok		Veoma visok	Nizak	Umeren	Visok	Nizak
Asortiman		Veoma veliki	Veliki	Veoma mali	Umeren	Veoma mali

Na Slici 2 je prikazana hijerarhijska struktura modela u skladu sa opisom AHP metode u četvrtom poglavlju. Problem se struktuiru u prvom koraku algoritma, gde se na samom vrhu, na nultom nivou, nalazi cilj. Cilj je izabrati tehnologiju skladištenja paletnih jedinica tereta Na prvom nivou se nalaze kriterijumi, dok se na drugom nalaze potkriterijumi definisanih kriterijuma. Na trećem, poslednjem, nivou se nalaze alternative, odnosno, varijantne tehnologije skladištenja.

Za određivanje najboljeg rešenja iz skupa definisanih tehnologija korišćen je softver *SuperDecisions*. Na početku su definisani scenariji. Oni se međusobno razlikuju po težinama kriterijuma. Rezultat dobijen u prvom scenariju prikazan je na Slici 3. Dobijeno je da je najbolje rešenje selektivni paletni regal, što je i očekivano. Ovakvo rešenje pre svega zavisi od izabranih kriterijuma, ali i od subjektivnih ocena koje je donosilac odluka dao kriterijumima. Ukoliko bi ocene dao drugi donosilac odluka, ili veći broj stručnjaka iz ove oblasti, poredak bi se verovatno razlikovao. Što je i pokazano analizom robusnosti. Ona je prikazana na slici 3 (II, III i IV scenario). Težine kriterijuma koje su korišćene u analizi robusnosti su date u tabeli 3.

Mobilni selektivni regali se uglavnom primenjuju za specifične karakteristike zahteva. Njihove prednosti su to što imaju veliku iskorišćenost prostora i veliku gustinu skladištenja. Nedostaci se ogledaju u visokim investicionim troškovima i mogu se koristiti za robe sa niskim koeficijentom obrta (protokom). Ova tehnologija ne omogućava visok protoka jer se operacije uskladištenja/iskladištenja mogu vrši samo u jednom prolazu, a za otvaranje/postavljanje novog prolaza potrebno je dodatno vreme. Blok tehnologija

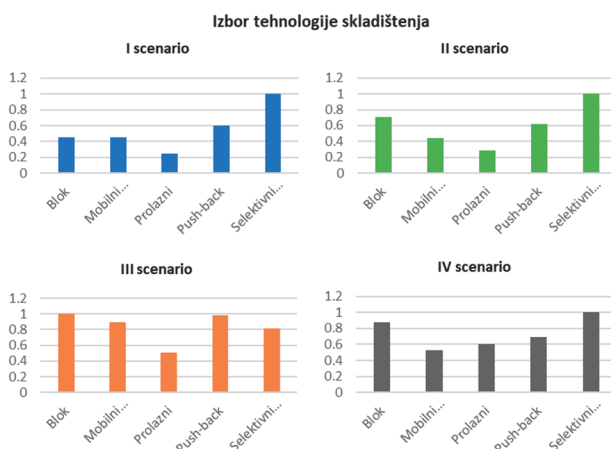
skladištenja je veoma pogodna sa aspekta investicionih troškova i iskorišćenosti površine prostora, međutim, može se koristiti za robu sa ograničenim asortimanom. *Push-back* i prolazni regali odlično koriste prostor, ali su veoma skupi i imaju malu selektivnost. Takođe, ograničeni su i veličinom asortimana jer se kod *push-back* regala u jednom kanalu mogu skladištiti samo homogeni proizvodi, a kod prolaznih u jednom prolazu.



Slika 2- AHP model izbora tehnologije skladištenja paletizovanog tereta

Tabela 3- Težine kriterijuma po scenarijima

Scenario \ Kriterijum	I	II	III	IV
Troškovi	0,08	0,31	0,23	0,07
Iskorišćenost prostora	0,14	0,15	0,41	0,09
Nivo zaliha	0,07	0,04	0,06	0,37
Protok robe	0,43	0,41	0,20	0,24
Vel. asortimana	0,28	0,10	0,10	0,23



Slika 3- Rezultati modela u *SuperDecisions*

## 7. Zaključak

Za izbor tehnologije skladištenja u radu je predložen postupak izbora baziran na primeni AHP metode. Primenljivost postupka demonstrirana je na jednom realnom zadatku iz prakse. Postupak se pokazao kao efikasan. Zbog uvođenja određenih pretpostavki/pojednostavljenja potrebno je dobijene rezultate prihvatiti kao preliminarno rešenje. Za dobijanje pouzdanijih rezultata potrebno je u postupak uvesti optimizovane varijantne tehnoloških koncepcija i veći broj kriterijuma-scenarija. Pored ovoga, neki od pravaca budućih istraživanja su ispitivanja mogućnosti primene drugih pristupa za određivanje najbolje alternative, neka druga MCDM metoda ili kombinacija više metoda. Takođe, ovaj postupak bi mogao da posluži i kao pogodna osnova za razvoj budućeg DSS (*Decision Support System*) za rešavanje ovakve vrste problema.

## Literatura

- [1] Đurđević, D. B. (2013). Razvoj modela za izbor i uobličavanje komisione zone. Univerzitet u Beogradu.
- [2] Baker, P., and Canessa, M., (2009), Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research* 193: 425–436.
- [3] Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G.J., Mantel, R.J., Zijm, W.H.M. (2000), Warehouse design and control: Framework and literature review, *European Journal of Operational Research* 122, pp 515-533.
- [4] Arif, A., & Conner, G., (2020). How Much Does Pallet Racking Cost?, preuzeto sa: <https://www.bastiansolutions.com/blog/how-much-does-pallet-racking-cost/>,
- [5] Dijker, W., & van Kuijk, M. (2005). European standardization in warehouse design: A myth?, A white paper on warehouse design challenges throughout Europe
- [6] Matson, J.O., & White, J.A., (1981). Storage System Optimization. Production and Distribution Research Center. Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia.
- [7] Sharp GP, Vlasta DA, Houmas CG. 1994. Economics of storage/retrieval systems for item picking. Atlanta, Georgia: Material Handling Research Center, Georgia Institute of Technology
- [8] Rusthton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2010). The Handbook of Logistics & Distribution Management. The Chartered Institute of Logistics and Transport, Use.
- [9] Indap, S. (2018). Application of the Analytic Hierarchy Process in the Selection of Storage Rack Systems For E-Commerce Clothing Industry. *Journal of Management Marketing and Logistics*, 5(4), 255-266.
- [10] Zaerpour, N., Volbeda, R., & Gharehgozli, A. (2019). Automated or manual storage systems: do throughput and storage capacity matter?. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 57(1), 99-120. DOI: 10.1080/03155986.2018.1532765.
- [11] Mathew, M., & Sahu, S. (2018). Comparison of new multi-criteria decision making methods for material handling equipment selection. *Management Science Letters*, 8(3), 139-150. DOI: 10.5267/j.msl.2018.1.004.
- [12] Fazlollahtabar, H., Smailbašić, A., & Stević, Ž. (2019). FUCOM method in group decision-making: Selection of forklift in a warehouse. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 49-65. DOI: 10.311181/dmame1901065f.



- [13] Zubair, M., Maqsood, S., Omair, M., & Noor, I. (2019). Optimization of material handling system through material handling equipment selection. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 15(2), 235-243.
- [14] Satoglu, S. I., & Türkekul, İ. (2021). Selection of Material Handling Equipment using the AHP and MOORA. *Jurnal Teknik Industri*, 22(1), 113-124. DOI: 10.22219/JTIUMM.Vol22.No1.113-124.[
- [15] Đurđević, B.D., Miljuš, M., (2011), An approach of order-picking technology selection, u zborniku radova na CD, International Conference on Transport Science - ICTS 2011, 27. maj 2011, Portorož, Slovenija. (ISSN 978-961-6044-92-9)
- [16] Đurđević, D., Miljuš, M., (2019), Piece picking technology selection, Proceedings of the 4th Logistics International conference, Belgrade, Serbia, 23-25 May 2019, pp 263-273.
- [17] van der Gaast, J. P., & Weidinger, F. (2022). A deep learning approach for the selection of an order picking system. *European Journal of Operational Research*. DOI: 10.1016/j.ejor.2022.01.006.
- [18] Dimitrijević, B. (2017). Višeatributivno odlučivanje–primene u saobraćaju i transportu. Beograd, Srbija: Univerzitet u Beogradu–Saobraćajni fakultet.
- [19] Holzhauser, R. (2001). Comparing unit load storage racks. *Plant Engineering*, 55(1), 36-41.
- [20] Luxhoj, J.T., Suskind, P.B., Caldwell, R.C., Jackson, R., (1994), Rack selection expert advisor for a consumer products distribution center *Industrial Engineering*; 26, 8; p.32-34.
- [21] Richards, G., & Grinsted, S. (2020). *The Logistics and Supply Chain Toolkit: Over 100 Tools for Transport, Warehousing and Inventory Management*. Kogan Page Publishers.
- [22] Gudehus, T., & Kotzab, H. (2012). *Comprehensive logistics*. Springer Science & Business Media.

**Abstract:** *Technological warehouse design is characterized by making various design decisions. Among them, the decision on the choice of storage technology in the warehouse space is of particular importance. In the process of technological warehouse design, this decision is made in the phase of generating technological concepts. Then it is necessary for the designer, according to the project task, to generate a certain number of potentially applicable technological concepts and then choose one of them. It is a complex problem, the successful solution of which depends on the future functioning of the warehouse. Making a design decision is complicated by the presence of a large number of relevant characteristics of the design task on the one hand and the possibility of applying several different technologies on the other hand. Disproportionately to the importance of this issue, the number of works devoted to this topic in the available literature is small. Therefore, the main goal of this work is to contribute to the solution of this very important design problem. The paper presents the procedure for choosing a storage technology based on the application of the AHP method. The application of this procedure is demonstrated by solving a typical design task from practice.*

**Keywords:** *warehouse, storage technologies, pallet units of loads, AHP*

## SELECTION OF STORAGE TECHNOLOGY

Dragan Đurđević, Nikola Pavlov, Mladen Božić

**POŠTANSKI SAOBRAĆAJ,  
MREŽE I SERVISI**



<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.011>

## **ANALYSIS OF ACCESS TO THE POSTAL NETWORK OF THE UNIVERSAL SERVICE PROVIDER**

Andrej Sardelić, Stjepan Paler  
Croatian Regulatory Authority for Network Industries,  
andrej.sardelic@hakom.hr, stjepan.paler@hakom.hr

**Summary:** *Access to the postal network is one of the obligations of the universal service provider in the open market, defined by the EU Postal Services Directive. The situation in the postal services market in the Republic of Croatia has shown the need to redefine the existing model of access to the postal network, which resulted in an analysis of the access to the postal network. The paper presents the conducted analysis, which has identified the specific obstacles and barriers to a larger use of the service of access to the postal network as well as proposals and implemented regulatory measures for the adjustment of the existing model and the conditions of access, in order for them to be clear, transparent and provide incentives for access users, and, consequently, for the development of competition in the field of postal services in the Republic of Croatia.*

**Keywords:** *access to the postal network, postal services market, analysis*

### **1 Introduction**

In 2020, the Croatian Regulatory Authority for Network Industries as the national regulatory authority for the performance of regulatory and other tasks in the field of postal services, defined by the Postal Services Act, launched the project of the analysis of access to the postal network of the universal service provider, HP-Croatian post Inc., The main purpose of the project was to analyse the current situation of access to the postal network of HP-Croatian post Inc., identify any potential obstacles and/or limitations in the use of the existing postal network, prepare measures and activities to eliminate the established obstacles and/or limitations and, consequently, create preconditions to strengthen the competitiveness of all stakeholders in the postal services market. As a result, the introduction of measures and activities was aimed at planning further incentives to the growth and development of the postal services market, in particular in the segment of the items of correspondence, the entry of new stakeholders in the market with fair competition and the continuation of implementation of a high level of the protection of the rights of postal service users in the Republic of Croatia.

## **2 Overview of the established situation in the postal services market in the field of access and the assessment of technological aspects**

The Croatian Regulatory Authority for Network Industries (hereinafter: HAKOM), pursuant to the provisions of the Postal Services Act (hereinafter: PSA), collects, analyses and processes information on the status in the postal services market in the Republic of Croatia (hereinafter: HR). According to the obtained information and the conducted analysis of access to the postal network in the HR, the previous period saw a trend of a significant decline in the use of the services of access to the postal network of HP-Croatian post Inc., (hereinafter: HP), as the provider of the universal service. The decline is primarily reflected in the decrease in the quantity of postal items. It results from the above that in the observed period, access to the postal network relative to the total volume of postal items in the HR, was *de facto* insignificant, or practically irrelevant. This is particularly emphasised because, according to the opinion of postal experts, access to the postal network should be one of the main drivers of a further liberalisation and development of the postal services market. As an illustration of the importance of access to the postal network of the universal service provider, the model under which the liberalisation of the electronic communications market has been achieved in the HR serves as a positive and stimulating example.

If access to the postal network of the universal service provider is analysed from the technological and organisational standpoints, that is, from the standpoint of the postal expertise, access to the postal network should in principle be enabled in the same manner as HP uses its postal network for its needs to provide postal services. In this specific case it means that all access users should access postal means and facilities and share decisions as HP shares them, because in this manner the single technological process of the transfer of postal items is least hindered. Therefore, in technological terms, access to the network should be the same one that HP requests from its postal centres and offices on the occasion of exchange, that is, that items be sorted according to the same criteria in the conclusions, for instance, according to the destination of postal centres or offices as well as according to the delivery areas and P.O. boxes of specific postal offices. The only difference may be in the HP's administrative documents (maps and conclusions), i.e. the list of the number of items according to types that are mutually exchanged in a conclusion.

### **2.1 Analysis of the legislative and regulative framework**

The regulatory framework is the area governing the scope of the analysis at the level of laws and ordinances in the HR and partially of the applicable *acquis*, relating to applicable directives and regulations and the current practice of the CJEU – the Court of Justice of the European Union. The HR is an integral part of the single European market of postal services. The postal services market at the level of the European Union (hereinafter: EU), is established and governed by the sole directive of 1997, which had two amendments, in 2002 and 2008 (hereinafter: the EU Postal Directive), with the aim of harmonising the postal services market.

In order to better understand the existing legislative framework, it should be clarified that the EU Postal Directive is legally binding on EU member states, but only with regard to the overall objective defined in it, which means that it is not directly applicable (the principle of direct effect); instead, these are guidelines/principles/regulation and terms

of procedure the member states are bound to implement into their national law. The HR has implemented the EU Postal Directive into its national law, so that the applicable PSA is fully aligned with it.

The legislative framework for the provision of postal services in the HR is defined by the PSA and subordinate legislation, the adoption of which falls within the competence of the Ministry of the Sea, Transport and Infrastructure of the Government of the HR and HAKOM as the national regulatory authority in the field of postal services. The subordinate legislation used in the analysis include the Ordinance on the universal service provision (hereinafter: Ordinance) and the Standard offer of HP for access to the postal network from December 2016 (hereinafter: HP Standard Offer).

The EU Postal Directive defines the basic purpose of the universal service through the simple access to the postal network for all users, in particular by ensuring a sufficient number of access points to the postal network and satisfactory conditions with regard to the frequency of collections and deliveries of items. In addition, it also defines the obligation of the universal service providers in EU member states to ensure access to their postal network under conditions that are transparent and non-discriminatory for all users and postal service providers as well as consolidators<sup>1</sup>. The legislator at the national level has been granted discretionary right to decide on the scope of access to certain elements of the postal network and services, in addition to ensuring access to the network. The national regulatory authority of a member state must take special care that the universal service provider does not use its leading position with the aim of discriminating competition and "squeezing it out" of the market. In addition, it should assess, either independently or at the request of an access user (other postal service providers, consolidators or service users) whether all preconditions for access are met.

The EU case-law regarding the implementation of access to the postal network was also taken into consideration in the analysis. This is because, since the entry into force of the EU Postal Directive, in several EU member states litigations concerning the domicile implementation of access to the postal network have been initiated before the Court of Justice of the European Union (hereinafter: CJEU). By the CJEU judgments, depending on the specificities of each case, individual provisions of the EU Postal Directive defining the principles of access to the postal network have been amended/supplemented to a larger or smaller extent or repealed. The HR, as a fully-fledged EU member state, has the obligation to implement the mentioned judgments directly, according to the principle of the applicability and implementation of the *acquis*.

The applicable cases used in the analysis include the individual CJEU judgment resolving the litigation in the Vedat Deniz case (connected cases C-287/06 to C-292/06) and the subject matter of the judgment C-340/13. In the first case, the CJEU took the stand that when the universal service provider applies special tariffs to business users or bulk mail senders, it must apply the same to the consolidators of consignments of different senders. With regard to the practical application of the above case-law, which refers to access to the postal network and discounts granted in this regard, it is a general opinion that the EU Postal Directive only allows for the possibility that the universal service provider grants discounts, i.e. it may grant discounts, but does not have to do so. If the universal service provider decides to grant discounts, then it must take into account the

---

<sup>1</sup> Consolidator: a legal or natural person other than the postal service provider, which based on a contract collects postal items from senders for the purpose of consigning them to the postal service provider.

principle of transparency and non-discrimination, i.e. the principle of equal treatment (to act in the same manner in comparable situations). In the second case, no access conditions were directly determined, but the criteria for granting discounts on quantity "by sender" or "grouping of quantity discounts" were determined. It is the CJEU's opinion that although senders and consolidators may find themselves in a comparable situation with regard to operational discounts, this is not necessary in the case of discounts on quantity. It results from the judgment that "grouping" is not justified or permitted, i.e. it is not justified or permitted to consume quantity discounts of several senders by the consolidators themselves. Instead, the principle of granting discounts "by sender" is to be applied on them as a special user category, by which consolidators, as a special user category, are in a comparable position with other users (including bulk mail senders).

The legal framework regarding access to the postal network in the HR is prescribed by the PSA, in such a way that HP as the designated universal service provider in the HR has the obligation to enable access to its postal network for the segment of postal items within the scope of the universal service to all users, consolidators and postal services providers. In addition to access to the network, HP also has the obligation to enable access users to access the system of postal identifiers, the database for the sorting of items, information on the change of address, the services of redirecting postal items and the services of return of items to the sender. Although the PSA is, in both nominal and normative terms, fully aligned with the provisions of the EU Postal Directive, access to the postal network is enabled only for services falling within the scope of the field of universal service, which, as such, are not subject to the application of exemption from the application of the value added tax (hereinafter: VAT) liability. As described, in nominal terms, the service of access to the postal network is more expensive for the end user by the VAT amount (25%) than the service falling within the scope of the universal service.

Furthermore, the PSA prescribes that the conditions of access to the network must be publicly available, known in advance and must be applied equally to all access users that are accessing the network for the same type and quantity of items. When pricing access to the network, it is necessary to recognise the costs of actions carried out prior to accessing the network for access users as avoided expense of the universal service provider.

Under the provisions of the PSA, access to the network is only enabled to the providers of interchangeable postal services<sup>2</sup> and not to the providers of other postal services providing the services beyond the scope of the universal service to which it is not allowed. By the above, figuratively speaking, restricted use, the providers of other postal services were de facto allowed to determine and organise their own postal network autonomously, both through their own capacities and through the capacities of the contractual business partners, mostly small transport and logistics entrepreneurs. Therefore, it may be concluded that some PSA provisions have not been sufficiently elaborated. However, as the legislator has amended the PSA on three occasions since 2012, none of which amended the provisions related to access to the network, it is not realistic to expect any potential amendments to the PSA provisions, including any amendments to the provisions on access to the postal network, in the forthcoming period.

---

<sup>2</sup> Interchangeable postal services are part of the services falling within the scope of the universal service that may diverge from the conditions of the universal service, such as the obligation of daily delivery or the provision of the service in the entire territory of the country, but which from the user's standpoint can be deemed to be the services within the scope of the universal service because they are replaceable by the universal service to a sufficient extent.

HAKOM's ordinance prescribes in detail the locations and conditions of access to the postal network, the content of the request and the contract, the principles of pricing the access to the network and other matters concerning access to the network (request for access, contract on access, obligations of the universal service provider and access user). Thus, two access points were prescribed:

1 in postal network elements in which the concentration of items received from different parts of the network is carried out – for all items (ACCESS I),

2 in postal network elements in which items are prepared for shipment towards postal network elements in which the delivery is organised – for items that are grouped according to destinations or addresses of recipients in the manner required by the universal service provider (ACCESS II).

In addition, provisions were also prescribed on pricing access to the postal network, the price of access being determined according to the percentage of the price amount for the relevant service from the universal service provider's price list, with the price reduced by the costs of the part of operations carried out by the user of access to the postal network. Access users that accessed the postal network with a minimum of 5,000 items in a single month had the right to the price, with HP required to provide HAKOM with the calculation of the reference value of the costs of performance of the individual phases during the service provision. The above provisions seemed to be rather rigid, so that it was concluded that, as such, they represented certain obstacles in access to the network.

HP determined certain access conditions more precisely in its reference offer, so that, as later shown by the analysis, it was one of the regulations that de facto hindered a more extensive use of the services of access to the postal network in the HR under its provisions. The HP's reference offer, among other things, determined certain types of postal items, points of access to the postal network, access to information, procedures/rules on the submission of requests for access and other access conditions. The analysis of the provisions of HP's reference offer led to the conclusion that they were inflexible and non-stimulating with regard to potential users, that they completely exclude natural persons as potential users, that they hinder the use for potential business entities with several barriers (obstacles), such as the conditioning of the price and volume of services, a small number of access points (9), the inadequate rebate policy, the absence of the possibility to use additional services, calculation and collection, the rigid instruments of payment insurance (significant funds through guarantees), unnecessarily imposed obligation on access user to notify HP in writing about any of its changes in the status and, finally, too broad space left for autonomous decision-making and HP's discretion to reject requests for the use of services of access to the postal network.

In addition, when conditions of access to the postal network are compared with conditions of use of the HP's universal service and the rebate policy applied, it is evident that services from the scope of the universal service are accessible as such to all categories of postal service users under more favourable criteria/conditions of use and, consequently, privileged for use when compared with the services of access to the postal network.

Taking into account all of the above and the established situation as well as the fact that the PSA provisions stipulate HAKOM's authority to adopt the Ordinance, the analysis leads to the logical conclusion that in the forthcoming period it is necessary to focus HAKOM's regulatory and legislative activities on amending HAKOM's Ordinance in the provisions determining the access to and use of the postal network. This will consequently have an impact on redefining the existing, rigid access to the postal network

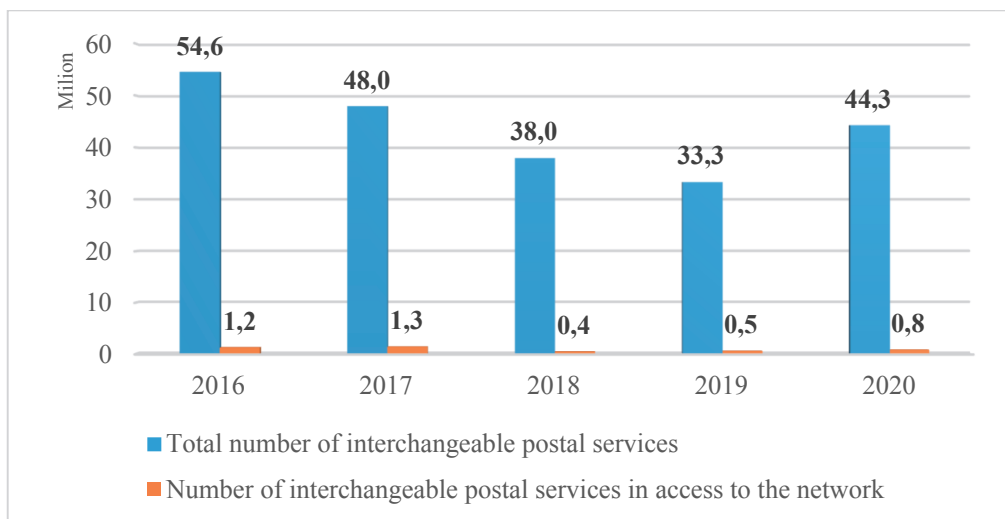


and the modification of the HP's reference offer for the services of access to the postal network.

## 2.2 Analysis of economic indicators

In the postal services market in the HR, in the previous period, three postal service providers and one consolidator used the service of access to the postal network of HP. Two providers started using access to the network in 2018, while the provider that first started using access to the network stopped using the service in the course of 2017. Developments in the number of interchangeable postal services providers, which can also use access to the network, show that only a small number of them used this possibility, while the majority used their own network.

Access to the HP postal network was enabled only for items from the segment of interchangeable postal services (correspondence items of up to 2 kg, registered mail and insured items and parcels of up to 10 kg). For the above types of services, additional services could not be used, which are usually used for the universal service (e.g. return receipt, cash-on-delivery/*remboursement*). In addition to other providers, HP is also the provider of interchangeable postal services.

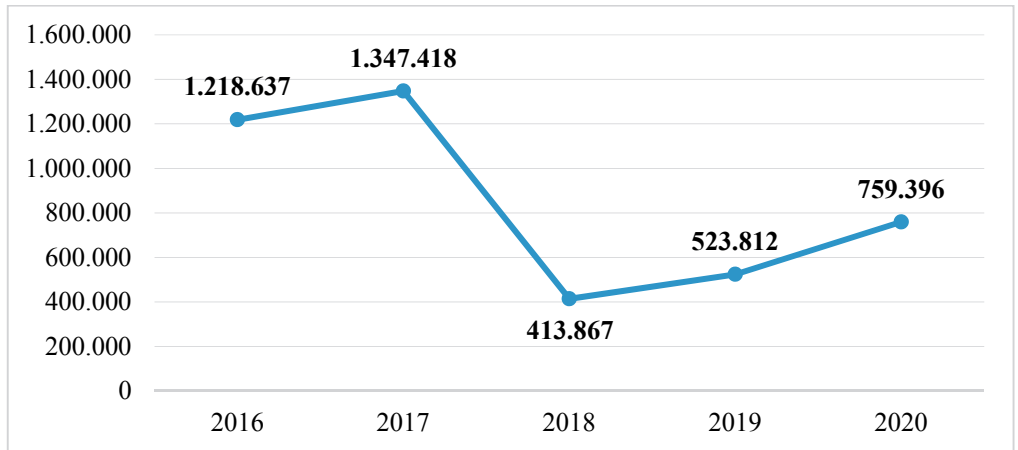


*Graph 1 Number of interchangeable postal services*

In the period from 2016 to 2020, the number of interchangeable postal services decreased by 18%. The share of interchangeable postal services in access to the network ranged from 1.1% in 2018 to 2.8% in 2017. If the share of services through access to the network rendered by other providers (excluding HP), their share in interchangeable postal services ranged from 7.4% in 2016 to 27% in 2020.

The shown trend in the number of services in access to the HP network indicates that the number of services increased moderately over the past two years, although it fell by about 38% relative to 2016. Of the total number of services rendered through access to

the network in 2020, providers accounted for 68.5%, while the items of consolidators accounted for the remaining percentage.



*Graph 2 Number of services provided through access to the HP network*

All of the above data indicate a weak demand for the service of access to the postal network in the postal services market in the manner provided/offered by HP.

A further analysis also referred to the existing HP's rebate policy (discounts) in relation to access to the network, which has also proved to be one of the limiting factors in the use of access. The existing rebate policy was based on the model that included data on the distribution of costs of operating activities and unit quantities of letters of up to 50 grams in the internal traffic according to the HP's ABC model from 2011. The discount amount depended on access points, type of items, the degree of processing and activities that the activities the access users performed instead of HP. The analysis has established that the applicable rebate policy does not correspond to the current situation in the postal services market, primarily due to the use of outdated information, as the data used dated back to 2011, although there are new and revised data. In addition, discounts are not based on actually generated and potential additional savings and they are not equally valued in access to the network and the universal service, so that universal service users have much larger discounts for the same structure of operating costs than access users. There are also no discounts on quantity, as a result of which access users do not have equal opportunities as universal service users. As a result of the above, it was necessary to make a correction of the existing model with the objective of eliminating certain limitations and creating equal conditions for users.

Finally, the prices of access to the network were also analysed, which were based on the corresponding prices for universal service items reduced by the discount plus VAT in the amount of 25%. According to certain data, it was evident that network access users with their prices were not at all competitive in the postal services market, that is, they did not have a sufficient economic space in order to compete with HP. In other words, it is more affordable to a network access user to use the full end-to-end service from HP than to use the service of access to the network. Thus, it was concluded that such HP's pricing

policy represents a significant obstacle to the use and strengthening of demand for the service of access to the postal network in the Republic of Croatia.

### **3 Follow-up activities and measures**

The analysis has undoubtedly identified technological and administrative as well as economic barriers in the current model of access to the HP's postal network, which, consequently, represent a significant obstacle to a larger use of the above services as well as its future development and, overall, a further development of the services in this specific segment of the postal services market in the HR.

Having in mind the analysed provisions of legislative provisions and the provisions of subordinate legislation, as well as the competences arising from the above regulations, HAKOM had a limited space to act directly with regard to access to the network, i.e. in one of the following ways:

- use the opportunity to adopt a HAKOM's regulatory decision on access to the network;
- in the form of an Ordinance, take a decision to amend or terminate the prices of access to the postal network in entirety or partially;
- intensify business cooperation with the national competition authority (Croatian Competition Agency, CCA);
- request and/or implement an intervention in the existing legislative and regulatory framework.

In 2021, in the period after the conducted analysis, based on the powers and competences stipulated by the PSA, HAKOM opted for a limited intervention into the regulatory framework through the procedure of adoption of amendments to the Ordinance. The decision was made, in addition to other things, because it is not realistic to expect any amendments to be made to the provisions of the PSA due to the circumstances anticipated in the forthcoming period, including the amendments to the provisions of access to the postal network. This procedure will enable amendments to be made to or even cancel certain provisions and conditions for access to the HP's postal network by amending them and expanding the offer of services enabling access to the postal network and the use of additional services so that they are also used in the universal service. In this way, most of the identified obstacles/barriers would be de facto removed and, as a result, access to the postal network would be made more attractive and affordable for use to a larger number of users. It would also have an effect on the increase in demand for the services of access to the postal network.

In the process of defining the necessary amendments to the Ordinance, the applicable legislation and the current case-law defining the area of postal services in the EU member states were studied, with emphasis to the postal network. A number of working meetings and consultations were held with HP representatives and existing access users. Two public consultations were also held, which resulted in the drafting of the final text of the Ordinance on amendments to the Ordinance on the provision of universal service.

In the Ordinance on amendments to the Ordinance on the provision of universal service, in the part regulating access to the postal network, the regulatory and mediatory role of HAKOM has been strengthened, the current access points and the models/modes of

the use of access points have been redefined, as well as the principle of pricing for the service of access to the postal network and the rights and obligations of HP as the giver and provider of services of access to the postal network, including any potential reasons for the rejection of access. In addition, other conditions of use of the service of access have been amended, such as the option to use additional services in access to the network.

Acting according to the amendments to the Ordinance, after its entry into force at the end of September 2021, HP completely changed the existing Reference Offer for access to the postal network by adopting new Terms and Conditions for access to the postal network, in which it determined new access points, changed the existing rebate policy and the pricing for the service of access to the postal network. In the offer of its services, HP enabled the use of additional services for which there are in place technical and technological possibilities and it adjusted the administrative conditions for the use of the above services.

#### **4 Conclusion**

In 2020, HAKOM launched a project to analyse access to the postal network of HP, the universal service provider, with an aim to establish any potential obstacles and/or limitations in the use of the existing HP's postal network and to prepare proposals and activities to eliminate the identified obstacles and/or limitations and, consequently, to provide incentives for a further development of the postal services market in the segment of items of correspondence and an overall strengthening of competition of all stakeholders.

The conducted analysis has indicated specific problems in the use of the services of access to the postal network, which, as established, represented a significant obstacle to a more extensive use of the mentioned service and also resulted in an insufficient/unsatisfactory interest of users for its use. In addition, the analysis has shown that there is a considerable space for improvement of the manner, model and capacity for the use of the mentioned services. In order to address them, specific measures and activities are proposed to be taken by HAKOM as the national regulatory authority with regard to HP as the provider of the universal service, providing the service of access to the postal network, with the goal to increase the use of the service, its overall competitiveness and, consequently, a further development of competition in the field of postal services.

As the final result of the analysis, in the third quarter of 2021, HAKOM partially amended the regulatory framework by the adoption of amendments to the Ordinance on the provision of universal service, following which, HP adopted the new Terms and Conditions for access to the HP postal network and the accompanying price list in December 2021.

#### **References**

- [1] Croatian Parliament *Postal Services Act*. Zagreb: Official Gazette 144/12, 153/13, 78/15, 110/19
- [2] Croatian Parliament *Ordinance on the provision of universal service*. Zagreb: Official Gazette 41/13, 103/21
- [3] European Parliament (1998) *Directive 97/67/EC of the European Parliament and of the Council on common rules for the development of the internal market of Community postal services and the improvement of quality of service*. Strasbourg: OJ L 15/14

- [4] European Parliament (2002) *Directive 2002/39/EC of the European Parliament and of the Council on amending Directive 97/67/EC with regard to the further opening to competition of Community postal services*. Strasbourg: OJ L 176
- [5] European Parliament (2008) *Directive 2008/6/EC of the European Parliament and of the Council amending Directive 97/67/EC with regard to the full accomplishment of the internal market of Community postal services*. Strasbourg: OJ L 52
- [6] European Commission (2012) *Report on "access" to the postal network and elements of postal infrastructure*. Bruxelles: ERGP
- [7] [https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2013/propisi\\_pravilnici\\_zakoni/Pravilnik%20o%20obavljanju%20univerzalne%20usluge%20NN%2041\\_13.pdf?vel=13316](https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2013/propisi_pravilnici_zakoni/Pravilnik%20o%20obavljanju%20univerzalne%20usluge%20NN%2041_13.pdf?vel=13316)
- [8] <https://www.hakom.hr/hr/godisnji-podaci/9444>
- [9] [https://www.posta.hr/UserDocsImages/hp/glavne-kategorije/postanske-usluge/poslovni/Pristup\\_mrezi/STANDARDNA-PONUĐA-HP-HRVATSKE-POSTE-D-D-20170101.pdf](https://www.posta.hr/UserDocsImages/hp/glavne-kategorije/postanske-usluge/poslovni/Pristup_mrezi/STANDARDNA-PONUĐA-HP-HRVATSKE-POSTE-D-D-20170101.pdf)
- [10] <https://www.posta.hr/pristup-postanskoj-mrezi-242/242>

**Sažetak:** *Pristup poštanskoj mreži jedna je od obveza davatelja univerzalne usluga na otvorenom tržištu, a određena je Poštanskom direktivom EU-a. Stanje na tržištu poštanskih usluga u Republici Hrvatskoj pokazalo je potrebu za redefiniranjem postojećeg modela pristupa poštanskoj mreži što je rezultiralo analizom pristupa poštanskoj mreži. U članku je prikazana provedena analiza kojom su utvrđene konkretne prepreke i barijere za veće korištenje usluge pristupa poštanskoj mreži te prijedlozi i provedene regulatorne mjere za prilagodbu postojećeg modela i uvjeta pristupa, a sve s ciljem da isti budu jasni, transparentni i poticajni za korisnike pristupa te posljedično i razvoja tržišnog natjecanja u području poštanskih usluga u Republici Hrvatskoj.*

**Ključne riječi:** *pristup poštanskoj mreži, tržište poštanskih usluga, analiza*

## **ANALIZA PRISTUPA POŠTANSKOJ MREŽI DAVATELJA UNIVERZALNE USLUGE**

Andrej Sardelić, Stjepan Paler

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.012>

## **MODELI FIŠING KAMPANJA KOJIMA JE ZLOUPOTREBLJEN LOGO I IME POŠTE SRBIJE**

Goran Paunović

Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge, Nacionalni CERT  
RS, goran.paunovic@ratel.rs

**Rezime:** *Fišing (na engleskom phishing) je vrsta prevare koja ima za cilj prikupljanje i zloupotrebu poverljivih podataka korisnika, poput brojeva bankovnih računa, lozinki, naloga na društvenim mrežama ili pristupa elektronskoj pošti. Žrtva ovog tipa sajber napada dobija poruku putem elektronske pošte, društvenih mreža, telefona ili SMS-a u kojoj se od nje zahteva da poseti link ili otvori dokument i upiše lične i poverljive podatke. U poslednje vreme intenzivirana je fišing kampanja kojom napadači zloupotrebljavaju logotip i ime Pošte Srbije. Osnovni razlog zašto je Pošta Srbije meta napada je činjenica da je Pošta u direktnom kontaktu sa korisnicima u delu novčanih transakcija, prenosa pismonosnih, paketskih i ekspres pošiljaka. Svaki od ova tri segmenta poslovanja Pošte Srbije može biti zanimljiv korisnicima, stoga napadači imaju pogodno tle za aktivnosti socijalnog inženjeringa, konkretno fišinga. U dosadašnjoj praksi bilo je više pokušaja napada u kojima je zloupotrebljen logo i ime Pošte Srbije.*

**Ključne reči:** : *socijalni inženjering, fišing, sajber napad, domen, domen najvišeg nivoa*

### **1. Uvod**

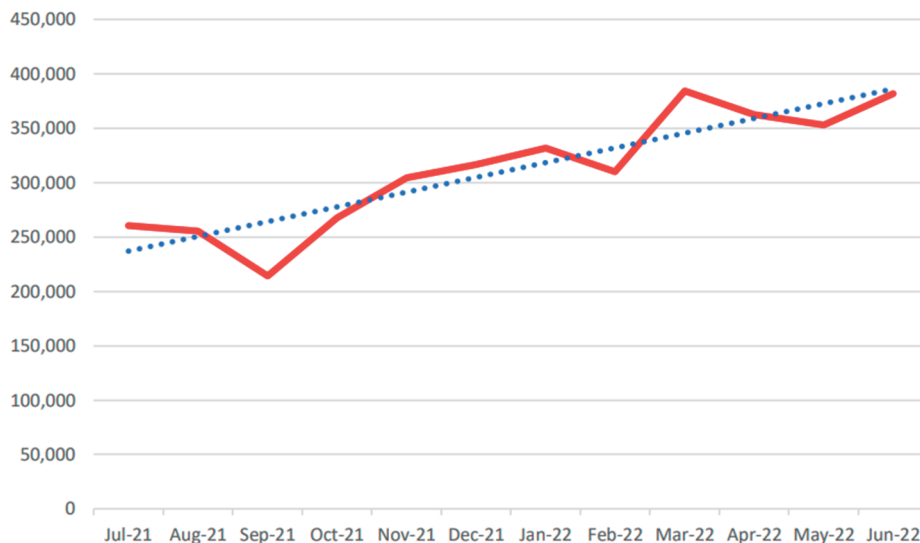
Fišing (na engleskom phishing) je tip prevare koja ima za cilj prikupljanje zloupotrebu poverljivih podataka korisnika, poput brojeva bankovnih računa, lozinki naloga na društvenim mrežama ili pristupa elektronskoj pošti. Žrtva ovog tipa sajber napada dobija poruku putem elektronske pošte, društvenih mreža, telefona ili SMS-a u kojoj se od nje zahteva da poseti link ili otvori dokument i upiše lične i poverljive podatke. Trenutno su na prvom mestu u načinu izvođenja fišing prevara poruke prispele putem elektronske pošte. Međutim, primetan je izvestan broj napada putem upotrebe društvenih mreža i aplikacija za slanje poruka poput *WhatsApp-a, Viber-a* i ostalih. Promena koja se očekuje u izvođenju ovih napada jeste da će metode koje se koriste za slanje poruka biti sve sofisticiranije. Jedan broj fišing napada ima za cilj krađu kredencijala, dok drugi imaju za cilj distribuciju zlonamernog softvera. Fišing napadi realizuju se kada žrtva preduzme radnje iz uputstva datog u tekstu poruke, koje su najčešće kreirane tako da upućuju na brzu reakciju. Neki od primera zahtevanih radnji u fišing napadima su sledeći:

- Klik na ponuđeni link;
- Ažuriranje lozinke;
- Otvaranje dokumenta iz priloga;
- Prihvatanje zahteva za povezivanjem na društvenim mrežama;
- Korišćenje novih pristupnih tačaka za bežično spajanje na internet (wi-fi hotspot).

Fišing poruke su kreirane sa namerom da izgledaju kao da su poslate iz pouzdanih izvora, dok je tekst poruke takav da stvara osećaj znatiželje ili hitnosti s ciljem navođenja primaoca poruke da brzo reaguje – klikom na određeni link ili preuzimanjem dokumenata iz priloga. Klik na link vodi na lažnu stranicu, koja liči na legitimnu, i kreirana je u cilju prikupljanja podataka kao što su adrese elektronske pošte, lozinke, podaci sa bankovnih kartica i drugi.

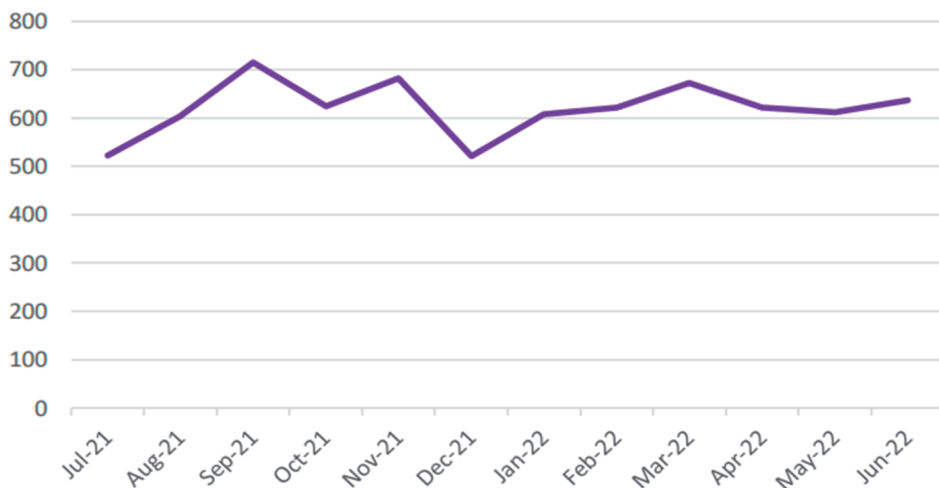
## 2. Stanje u svetu

U svetu je primetan rast obima fišing napada. Na slici 1. dat je prikaz trenda fizičkog obima fišing napada u svetu u periodu od početka trećeg kvartala 2021. godine do kraja drugog kvartala 2022. godine. Naime, period opservacije je poslednjih godinu dana, od jula 2021. godine do juna 2022. godine.



*Slika 1. Trend obima fišing napada u periodu jul 2021. – jun 2022. godine  
Izveštaj trendova phishing aktivnosti, 2. kvartal 2022. godine, [1]*

U izveštaju su posebno obrađeni napadi koji su pogodili svetski priznate kompanije (svetske Brendove), prikaz je dat na slici 2.



Slika 2. Broj napadnutih brendova u periodu jul 2021. – jun 2022. godine  
Izveštaj trendova phishing aktivnosti, 2. kvartal 2022. godine, [1]

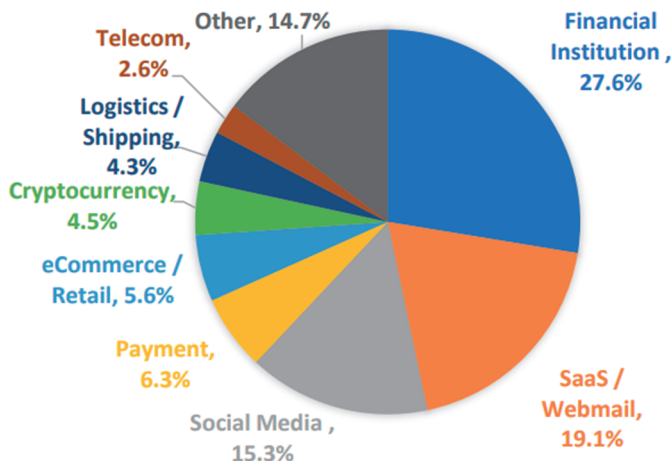
Tabela 1. Prikaz obima fišing napada u drugom kvartalu 2022. godine (Q2 2022)

	April 2022	Maj 2022	Jun 2022
Broj fišing web lokacija sa kojih su otkriveni napadi	362.852	353.242	381.717
Broj naslova fišing mejlova	21.540	20.339	23.550
Broj brendova ciljanih fišing napadom	621	612	637

U drugom kvartalu 2022. godine zabeleženo je ukupno 1.097.811 fišing napada, što je apsolutni kvartalni rekord ikada do sada zabeležen. U odnosu na početak 2020. godine kada je zabeleženo od 68. 000 do 94. 000 napada na mesečnom nivou, broj ovih napada je sada četiri puta veći i prešao je cifru od 380. 000 mesečno.

Na slici 3. vidi se da su finansijske institucije najviše napada pretrpele u drugom kvartalu 2022. godine. Odmah zatim su *SaaS* (*Software as a Service* aplikacije, ili *web based*) aplikacije kao deo *cloud* tehnologije u oblasti informacionih tehnologija a posebno webmail aplikacije, koje se koriste za slanje mejlova preko *web-browsera*. Potom slede društvene mreže, elektronsko plaćanje roba i usluga, e-trgovinski lanci i maloprodaja, kriptovalute itd...





*Slika 3. Najviše napadane grane industrije - na svetskom nivou, Izveštaj trendova phishing aktivnosti, 2. kvartal 2022. godine, [1]*

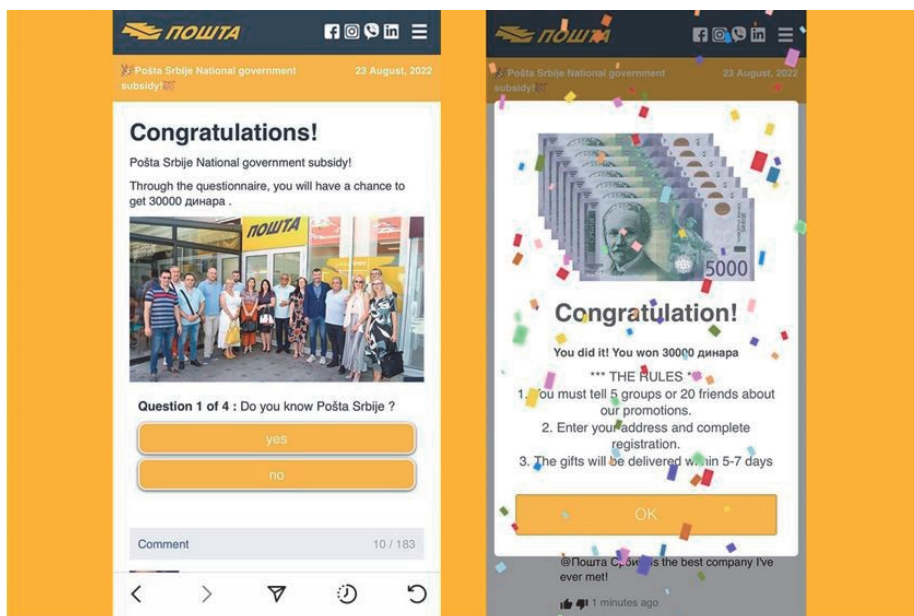
Začudujuće deluje činjenica da je oblast telekomunikacija jedna od manje napadanih oblasti.

### **3. Fišing napadi na korisnike Pošte Srbije**

U poslednje vreme intenzivirana je fišing kampanja kojom napadači zloupotrebljavaju logotip i ime Pošte Srbije. Osnovni razlog zašto je Pošta Srbije meta napada je činjenica da je Pošta kompanija kojoj korisnici veruju i koja je u direktnom kontaktu sa korisnicima u delu novčanih transakcija, prenosa pismonosnih, paketskih i ekspres pošiljaka. Svaki od ova tri segmenta poslovanja Pošte Srbije može biti zanimljiv korisnicima stoga napadači imaju pogodno tle za aktivnosti socijalnog inženjeringa, konkretno fišinga. U dosadašnjoj praksi bilo je više pokušaja napada u kojima je zloupotrebljen logo i ime Pošte Srbije.

#### **3.1. Lažna nagradna igra**

Korisnicima se putem društvenih mreža i raznih platformi za komunikaciju, upućuje informacija o nagradnoj igri koju navodno organizuje Pošta Srbije. Od korisnika se ljubazno zahteva da odgovore na nekoliko pitanja, nakon čega ulaze u užu izbor da osvoje novčanu nagradu. Ukoliko korisnik prihvati da odgovori na pitanja i da odgovore ubrzo zatim, biva obavešten da je „osvojio“ nagradu. Videti sliku 4.



*Slika 4. Prikaz obaveštenja – Congratulations!*

Dalje se od korisnika traži da o dotičnoj nagradnoj igri obavesti 20 prijatelja ili nekoliko grupa, unese adresu i kompletira registraciju unosom ličnih podataka. Dakle korisnik se lagano dovodi do faze da napadaču dostavi svoje lične podatke koje napadač dalje zloupotrebljava. Takođe obaveštavanjem 20 prijatelja napadač uvećava svoju bazu podataka novih potencijalnih žrtava.

*Preporuka korisnicima: Treba biti oprezan, ne unositi lične podatke nakon prijema sličnih poruka i ne postupati na način kako se u poruci traži.*

### **3.2. Neuspeli pokušaj isporuke pošiljke**

Pri ovom napadu napadač korisnicima šalje lažnu e-poštu sa obaveštenjem o neuspešnom pokušaju isporuke pošiljke. Poruka stiže sa naslovom „Ažurirajte adresu za isporuku“ sa zahtevom da se unesu podaci i da se klikne na jedan od 2 linka:

**„Dogovorite isporuku na ovu adresu“ i**

**„Ažurirajte adresu za dostavu“.**

Primer originalne poruke koju su primali korisnici vidi se na slici 5.

Dragi cenjeni korisniče,

Ovim e-mailom vas obaveštavamo o poslednjem neuspešnom pokušaju isporuke za pošiljku broj RS263790013BB. Ovo je posledica toga što adresa koju ste naveli ne postoji ili se ne može pronaći u okviru našeg sistema.

Šta se dalje dešava?

Vaša pošiljka je vraćena u naš lokalni depo, gde će ostati narednih sedam radnih dana.

Sada nam možete dati ažuriranu adresu za ovu pošiljku klikom ovde.

Za ponovnu isporuku vaše pošiljke biće naplaćena naknada.

- [>> Dogovorite isporuku na novu adresu](#)
- [>> Ažurirajte adresu za isporuku](#)

Takođe možete izabrati da preuzmete svoju pošiljku iz našeg depoa na Takovska 2, 11120 Beigrade.

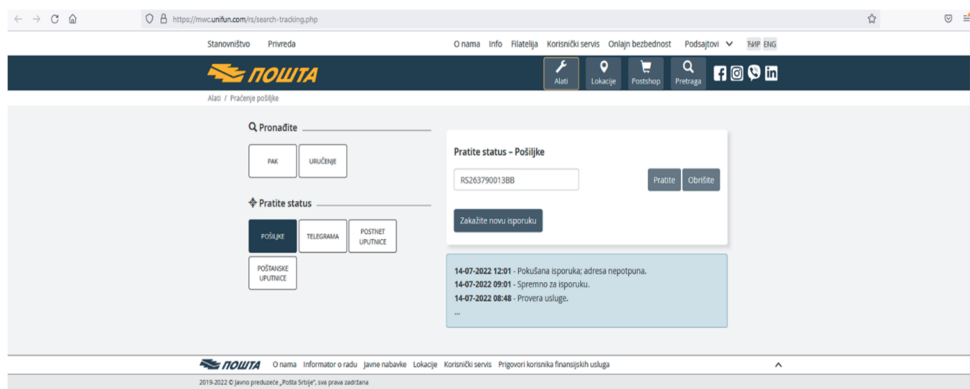
Ako su vam potrebne dodatne informacije o ovom pokušaju isporuke, molimo vas popunite našu kontakt formu.

Srdačan pozdrav

Pošta Srbije

*Slika 5. Obaveštenje o neuspešnom pokušaju isporuke pošiljke*

Oba data linka vode na fišing stranicu (slika 6.) koja lažira logo Pošte Srbije i na kojoj se od korisnika zahteva da unese lične podatke. Svi podaci koje korisnik unese na lažnu formu mogu biti zloupotrebljeni.

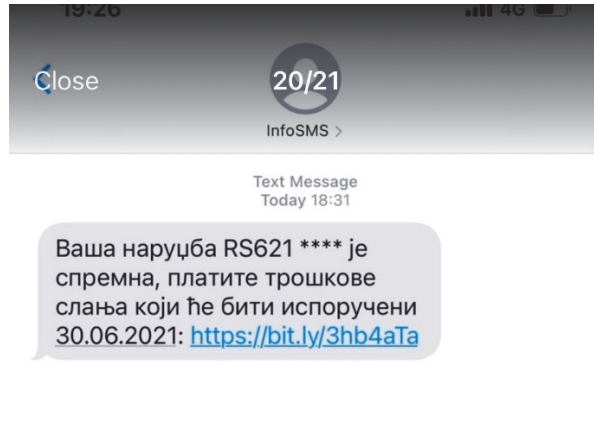


*Slika 6. fišing stranica - Lažna forma koja podseća na jednu od web stranica Pošte Srbije*

*Preporuka korisnicima: Ne otvarati ovu poruku, ne unositi lične podatke, poruku treba obrisati.*

### **3.3. Prispela porudžbina za koju treba platiti troškove**

Informacija o prispeloj porudžbini/pošiljci za čije uručenje je potrebno platiti troškove je jedan od prvih napada u kojima je zloupotrebena pošta Srbije. Korisnicima se šalje SMS poruka da im je navodno stigla porudžbina i da je za isporuku potrebno platiti troškove (slika 7.)



*Slika 7. Inicijalna SMS poruka kojom se korisnik usmerava na maliciozni link*

Link iz poruke vodi na lažnu stranicu (slika 8.) na kojoj se traži popunjavanje podataka o bankovnoj kartici koji omogućavaju napadačima da preuzmu sav novac sa računa korisnika. Lažna stranica zloupotrebljava vizuelni identitet Pošte Srbije, sadrži logo i naziv Pošte Srbije.

Javno preduzeće „Pošta Srbije“ je upozorilo javnost, korisnike i nadležne institucije uz obrazloženje da sa svojim korisnicima ne komunicira na ovaj način i da je potrebno da obrate dodatnu pažnju.

*Preporuka korisnicima: Ne otvarati link iz poruke i ne popunjavati tražene podatke.*

Број картице:	Датум истека:
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Expiry date:	ЦВВ2 / ЦВЦ2:
Месец пања <input type="text"/>	Године <input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Резни број: 3681 Опис поруџбине: ПАРЦЕЛА	ЈП Пошта Србије
<input type="checkbox"/> Прихватиће услове и одреџбе	
Укупно: <b>28.80 RSD</b>	<input type="button" value="Платите путем Интјернета"/>

Трансакцију обрађује ЈП Пошта Србије.

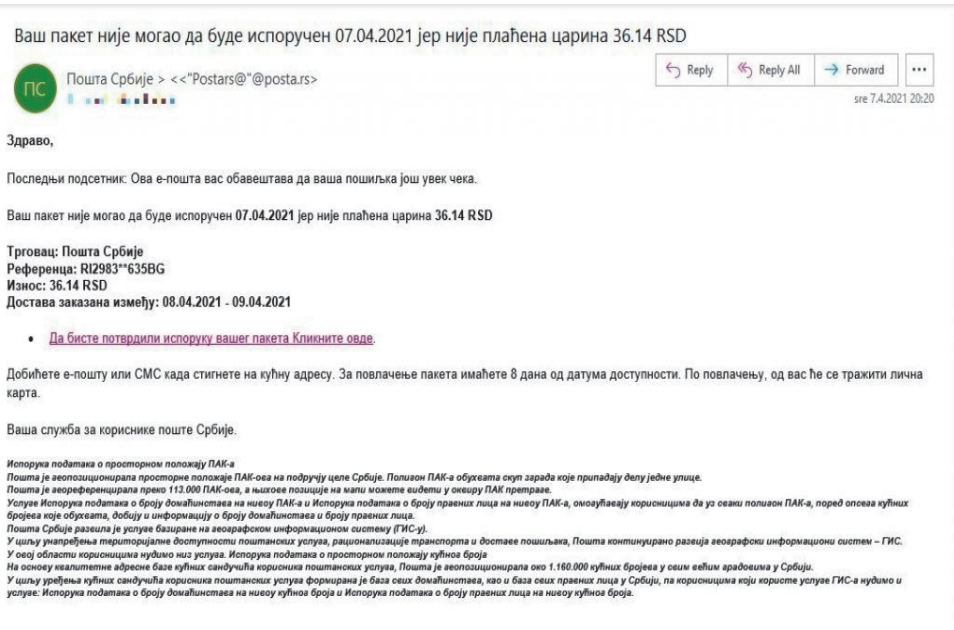


Slika 8. Lažna stranica na kojoj se traži popunjavanje podataka o bankovnoj kartici

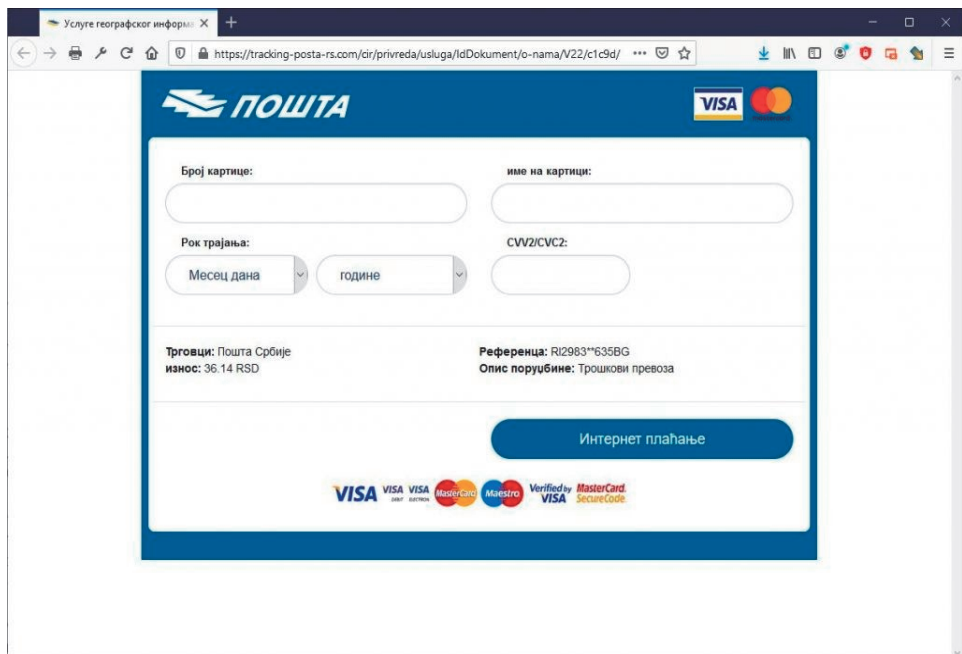
### 3.4. Uplata carinskih dažbina za pošiljku prispelu iz inostranstva

Ova fišing kampanja koja je takođe usmerena na korisnike poštanskih usluga. Korisnici primaju e-poštu sa obaveštenjem da je za njih prispeo paket, ali da nije mogao biti isporučen jer nije uplaćen iznos od 36,14 dinara namenjen za carinske troškove (pogledati prikaz - slika 9). Poruka stiže sa lažne adrese: **Pošte Srbije "Postas" @posta.rs**, sa naslovom: **Vaš paket nije mogao da bude isporučen jer nije plaćena carina 36.14 RSD**. U poruci e-pošte se dalje od korisnika zahteva da klikne na link na kojem piše **"Da biste potvrdili isporuku vašeg paketa - kliknite ovde"**, nakon čega korisnik navodno dobija e-poštu ili SMS poruku kojom se potvrđuje isporuka pošiljke. Klikom na ponuđeni link korisnik se preusmerava na lažnu stranicu za internet plaćanje (slika 10.) na kojoj se od korisnika zahteva da unese sledeće podatke: Broj platne kartice, Ime i Prezime, Rok trajanja kartice, kao i CVV2/CVC2 broj kartice. Svi podaci koje korisnik unese u lažnu formu mogu biti zloupotrebljeni.

*Preporuka korisnicima: Poruku ne otvarati i ne unositi lične podatke, istu treba trajno obrisati.*



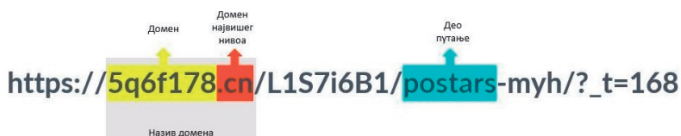
Slika 9. Lažni e-mail o nemogućnosti isporuke paketa



Slika 10. Lažna stranica na kojoj se traži popunjavanje podataka o bankovnoj kartici

#### 4. Odbraniti se oprežnošću i znanjem

Korisnici interneta se takođe savetuju da obrate pažnju na elemente linka koji mogu ukazivati na lažnu stranicu. Pažnju najviše treba usmeriti na naziv domena. U nastavku je primer lažne stranice, a naziv domena je: *5q6f178.cn*. Na ovom primeru se Pošta Srbije pominje u delu putanje ka datoteci, što je pokušaj navođenja korisnika interneta da pomisli da je to deo naziva domena (prikaz daje slika 11. ).



Slika 11. Link ka lažnoj stranici Pošte Srbije

Primer za legitimnu veb adresu internet stranice Pošte Srbije pokazuje registrovan naziv domena Pošte Srbije (slika 12). Kao što se može videti domen najvišeg nivoa u ovom slučaju odgovara domenu Republike Srbije (.rs).



Slika 12. Link ka legitimnoj stranici Pošte Srbije

#### 5. Informisanje nadležnih institucija

Napadi na Poštu Srbije ali i svi drugi napadi na institucije, pravna i fizička lica mogu se prijaviti Nacionalnim CERT-u na e-mail: [info@cert.rs](mailto:info@cert.rs) ili na sajtu Nacionalnog CERT-a: <https://www.cert.rs/> kroz formu koja se nalazi na sledećem linku: <https://www.cert.rs/prijava.html> .

## 6. Zaključak

Način na koji je došlo do kompromitovanja imena i logoa Pošte Srbije može biti primenjen i na druge kompanije, privatne poštanske opšreatore, telekomunikacione opreatore, banke, osiguravajuće kuće, prevoznike, trgovinske lance, turističke agencije i sve kompanije koje se bave pružanjem usluga korisnicima. U konkretnim napadima Pošta ni jednim svojim postupkom nije načinila grešku niti pokazala ranjivost svog informacionog sistema, jedina njena krivica je što postoji na internetu, ima svoj domen, i pruža usluge korisnicima koje mogu biti primamljive kako korisnicima tako i napadačima (koji ih zloupotrebljavaju). Podizanje nivoa svesti u čitavom društvu je jedan od preduslova za uspešnu odbranu od navedene vrste napada.

## Literatura

- [1] APWG.ORG, „Phishing Activity Trends report-a, 2nd Quarter 2022, Unifying the Global Response to Cybercrime”, 20.09.2022. <http://www.apwg.org/>
- [2] B. Rodić, D Živković, S. Milojević, i V. Rodić, “Da li smo sigurni da smo bezbedni”, Osnove informacione bezbednosti, Jul 2019
- [3] ENISA, European Union Agency for Cybersecurity, IX edition of the ENISA Threat Landscape (ETL) report, Annual report on the status of the cybersecurity threat landscape 2021, <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2021>
- [4] ENISA, European Cybersecurity Skills Framework Role Profiles, document lists, Cybersecurity professional role profiles <https://www.enisa.europa.eu/publications/european-cybersecurity-skills-framework-role-profiles>, 19 sept. 2022
- [5] ENISA, European Cybersecurity Skills Framework Role Profiles, document lists, Cybersecurity professional role profiles <https://www.enisa.europa.eu/publications/european-cybersecurity-skills-framework-role-profiles>, 19 sept. 2022
- [6] D Schlette and Marco Caselli, „Beyond Incident Reporting - An Analysis of Structured Representations for Incident Response”, 2022 First Conference, Dublin, IE, June 29 2022

**Abstract:** *Phishing is a type of fraud that aims to collect and abuse confidential user data, such as bank account numbers, passwords, accounts on social networks or access to e-mail. The victim of this type of cyber attack receives a message via e-mail, social networks, telephone or SMS in which it is required to visit a link or open a document and enter personal and confidential information. Recently, a phishing campaign has been intensified in which the attackers abuse the logo and name of the Post of Serbia. The main reason why the Post of Serbia is the target of attacks is the fact that the Post is in direct contact with users in the area of financial transactions, the traffic of letters,*



*parcels and express items. Each of these four business segments of the Post of Serbia can be interesting to users, therefore attackers have a suitable ground for social engineering activities, specifically phishing. There have been several attempted attacks in which the logo and name of the Post of Serbia were misused, so far.*

**Keywords:** *social engineering, phishing, cyber attack, domain, top level domain*

**MODELS OF PHISHING CAMPAIGNS WHICH HAVE  
ABUSED THE LOGO AND NAME OF THE POST OF SERBIA**

Goran Paunović

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.013>

## **PREGLED INOVATIVNIH TEHNOLOGIJA U FUNKCIJI MODERNIZACIJE POSLOVANJA POŠTANSKO – LOGISTIČKIH OPERATORA**

Amel Kosovac, Ermin Muharemović, Adisa Medić

Univerzitet u Sarajevu, Fakultet za saobraćaj i komunikacije, Bosna i Hercegovina  
amel.kosovac@fsk.unsa.ba , ermin.muharemovic@fsk.unsa.ba, adisa.medic@fsk.unsa.ba

**Sažetak:** *Pojava savremenih tehnologija usloвила je razvoj novih, modernih koncepata širom svijeta. Upravo ti koncepti su odgovori na rastuće izazove današnjice, poput smanjenja zagađenja okoliša i zagušenja u saobraćaju, povećanja tačnosti i pouzdanosti u isporuci proizvoda/usluga, automatizacije svih aspekata svakodnevnice koja se može realizovati, a sve sa ciljem olakšavanja i poboljšanja kvalitete života. Kroz ovakva rješenja, kompanije svojim korisnicima nude besprijekornu uslugu, osiguravajući tačnost i preciznost u isporuci, skraćeno vrijeme isporuke i zadovoljenje potreba, želja i zahtjeva svojih korisnika. Kroz ovaj rad dat je pregled rješenja pametne logistike koja se trenutno uveliko testiraju i/ili primjenjuju u procesima logističkih operatora. Koncept inovativnih tehnologija kroz pametnu logistiku je novi pristup koji tek treba da doživi svoj procvat i da poštansko-logističkim operatorima donese brojne prednosti. Rad daje pregled inovativnih tehnologija koje su u funkciji modernizacije poslovanja poštansko-logističkih operatora.*

**Ključne riječi:** inovativne tehnologije, poštansko-logistički operatori, smart tehnologije

### **1. Uvod**

Logistika, kao jedna od posebnih oblasti poslovanja koja doprinosi pozitivnim ekonomskim rezultatima, dugo vremena je predmet istraživanja i analize mogućnosti za poboljšanje i modernizaciju. Razvoj novih tehnika i tehnologija je doprinio pojavi pametnih alata za savladavanje brojnih izazova u lancu snabdijevanja. Relativno novi koncept u savladavanju izazova u robnim i transportnim tokovima je pojava pametne logistike i rješenja koje ona sa sobom donosi.

Pojava pametnih logističkih sistema kroz inovativne tehnologije je omogućila poboljšanje i modernizaciju logističkog sistema kakvog danas poznajemo, kroz uvođenje savremenih alata i tehnika rada u sve poštanske i logističke procese.

Cilj ovog rada jeste dati pregled inovativnih tehnologija koje daju dodatnu vrijednost poštansko-logističkim operatorima, te uvid u prednosti i izazove primjene ovih inovativnih tehnologija kod poštanskih i logističkih sistema. Identificirani su procesi u kojima je moguće koristiti inovativne tehnologije koje su obrađene kroz rad.

Konceptualno, rad je podijeljen u tri tematske cjeline. U uvodnom dijelu opisana je problematika istraživanja, te definisan cilj koji treba biti ostvaren pri izradi rada. Drugo poglavlje sadrži objašnjenje pojmova pametnih logističkih rješenja koja se intenzivno testiraju i/ili primjenjuju u procesima transporta i skladištenja, a u pogledu robotizacije i automatizacije i sistema proširene stvarnosti. Dat je pregled najaktuelnijih pametnih logističkih rješenja zajedno sa prednostima i izazovima svoje implementacije. U trećem poglavlju rada data su zaključna razmatranja.

## **2. Inovativne tehnologije i pametna logistika**

Novе tehnologije, novi učesnici na tržištu, novi poslovni modeli i nova očekivanja kupaca zahtijevaju od poštanske i logističke industrije da se suoči sa ogromnim promjenama, koje sa sobom donose veliki rizik, ali i velike mogućnosti.

Novе tehnologije, poput Interneta stvari, računarstva u oblaku, velikih podataka i blockchaina, autonomni mobilni roboti, automatski vođena vozila, Pick to Light, Pick to Voice i dr., uveliko pojednostavljaju logistički proces i poboljšavaju njegovu efikasnost. Klijenti poštansko-logističkih operatera očekuju sve bržu i sigurniju nabavku robe, uz niske troškove ili, čak, bez troškova. Kroz ispunjenje ovih zahtjeva, povećava se zadovoljstvo korisnika, ali i efikasnost i konkurentnost kompanija [1].

Proces logistike, kao jedan od veoma kompleksnih procesa, zahtijeva kontinuirani nadzor. Pametna logistička rješenja koja se mogu koristiti u transportu i u skladištima, navodimo kako slijedi:

- Robotizacija i automatizacija: Automatski vođena vozila u procesu transporta i skladištenja, autonomni mobilni i stacionarni roboti u procesu skladištenja i roboti za dohvatanje i prijevoz robe;
- Sistemi proširene stvarnosti u procesima skladišta: Pametne naočale, *Pick-to-Light* sistemi, *Pick-to-Voice* sistemi i AS/RS sistemi (*Automated Storage and Retrieval System*).

### **2.1. Robotizacija i automatizacija**

#### **2.1.1. Automatski vođena vozila - AGV**

Kada se govori o pametnim logističkim rješenjima u transportu, prva asocijacija jesu autonomna vozila ili automatizovano vođena vozila (*AGV - Automatic Guided Vehicles*). Od autonomnih vozila se očekuje revolucija u logističkom sektoru tako što će oni donijeti nova rješenja za premoštavanje izazova prve i posljednje milje, redefinirati ulogu povezivosti i analize podataka u logistici, izmijeniti obrasce transporta i putovanja, te stvoriti potencijal za nove poslovne modele [2].

Upotreba tehnologije autonomnih vozila u logistici se može podijeliti u četiri segmenta [2]:

- primjena autonomnih vozila u zatvorenim prostorima – roboti i autonomna vozila u skladištima,

- primjena autonomnih vozila u sigurnim, vanjskim okruženjima,
- primjena autonomnih vozila u cestovnom saobraćaju za prijevoz na velikim udaljenostima (linijski transport),
- primjena autonomnih vozila u last-mile isporuci.

Iako ideja o primjeni autonomnih vozila koja izvršavaju sve operacije u vožnji od početne do krajnje destinacije nije nova, autonomna dostavna vozila još uvijek postoje samo kao prototipovi, čije se testiranje i dalje vrši na ulicama gradova [3].

Tehnološki napredak potaknuo je tradicionalne proizvođače automobila i nove igrače (naprimjer Google) da počnu raditi na vlastitom autonomnom vozilu, dok su vlade nekolicine država počele predlagati zakone i izdavati licence, kako bi stvorili optimalno okruženje za razvoj ove nove tehnologije.

Tehnike koje koriste autonomna vozila, kako bi se kretala po sopstvenom okruženju, zasnivaju se na tehnologijama kao što su: radarska, GPS, LiDAR (*Light Detection and Ranging*), 3D mapping, odometrija, itd.. Napredni sistemi upravljanja i kontrole vrše prikupljanje i obradu informacija dobijenih sa senzora, kako bi donijeli odluku o sljedećoj akciji koju vozilo treba da sprovede. Drugim riječima, autonomna vozila uče i prilagođavaju se svim okolnostima u svom neposrednom okruženju [3].

Kada je riječ o primjeni AGV-a u skladištima, bitno je spomenuti da se kreću fiksnom i unaprijed određenom rutom. To su mobilni roboti koji se mogu kretati neovisno o operateru. Način na koji se kreću po skladištu ovisi o vrsti AGV-a, ali općenito takva vozila slijede oznake ili žice koje se nalaze na podu skladišta ili koriste kombinaciju LiDAR (laserska tehnologija detekcije i prepoznavanja prostora) senzora za uspostavljanje ruta i izbjegavanje prepreka [4]. Primjer ovakvog vozila je prikazan na slici ispod:



*Slika 1. AGV vozilo sa sistemom vođenja [4]*

Prva kompanija iz poštanskog-logističkog sektora koja je jedan svoj istraživački ogranak namijenila ovoj oblasti je DHL, koji planira da, naročito svoje logističke operacije, u potpunosti, robotizuje i prepusti autonomnim dostavnim robotima i vozilima [3].

### **2.1.2. Autonomni mobilni roboti - AMR**

Poštansko-logistička industrija i kompanije, počevši od onih sa tradicionalnim skladištima pa sve do onih koji se bave e-trgovinom, kreću se prema automatiziranim procesima, kako bi povećali produktivnost, smanjili troškove, te zadovoljili rastuće

zahtjeve tržišta i potražnje klijenata [5]. Automatizacija skladišta i logistike trenutno ima značajan uticaj na globalnu trgovinu. Polje robotike napredovalo je iz četiri glavna razloga [6]:

1. Pad cijena senzora – različiti tipovi senzora nekada su koštali stotine, pa čak i hiljade dolara, dok je danas cijena većina senzora dosta povoljna,
2. Robotski operativni sistem – cilj je pojednostaviti zadatak programerima u stvaranju složenog robotskog softvera, koji služi kao platforma za nadogradnju, fleksibilan je, besplatan i, kao takav, postao je standard u robotskoj industriji,
3. Brza izada prototipa – sve veće mogućnosti 3D printanja su postale dobra alternativa klasičnoj proizvodnji dijelova, pogotovo u polju izrade prototipskih robotskih sistema,
4. Usklađivanje različitih tehnologija – razvoj mobilnog računarstva potaknuo je napredak u prepoznavanju glasa i predmeta, što pomaže robotima u navigaciji i lokalizaciji.

Logistički roboti u potpunosti nadilaze ljudske sposobnosti. Nadograđeni poboljšanim hardverom, te razvojem umjetne inteligencije, ovi uređaji imaju spretnost sličnu ljudskoj, bolji vid i brzo, agilno kretanje [5].

Autonomni mobilni roboti (AMR- eng. *Autonomous Mobile Robots*) su roboti dizajnirani za samostalnu navigaciju, saradnju sa ljudima, a nude mnogo pametnije rješenje od AGV-a. Implementacija ARM-a je mnogo jednostavnija od AGV-a, jer nema potrebe za skupim izmjenama objekata za automatizaciju skladišta. Umjesto da bude ograničen na fiksne rute, AMR se može kretati pomoću tehnologije mapiranja, što mu omogućuje da planira vlastite staze, putuje brzo i učinkovito. Također, kao i AGV, koristi senzore LiDAR, a dovoljno su pametni da prepoznaju i reaguju na ljude, automobile, viličare, itd. Karakteriše ih sigurno obavljanje poslova, bez obzira na to koliko je okruženje zauzeto [4].

### **2.1.3. Stacionarni roboti**

Stacionarni roboti, također, općenito poznati kao zglobne robotske ruke, približavaju se ljudskim performansama, a neki su to čak i premašili. Kako su se performanse poboljšale u posljednjih nekoliko godina, širi spektar logističkih operacija otvorio se stacionarnim robotima, osim jednostavnog paletiziranja teže robe. Pakovanje, sortiranje narudžbi na police, postavljanje predmeta na pokretne trake – sve su to zadaci lanca snabdijevanja koji su u domenu inteligentnih zglobnih robotskih ruku. Kako se upotreba stacionarnih robota širi, njihovi se troškovi smanjuju, a povrat ulaganja može potrajati manje od 4 godine [5].

### **2.1.4. Roboti za dohvaćanje i prijevoz robe**

Postoje različite vrste robotizacije skladišta, te je svaki sistem prilagođen skladištu u kojem radi. Kompanija Fetch Robotics je jedna od vodećih kompanija, čiji roboti su još uvijek u razvoju, ali obećavaju značajnu prednost u odnosu na sve ostale robotske sisteme koji su trenutno u praktičnoj primjeni. Fetch Robotics je razvio dvije vrste robotskih vozila, od kojih svaki obavlja drugačije zadatke. Jedan robot služi za prijevoz robe, dok drugi služi za dohvaćanje robe sa polica i stavljanje te robe na robota za prijevoz. Ova dva robota su prikazani na slici ispod:



Slika 2. Prikaz robota za dohvaćanje i robota za prijevoz robe kroz skladište [7]

Robot za dohvaćanje može raditi kontinuirano, sve vrijeme, dok se roboti za prijevoz mogu izmjenjivati redom kako se pune robom ili kako se kreću između pojedinih zona skladišta u kojima se nalazi zadana roba za narudžbu za koju su zaduženi. Robot za prijevoz tereta se sastoji od iste arhitekture kao i robot za dohvat robe. Trenutna brzina prijevoza robe iznosi 2 m/s, te može prenositi do 70 kilograma robe ili više od toga ako se brzina rada smanji.

## 2.2. Sistemi proširene stvarnosti

Preduzeća, u potrazi za optimizacijom rada u logistici, stalno traže nove koncepte i tehnologije. Jedno od posljednjih velikih poboljšanja na tom području je korištenje proširene stvarnosti pri radu u skladištu. Proširena ili augmentirana stvarnost (*Augmented Reality* - AR) se ponekad naziva i „miješana“ stvarnost, jer kombinira virtualnu sa stvarnom okolinom. Od svih modernih sistema za rad u skladištu, proširena stvarnost trenutno najviše obećava. AR u logistici je još uvijek u ranim fazama razvoja, no daljnjim budućim razvojem može predstavljati rješenja za široki spektar logističkih izazova [7].

### 2.2.1. Pametne naočale

U klasi AR uređaja su smještene pametne naočale. Pomoću rješenja "*pick-by-vision*", skladištar dobiva pametne naočale kroz koje dobiva zvučne i vizualne upute za posao. Pametne naočale su opremljene zaslonima, kamerama i mikrofonima, što omogućava najbolje performanse. Prilikom njihovog korištenja, korisnik vidi stvarni svijet koji je povezan sa nekim virtualnim dodacima koji se nalaze u vidnom polju oka. Najveći potencijal primjene pametnih naočala na području logistike su svakako skladišne operacije. Prilikom traženja robe u skladištu, naočale mogu voditi radnika najkraćom rutom, kako bi radnik uštedio vrijeme.

Također, pomoću skeniranja bar koda, pametne naočale radniku prikazuju koji proizvod se nalazi u pakiranju odnosno na određenoj skladišnoj poziciji [8], [9]. "*Vision picking*" je dio AR stvarnosti, odnosno softver koji je ugrađen u naočale. U osnovi, ovaj softver omogućava vizualni prikaz podataka o narudžbi i ciljano mjesto koje osigurava potpuno biranje bez pogreške.

### **2.2.2. Pick to Light sistemi**

*Pick to Light sistemi*, kao jedno od pametnih logističkih rješenja, su napredni, intuitivni sistemi, koji olakšavaju prikupljanje i obradu narudžbe navodeći radnike u skladištu tačno na onu policu na kojoj se traženi proizvodi nalaze. Ovakvi sistemi se zasnivaju na konceptu direktnog davanja uputa osobi koja treba da prikupi proizvode i kompletira narudžbu.

Za razliku od tradicionalnog načina prikupljanja narudžbe pomoću popisa na kojem se nalaze proizvodi koje treba prikupiti, senzori u ovakvim sistemima, koji su postavljeni i instalirani pored svakog proizvoda, će osvijetliti položaj predmeta i prikazati količinu koju treba pokupiti [10]. U zavisnosti od razine inteligencije skladišta, primjenjuju se i različiti tipovi ovakvih sistema. *Pick to Light* sistemi posebno se primjenjuju u okruženjima u kojima su predmeti vrhunske i/ili velike prodaje. Također, su korisni u srednjim i niskorotacijskim okruženjima, gdje se mogu omogućiti otvorenija rješenja ili kombinovati sa RFID sistemima [10].

### **2.2.3. Pick to Voice sistemi**

Pametno logističko rješenje koje se sve više koristi u kompanijama širom svijeta su *Pick to Voice* sistemi, odnosno sistemi prikupljanja narudžbe iz skladišta putem glasa. Ovi sistemi predstavljaju inovativnu tehnologiju i softver koji osoblje skladišta usmjerava na tačno određena skladišna mjesta i govori im koje proizvode treba odabrati i gdje ih smjestiti. U velikim, kompleksnim skladištima, u kojima postoji veliki broj polica iz kojih treba pokupiti proizvode kako bi se kompletirala narudžba, i koja zahtijevaju veliku brzinu i preciznost u radu, može se implementirati *Pick to Voice sistem* ili sistem zasnovan na direktnom komisioniranju glasom, kako bi se povećala tačnost i brzina rada [11]. U ovakvim sistemima, osoblje skladišta koristi slušalice i mikrofona za glasovno primanje uputa i usmeno potvrđivanje svojih radnji nazad u sistem. *Pick to Voice* sistemi su u mogućnosti primiti i shvatiti odgovor operatera pomoću najsavremenije tehnologije prepoznavanja glasa, čak i u bučnom skladištu, a zatim, u skladu sa odgovorom, nastavljaju usmjeravati operatera ka daljim aktivnostima [12].

### **2.2.4. AS/RS sistemi**

Automatizirani sistemi za skladištenje i povlačenje/dohvat robe (*Automated Storage and Retrieval Systems*) su široko rasprostranjeni sistemi koji se koriste u savremenim distribucijskim i proizvodnim okruženjima. Ovakvi sistemi se obično sastoje od stalaka, koje opslužuju dizalice koje se kreću kroz prolaze između stalaka. Sposobni su rukovati paletama bez pomoći operatera u skladištu, pa je sistem potpuno automatiziran. I u proizvodnim i u distribucijskim okruženjima, AS/RS sistemi se koriste za stavljanje proizvoda (sirovina ili polugotovih proizvoda) u njihova predviđena mjesta u skladištu, kao i za preuzimanje tih proizvoda iz skladišta radi ispunjenja narudžbe [13]. AS/RS sistem je definiran kao sistem za pohranu, koji koristi strojeve za pohranu i dohvaćanje robe sa fiksnom stazom, koji rade na jednu ili više šina između fiksnih nizova polica za skladištenje. Razlikuje se veliki broj tipova ovakvih sistema. Glavne komponente AS/RS-a su regali, dizalice, prolazi, I/O (Input-Output) tačke i pozicije [13]. Tabela 1 daje pregled inovativnih tehnologija koje se koriste u poštansko-logističkim

sistemima. Kroz tabelu su prikazane prednosti i benefiti, te izazovi kod primjene prethodno obrađenih inovativnih tehnologija.

Tabela 1. Pregled inovativnih tehnologija koje se koriste u poštansko-logističkim sistemima [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21]

		Prednosti i benefiti primjene	Izazovi primjene	Primjena u procesu
Robotizacija i automatizacija	Automatski vođena vozila (AGV)	<p>Učinkovitost troškova;            Uštede u troškovima osoblja;            Poboljšana prilagodljivost;            Povećana sigurnost;            Povećana eko-učinkovitost zamjenom dizela električni pogonski sistemom;            Manja potrošnja energije;            Veća produktivnost.            Fleksibilniji u odnosu na ručne transportne sisteme, Efikasni na dugi rok,            Mogu se automatski puniti i istovarati            Manje nesreća na radu jer je smanjena vjerovatnoća ljudske greške;            Manje materijalne štete pri utovaru robe;            Iskorištenost do 99%.</p>	<p>Visoki početni troškovi;            Neizvesnost u vezi sa održavanjem i radom sistema;            Potrebne veće kompetencije i raznovrsnije vještine u oblasti tehnologije i IT-a.</p>	
	Autonomni mobilni roboti (AMR)	<p>AMR-ovi su fleksibilni;            AMR-ovi se mogu brzo instalirati;            AMR-ovi su kompatibilni sa širokim spektrom dodatnih modula;            AMR-ovi spadaju u područje pouzdane radne snage;            Upotreba AMR-ova stavlja zaposlene u manji rizik i oni su podložni manjem fizičkom naprezanju;            AMR sistemi se lako mogu proširiti i nadograditi;            Lokacije i područje rada AMR-a mogu se lako promijeniti;            AMR se može odvesti na druge lokacije na svaki jednostavan način;            Korištenje AMR-a omogućava smanjenje troškova rada.</p>	<p>AMR-ovi se mogu učitavati samo u ograničenom obimu;            Mala brzina;            Visoki početni troškovi;            Zahtjevi za područje upotrebe su visoki;            Dugo vrijeme punjenja;            Sigurnosni rizici i sigurnosne specifikacije.</p>	Skladištenje
	Stacionarni roboti	<p>Značajno povećanje operativne propusnosti;            Optimizacija i efikasnost složenih procesa;            Veća sigurnost svih operatera;            Smanjeni troškovi proizvodnje i radne snage;            Garancija održivosti operacija u ekstremnim uslovima.</p>	<p>Visoka početna investicija.</p>	



	<b>Roboti za dohvatanje i prijevoz robe</b>	Smanjenje varijabilnih troškova i efikasna organizacija sadržaja skladišta; Povećana sigurnost; Bolja iskorištenost prostora; Smanjenje potrebe za većom radnom snagom; Efikasan menadžment i logička reprezentacija fizičkog smještaja robe.	Velika početna investicija Popravka i održavanje Nije idealno za različite zadatke Dugotrajno usavršavanje
<b>Sistemi proširene stvarnosti</b>	<b>Pametne naočale</b>	Efikasna metoda treninga; Bolja identifikacija komponenti koje treba zamijeniti; Prikaz svih potrebnih informacija (pozicija, artikl, količina); Poboljšan kvalitet usluge; Poboljšana identifikacija operativnih problema; Identifikacija profila ponašanja tehničara; Unaprijeđen tehnološki nivo kompanije.	Negativan uticaj na zdravlje: pogoden vid, uzrok migrenama; Gubitak autonomije.
	<b>Pick to Light sistemi</b>	Olakšavaju prikupljanje i obradu narudžbe navodeći radnike u skladištu tačno na onu policu na kojoj se traženi proizvodi nalaze; Jednostavnost; Vrlo kratko vrijeme pretraživanja i povećanje efikasnosti i produktivnosti; Radnik ima slobodne ruke i veliku slobodu kretanja; Višejezična upotreba uz kratko vrijeme obuke za promjenu osoblja; Manje grešaka u odabiru zbog netačnih stavki i nema uklanjanja koja nedostaju; Omogućava vrlo visoke performanse radnika i kratko vrijeme obrade u toku rada; Brza i precizna korekcija količine direktno na skladištu i direktna povratna informacija o promjeni zaliha u sistem upravljanja skladištem; Smanjeno vrijeme obuke zaposlenika; Niži sveobuhvatni operacijski troškovi; Predvidivi redoslijed podizanja robe; Smanjeni troškovi nepotrebne papirologije.	Prevelik trošak električne energije, punjenje skoro svakodnevno; Relativno visoki troškovi nabavke; Teško se koriste sa samostojećim paletama (potreban je poseban dizajn).
	<b>Pick to Voice sistemi</b>	Poboljšava produktivnost; Ne zahtijeva od operatera da drži ili upravlja ručnim uređajem za skeniranje bar kodova; Učinkoviti za skladište, što znači da će osoblje skladišta obaviti više posla po satu u odnosu na tradicionalna rješenja; Mogućnost greške je smanjena na minimum; Kratko vrijeme osposobljavanja.	Uposlenik mora cijeli dan nositi slušalice ili poseban prsluk sa sistemom zvučnika. U bučnom okruženju, pozadinske smetnje mogu dovesti do grešaka.

<p style="text-align: center;"><b>Automatizirani sistemi za skladištenje i povlačenje/dohvat robe</b></p>	<p>Uštede u troškovima i fizičkom prostoru;  Povećana pouzdanost;  Smanjenje grešaka;  Povećana iskoristivost skladišnog prostora;  Povećana kontrola i praćenje zaliha;  Smanjenje troškova ljudskog rada;  Povećana sigurnost pri radu;  Automatizirani sistemi za skladištenje i povlačenje/dohvat robe;  Veći nivo zaštite materijala/robe;  Tačnost radnih operacije;  Automatizacija opasnih i teških poslova u skladištu;  Jednostavno i brzo održavanje sistema kroz modularni dizajn komponente.</p>	<p>Očekivano veliki troškovi ulaganja;  Manja fleksibilnost;  Veća ulaganja u kontrolni sistem;  Povećani zahtjevi održavanja.</p>	
---	---	--	--

### 3. Zaključak

Izazovi sa kojima se susreće poštanska i logistička industrija su sve kompleksniji i iziskuju maksimalno uključivanje inovativnih tehnologija u svoje procese i aktivnosti. Nove inovativne tehnologije omogućavaju poštanskim i logističkim operatorima da ispunjava zahtjeve koji se pred njih postavljaju.

Posmatrajući logistički proces, kao iznimno kompleksan, može se uočiti dosta podprocesa i aktivnosti koje treba nadzirati u stvarnom vremenu. Pojava inovativnih tehnologija i pametnih logističkih rješenja olakšava ove izazove, nudeći nove tehnike, tehnologije i alate koji kompanijama mogu pomoći u osiguranju besprijekorne usluge svojim korisnicima, uključujući nadzor svih logističkih procesa. Primjena pametnih logističkih rješenja za kompanije može značiti povećanje konkurentnosti i poboljšanje tržišne pozicije, ostvarivanje pozitivnih poslovnih i ekonomskih rezultata, pružanje usluge zavidnog nivoa kvalitete za svoje korisnike, smanjenje ukupnih troškova, povećanje sigurnosti i nadzora pri realizaciji logističkih procesa, itd. Prednosti primjene ovakvih rješenja su brojne. Velike svjetske kompanije koje se bave logističkim procesima su uveliko prepoznale prednosti koje donose pametna logistička rješenja i uveliko ih koriste, posebno kada je riječ o procesu skladištenja.

### Literatura

- [1]Jin, M., Li, S., Feng, D., Ding, Y.: "Smart logistics based on the internet of things technology: an overview", International Journal of Logistics Research and Applications, April 2020., str. 2-17
- [2]Van Meldert, B., De Boeck, L.: "Introducing autonomous vehicles in logistics: a review from a broad perspective," KU Leuven - Faculty of Economics and Business, Leuven, Reserach Report KBI\_1618, 2016., str. 9-20
- [3]Blagojević, M., Stanivuković, B., Čupić, A.: "Mogućnosti primene autonomnih vozila u dostavi poštanskih pošiljaka", PosTel XXXV Simpozijum, 2017., str. 82-88
- [4]Layosa, C. "Warehouse Automation Part 2: Automatic Guided Vehicles & Autonomous Mobile Robots," 2020. <https://us.misumi-ec.com/blog/warehouse-automation-part-2-automatic-guided-vehicles-autonomous-mobile-robots/> (accessed Sep. 24, 2022).
- [5]Y. H. Benjamin Perlson, "ROBOTICS & AUTOMATION." <https://www.dhl.com/global-en/home/insights-and-innovation/thought-leadership/trend-reports/robotics-in-logistics.html> (accessed Sep. 25, 2022).
- [6]Vukelić, D.: "Primjena robota u skladišnom poslovanju" Sveučilište Sjever, Koprivnica, 2020., str. 22-33

- [7] Bogović. I.: "Tehnološki trendovi u sustavima za upravljanje skladištem", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike, Varaždin, 2018., str. 6-25
- [8] Vranjković, M.: "Internet stvari i logistička rješenja u pametnim gradovima", Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Split, 2020., str. 9; 17-18
- [9] LOGIKO: "Vizualno upravljanje skladištem", Juli 2021., Dostupno na: <https://www.logiko.hr/logistika/77-portal/tehnologija-i-it/357-vizualno-upravljanje-skladistem>
- [10] "Pick To Light." <https://www.picktolightsystems.com/en/picking-products/pick-by-light> (accessed Sep. 26, 2022).
- [11] Martin Murray, "Pick to Voice Warehouse Systems," 2019. <https://www.liveabout.com/pick-to-voice-warehouse-systems-2221457> (accessed Sep. 26, 2022).
- [12] "Warehouse Solutions Voice Picking Systems." <https://www.realtimelogistics.com.au/technologies/voice-picking-systems/> (accessed Sep. 27, 2022).
- [13] Vis, I. F. A., Roodbergen K. J.: "A survey of literature on automated storage and retrieval systems," European Journal of Operational Research 194, Februar 2008., str. 343-362.
- [14] Dimitrios Bechtsis, Naoum Tsolakis, Dimitrios Vlachos, and Eleftherios Iakovou. Sustainable supply chain management in the digitalisation era: The impact of Automated Guided Vehicles. Journal of Cleaner Production, 142:3970–3984, 2017.
- [15] Smail Benzidia, Blandine Ageron, Omar Bentahar, and Julien Husson. Investigating automation and AGV in healthcare logistics: a case study based approach. International Journal of Logistics Research and Applications, 22(3):273–293, 2019.
- [16] Permann, S. (2021). Automated Guided Vehicles and Autonomous Mobile Robots in Hospitals (Doctoral dissertation, Wien).
- [17] "Industrial robotic arms take the wheel," 2021. <https://www.interlakemecalux.com/blog/industrial-robotic-arm> (accessed Sep. 09, 2022).
- [18] C. DUNAKIN, "Automated storage and retrieval systems: what are the advantages & disadvantages?," 2022. <https://river.com/automated-storage-and-retrieval-systems-advantages-disadvantages/> (accessed Sep. 11, 2022).
- [19] L. S. Dalenogare, M. M. Baseggio, N. F. Ayala, M. A. Le Dain, and A. G. Frank, "The contribution of smart logistics for PSS," Procedia CIRP, vol. 83, pp. 318–323, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.03.307.
- [20] N. Ilanković, D. Živanić, and A. Zelić, "Augmented Reality in Order-picking processes – Advantages and Disadvantages," Logiszt. – Inform. – Menedzsment, vol. 5, no. 1, pp. 4–12, 2020, doi: 10.29177/lim.2020.1.4.
- [21] Slawomir Skarbecki, "Pick-to-Light," 2022. <https://www.luca.eu/en/pick-to-light/> (accessed Oct. 11, 2022).

**Abstract:** *The emergence of modern technologies has conditioned the development of new, modern concepts around the world. These concepts are the answers to today's growing challenges, such as reducing environmental pollution and traffic congestion, increasing accuracy and reliability in the delivery of products/services, automating all aspects of everyday life that can be realized, all with the aim of facilitating and improving the quality of life. Through such solutions, companies offer impeccable service for their users ensuring accuracy and precision in delivery, shortened delivery time and satisfaction of the needs, wishes and demands of their users. This paper provides an overview of smart logistics solutions that are currently widely tested and/or applied in the processes of logistics operators. The concept of innovative technologies through smart logistics is a new approach that has yet to flourish and bring numerous advantages to postal logistics operators. The paper provides an overview of innovative technologies that serve to modernize the business of postal and logistics operators.*

**Keywords:** *innovative technologies, postal logistics operators, smart technologies*

## OVERVIEW OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE FUNCTION OF MODERNIZING THE BUSINESS OF POSTAL - LOGISTICS OPERATORS

Amel Kosovac, Ermin Muharemović, Adisa Medić

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.014>

## **PREGLED STANJA I PERSPEKTIVE RAZVOJA POŠTANSKOG TRŽIŠTA**

Nataša Čačić, Milena Ninović, Dragana Šarac  
Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka,  
ncacic@uns.ac.rs, milenaninovic@uns.ac.rs, dsarac@uns.ac.rs

**Rezime:** *Potrebe korisnika poštanskih usluga iz dana u dan postaju sve zahtevnije za poštanske operatore. Okruženje u kome se razvija poštanski sektor se permanentno menja. Dostizanje standarda kvaliteta, korak sa tehnološkim rešenjima, razvoj novih usluga i modela poslovanja, pravi su izazovi za operatore poštanskih usluga. U okviru ovog rada dat je osvrt na trenutno stanje tržišta poštanskih usluga, kako na globalnom nivou, tako i u Republici Srbiji. Takođe, u skladu sa zaključcima Izveštaja Svetskog poštanskog saveza (engl. Universal Postal Union-UPU), o razvoju poštanskog saobraćaja za 2022. godinu dat je prikaz mogućih pravaca razvoja poštanskih usluga kroz dve napredne usluge: deljena ekonomija (engl. sharing economy) i održive logistike (engl. sustainable logistics).*

**Ključne reči:** *poštansko tržište, ekonomija deljenja, održiva logistika*

### **1. Uvod**

Društveni i privredni razvoj jedne zemlje ne može se zamisliti bez tržišta. Svako tržište podložno je raznim uticajima iz okruženja. Tržište predstavlja prostor i mesto susreta ponude i tražnje radi razmene dobara i usluga na određenom mestu, u određeno vreme, po određenoj ceni.

Tržište poštanskih usluga se može definisati kao kompleksan odnos ponude i tražnje sa mogućnošću pružanja usluga u unutrašnjem i međunarodnom saobraćaju, putem velikog broja kanala prodaje [1]. Ključni učesnici na tržištu poštanskih usluga kako na globalnom, tako i na lokalnom nivou, su javni i privatni poštanski operatori.

Poštanske usluge nemaju svrhu same za sebe, već su po pravilu deo neke druge poslovne ili privatne potrebe. Iz toga proističe njihov ekonomski, privredni i društveni značaj. Ove usluge smatraju se uslugama od opšteg ekonomskog interesa. Poštanski saobraćaj predstavlja značajan deo infrastrukture za brz i siguran prenos pisanih saopštenja i robe. Razvojem elektronske trgovine postao je i jedan od ključnih segmenata razvoja trgovine, a samim tim i privrede u celini [2].

Jedna od specifičnosti poštanskih usluga je i u tome da one spadaju u red visoko sofisticiranih usluga sa konstantnim tehničko-tehnološkim inovacijama, pre svega u oblasti

informaciono-komunikacionih tehnologija. Poštanske usluge predstavljaju delatnost koja, pored sopstvenog održivog ekonomskog rasta, može uspešno da podrži dalji tehničko-tehnološki razvoj države [2].

Brz razvoj privrede i društva zahteva fleksibilan sistem koji će moći da odgovori na potrebe društva. Poštanske organizacije poslednjih godina sve više nastoje da svoje poslovanje usmere prema zahtevima tržišta, odnosno potrebama klijenata. Da bi se uočili i ocenili osnovni elementi (pojedinci, organizacije i institucije), kao i faktori (ekonomski, sociološki, tehnološki i sl.) koji utiču na zbivanja na tržištu, neophodno je izvršiti analizu tržišta [1].

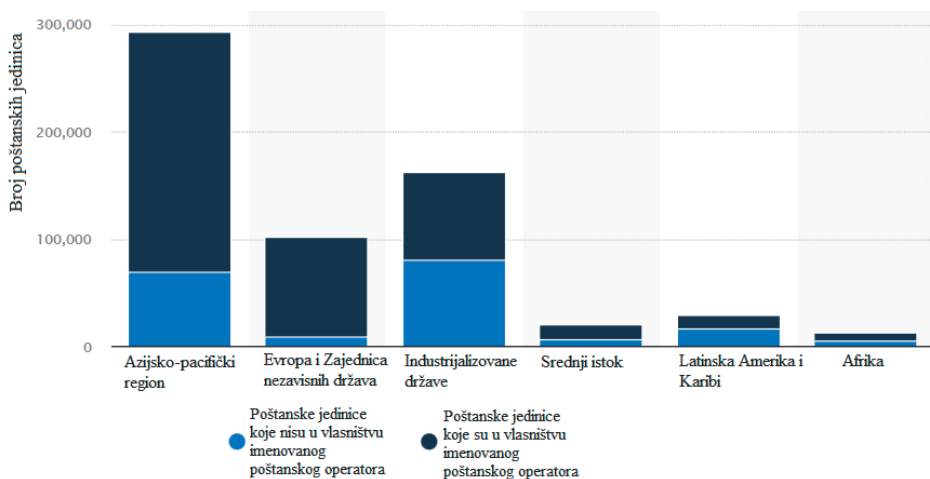
U okviru ovog rada dat je osvrt na trenutno stanje tržišta poštanskih usluga, na globalnom nivou, i u Republici Srbiji. Takođe, u skladu sa zaključcima Izveštaja Svetskog poštanskog saveza o razvoju poštanskog saobraćaja za 2022. godinu dat je prikaz mogućih pravaca razvoja poštanskih usluga kroz dve napredne usluge.

## 2. Razvoj tržišta poštanskih usluga

Ubrzane promene koje se dešavaju u sektoru poštanskih usluga kako na globalnom, tako i na nacionalnom nivou, nameću potrebu za kontinuiranim planiranjem razvoja poštanskih usluga radi njihovog unapređenja. Planiranjem razvoja poštanskih usluga definišu se scenariji razvoja, ciljevi i aktivnosti koje treba realizovati u određenom vremenskom periodu. Pri definisanju ciljeva polazi se od niza faktora koji različito utiču na sektor poštanskih usluga [2].

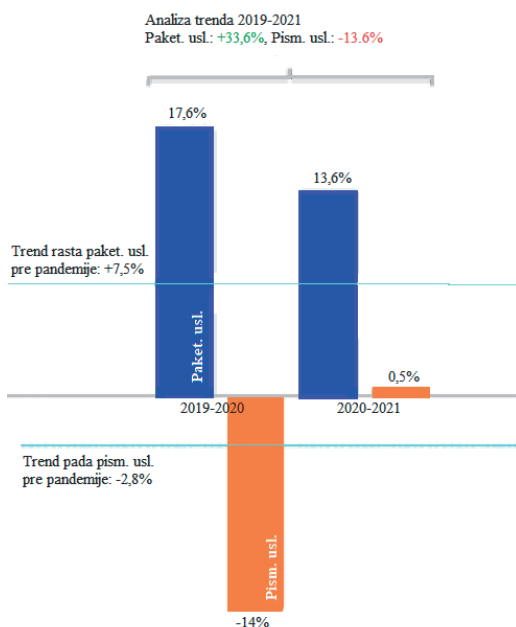
### 2.1 Tržište poštanskih usluga u svetu

Tržište poštanskih usluga ima veliki potencijal. Na grafiku 1 prikazan je broj poštanskih jedinica širom sveta, grupisano po regionima i tipu vlasništva za 2020. godinu [3].



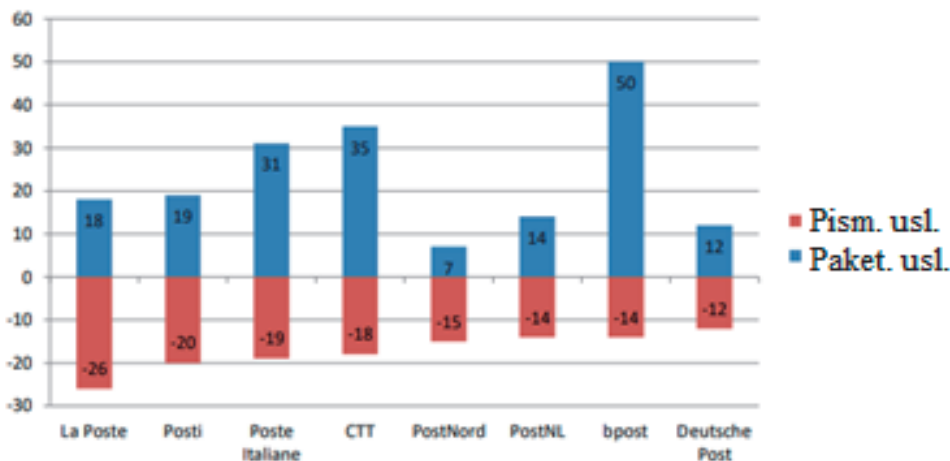
Grafik 1. Broj poštanskih jedinica širom sveta, grupisano po regionima i tipu vlasništva za 2020. godinu [3]

Prema podacima Svetskog poštanskog saveza, u poštanskom sektoru ima više od 5 miliona zaposlenih i oko 660.000 poštanskih jedinica [4]. Tokom 2020. i 2021. godine globalna poštanska infrastruktura je igrala ključnu ulogu u omogućavanju vladama da bolje odgovore na izazove pandemije COVID-19. Ova pandemija doprinela je razvoju novih poštanskih usluga [5]. Prema poslednjim procenama UPU-a, globalni prihod od paketa i logistike po prvi put je veći od prihoda koji potiče od pismonosnih usluga. Najveća godišnja stopa rasta paketskih usluga u domaćem saobraćaju je dostignuta u 2020. godini sa povećanjem od 17,6% na globalnom nivou. Ovaj rast se nastavio i u 2021. godini sa rastom od 13,6%, što je znatno iznad godišnjeg trenda rasta od 7,5%, koliko je iznosio pre pandemije [5]. Ukoliko ne dođe do dodatnog pogoršanja makroekonomskih uslova, predviđa se da će obim poštanskih usluga u domaćem saobraćaju, dostići visoke godišnje stope rasta tokom 2022. godine. Na slici 1 dat je prikaz trenda paketskih i ekspres usluga u domaćem saobraćaju, na globalnom nivou.



Slika 1. Trend kretanja pismonosnih i paketskih usluga u domaćem saobraćaju u periodu 2019-2022 [5]

Tržište pismonosnih usluga je pretrpelo značajan pad, za razliku od tržišta paketa koje brzo raste usled razvoja elektronske trgovine [6]. Globalni obim pismonosnih usluga u domaćem saobraćaju zabeležio je pad od 13,6% između 2019. i 2021. godine [5]. Međutim, obim pismonosnih usluga je porastao za 0,5% u periodu od 2020. do 2021. Obim paketskih i pismonosnih usluga među operatorima ovih usluga u državama EU prikazan je u periodu između 2019. i 2020. godine na grafiku 2.



Grafik 2. Promena u obimu realizovanih pismonosnih i paketskih usluga u EU (procenat promene, prva polovina 2020. u odnosu na prvu polovinu 2019. godine) [6]

U Nemačkoj (Deutsche Post), Holandiji (PostNL) i Finskoj (Posti) promene u obimu paketskih i pismonosnih usluga su međusobno uravnotežene. Nasuprot tome, u Belgiji (bpost), tržište paketa je poraslo za 50%, uz prateći pad pismonosnih usluga od 14%. Na primeru Francuske pošte (La Post) tržište paketa je poraslo za 18%, ali je tržište pisama opalo za 26% [6].

## 2.2 Tržište poštanskih usluga u Republici Srbiji

Poštanski sektor predstavlja značajan faktor koji utiče na rast privrede, zaposlenosti i bruto domaćeg proizvoda (BDP) u Republici Srbiji. Tako je tokom 2019. godine poštanska delatnost ostvarila prihod od oko 21 milijardi dinara (oko 180 miliona evra), što čini oko 0,39% ukupnog BDP-a u toj godini. U poštanskoj delatnosti u 2019. godini bilo je ukupno zaposleno 19.032 radnika, odnosno oko 0,9% od ukupnog broja zaposlenih u Republici Srbiji [2].

Prema podacima Regulatorne agencije za elektronske komunikacije i poštanske usluge (RATEL) na tržištu poštanskih usluga u Republici Srbiji trenutno ima 45 aktivnih poštanskih operatera (na dan 14.10.2022. godine) [7]. Treba imati u vidu da se broj aktivnih operatera iz dana u dan menja, a ova grana saobraćaja ima tendenciju da postane još značajniji element ukupnog privrednog razvoja jedne zemlje.

Sektor poštanskih usluga u Republici Srbiji prati opšti privredni razvoj imajući u vidu da je učešće u BDP-a, kao i učešće u ukupnom broju zaposlenih ostalo isto kao i 2014. godine (0,38% BDP, 0,89% zaposlenih). Učešće poštanskog sektora u privredi Republike Srbije na nivou je učešća poštanskog sektora u privredi Evropske unije (0,5% BDP, 0,8% zaposlenih) [2].

Poštanski operatori su u 2020. godini realizovali više od 308 miliona poštanskih usluga, što je za oko pola miliona manje u odnosu na 2019. godinu. Drugu godinu zaredom, evidentiran je pad broja poštanskih usluga. Poštansko tržište četiri godine u kontinuitetu

beleži rast prihoda, koji u 2020. godini iznosi više od 10%. Tokom 2020. godine, uručeno je u proseku 43 poštanske pošiljke po stanovniku. Obim i prihod po vrstama usluga ostvarenih u Republici Srbiji za 2020. godinu prikazan je u tabeli 2 [7].

Tabela 2. Obim i prihod po vrstama usluga ostvarenih u Republici Srbiji za 2020. godinu

<i>Vrsta usluge</i>	<i>Obim u hilj. din</i>	<i>Prihod u hilj. din</i>	<i>Obim %</i>	<i>Prihod %</i>
<i>Univerzalna poštanska usluga</i>	262.139	9.110.563,00	85,1	38,9
<i>Ostale poštanske usluge</i>	45.997	14.316.759,37	14,9	61,1
<i>Ukupno</i>	308.136	23.427.322,37	100	100

### 3. Perspektive razvoja tržišta poštanskih usluga

Novе tehnologije utiču na razvoj novih proizvoda i usluga na dva načina. Prvi način podrazumeva pružanje prilike za stvaranje novih i usluga sa dodatom vrednošću, uz korišćenje napredne tehnologije. Drugo, podrazumeva primoravanje operatora da stvaraju nove usluge, kako bi zadovoljili promene u potrošačkoj tražnji, koje su posledica pojave e-zamena [8]. Prema izveštaju Svetskog poštanskog saveza o razvoju poštanskog saobraćaja za 2022. godinu zaključeno je [5]:

- 2021. godina bila je relativno pozitivna godina za razvoj poštanskih usluga širom sveta. Kvalitet usluga se značajno poboljšao od pojave pandemije COVID-19.
- Pad obima pismonosnih usluga u domaćem saobraćaju usporava se po prvi put u deceniji, a obim paketskih usluga u domaćem saobraćaju nastavlja svoj rast.
- Većina zemalja je bila u mogućnosti da ostvari napredak. Prema 2IPD indeksu (engl. *Integrated Index for Postal Development*), zemlje koje su postigle najveći napredak su: Austrija, Kina, Francuska, Nemačka, Japan i Švajcarska.
- Važnost poštanskih usluga treba dodatno ojačati. Veliki broj zemalja bi trebalo da preispita svoje poslovne modele i da ih prilagodi potrebama sledeće generacije korisnika.
- Napredak bi trebalo da bude usmeren ka održivom razvoju.
- Za napredak članica UPU bitno je da se intenzivira saradnja, naročito u oblasti razmene podataka.

U skladu sa prethodno navedenim, a uzimajući u obzir aspekt održivog razvoja koji zadovoljava potrebe sadašnjice, a da ne dovodi u pitanje sposobnost budućih generacija da zadovolje vlastite potrebe, u nastavku će biti prikazane dva moguća pravca razvoja tržišta poštanskih usluga. Ova dva aspekta su takođe navedena i na društveno-poslovnom trend radaru DHL-a.



### 3.1 Ekonomija deljenja (engl. *Sharing Economy*)

Zajedničko korišćenje ljudskih, fizičkih i intelektualnih kapaciteta se sve više prepoznaje kao novi ekonomski model koji će značajno uticati na budući razvoj ekonomije i društva u celini. U osnovi ovog modela, za koji se koristi pojam ekonomija deljenja (engl. *sharing economy*), jesu ekonomske aktivnosti u kojima učesnici dele pristup proizvodima ili uslugama, umesto da imaju resurse u zasebnim vlasništvima [9].

Velike kompanije često nisu u mogućnosti da samostalno odgovore zahtevima tržišta, zbog čega su prinuđene da sarađuju sa drugim kompanijama. Da bi postale uspešnije, međusobno se udružuju zarad zajedničkih interesa. U literaturi, saradnja se navodi kao jedan od najvažnijih elemenata za postizanje konkurentske prednosti, i fokus je na inicijativama za povezivanje kompanija na strateškom nivou. Prema [10], saradnja u osnovi podrazumeva otvorenost, deljenje rizika i nagrade, u cilju poboljšanja performansi. Prema [11], saradnja predstavlja savez između organizacija u svrhu deljenja velikih troškova i ulaganja. Ovaj koncept poslovanja je časopis Time [12] proglasio jednim od „top 10 ideja koje će promeniti svet“.

U radu [13], autori razmatraju postojeće i potencijalne oblike saradnje u sektoru poštanskih usluga. U radu [14] zaključeno je da su imenovani i privatni operatori izrazili interesovanje za urbane centre za konsolidaciju, iako postoji mnogo neizvesnosti u pogledu implementacije scenarija konsolidacije, kao što su broj, lokacija i veličina centara za konsolidaciju, automobilski park, regulatorni i tržišni okvir i operativni sporazuma. Koncept ekonomije deljenja, u različitim delatnostima poslovanja, u sveri je interesovanja velikog broja autora [20, 21, 22].

Modeli ekonomije deljenja se najčešće koriste kada je cena određenog sredstva visoka i/ili kada je iskorišćenost sredstva niska. U okviru ekonomije deljenja, predmet ponude na tržištu mogu biti vreme, usluge ili imovina, dok se potražnja bazira na principima saradnje, solidarnosti i uzajamnosti. Iako je začetak razvoja koncepta deljenja bio podstaknut najviše ekonomskim razlozima (ekonomske uštede kao cilj), danas se sve više ističe i sociološki značaj, odnosno doprinos stvaranju „održivog društva“ (engl. *sustainable society*), kao i održivosti životne sredine (engl. *environmental sustainability*) [9].

U oblasti transporta, u Srbiji, zastupljenost ekonomije deljenja je tek u začetku svog razvoja. Na tržištu transportnih usluga, prisutne su platforme za deljenje vožnje i za deljenje vozila, kao i *online* servisi za vožnju na zahtev. Međutim, ovi modeli nisu dovoljno popularizovani i nisu naišli na prihvatanje u praksi. Samo neki od razloga za to su nedovoljna podrška lokalnih i regionalnih organa, kao i nedovoljna upoznatost korisnika sa modelima funkcionisanja i prednostima korišćenja. Takođe, neke od ovih usluga nisu prilagođene uslovima našeg tržišta bilo u zakonskom (nelegalno poslovanje) ili tarifnom smislu [9].

### 3.2 Održiva logistika (engl. *Sustainable Logistics*)

Održivi razvoj označava pojam koji se sve češće koristi u različitim aspektima života, uključujući privatni, poslovni i društveni. Ovaj pojam postaje sve značajniji jer je ključan za planiranje i poboljšanje budućnosti sledećih generacija. Postoje tri osnovna aspekta koji čine održivi razvoj, a to su ekonomski, ekološki i društveni ili socijalni aspekt. Ekonomski aspekt se odnosi prvenstveno na privredu, ekološki na odgovornost prema životnoj sredini, a društveni na odgovornost prema društvu na svim nivoima.

Istraženo je da su aktivnosti transporta ogroman izvor zagađenja okoline, te od ukupne potrošnje energije u EU, 32% odlazi na transport, gde 44% od toga ode na sagorevanje fosilnih goriva, odnosno emisije CO<sub>2</sub> [15].

Održivost je počela da se uvodi u područje logistike krajem 1980-ih i početkom 1990-ih godina. Tokom 90-ih godina prošlog veka uočeno je da industrija saobraćaja najviše doprinosi uništavanju životne okoline zbog čega su izvršena brojna istraživanja koja su potvrdila ovu pretpostavku [16]. Primenom metoda održivosti u poslovnim procesima umanjuje se ukupan trošak tako što se koristi manje resursa, manja je količina otpada i redukuju se aktivnosti.

Tako se pojam ekonomije deljenja dovodi u vezu i sa širim konceptom-cirkularnom (kružnom) ekonomijom (engl. *circular economy*), koja ima za cilj efikasno i održivo korišćenje resursa. Kružna ekonomija je nastala kao alternativa linearnom modelu ekonomije u kome je osnovna paradigma bila „iskoristi (resurse), proizvedi, konzumiraj, odbaci“. Doprinos ekonomije deljenja kružnoj ekonomiji ogleda se u povećanju iskorišćenja resursa kroz njihovo veće/češće korišćenje što povećava i šanse za započinjanje novog ciklusa proizvodnje [9]. Cirkularna ekonomija je sistem koji ima za cilj da uskladi ekonomski rast sa zaštitom životne sredine, imajući u vidu ograničenost resursa. Naglasak je stavljen na to da resursi traju što je duže moguće kroz dizajn proizvoda koji će omogućiti dugovečnost, poslovne modele kao što su deljenje, ponovna upotreba i popravka, i tek na kraju reciklaža. Na ovaj način se stvara krug u kome otpada gotovo da i nema [17].

Jedinstvena prednost poštanskog sektora je mogućnost da se dođe do svakog pojedinačnog potrošača, kao i tradicionalno dobra partnerstva sa poslovnim sektorom koji prikuplja podatke o lokaciji objekata koji bi mogli da se recikliraju, ponovo koriste ili prenamene [18].

U radu [17], ustanovljeno je da postoji potreba za preispitivanje i redefinisavanje transportne logistike, jer je transport u gradskim sredinama često teško ostvariv, a nekada i nemoguć. Jedno od mogućih rešenja su konsolidacioni centri, koje bi koristili pre svega poštanski i logistički operatori. Ovim bi se omogućilo deljenje podataka o brojevima zahteva sa ciljem smanjenja kilometraže i broja upotrebljenih vozila, direktnog povećanja bezbednosti saobraćaja, smanjenja emisije ugljen-dioksida i omogućavanja optimizacije iskorišćenja skladišta, definisanje ključnih ruta i njihova optimizacija i iskorišćenost utovarnog prostora zajedničkog vozila.

Primeri dobre prakse zelenih rešenja (engl. *green solutions*) koji se navode u izveštaju UPU-a, a koji doprinose smanjenju CO<sub>2</sub>, i uopšte zagađenju životne okoline su [19]: treninzi eko-vožnje, informaciono-komunikacione tehnologije i smanjenje upotrebe papira, energetski efikasne poštanske jedinice, korišćenje obnovljivih izvora energije,

ekološki odgovorni proizvodi, usluge i potrošni materijali, upravljanje otpadom, podizanje svesti korisnika o zaštiti živote sredine i dr.

#### 4. Zaključak

Tokom istorije, poštanski sektor je inovacije koje su se razvijale na području komunikacija i saobraćaja inkorporirao u sebe, unapređujući postojeće ili razvijajući nove usluge. Uzimajući u obzir važnost poštanskog sektora za privredni razvoj svake zemlje ističe se potreba za konstantnim razvojem ovog sektora i pronalaženjem novih inovativnih tehnoloških rešenja i usluga. Sa rastom konkurencije u poštanskom sektoru, poštanski operatori nailaze na brojna ograničenja u svom poslovanju zbog čega će pravilna alokacija i upotreba raspoloživih resursa biti veoma značajna. U tom smislu, izuzetno je važno da menadžment poseduje saznanja o navedenim izazovima (trendovima), kako bi bolje razumeo zahteve savremene tražnje i uskladio ponudu prema zahtevima korisnika.

#### Zahvalnica

Ovo istraživanje podržalo je Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja kroz projekat br. 451-03-68/2022-14/ 200156 „Inovativna naučna i umetnička istraživanja iz domena FTS (delatnosti)“.

#### Literatura

- [1] Grgurović, B., & Štrbac, S. (2006). Segmentacija poštanskog tržišta. XXIV Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2006.
- [2] Strategija razvoja poštanskih usluga u Republici Srbiji za period 2021–2025. godine. „Službeni glasnik RS“, broj 68 od 7. jula 2021. Preuzeto sa: <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/vlada/strategija/2021/68/1/reg>
- [3] Statista (2022). Number of postal offices worldwide in 2020, by region and type. Preuzeto sa: <https://www.statista.com/statistics/1045201/number-of-postal-offices-by-region-and-type-worldwide/>
- [4] Universal Postal Union (UPU). Preuzeto sa: <https://www.upu.int/>
- [5] Universal Postal Union (2022). Postal Development Report. Postal journey towards a sustainable future. Preuzeto sa <https://www.upu.int/en/Publications/2IPD/Postal-Development-Report-2022>
- [6] Mateusz Cholodecki (2021). The impact of the COVID-19 pandemic on the postal market. Challenges and opportunities for the postal regulatory framework. 29th Conference on Postal and Delivery Economics.
- [7] Regulatorna agencija za poštanske i telekomunikacione usluge (Ratel). Preuzeto sa: <https://www.ratel.rs/cyr/>
- [8] Grgurović, B., Štrbac, S., & Milovanović-Braković, G. (2013). Uticaj tehnologije na budući razvoj poštanskog saobraćaja. FBIM Transactions, 15(01), 1.

- [9] Tanja, P. M. (2018). Modeli za podršku razvoju mobilnosti u skladu sa konceptom ekonomije deljenja. Doctoral dissertation, Univerzitet u Beogradu-Saobraćajni fakultet. Preuzeto sa: <https://uviodok.rcub.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/3103/Doktorat.pdf?sequence=1>
- [10] Hogarth & Scott, S. (1999). Retailer-supplier partnerships: hostages to fortune or the way forward for the millennium?. *British food journal*.
- [11] Spekman, R. E., Kamauff, J. W., & Myhr, N. (1998). An empirical investigation into supply chain management: a perspective on partnerships. *Supply Chain Management: An International Journal*.
- [12] Walsh, B. (2011). 10 ideas that will change the world. *Time Magazine*, 17.
- [13] Dumnić, S, Ninović, M, Dupljanin Đ,(2021). Logistic cooperation in the sharing economy. XXXIX Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2021.
- [14] Janjevic, M., Lebeau, P., Ndiaye, A. B., Macharis, C., Van Mierlo, J., & Nsamzinshuti, A. (2016). Strategic scenarios for sustainable urban distribution in the Brussels-capital region using urban consolidation centres. *Transportation Research Procedia*, 12, 598-612.
- [15] Gungör, G. (2021). Overview of Environmental Problems Caused by Logistics Transportation: Example of European Union Countries. *Tehnički glasnik*, 15(4), 569-573.
- [16] Rodrigue, J.-P., Slack, B. and Comtois, C. (2017). "Green Logistics", Brewer, A.M., Button, K.J. and Hensher, D.A. (Ed.) *Handbook of Logistics and Supply-Chain Management* (, Vol. 2), Emerald Group Publishing Limited, Bingley, pp. 339-350, p. 2.
- [17] Milutinović, J., Grgurović, B., Veličković, S., & Radosavljević, S. (2022). The Development of the Concept of Consolidation Centers in Using the Sharing Economy in Postal Services/Logistics. In first international conference on advances in traffic and communication technologies (p. 85).
- [18] Universal Postal Union, Preuzeto sa: <https://www.upu.int/en/News/2021/12/Posts-the-lifeblood%E2%80%9D-of-the-second-hand-market>
- [19] Universal Postal Union (UPU). (2011). Best practices for a greener postal sector. Preuzeto sa: <https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/library/upu03.pdf>
- [20] Ganapati, S., & Reddick, C. G. (2018). Prospects and challenges of sharing economy for the public sector. *Government Information Quarterly*, 35(1), 77-87.
- [21] Rodríguez-Antón, J. M., del Mar Alonso-Almeida, M., Rubio-Andrada, L., & Pedroche, M. S. C. (2016). La economía colaborativa. Una aproximación al turismo colaborativo en España. *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, (88), 258-283.
- [22] Sundararajan, A. (2017). *The sharing economy: The end of employment and the rise of crowd-based capitalism*. MIT press.

**Abstract:** *The needs of users of postal services are becoming more and more demanding for postal operators day by day. The environment in which the postal sector develops is constantly changing. Achieving quality standards, keeping pace with technological solutions, developing new services and business models are real challenges for postal service operators. Within this paper, an overview of the current state of the postal services market, both at the global level, and in the Republic of Serbia, is given. Also, in accordance with the conclusions of the Report of the World Postal Union on the development of postal traffic for the year 2022, a presentation of possible directions for the development of postal services through two advanced services is given: the sharing economy and sustainable logistics.*

**Key words:** *postal market, sharing economy, sustainable logistics*

## **OVERVIEW AND PERSPECTIVES OF POSTAL MARKET DEVELOPMENT**

Nataša Čačić, Milena Ninović, Dragana Šarac

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.015>

## **PRISTUP UTVRĐIVANJU OPSEGA UNIVERZALNE POŠTANSKE USLUGE**

Bojan Jovanović<sup>1</sup>, Estera Rakić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu -Fakultet tehničkih nauka, bojanjov@uns.ac.rs

<sup>2</sup>Fakultet za saobraćaj, komunikacije i logistiku Budva ,estera\_racic@hotmail.com

**Rezime:** *Utvrdivanje opsega koji treba da obuhvati univerzalna poštanska usluga predstavlja jedan od značajnijih zadataka koji se postavlja pred tela koja su zadužena za razvoj i održivost tržišta poštanskih usluga. Sa jedne, potrebno je voditi računa da se operator univerzalne poštanske usluge ne opereti tako da ugrozi svoje poslovanje, a sa druge strane treba u što većoj meri dostići ciljeve univerzalne usluge naročito sa aspekta socijalne i finansijske inkluzije, odnosno sa stanovništva privrednog razvoja. Shodno tome, razvijena je metodologija koja bi trebala da donosi odluku po ovim pitanjima omogućujući pronalaženje optimalnog rešenja.*

**Ključne reči:** *univerzalna usluga, obim, optimizacija*

### **1. Uvod**

U poslednjih 30-ak godina na poštanskom tržištu su se odigrale drastične promene, od razdvajanja poštanskog i telekomunikacionog sektora, do ukidanja monopolskog statusa nacionalnim poštanskim operatorima.

Pored direktne konkurencije, najsnažniji udar za nacionalne poštanske operatore svakako je predstavljao razvoj indirektna konkurencije, koja je pružajući supstitue tradicionalnim poštanskim uslugama dovela do značajnog pada u segmentu pismonosnih pošiljaka [1]. Kao posledica navedenog, došlo je do povećanja jediničnih troškova, kao i do gubljenja određenih benefita koji su proisticali iz ekonomije obima (bolje iskorišćenje mrežnih resursa, ostvarivanje veće profitne stope od segmenta usluga usluga koje imaju tendenciju bržeg rasta itd.). Sve navedeno, uticalo je na to da se univerzalna poštanska usluga za većinu poštanskih operatora posmatra kao dodatni teret tokom odvijanja tržišnog nadmetanja sa novopridošlom konkurencijom.

U poštanskoj oblasti univerzalna poštanska usluga ima veoma važnu ulogu u jačanju nacionalnog identiteta, u olakšavanju uključivanja građana (inkluzije) različitih društvenih slojeva u privredne i socijalne aktivnosti, pružanje podrške u realizaciji komercijalnih i javnih delatnosti, kao i u osiguranju poštanskih usluga u ruralnim područjima [2]. Kvalitet univerzalne usluge se ogleda kroz sledeće elemente [3]: teritorijalna pokrivenost, vreme prenosa (ciljevi i standardi kvaliteta), broj dostupnih

tačaka namenjenih pružanju univerzalne usluge i frekvenciji dostave. Upravljanjem navedenih dimenzija nastoji se ostvariti održivi sistem koji će ispuniti realizaciju ciljeva koji se postavljaju pred uslugu. Aktualizacija ovog pitanja nastupila je pre svega sa povlačenjem mehanizma rezervisanog područja (zemlje EU pre svih), koji je obezbeđivao stabilan priliv sredstava za pokrivanje troškova koji su nastali kao posledica realizacije univerzalne usluge.

## **2. Potreba za redefinisanjem univerzalne poštanske usluge**

Javnost kao i vlade širom sveta posmatraju univerzalnu uslugu kao neophodnu tekovinu politike poštanskih operatora, obuhvatajući njenu transparentnost, niske transakcione troškove i njenu sposobnost da pruži jednostavan metod zaštite korisnika putem lako prepoznatljivih uniformnih cena [4,5]. Pored toga što ruralna područja u praktičnoj realizaciji imaju uglavnom niži nivo kvaliteta usluga, u većini slučajeva postignut je konsenzus da se standardi dostave ne razlikuju drastično između pojedinih područja. Najčešći mehanizam za ispunjenjem zahteva koji su se postavljali pred univerzalnu uslugu, bio je mehanizam rezervisanih usluga (po masi i/ili ceni). Pitanje koje se nametnulo sa procesima liberalizacije i deregulacije poštanskog tržišta je da li univerzalna usluga može da egzistira bez rezervisane usluge, budući da je direktna konkurencija snažnim lobiranjem uticala na smanjenje i eliminisanje rezervisanih područja.

Univerzalna usluga se može posmatrati i kao javno dobro [6,7], odnosno dobro koje je neisključivo i bez rivaliteta. Nesisključivo, znači da se korisnik ne može isključiti od korišćenja dobra, dok odsustvo rivaliteta znači da količina korišćenja dobra od strane jednog korisnika ne smanjuje količinu koja je raspoloživa na korišćenje ostalima. Univerzalna usluga se može definisati i kao obaveza dodeljena provajderu da obezbedi usluge svima građanima na celom geografskom području posmatrane države [8,9].

U novonastalom okruženju ponašanje nacionalnih poštanskih operatora išlo je sa jedne strane ka većim komercijalnim slobodama (kroz povećanje komercijalnih aktivnosti), a sa druge strane okarakterisane su težnje za smanjenjem opsega univerzalne usluge. Veće usmeravanje ka komercijalnim aktivnostima dovelo je do veće troškovne kontrole, veće cenovne fleksibilnosti i mogućnostima za prilagođavanje tehnoloških procesa sa manjim nadzorom države. Ostvarivanje manjih troškova nacionalni poštanski operatori postizali su povećavajući svoju efikasnost kroz unapređenje svojih tehnoloških aktivnosti ili putem reorganizacije mreža sa kojima su raspolagali. U priličnom broju slučajeva povećanje efikasnosti nedvosmisleno je vodilo ka smanjenju broja radnih mesta i/ili ka smanjenju ličnih dohodaka zaposlenih [10].

Benefiti za nacionalne poštanske operatore koji se ostvaruju na uštrb univerzalne usluge za posledicu imaju promene u standardima usluga, gde područja sa visokim troškovima dobijaju osetno niži kvalitet usluga (recimo dostava 3 dana u nedelji umesto 5 ili 6 itd.).

Univerzalna usluga nije po svom karakteru statična, već se tokom vremena menja u skladu sa potrebama korisnika i troškovima njenog obezbeđivanja. Porast digitalnih supstituta pokreće potrebu za evolucijom univerzalne usluge [11]. Sa druge strane postoji kontinuiran trend pada u segmentu pismonosnih pošiljaka, kao i stabilan trend rasta paketski pošiljaka uzrokovan razvojem e-trgovine [12].

Poseban aspekt univerzalne usluge predstavlja zaštita takozvanih ugroženih korisnika, korisnika u mahom ruralnim područjima koji dobar deo svojih socijalnih i finansijski potreba zadovoljavaju putem pošte [13].

### **3. Primeri redefinisanja**

Pojedini poštanski operatori otpočeli su sa procesom redefinisanja univerzalne usluge u pojedinim njenim dimenzijama [14]:

- U Kanadi su na period od pet godina odlučili da obustave dostavu na kućne sandučiće, tj. opredelili su se na dostavu samo putem zbirnih sandučića. Canada Post je decembra 2013. objavila plan da trećinu adresa na kojima se realizuje dostava na kućnu adresu preusmeri na zbirne poštanske sandučiće u u periodu od 5 godina. Smatraju da su takve promene nophodne kako bi se izvršilo prilagođavanje na smanjen obim pismama. Procene su da se na taj način ostvaruje ušteda između 400 i 500 hiljada kanadskih dolara.
- Australian Post je 2014. god. kao odgovor na pad od 30% tokom perioda od 5 godina, uvela je sporiju klasu usluga za biznis korisnike, naspram prioriternih usluga.
- New Zealand Post pregovarala je sa vladom svoje države u pogledu nove univerzalne usluge. Od jula 2015. god dostavu su usvojen je stav da dostava neće biti manja od tri dana nedeljno u urbanim celinama i ne manja od pet dana putem poštanskih pregradaka u ruralnim sredinama. Takve aktivnosti rezultat su smanjenja obima pismonosni pošiljaka sa 1,1 milijarde na skoro 771 milion u 2013. godini.

Veći broj zemalja EU smanjuje frekvenciju dostave na manje od 5 dana u sedmici uvodeći različite modele dostave.

Razvoj digitalni komunikacija i e-trgovine pokreće potrebu za narednu evoluciju univerzalne usluge. Ciljevi razvoja države bi trebalo da obezbede povolju klimu ka ravnomernom razvoju cekokupnih teritorija i na taj način bi se mogla definisati misija UPS kao instrumenta za njihovo ostvarenje. Na osnovu principa na kojima se zasniva funkcionisaje većine nacionalnih poštanskih operatora što se ogleda kroz prenos informacija, pošiljaka u fizičkom obliku i prenosa novca, kod njih se nalazi značajan potencijal da postanu ključni činilac razvoja e-trgovine.

### **4. Razvoj metodologije**

Prvi korak metodologije sa jedne strane obuhvata praćenje realizacije trenutno definisane univerzalne usluge, a sa druge strane razmatraju se i strana iskustva kako bi se analizirali primeri najbolje prakse (kao i kako bi se predvideli određeni problemi koji nastati u realizaciji pojedinih rešenja).

Sledeća faza predstavlja formiranje studije u pogledu univerzalne usluge gde pri tom treba obuhvatiti: međunarodnu regulativu u oblasti univerzalne usluge, pravni aspekt univerzalne usluge, širi društveni aspekt univerzalne usluge, univerzalna poštanska usluga na posmatrnoj teritoriji određene države i predstavljajne modela univerzalne usluge kao problema višekriterijumskog rangiranja.

Nakon formiranja studije o univerzalnoj usluzi, potrebno je putem nacionalnog konzencusa i mišljenja eksperata iz ove oblasti razviti model za podršku u donošenju odluka u pogledu univerzalne usluge. Zatim se vrši poređenje rezultata modela sa



rezultatima ispitivanja potreba korisnika, na osnovu čega se dolazi do optimalnog rešenja. Dobijeni rezultati dalje služe da se profilise odgovarajuća politika putem odgovarajućih pavnih akata (zakona, pravilnika itd.)

Za razvoj modela korišćene su metoda PROMETHEE za rangiranje kriterijuma, metoda AHP za utvrđivanje relativnog značaja kriterijuma i fazi TOPSI metoda za rangiranje razvijenih scenarija u pogledu opsega univerzalne usluge.

## 5. Primena metodologije

Istraživanje u pogledu definisanja opsega univerzalne usluge u Republici Srbiji obuhvatilo je 20 anketa u okviru kojih su obuhvaćena mišljenja eksperata iz: državne uprave nadležne za poštanski saobraćaj, sektora privrede koji obuhvata poštanski saobraćaj, regulisanja i nadzora tržišta poštanskog saobraćaja i akademske zajednice koja se bavi pitanjima naučno - istraživačkog rada na polju poštanskog saobraćaja

Na osnovu sprovedene analize doneta je odluka da se u pogledu opsega univerzalne usluge razmatra sledećih 6 alternativa:

1. sve pismonosne pošiljke do 2 kg (pisma, dopisnice, sekogrami, tiskovine, direktna pošta);
2. sve pismonosne pošiljke do 2 kg bez direktne pošte;
3. sve pismonosne pošiljke do 2 kg i poštanske uputnice;
4. sve pismonosne pošiljke do 2kg i paketske pošiljke do 10 kg;
5. sve pismonosne pošiljke do 2 kg, paketske do 10 kg i poštanske uputnice;
6. sve pismonosne pošiljke do 2kg bez direktne pošte, paketske do 10 kg, poštanske uputnice.

Kriterijumi koji su postavljeni za vrednovanje alternativa su:

1. razvoj konkurencije na tržištu pismonosnih i paketskih usluga;
2. društvena jednakost korisnika u ruralnom i urbanom području po pitanju pristupa uslugama;
3. mogućnost podsticanja privrednih aktivnosti;
4. uticaj na budžet Republike Srbije.

Prva tri kriterijuma su tipa max, dok je poslednji kriterijum tipa min. Navednim kriterijumima nastojali su se obuhvatiti svi elementi na koje ima uticaj univerzalne usluge počev od konkurencije na tržištu, ostvarivanja socijalne uloge u društvu, podsticaja na razvoj privrede i uticaja na državni budžet.

Na osnovu sprovedene ankete procenjeni su pre svega značajni pojedinih kriterijuma iz ugla države, pravnih lica, javnog poštanskog operatora i ostalih poštanskih operatora (Tabela 1).

*Tabela 1. Značaj pojedinih kriterijuma za stakeholdere*

	<b>država</b>	<b>pravna lica</b>	<b>fizička lica</b>	<b>javni poštanski operator</b>	<b>ostali poštanski operatori</b>
<b>K1</b>	0.263	0.292	0.265	0.231	0.307
<b>K2</b>	0.267	0.207	0.312	0.258	0.185
<b>K3</b>	0.268	0.299	0.218	0.292	0.295
<b>K4</b>	0.202	0.203	0.205	0.219	0.214

Vrednosti u Tabeli 1 predstavljaju ulazne podatke za PROMETHEE metodu kako bi se izvršilo odgovarajuće rangiranje kriterijuma (Tabela 2). Može se videti da je najznačajniji kriterijum pod rednim brojem 3, dok bi najmanju težinu trebao da ima kriterijum pod rednim brojem 4.

Tabela 2. Rangiranje važnosti kriterijuma na osnovu PROMETHEE

kriterijum	važnost
3	0.6
1	0.2
2	0.067
4	-0.867

Pridržavajući se vrednosti iz Tabele 2, utvrđen je međusobni odnos između kriterijuma putem Satty-eve skale (Saaty, 1986), kako bi se putem AHP metode utvrdili težinski koeficijenti za posmatrane kriterijume (Tabela 3). Vrednosti kefcijenata su:  $K_1(0.263)$ ,  $K_2(0.122)$ ,  $K_3(0.558)$  i  $K_4(0.057)$ .

Tabela 3. Rezultati AHP analize

	K1	K2	K3	K4	
K1	1	3	0.33	5	0.263
K2	0.33	1	0.2	3	0.122
K3	3	5	1	7	0.558
K4	0.2	0.33	0.14	1	0.057

Ocene vrenosti pojedinih kriterijuma po osnovu razmatranih 6 alternativa opisani su fazi brojevima. Rezultati sprovedenog istraživanja u pogledu procenjenih kvantitativnih vrednosti kriterijuma dati su u Tabeli 4. Kako bi se omogućile vrednosti za realizaciju TOPSIS metode bilo je potredno defazifikovati vrednosti na na osnovu formule 1. Dobijena vrednosti defazifikacije date su u Tabeli 5.

Tabela 4. Fazi karakteistike posmatranih alternativa

alternative	K1	K2	K3	K4
A1	(2.74, 3.74, 4.47)	(2.21, 3.16, 4.05)	(1.89, 2.89, 3.84)	(2.42, 3.26, 4.00)
A2	(2.79, 3.74, 4.32)	(1.84, 2.53, 3.47)	(2.32, 3.05, 3.84)	(2.58, 3.42, 4.05)
A3	(2.53, 3.53, 4.53)	(2.89, 3.89, 4.68)	(2.26, 3.26, 4.16)	(2.00, 2.89, 3.89)
A4	(2.32, 3.32, 4.16)	(2.63, 3.63, 4.53)	(2.58, 3.58, 4.47)	(1.79, 2.68, 3.68)
A5	(2.26, 3.05, 3.79)	(3.42, 4.42, 4.74)	(2.89, 3.84, 4.47)	(1.74, 2.32, 3.16)
A6	(2.21, 3.16, 4.00)	(3.11, 4.11, 4.79)	(2.68, 3.63, 4.42)	(1.58, 2.37, 3.37)

$$BNP_{ij} = ((c_{ij} - a_{ij}) + (b_{ij} - a_{ij}))/3 + a_{ij} \quad \forall i, j. \quad (1)$$

*Tabela 5. Defazifikovane karakteristike alternativa*

<b>alternative</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>
<b>A1</b>	3.65	3.14	2.88	3.23
<b>A2</b>	3.61	2.61	3.07	3.35
<b>A3</b>	3.53	3.82	3.23	2.93
<b>A4</b>	3.26	3.60	3.54	2.72
<b>A5</b>	3.04	4.19	3.74	2.40
<b>A6</b>	3.12	4.00	3.58	2.44

Na osnovu prethodno utvrđenih težinskih koeficijenata datih kriterijuma i na osnovu defazifikovanih vrednosti iz Tabele 5 iznad realizovana je TOPSIS metoda. Rezultati sprovedene metode pokazuju da alternativa A5 nadmašuje ostale razmatrane alternative.

*Tabela 6. Rangiranje*

<b>rang</b>	<b>alternativa</b>	<b>bliskost idealnom rešenju</b>
1	A5	0.7491
2	A6	0.7044
3	A4	0.6956
4	A3	0.4846
5	A2	0.3182
6	A1	0.2661

## **6. Zaključak**

Utvrđivanje opsega koji treba da obuhvati univerzalna usluga predstavlja jedan od značajnijih zadataka koji se postavlja pred tela koja su zadužena za razvoj i održivost tržišta poštanskih usluga. Sa jedne, potrebno je voditi računa da se operator univerzalne usluge ne optereti tako da ugrozi svoje poslovanje, a sa druge strane treba u što većoj meri dostići ciljeve univerzalne usluge naročito sa aspekta socijalne i finansijske inkluzije, odnosno sa stanovništva privrednog razvoja. Shodno tome, razvijena je metodologija koja bi trebala da donosi odluka po ovim pitanjima omogućujući pronalaženje optimalnog rešenja.

Rezultati dobijeni analizom pokazali su da je relativno širok opseg univerzalne poštanske usluge još uvek optimalno rešenje za Republiku Srbiju. Ovi rezultati je u direktnoj korelaciji sa strateškim operedeljenjem Vlade Republike Srbije koje podrazumeva postepenu liberalizaciju tržišta poštanskih usluga uz usaglašavanje sa postulatima Direktiva Evropske komisije, uz snažnu zaštitu prava korisnika za kvalitetnom poštanskom uslugom, naročito u ruralnim područjima.

Redefinisanje opsega univerzalne usluge je dinamično područje budući da je nužno da prati evoluciju potreba za komunikacijama potencijalnih korisnika. Stoga se može prepoznati snažna dinamička komponenta univerzalne poštanske usluge i u tom smislu potrebno je dobro promisliti o odgovarajućem mestu opsega iste u sklopu pravnog sistema Republike Srbije kako bi se omogućilo blagovremeno prilagođavanje skladu sa promenama na tržištu poštanskih usluga.

Sve veća konvergencija tržišta elektronskog poslovanja i poštanskih usluga koja je posebno uočljiva u razvoju e-trgovine nameće razmišljanje o univerzalnoj

komunikacionoj usluzi koja bi u budućnosti predstavljala optimalan miks komplementarnih poštanskih i servisa elektronskog poslovanja u cilju ranije definisanih postulata.

## **Zahvalnost**

Rezultati prikazani u ovom radu su deo istraživanja projekta "Razvoj inovativnih rešenja u funkciji unapređenja saobraćaja i transporta", osnovanog od strane Departmana za saobraćaj, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Univerziteta u Novom Sadu, Republika Srbija.

## **Literatura**

- [1] International Post Corporation, Market intelligence global postal industry report, 2014.
- [2] OFFICE OF INSPECTOR GENERAL UNITED STATES POSTAL SERVICE , GUIDING PRINCIPLES FOR A NEW UNIVERSAL SERVICE OBLIGATION, 2014.
- [3] Gautier, A. and Poudou, J. C., Reforming the Postal Universal Service, 2015.
- [4] Crew, M.A., and Kleindorfer, P.R., Liberalization and the Universal Service Obligation in Postal Service. In Current Directions in Postal Reform, edited by M. A. Crew and P.R. Kleindorfer. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [5] Crew, M.A., and Kleindorfer, P.R., Whither the USO under Competitive Entry: A Microstructure Approach. In Future Directions in Postal Reform, edited by M. A. Crew and P.R. Kleindorfer. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [6] Comandini, V. V., Consiglio, A., Gori, S., Piccinin, E., and Pierleoni, M., The Altmark ruling and approaches to measuring efficiency of postal operators. Heightening Competition in the Postal and Delivery Sector, Edward Elgar publ., Cheltenham & Northampton, 70-84, 2010.
- [7] Jaag, C. and Trinkner, U., The future of the USO—Economic rationale for universal services and implications for a future-oriented USO. In Swiss Economics Working Paper 0026, 2011.
- [8] European Commission, Green paper on services of general interest, 2003.
- [9] Davies, J., Szyszczak, E., Universal service obligations: Fulfilling new generations of services of general interest. In E. Szyszczak, J. Davies, M. Andenæs, & T. Bekkedal (Eds.), Developments in services of general interest (pp. 155–177). The Hague: TMC Asser Press, 2011.
- [10] Hermann, C., The Liberalisation of European Postal Markets and the Impact on Employment and Working Conditions, 2013.
- [11] Cuomo, M., Nardone, T., Rovero, A., and Scarfioli, G., Electronic substitution and USO scope definition, Reforming the postal sector in the face of electronic substitution, edited by M. A. Crew and P.R. Kleindorfer. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2013.
- [12] Accenture consulting, Achieving High Performance in the Postal Industry: Accenture Research and Insights 2015, 2016.

- [13] Okholm, H.B. and Moller, A., Vulnerable users I times of declining demand – the case of basic banking services in Norway and Sweden , Reforming the postal sector in the face of electronic substitution, edited by M. A. Crew and P.R. Kleindorfer. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2013.
- [14] ERGP, Discussion paper on the implementation of Universal Service in the postal sector and the effects of recent changes in some countries on the scope of the USO, 2014.

**Abstract:** *Define the scope that should be covered by the universal postal service represents one of the most important tasks that is set before the bodies that are responsible for the development and sustainability of the postal market. On the one hand, it is necessary to take care that the operator of the universal postal service does not overburden itself in such a way as to endanger its business, and on the other hand, it is necessary to reach the goals of the universal service as much as possible, especially from the aspect of social and financial inclusion, i.e. from the population of economic development. Accordingly, a methodology was developed that should enable decision makers to find the optimal solution for these issues.*

**Keywords:** *universal service, scope, optimization*

## **APPROACH TO DEFINE THE SCOPE OF UNIVERSAL POSTAL SERVICES**

Bojan Jovanović, Estera Rakić

## **ORGANIZACIJA DOSTAVE ROBE BICIKLOM U URBANIM GRADSKIM SREDINAMA**

Predrag Atanasković, Slaviša Dumnić, Aleksandra Maričić, Đordžije Dupljanin  
Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka,  
predrag.atanaskovic@uns.ac.rs, dumnic.s@uns.ac.rs,  
amaricic99@gmail.com, ddjordji@uns.ac.rs

**Sadržaj:** *U ovom radu je izvršeno planiranje i analiza svih neophodnih aktivnosti za izradu investicionog plana osnivanja preduzeća za dostavu pošiljaka biciklom u urbanim gradskim sredinama, procena troškova i potrebnih resursa za izradu investicionog plana. U okviru rada izvršena je analiza potencijalnog tržišta i svih bitnih faktora investicionog osnivanja, bilans uspeha, finansijski tok, tok novca.*

**Ključne reči:** dostava biciklom, investicioni plan, organizacija, urbane sredine

### **1. Uvod**

Investicije su osnovni preduslov i sredstvo razvoja svakog društva i svakog pojedinačnog preduzeća i suština realizacije bilo kakvih planova koji se bave razvojem. Da bi se obezbedio razvoj društva, bilo kog preduzeća ili bilo kog društvenog segmenta, mora se investirati tj. moraju se ulagati sopstvena ili pozajmljena sredstva, sve u cilju da se stvore uslovi da utrošena sredstva danas, obezbede potrošnju u budućnosti. Investiranje predstavlja kompleksan proces koji obuhvata veliki broj aktivnosti i učesnika. U okviru procesa investiranja troši se najveći deo finansijskih sredstava koji su namenjeni planiranom razvoju. Ishodi investiranja su usmereni u budućnost jer se efekti investiranja očekuju tek u budućnosti.

U gradovima dostava robe se najviše obavlja motornim teretnim vozilima kao što su kamioni, kombi vozila, automobili. Jedan od načina smanjenja gužve u saobraćaju, kao i zagađenja vazduha je uvođenje dostave biciklom. Dostava biciklom je jedan od najefikasnijih i ekološki prihvatljivih načina dostave u urbanim gradskim sredinama. Pored smanjenja gužve u saobraćaju i smanjenja zagađenja vazduha, podstiče i na zdraviji način života. Usled pandemije korona virusom, onlajn kupovina je doživela ekspanziju, pa samim tim i dostava. Dostava biciklom je počela naglo da se razvija, a u budućnosti istraživanja pokazuju da bi bicikli u urbanim sredinama potpuno mogli zameniti dostavu motorizovanim teretnim vozilima. Dostava biciklom smanjuje i potrebu za parking mestima i smanjuje se pritisak na saobraćajnu mrežu. U većini gradova postoje biciklističke staze koje nisu maksimalno iskorišćene, uvođenjem dostave standardnim i teretnim

biciklima, rasteretila bi se saobraćajna mreža grada, a biciklističke staze bi bile maksimalno iskorišćene.

Cilj ovog rada jeste prikaz investicionog plana organizacije koja se bavi dostavom biciklom u gradskim urbanim sredinama. Prikazane su i prednosti primene dostave biciklom i kako to utiče na saobraćaj u gradovima.

U daljem radu biće opisano šta je to investicioni plan, kako on izgleda i šta je neophodno analizirati. Takođe, opisano je koji su to ciljevi dostave biciklom i koji su ekonomski i ekološki razlozi. Analizirano je područje Novog Sada, analiza obuhvata potencijalne korisnike usluge dostave biciklom i ko su konkurentni. U radu su prikazane vrste teretnih bicikala i njihove opreme. Na kraju rada je prikazan investicioni plan organizacije dostave biciklom.

## **2. Investicioni plan**

Investiranje predstavlja kompleksan proces koji obuhvata veliki broj aktivnosti i veliki broj učesnika. Ujedno investiranje predstavlja jedan od najrizičnijih procesa i poduhvata, iz razloga što je globalna mera današnjice pre svega novčani uspeh. U okviru procesa investiranja troši se najveći deo finansijskih sredstava koji su namenjeni planiranom razvoju. Ishodi investiranja usmereni su na budućnost jer se efekti investiranja očekuju u budućnosti [1].

Ciljevi investiranja proističu iz više razloga koji u svakom slučaju moraju da donesu neku dobit, bez obzira da li se radilo o investicijama koje realizuje država na svojim projektima ili pravna lica u okviru poslovne delatnosti [1].  
Ciljevi svake investicije su [1]:

- Obezbeđenje kontinuiteta funkcionisanja sistema
- Obezbeđenje egzistencije na tržištu
- Obezbeđenje razvoja i razvojnih projekata
- Uvođenje novih tehnologija u privredi i državnim sistemima
- Modernizacija postojećih sistema
- Izgradnja novih sistema
- Smanjenje postojećih troškova proizvodnje
- Podizanje BND-a
- Osvajanje novih tržišta
- Stručno osposobljavanje kadrova, razvoja nauke i tehnike
- Ostalo

Analizirajući procese investiranja u realna dobra, sa teorijsko metodološkog i praktičnog stanovišta, moguće je uopštiti nekoliko globalnih faza, čija ukupnost predstavlja proces investiranja. U tom smislu možemo reći da se proces investiranja sastoji iz sledećih faza [2]:

- Prethodne analize (prethodna studija opravdanosti),
- Izrada investicionog programa (studija opravdanosti),
- Donošenje odluke o realizaciji investicije,
- Izrada tehničke dokumentacije,
- Realizacija investicije - izgradnja investicionog objekta,
- Puštanje u rad i probna proizvodnja.

Da bi se pristupilo konkretnoj izradi investicionog programa, koji predstavlja složen elaborat, potrebno je prikupiti i obraditi veliki broj podataka, odnosno izvršiti određeni broj istraživanja i analiza, čiji će rezultati biti podloga za izradu investicionog programa. U najznačajnije analize spadaju [2]:

- Analiza tržišta
- Analiza tehnologije
- Analiza lokacije
- Analiza ekologije
- Analiza organizacije i kadrova
- Finansijska analiza

## **2.1. Ciljevi primene bicikala u dostavi**

Gradski teretni transport je jedan od ključnih aspekata privrede svakog grada. Teretni saobraćaj stvara probleme u urbanim sredinama, zbog velike gustine naseljenosti. Savremenim gradovima potrebna su rešenja za smanjenje eksternih troškova poput zagušenja, zagađenja i drugih, koji su porasli u poslednjih nekoliko godina, posebno zbog povećanja ponude roba. Onlajn prodaja i globalizacija dovode do novih trendova u transportu tereta, a očekuje se da će u bliskoj budućnosti zahtevi biti sve veći. U tom kontekstu, većina isporučene robe ide u gradske centre [3].

Logistika dostave je najmanje efikasna faza u lancu snabdevanja, koja čini do 28% ukupnih troškova. Stoga su poboljšanje logistike dostave i značajno smanjenje eksternih efekata veoma važni izazovi za naučnike. Nove tehnologije i transportna sredstva, inovativne tehnike i organizacione strategije omogućavaju efikasnije dostave robe u urbanim sredinama [3].

Gore opisani izazovi doveli su do formulisanja koncepta „zelene logistike“. Ova ideja namerava da zameni trenutno korišćena vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem tehnologijama sa nultom emisijom kao što su električna vozila, teretni bicikli, hibridna vozila itd. Upotreba tehnologija sa nultom emisijom dovodi do nekoliko prednosti za pružanje logističkih usluga i uključene gradove, kao što su niži troškovi održavanja i operativnih troškova, smanjena emisija buke, pristup zonama samo za pešake ili pristup istorijskim gradskim centrima koji su često nedostupni ili pristupačni van radnog vremena. Zbog visokih ukupnih troškova posedovanja, električni kamioni sa nosivošću preko jedne tone nisu konkurentni u odnosu na svoje kolege sa dizel motorima, zbog visokih troškova kupovine, manjeg dometa zimi i degradacije baterije tokom životnog veka vozila. Uzimajući u obzir sve predstavljene prednosti i ograničenja, upotreba teretnih bicikala i teretnih e-bicikala je veoma privlačna za dostavu [3].

Trenutna situacija u dostavnom saobraćaju u unutrašnjosti gradova je takva da se više od 90% robe transportuje sa motornim transportnim sredstvima, počev od motocikala i automobila do manjih kamiona. Jedan od najvećih problema je što su mala pakovanja i laka roba prevoze kamionima, potpuno zanemarujući to da svako drugo putovanje u urbanim sredinama je manje od pet kilometara i lako se može obaviti biciklom. Ako uzimamo u obzir dužinu putovanja i mogućnost lanca putovanja i dalje ostaje mogućnost prebacivanja 25% svih putovanja sa motornih vozila na rešenja korišćenje bicikala [3].



Korišćenje bicikala kao novog načina prevoza robe u urbanim sredinama podrazumeva smanjenje potrošnje energije (naftni derivati) i potpuno smanjenje emisije štetnih gasova [3].

Osnovno ciljevi koji će se postići korišćenjem bicikala u dostavi su [3]:

- Manja potrošnja energije
- Smanjenje saobraćajnih gužvi u gradovima
- Smanjenje buke
- Smanjenje emisije štetnih gasova
- Maksimalno iskorišćene biciklističke staze
- Povećanje zelenih površina i prostora za kretanje građana
- Sveukupno povećanje kvalitete života u urbanim sredinama

## 2.2. Istraživanje koje je sprovedeno u Londonu

Teretni transport širom sveta značajno doprinosi klimatskim promenama. Na primer, u urbanim sredinama, dostavna vozila doprinose pogoršanju kvaliteta javnog prostora, kvaliteta vazduha i bezbednosti drugih učesnika u saobraćaju. Istraživači sa Univerziteta u Vestminsteru (engl. University of Westminster) koristili su GPS (engl. GPS) podatke da uporede rute koje voze teretni bicikli u Londonu sa rutama kojima bi kombiji morali da idu da bi dostavili iste pakete. Istraživanje je vršeno u saradnji sa logističkom kompanijom Pedal Me (engl. Pedal Me). Na slici 1 prikazan je bicikl koji se koristi u datom istraživanju. Rezultati pokazuju da su usluge koje pružaju teretni bicikli u Londonu 1,61 puta brže od usluga kombija. U centralnom Londonu, teretni bicikli imaju veću prosečnu brzinu od kombija, dostavljajući skoro sedam paketa na sat u poređenju sa četiri za kombije. Ovi bicikli takođe smanjuju emisiju ugljenika za 90% u poređenju sa dizel kombijima i 33% u poređenju sa električnim kombijima. Kao rezultat toga, teretni bicikli mogu da služe kupcima efikasnije od kombija bez stvaranja mnogih negativnih efekata na klimu koje proizvodi gradski teretni transport. Shodno datim prednostima date su neke preporuke radi što veće primene dostave upotrebom bicikla. Na primer, potrebno je da lokalna vlast stvori strategiju za podršku urbanoj nemotorizovanoj distribuciji tereta, uključujući prisustvo odvojenih i širokih biciklističkih linija i dugoročna ulaganja u biciklizam. Pored same infrastrukture neophodno je i da se standardizuju procedure osiguranja i bezbednosni propisi [4].



Slika 1. Bicikl za dostavu

### **3. Analiza gradskog jezgra Novog Sada**

Novi Sad je najveći grad Autonomne Pokrajine Vojvodine, severne pokrajine Republike Srbije, kao i sedište pokrajinskih organa vlasti i administrativni centar Južnobačkog okruga. Grad se nalazi na granici Bačke i Srema, na obalama Dunava i Malog bačkog kanala, u Panonskoj ravnici i na severnim obroncima Fruške gore [5].

Osnovan 1694. godine, Novi Sad je dugo vremena bio centar srpske kulture, zbog čega je dobio ime „Srpska Atina“. Danas je Novi Sad veliki industrijski i finansijski centar srpske ekonomije, univerzitetski grad i školski centar, kulturni, naučni, zdravstveni, politički i administrativni centar Autonomne Pokrajine Vojvodine, grad domaćin mnogih međunarodnih i domaćih privrednih, kulturnih, naučnih i sportskih manifestacija, kao i grad muzeja, galerija, biblioteka i pozorišta [5].

#### **3.1. Potencijalni korisnici dostave biciklom**

Jedna od osnovnih stvari pri osnivanju nekog preduzeća ili usluge je da se uradi biznis plan. Biznis plan sadrži i deo o potencijalnim korisnicima. Kako bi preduzeće bilo uspešno potrebno je identifikovati korisnike koji imaju potrebu za ovakvom vrstom usluge i čija roba se može lako prevoziti putem bicikla.

Razmatranjem i analizom došli smo do sledećih zaključaka u pogledu potencijalnih korisnika:

- Kurirske službe – zbog velikih gužva u saobraćaju u gradu, kurirske službe bi mogle imati potrebu za dostavom pomoću teretnih bicikala
- Preduzeća sa kancelarijama na više lokacija u gradu- radi razmene dokumenata i pošte
- Mala preduzeća – koja nude i uslugu dostave u gradu svojih proizvoda
- Prehrambena preduzeća - prodaja hrane, samim tim ljudi sve češće poručuju hranu na određenu adresu i to bi se moglo obavljati teretnim biciklima
- Trgovina – dostava namirnica iz marketa na adresu
- Fizička lica

#### **3.2. Konkurencija**

Tržište je skup kupaca i prodavaca, koji putem svojih stvarnih ili potencijalnih međusobnih delovanja obezbeđuju cenu proizvoda i usluge. Tržište je proces u kome se putem cena i konkurencije usklađuju odluke grupe kupca i prodavca za određena dobra ili usluge.

Pri osnivanju preduzeća bitno je istražiti ko su konkurenti. Konkurencija predstavlja jednu od najkorisnijih pojava u privrednom životu. Njene prednosti su višestruke i prosto se ne može zamisliti normalno odvijanje privrednog prometa, funkcionisanje tržišta i privrede uopšte, razvoj jednog društva i kvalitetno zadovoljenje potreba društvenog života bez postojanja konkurencije.

- **Wolt**

Wolt je finsko tehnološko preduzeće poznato po platformi za dostavu hrane i robe. Na aplikaciji kojom upravlja (iOS i Android) ili veb-sajtu, kupci mogu naručiti hranu i druge artikle iz restorana ili prodavnica, a nakon toga da preuzmu svoju porudžbinu preko

kurirskih partnera platforme. Dostava funkcioniše tako što korisnik putem aplikacije poruči narudžbinu (hranu, namirnice itd.), kuriri imaju svoju aplikaciju i njihovo kretanje se prati pomoću GPS (engl. GPS), najbližem kuriru tog mesta odakle je poručeno, stiže porudžbina. Kurir može je da prihvati ili odbije, ako prihvati, postaju vidljivi podaci korisnika, odlazi po porudžbinu i nosi je na adresu korisnika. Potom u aplikaciji označava da je pošiljka predata, naplaćuje i tu se završava ceo proces.

- **Glovo**

Glovo je špansko preduzeće koje povezuje korisnike, preduzeća i dostavljače te omogućuje kupovinu, slanje, primanje bilo kog proizvoda u okviru jednog grada. Veliki je izbor proizvoda koji se može poručiti putem aplikacije od hrane, namirnica pa do farmaceutskih proizvoda.

- **Eko-kurir Novi Sad**

Eko kurir je prva ekološka kurirska služba sa odobrenjem koja obavlja dostavu biciklima na teritoriji Novog Sada. Osnovan je 2013. godine od strane prijatelja, pasionarnih biciklista, entuzijasta i ekoloških aktivista u cilju poboljšanja i razvijanja kvaliteta života, zaštiti i očuvanju životne sredine kroz negovanje koncepta održivog razvoja.

### 3.3. Vrsta opreme

Standardni bicikl sa torbom za rame ili bočnim koferom. Njihova nosivost je do 40 kilograma. Na slici 2 je prikazan bicikl sa bočnim koferima [6]. Prednosti su: brzina i okretnost u saobraćajnim gužvama, lako se koristi, nisu skupi, niski su troškovi održavanja, ne zauzimaju puno prostora pri parkiranju. Nedostaci su: ne može puno paketa da stane, nisu tako vidljivi u saobraćaju, može doći do saobraćajne nezgode.



**Slika 2.** Bicikl sa bočnim koferima

- Standardni bicikl sa prikolicom

Njihova nosivost je do 80 kilograma. Na slici 3 je prikazan bicikl sa prikolicom [6]. Prednosti su: niski troškovi održavanja, prevoze puno više paketa, prenos teških paketa, na prikolicu se može staviti reklama i tako se ostvaraju dodatne usluge, prikolica može da otkaçi od bicikla. Nedostaci su: paketi nisu tako sigurni, mnogo je teže voziti sa prikolicom, loša stabilnost, ne postoji zaštita od vremenskih nepogoda



**Slika 3.** Standardni bicikl sa prikolicom

- Teretni bicikl

Postoji više vrsta teretnih bicikala o kojima će biti reči u daljem radu. Na slici 4 je prikazan bicikl marke Nihola (engl. Nihola). Njihova nosivosti je do 80 kilograma [6]. Prednosti: mogućnost prevoza velikih paketa, pošiljke su osigurane, postoji zaštita od vremenskih nepogoda, dizajniran je za profesionalno korišćenje zbog toga je siguran i stabilan, na prikolici se može postaviti reklama. Nedostaci: visoki troškovi održavanja, zauzima puno mesta pri parkiranju, troškovi osiguranja bicikla, vozač mora da bude spretn i obučen



**Slika 4.** Teretno biciklo marke Nihola

- Električni teretni bicikl

Njihova nosivost je do 130 kilograma. Kompanija koja dizajnira električna teretna bicikla na Balkanu je E-prime (engl. E-prime) (slika 5). Oni su prilagođeni za kurirske službe, poštanske ustanove, dostavu hrane i ostalo. Na njega mogu da se montiraju različiti koferi, torbe, prikolice [7][8]. Prednosti: lako za vožnju, lakoća pedaliranja, nije potrebna registracija, niti vozačka dozvola, ne emituju štetne gasove, jednim punjenjem mogu da pređu do 120 kilometara, mogu da razviju brzinu od 25 kilometara na čas Nedostaci: koriste litijumske baterije, cena im je visoka, visoki troškovi održavanja, troškovi osiguranja.



**Slika 5.** E-prime biciklo

#### 4. Investicioni plan dostave biciklom

Na početku ovog projekta neophodno je formirati cenovnik koji će se koristiti u daljem projektu. Cene planiranih usluga su vrednosti prema kojima investitor planira da proda svoj proizvod. Cene se formirane tako što je grad Novi Sad podeljen u 4 zone dostave kako je prikazano u tabeli 1.

**Tabela 1.** Cenovnik usluga

Zone u gradu	Prosečna cena dinara sa porezom	Prosečna cena EUR/kom sa porezom	Za analizu osetljivosti promena cena u %
<b>Zona I</b>	180	1,53	0
<b>Zona II</b>	200	1,69	0
<b>Zona III</b>	240	2,03	0
<b>Zona IV</b>	320	2,71	0

Broj radnih dana u kom se meri obim rada je 325 dana. Period posmatrane aktivnosti je 7 godina. Godišnja stopa uvećanja je 17%. Za izvršenje zadatih aktivnosti i svih poslova vezanih za dostavu biciklom, prema investicionom programu i obimu rada, nepohodno je postaviti odgovarajuću organizacionu strukturu radnika koji će učestvovati u realizaciji svih aktivnosti. Prema proceni, neophodni u realizaciji svih aktivnosti potrebno je imati zadati obim rada sledeću strukturu radne snage: direktor-menađer, operator, magacioneri, kuriri- vozači.

Investiciono ulaganje u projektu se odnosi na sva ulaganja u toku realizacije jednog projekta i deli se na [1]:

- Ulaganje u osnovna sredstva
- Ulaganje u obrtna sredstva

Ulaganje u osnovna sredstva obuhvata: nabavku zemljište, ulaganje u objekat, opremu (mašine, alati, ostala sredstva koja su neophodna za rad), instalacije (telekomunikacione veze), infrastruktura i ostala osnovna sredstva (nabavka softvera, licence za korišćenje softvera...). U obrtna sredstva se svrstavaju ona sredstva preduzeća koja predstavljaju deo imovine preduzeća čiji je vek trajanja, odnosno rok vezivanja kraći od jedne godine. U tabeli 2 su prikazana ukupna investiciona ulaganja.

**Tabela 2.** Ukupna investiciona ulaganja

Investiciona ulaganja	PERIOD POSMATRANE INVESTICIJE							
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Ulaganja u opremu	33.870,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ulaganja u trajna obrtna sredstva	0,00	14.183,47	18.336,97	21.226,25	27.802,71	33.015,18	36.920,75	42.586,28
<b>UKUPNO</b>	<b>33.870,00</b>	<b>14.183,47</b>	<b>18.336,97</b>	<b>21.226,25</b>	<b>27.802,71</b>	<b>33.015,18</b>	<b>36.920,75</b>	<b>42.586,28</b>

Bilans uspeha predstavlja jedan od osnovnih, standardnih novčanih tokova koji oslikavaju kratkoročnu uspešnost poslovanja preduzeća (na godišnjem nivou). Njegova

sušтина je relativno jednostavna i svodi se na zbirno prikazivanje svih prihoda i svih rashoda. Bilans uspeha može biti prikazana za svaki projekat ili investiciju pojedinačno.

Finansijski tok je specifičan novčani tok čija je svrha da pokaže stepen likvidnosti preduzeća. Kao što bilans uspeha zbirno prikazuje sve prihode i sve rashode, finansijski tok zbirno prikazuje sve prilive i sve odlive novca. U tom smislu finansijski tok je pravi „cash flow“, tj. predstavlja tok novca u užem smislu. U tabeli 5 je prikazan finansijski tok za ovaj investicioni projekat.

**Tabela 5. Finansijski tok**

	PERIOD POSMATRANE AKTIVNOSTI							
	0	1	2	3	4	5	7	
<b>UKUPNI PRIHODI OD INVESTICIJE</b>	0,00	153.851,69	180.006,48	210.607,59	246.410,87	288.300,72	337.311,85	394.654,86
<b>UKUPNI PRIHODI</b>	0,00	153.851,69	180.006,48	210.607,59	246.410,87	288.300,72	337.311,85	394.654,86
Rezidualna vrednost (trajna obrtna sredstva u zadnjoj godini ukupno+ostatak amortizacije na kraju veka eksploatacije+TOS u zadnjoj godini)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>UKUPNI RASHODI</b>	4.000,00	103.652,89	142.419,69	163.021,44	219.724,69	260.751,09	286.383,38	327.552,36
Troškovi plata svih zaposlenih u preduzeću sa doprinosima i porezima	0,00	63.600,00	100.800,00	115.200,00	170.400,00	205.200,00	219.600,00	249.600,00
Troškovi najma prostora	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00
Troškovi za osiguranje bicikala	0,00	580,00	580,00	580,00	580,00	580,00	580,00	580,00
Troškovi osiguranja pošiljaka	0,00	15.385,17	18.000,65	21.060,76	24.641,09	28.830,07	33.731,18	39.465,49
Troškovi potrošnog materijala	0,00	2.307,78	2.700,10	3.159,11	3.696,16	4.324,51	5.059,68	5.919,82
Troškovi održavanja bicikala	0,00	149,00	149,00	149,00	149,00	149,00	149,00	149,00
Ostali troškovi	0,00	4.615,55	5.400,19	6.318,23	7.392,33	8.649,02	10.119,36	11.839,65
Kamata+GLAVNICA	0,00	4.156,78	4.156,78	4.156,78	4.156,78	4.156,78	4.156,78	4.156,78
Porez na DOBIT 15% (Prihodi - Rashodi)	0,00	8.858,61	6.632,96	8.397,56	4.709,33	4.861,70	8.987,38	11.841,62
<b>INVESTICIONA ULAGANJA (INVESTICIJA + TOS)</b>	33.870,00	14.183,47	18.336,97	21.226,25	27.802,71	33.015,18	36.920,75	42.586,28
<b>NETO PRILIV (1-[(2+3)])</b>	-37.870,00	36.015,33	19.249,83	26.359,90	-1.116,53	-5.465,54	14.007,71	24.516,22
<b>KUMULATIVNI NETO PRILIV</b>	-37.870,00	-1.854,67	17.395,16	43.755,06	42.638,53	37.172,99	51.180,70	75.696,92
Faktor akumulacije - faktor diskontovanja	1,00	0,95	0,91	0,86	0,82	0,78	0,75	0,71
<b>DISKONTOVANI NETO PRILIV</b>	-37.870,00	34.300,32	17.460,16	22.770,67	-918,57	-4.282,39	10.452,77	17.423,22
Investiciona ulaganja (diskontovani iznos)	33.870,00	13.508,07	16.632,17	18.336,03	22.873,36	25.868,25	27.550,84	30.265,28
<b>DISKONTOVANI KUMULATIVNI NETO PRILIV</b>	-37.870,00	-3.569,68	13.890,48	36.661,15	35.742,58	31.460,18	41.912,96	59.336,18
<b>NETO SADAŠNJA VREDNOST (NSV) VREDNOST U POSLEDNJOJ GODINI</b>								59.336,18
Red za izračunavanja interne stope rentabilnosti (vrednost iz neto priliva)								
<b>INTERNA STOPA RENTABILNOSTI</b>								59%

## 5. Zaključak

Dostava teretnim biciklima je sve popularniji i primenjiviji način dostave. Bicikl ima brojne prednosti u odnosu na druga prevozna sredstva, kao što su niski troškovi održavanja, malo prostora zauzima, smanjuje kolapse u protoku saobraćaja, a takođe pozitivno utiče i na zdravlje ljudi. Teretni bicikli se mogu koristiti za obavljanje raznih poslova, a ne samo dostavu. U velikim evropskim gradovima kao što su London i Rotterdam sve je više zastupljena dostava teretnim biciklima. Istraživanja pokazuju da u Londonu je čak brža dostava biciklom, nego drugim vozilima, jer bicikli izbegnu sve gužve i zastoje u saobraćaju.

Analizom grada Novog Sada je utvrđeno da više od 80% grada ima izgrađene biciklističke staze, koje bi se mogle koristiti za dostavu biciklom. Trenutni konkurentni koji postoje u Novom Sadu bave se dostavom hrane i namirnica, ali postoji još mnogo usluga koje bi mogle da se ponude pri dostavi biciklom.

Primenom teretnih bicikala smanjili bi se troškovi dostave zbog toga što ovakav vid dostave nema potrebu za naftnim derivatima, samim tim smanjuje se i emisija štetnih gasova u vazduhu. Mnogo su manji troškovi održavanja bicikala, nego motornih transportnih sredstava. Smanjenje buke u gradovima pruža lepši i lagodniji život stanovništvu.

Izradom ovog investicionog plana vidimo da su troškovi ulaganja u osnovna i obrtna sredstva mnogo manja u odnosu na ulaganja kod dostave motorizovanih vozila. Sagledavanjem i razmatranjem svih relevantnih faktora, od troškova, prihoda do izvora

finansiranja, zaključuje se da će se pozitivno poslovanje ostvariti između prve i druge eksploatacione godine, što dokazuje da je isplativo ulagati u ovakav vid dostave. Ova investiciona aktivnost je opravdana.

## Zahvalnica

Rezultati prikazani u ovom radu su deo istraživanja projekta „Razvoj inovativnih rešenja u funkciji unapređenja saobraćaja i transporta“, osnovanog od strane Departmana za saobraćaj, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Univerziteta u Novom Sadu, Republika Srbija.

## Literatura

- [1] Prof. dr Predrag Atanasković: Upravljanje investicijama u saobraćaju, FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2017.
- [2] Prof. dr Petar Jovanović: Upravljanje investicijama, 6. izdanje, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 2006.
- [3] Ranieri, L.; Digiesi, S.; Silvestri, B.; Roccotelli, M. A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision. Sustainability 2018.
- [4] <https://www.westminster.ac.uk/news/using-cargo-bikes-for-deliveries-cuts-congestion-and-pollution-in-cities-study-finds>
- [5] <http://srpskaenciklopedija.org/>
- [6] Wrighton, S.; Reiter, K. CycleLogistics—Moving Europe Forward! Transp. Res. Procedia 2016
- [7] Lee, K.; Chae, J.; Kim, J. A Courier Service with Electric Bicycles in an Urban Area: The Case in Seoul. Sustainability 2019
- [8] Zuev, Dennis. Urban mobility in modern China: The growth of the e-bike. Springer, 2018.

**Abstract:** *In this work, the planning and analysis of all necessary activities for the creation of an investment plan for the establishment of a company for the delivery by bicycle in urban areas, the assessment of costs, and the necessary resources for the creation of an investment plan were carried out. As part of the work, it is necessary to perform an analysis of the potential market and all important factors of investment establishment, income statement, financial flow, and cash flow.*

**Keywords:** *investment plan, delivery bicycle, organization, urban areas*

## ORGANIZATION OF GOODS DELIVERY BY BICYCLE IN URBAN AREAS

Predrag Atanasković, Slaviša Dumnić, Aleksandra Maričić, Đorđije Dupljanin

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.017>

## **ANALIZA IMPLEMENTACIJE MOBILNIH PAKETOMATA U SISTEM ZA PRENOS POŠILJAKA**

Dragan Lazarević, Momčilo Dobrodolac, Dejan Marković  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,  
d.lazarevic@sf.bg.ac.rs, m.dobrodolac@sf.bg.ac.rs, d.markovic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Razvoj elektronske trgovine uslovio je povećanje potražnje za poštanskim uslugama. Poštanske kompanije nastoje da kroz unapređenje svog poslovanja odgovore na navonastalu situaciju i zadovolje potrebe korisnika. Dodatno, jedan od osnovnih parametara kvaliteta poštanske usluge – dostupnost, je sve teže održati na odgovarajućem nivou usled okolnosti koje proističu iz savremenog načina života i poslovanja. Korisnici sve teže uspevaju da koriste poštanske usluge, jer im se poslovne i privatne obaveze u velikoj meri vremenski podudaraju sa radnim vremenima poštanskih kompanija. Jedno od rešenja koje kompanije mogu ponuditi jeste tzv. „out-of-home delivery“, tj. uručenje pošiljaka izvan kuće primaoca. U tom slučaju teži se da se ova vrsta uručjenja obavi što bliže lokaciji stanovanja primaoca, odnosno lokaciji poslovnog prostora, ako je primalac pravno lice. Dodatno, pored uručjenja, korisniku se može omogućiti da na ovaj način i preda pošiljku na prenos. Jedno od najsavremenijih rešenja u ovoj oblasti jeste primena mobilnih paketomata, a rezultati analize njihove implementacije prikazani su u ovom radu.*

**Ključne reči:** *prenos pošiljaka, dostupnost usluge, mobilni paketomati*

### **1. Uvod**

Sistemi za prenos pošiljaka su važni subjekti u oblasti uslužne delatnosti, gde za široki krug poslovnih i privatnih korisnika realizuju usluge iz pripadajućeg asortimana. Nudioci usluga teže da zadovolje potrebe korisnika i istovremeno ostvare što veći profit. Tehnološki proces prenosa pošiljaka sastoji se od nekoliko koraka, pri čemu je dostava u okviru uručjenja jedan od tehnološki i finansijski najzahtevnijih [1,2]. U skladu sa navedenim, poštanski operatori teže da optimizuju tehnološki proces prenosa poštanskih pošiljaka, kako u smislu troškova, tako i u smislu kvaliteta pružene usluge. U literaturi se mogu pronaći brojna istraživanja, koja se bave unapređenjem funkcionisanja poštanskih sistema. Uglavnom se zasnivaju na analizi postojećeg stanja i pravaca daljeg unapređenja [3,4,5].

Dobro organizovana dostava jedan je od bitnijih segmenata pri prenosu pošiljaka i iz razloga što je reč o fazi koja podrazumeva direktan kontakt sa korisnicima. Da bi optimizovali dostavu, poštanski operatori pribegavaju različitim rešenjima. Jedno od predloženih rešenja jeste ponuda usluge sa unapređenom vremenskom dostupnošću [6, 7]. Takođe, u praksi je sve više prisutno uvođenje samouslužnih mašina koje su dostupne korisnicima 24 časa dnevno, 7 dana u nedelji. Pored dostave, na ovaj način se korisnicima



može omogućiti i predaja pošiljaka na prenos. Ovdje je uglavnom reč o paketomatima, koji polako postaju deo infrastrukture poštanskih mreža širom sveta, a tako i kod nas. U eri ekspanzije e-trgovine oni omogućavaju praktičnu kupovinu, jer adresovanjem na paketomat korisnici mogu biti sigurni da će ih paket čekati na izabranoj lokaciji. Korak dalje predstavlja implementacija i primena mobilnih paketomata, čija je osnovna prednost pokretljivost na određenoj teritoriji. O aktuelnosti primene klasičnih i mobilnih paketomata u svetu, govori i činjenica da postoje brojna istraživanja koja su vezana pre svega za optimizaciju njihovog korišćenja [8,9,10,11].

U ovom radu, predložena je metodologija za analizu implementacije mobilnih paketomata u sistem za prenos pošiljaka i prikazani su rezultati njene primene u okvirima domaćeg tržišta.

## **2. Predlog metodologije**

Za adekvatnu analizu implementacije mobilnih paketomata u sistem za prenos pošiljaka potrebno je izdvojiti relevantne uticajne faktore. Predložena je odgovarajuća metodologija, koja se zasniva na aktivnom učešću eksperata. Podrazumeva formiranje matrice uticajnih faktora, koji su grupisani u neku od četiri grupe, a u zavisnosti od karakteristika: društveni, ekonomski, ekološki i tehnički faktori. Na ovaj način, omogućeno je da se predmet analize sagleda sa više aspekata. Međutim, sama ovakva analiza ne pruža uvid u međusobni odnos, odnosno relativni značaj između grupa i između definisanih faktora. U tu svrhu, uključuju se principi AHP metode, koji se zasnivaju na poređenju parova prema Saaty-jevoj skali poređenja [12]. Eksperti daju svoja mišljenja (ocene) o odnosu između svih definisanih grupa i o odnosu između faktora u okviru svake grupe. Na osnovu ocena, određuje se relativni značaj svake grupe i faktora (kako po grupama, tako i globalno na nivou čitave matrice). U skladu sa dobijenim rezultatima sprovodi se dodatna analiza i izvode zaključci. Predloženi model, može se prikazati u pet koraka [13]:

1. Korak: Prikupljanje mišljenja eksperata o uticajnim faktorima na implementaciju mobilnih paketomata u sistem za prenos pošiljaka, kao i svrstavanje tih faktora u odgovarajuće grupe matrice;
2. Korak: Prikupljanje mišljenja eksperata o odnosu između definisanih grupa i određivanje njihovog relativnog značaja;
3. Korak: Prikupljanje mišljenja eksperata o odnosu faktora u okviru svake grupe i određivanje njihovog relativnog značaja;
4. Korak: Određivanje značaja faktora na nivou čitave matrice;
5. Korak: Analiza dobijenih rezultata.

## **3. Rezultati primene predložene metodologije**

U istraživanju je učestvovalo 10 eksperata iz oblasti poštanskog saobraćaja. Najpre su prikupljena ekspertiska mišljenja o uticajnim faktorima, koji se odnose na implementaciju mobilnih paketomata u okvirima domaćeg poštanskog tržišta, na osnovu čega je formirana odgovarajuća matrica. Nakon toga, u skladu sa Saaty-jevom skalom poređenja, eksperti su ocenjivali odnose između definisanih grupa, a zatim i odnose između faktora u svakoj od grupa.

### 3.1 Formiranje matrice uticajnih faktora

U skladu sa predloženim modelom, kreira se matrica sa pripadajućim uticajnim faktorima na implementaciju mobilnih paketomata (Tabela 1).

*Tabela 1. Matrica uticajnih faktora*

Društveni	Ekonomski
D1. Unapređenje dostupnosti usluge, D2. Upotreba u urbanim i ruralnim sredinama, D3. Šansa za zaposlenje, D4. Korišćenje javnog prostora, D5. Jednostavan pristup i korišćenje servisa.	EKN1. Troškovi edukacije, EKN2. Troškovi implementacije, EKN3. Troškovi održavanja, EKN4. Troškovi eksploatacije, EKN5. Uštede.
Ekološki	Tehnički
EKO1. Potrošnja resursa, EKO2. Adaptacija na vremenske uslove, EKO3. Emisije štetnih gasova, EKO4. Generisanje otpada, EKO5. Buka.	T1. Mogućnost povezivanja sa drugim načinima dostave, T2. Informacioni sistem i sopstveni IT sektor, T3. Fleksibilnost, T4. Bezbednost, T5. Stalna potreba za rešavanjem optimizacionih zadataka.

**Društveni faktori:** D1. Unapređenje dostupnosti usluge – Primena mobilnih paketomata dovela bi do unapređenja kako vremenske, tako i teritorijalne dostupnosti poštanskih usluga. Naime, dostupnost mobilnih paketomata bi mogla da bude 24/7, a sa druge strane njihova mobilnost bi dovela do fizičkog približavanja korisnicima. Postojanje paketomata u sistemu i odgovarajuće aplikacije, dovodi i do unapređenja efikasnosti poslovanja, jer obezbeđuje korisnicima da prate njegovo kretanje i na taj način planiraju predaju ili preuzimanje pošiljke, kao i da svoje pošiljke unapred ili naknadno preusmere na njih, tako da se na taj način broj neuspelih dostava može znatno smanjiti; D2. Upotreba u urbanim i ruralnim sredinama – Eksploatacija mobilnih paketomata može imati pozitivne konsekvence, kako u urbanim tako i u ruralnim sredinama. Jasno je da je, usled velikog broja korisničkih zahteva, u urbanim sredinama opravdanost modela lakše dokazati, međutim i za razudenu strukturu zahteva u ruralnim oblastima posmatrani model je adekvatan, ukoliko kompanija želi ili ima obavezu da obezbedi maksimalnu dostupnost usluga. Na ovaj način bi uslugom bili obuhvaćeni korisnici iz obe sredine; D3. Šansa za zaposlenje – Uvođenje nove tehnologije u poslovni proces, uglavnom podrazumeva i potrebu za angažovanjem dodatne radne snage. U analiziranom slučaju, učešće radnika bi bilo potrebno pre svega na poslovima opsluge paketomata, monitoringa, održavanja, korisničke podrške i sl; D4. Korišćenje javnog prostora – Funkcionisanje sistema mobilnih paketomata, podrazumeva njihovo učešće u saobraćaju, odnosno kretanje na odgovarajućoj ruti. Na definisanim lokacijama, mobilni paketomati se pozicioniraju i opslužuju korisnike. Uglavnom su to javni prostori gde gravitira veći broj stanovnika na određenom području. Na ovaj način, funkcionisanje sistema može imati negativan uticaj na stanovnike izvan fokusa poštanske usluge; D5. Jednostavan pristup i korišćenje servisa – Pristup mobilnim paketomatima u odnosu na klasične se ne razlikuje značajno, tako da ih svaki korisnik sa

prethodnim iskustvom može jednostavno koristiti. Uputstvo za korišćenje bi bilo sadržano na samom paketomatu i u okviru prateće aplikacije, čiji interfejs bi svakako bio prilagođen prosečnom korisniku.

**Ekonomski faktori:** EKN1. Troškovi edukacije – Funkcionisanje sistema mobilnih paketomata podrazumeva i učešće radnika u određenim procesima (monitoring, održavanje, podrška za korisnike i sl), tako da bi bilo neophodno obezbediti njihovu edukaciju i upoznavanje sa tehnologijom; EKN2. Troškovi implementacije – Implementacija sistema mobilnih paketomata zahteva određene troškove, kako za nabavku mobilnih paketomata i pratećeg softvera, kreiranje korisničke aplikacije, tako i za obezbeđivanje ostale neophodne opreme i infrastrukture; EKN3. Troškovi održavanja – Od pravovremenog i odgovornog održavanja jednog ovakvog sistema, direktno zavisi i njegovo nesmetano funkcionisanje, a samim tim i nivo usluge za krajnjeg korisnika; EKN4. Troškovi eksploatacije – Obuhvataju sve one troškove koji nastaju prilikom funkcionisanja sistema, kao što su troškovi rada, goriva i drugog potrošnog materijala; EKN5. Uštede – Predstavljaju jedan od pokazatelja uspešnosti sistema i obuhvataju sve finansijske uštede koje nastaju njegovom primenom. Eksploatacija sistema mobilnih paketomata uz optimizaciju poslovnih procesa, može doprineti smanjenju ukupnih troškova. Naime, mobilni paketomati mogu opslužiti veliki broj korisnika u sve tri smene, ukoliko se njima upravlja na adekvatan način, čemu u velikoj meri doprinose informacije dobijene putem aplikacije i informacionog sistema. Troškovi opsluge po pošiljci na ovaj način postaju niži.

**Ekološki faktori:** EKO1. Potrošnja resursa – Obuhvata potrošnju sirovina i energije neophodnih za nesmetano funkcionisanje sistema; EKO2. Adaptacija na vremenske uslove – Predstavlja sposobnost sistema da uspešno funkcioniše u normalnim i ekstremnim vremenskim prilikama; EKO3. Emisije štetnih gasova – Uticaj sistema mobilnih paketomata na životnu sredinu kroz emisije štetnih gasova; EKO4. Generisanje otpada – Količina čvrstog otpada i štetnih materijala koji se oslobađaju tokom i nakon životnog ciklusa tehničkih sredstava; EKO5. Buka – Podrazumeva generisanje i uticaj buke koja nastaje tokom implementacije i eksploatacije sistema.

**Tehnički faktori:** T1. Mogućnost povezivanja sa drugim načinima dostave – Predstavlja tehničke mogućnosti sistema da se kombinuje sa drugim konceptima dostave, kako konvencionalnim, tako i savremenim poput autonomnih vozila, dronova i sl; T2. Informacioni sistem i sopstveni IT sektor – Poštanski operatori, usled prirode svog posla, uglavnom poseduju sopstveni informacioni sistem i IT sektor. Jedan od primera je Pošta Srbije, koja je implementirala visokosofisticirani, sveobuhvatni poštansko tehnološko-informacioni sistem (PostTIS). Razvijen je od strane sopstvenog IT sektora, što značajno olakšava aktivnosti poput daljeg razvoja i održavanja. Veliku prednost u konkretnom slučaju predstavlja i postojanje geografskog informacionog sistema - GIS Pošte Srbije. U skladu sa tim, implementacija i kasnije održavanje sistema mobilnih paketomata bilo bi jednostavnije; T3. Fleksibilnost – Mogućnost paketomata da bude pokretljiv na određenoj ruti predstavlja značajno unapređenje fleksibilnosti poštanskog sistema. Činjenica da se putem aplikacije može pratiti situacija u realnom vremenu i da se mogu koristiti dodatne funkcionalnosti, predstavlja dodatni doprinos u tom pogledu; T4. Bezbednost – Bezbednost pošiljaka jeste važan faktor kvaliteta usluge. Kada su u pitanju paketomati, jedan od najvećih rizika jeste njihovo orobljavanje. Međutim, kada govorimo o mobilnim paketomatima, dodatni rizik predstavlja i njihovo učešće u

saobraćaju; T5. Stalna potreba za rešavanjem optimizacionih zadataka – Kako bi funkcionisanje modela bilo efikasno i održivo u okviru dimenzija održivog razvoja, važno je raditi na njegovom unapređenju i optimizaciji. U konkretnom slučaju, jedan od važnih zadataka optimizacije jeste određivanje ruta kojima će se paketomat kretati, kao i lokacija na kojima će opsluživati korisnike.

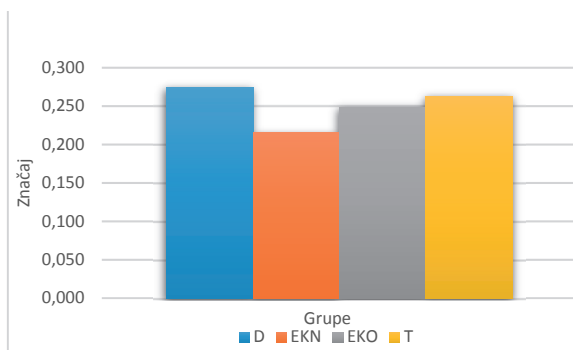
### 3.1.2 Određivanje relativnog značaja grupa

U ovoj fazi, svaki od eksperata je izvršio po 6 poređenja odnosa između grupa, što ukupno čini 60 poređenja. U tabeli 2 prikazani su obrađeni rezultati.

Tabela 2. Rezultati poređenja parova grupa

Grupe	D	EKN	EKO	T
D	1.000	1.128	0.939	1.389
EKN	0.887	1.000	0.740	0.885
EKO	1.065	1.351	1.000	0.671
T	0.720	1.129	1.490	1.000

Na osnovu prikupljenih mišljenja eksperata o odnosu između grupa, primenom AHP metode, određen je relativni značaj svake grupe (Tabela 7). Na slici 1, grafički je prikazan odnos značaja između grupa. Rezultati pokazuju da posebno treba obratiti pažnju na grupe društvenih i tehničkih faktora, ali i da grupa ekoloških ima približan značaj, dok grupa ekonomskih faktora ima manje izražen značaj. Prilikom poređenja, eksperti su zadovoljili princip konzistentnosti.



Slika 1. Odnos značaja grupa

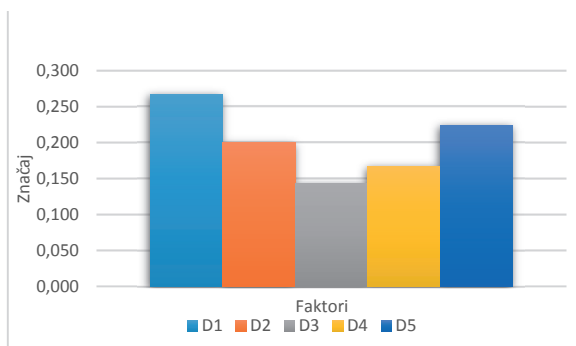
### 3.1.3 Određivanje relativnog značaja u grupi društvenih faktora - D

Grupa D sadrži 5 faktora. Eksperti su izvršili ukupno 100 poređenja, a obrađeni rezultati su prikazani u tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati poređenja parova faktora u grupi - D

Faktori	D1	D2	D3	D4	D5
D1	1.000	1.162	2.048	1.490	1.349
D2	0.860	1.000	1.282	1.374	0.719
D3	0.488	0.780	1.000	0.907	0.626
D4	0.671	0.728	1.103	1.000	0.836
D5	0.741	1.390	1.597	1.196	1.000

Primenom AHP pristupa, donosi se zaključak o relativnom značaju faktora (Tabela 7). Na slici 2, grafički je prikazan odnos značajnosti između uticajnih faktora u okviru grupe „D“. Rezultati pokazuju da su najznačajniji faktori D1 (Unapređenje dostupnosti usluge) i D5 (Jednostavan pristup i korišćenje servisa). Prilikom poređenja je zadovoljen princip konzistentnosti.



Slika 2. Odnos značaja faktora u grupi - D

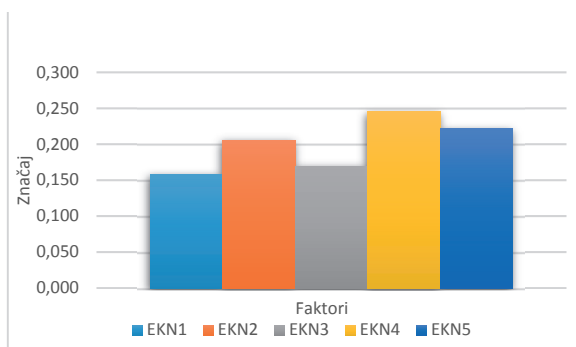
### 3.1.4 Određivanje relativnog značaja u grupi ekonomskih faktora - EKN

Grupa EKN, takođe sadrži 5 faktora, a dobijeni rezultati su prikazani u narednoj tabeli (Tabela 4).

Tabela 4. Rezultati poređenja parova faktora u grupi - EKN

Faktori	EKN1	EKN2	EKN3	EKN4	EKN5
EKN1	1.000	0.749	0.699	0.608	1.029
EKN2	1.335	1.000	1.597	0.860	0.664
EKN3	1.431	0.626	1.000	0.780	0.652
EKN4	1.644	1.162	1.282	1.000	1.297
EKN5	0.972	1.506	1.534	0.771	1.000

Primenom AHP pristupa, donosi se zaključak o relativnom značaju faktora (Tabela 7). Na slici 3, grafički je prikazan odnos značajnosti između uticajnih faktora u okviru grupe „EKN“. Rezultati pokazuju da su najznačajniji faktori EKN4 (Troškovi eksploatacije) i EKN5 (Uštede). Prilikom poređenja je zadovoljen princip konzistentnosti.



Slika 3. Odnos značaja faktora u grupi – EKN

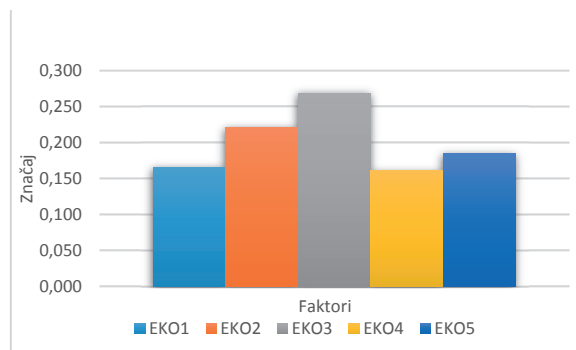
### 3.1.5 Određivanje relativnog značaja u grupi ekoloških faktora - EKO

Grupa EKO sadrži 5 faktora. Eksperti su izvršili ukupno 100 poređenja, a obrađeni rezultati su prikazani u tabeli 5.

Tabela 5. Rezultati poređenja parova faktora u grupi - EKO

Faktori	EKO1	EKO2	EKO3	EKO4	EKO5
<b>EKO1</b>	1.000	0.679	0.561	1.490	0.826
<b>EKO2</b>	1.473	1.000	0.644	1.374	1.578
<b>EKO3</b>	1.783	1.552	1.000	0.907	1.835
<b>EKO4</b>	0.671	0.728	1.103	1.000	0.561
<b>EKO5</b>	1.210	0.634	0.545	1.783	1.000

Primenom AHP pristupa, donosi se zaključak o relativnom značaju faktora (Tabela 7). Na slici 4, grafički je prikazan odnos značajnosti između uticajnih faktora u okviru grupe „EKO“. Rezultati pokazuju da su najznačajniji faktori EKO3 (Emisije štetnih gasova) i EKO2 (Adaptacija na vremenske uslove). Prilikom poređenja je zadovoljen princip konzistentnosti.



Slika 4. Odnos značaja faktora u grupi – EKO

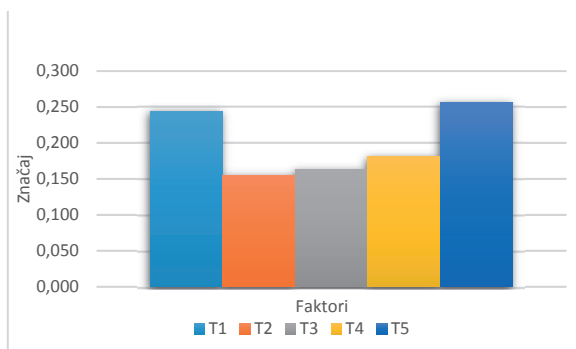
### 3.1.6 Određivanje relativnog značaja u grupi tehničkih faktora - T

Grupa T, takođe sadrži 5 faktora, a dobijeni rezultati su prikazani u narednoj tabeli (Tabela 6).

Tabela 6. Rezultati poređenja parova faktora u grupi - T

Faktori	T1	T2	T3	T4	T5
<b>T1</b>	1.000	1.162	2.048	1.490	0.826
<b>T2</b>	0.860	1.000	0.719	0.860	0.571
<b>T3</b>	0.488	1.390	1.000	0.907	0.626
<b>T4</b>	0.671	1.162	1.103	1.000	0.836
<b>T5</b>	1.210	1.750	1.597	1.196	1.000

Primenom AHP pristupa, donosi se zaključak o relativnom značaju faktora (Tabela 7). Na slici 5, grafički je prikazan odnos značajnosti između uticajnih faktora u okviru grupe „T“. Rezultati pokazuju da su najznačajniji faktori T5 (Stalna potreba za rešavanjem optimizacionih zadataka) i T1 (Mogućnost povezivanja sa drugim načinima dostave). Prilikom poređenja je zadovoljen princip konzistentnosti.



Slika 5. Odnos značaja faktora u grupi – T

### 3.1.7 Određivanje globalnog značaja faktora

Na osnovu rezultata prethodnih faza primene predloženog modela, dobijenih značajnosti grupa i faktora unutar tih grupa, moguće je izračunati značaj svakog faktora na globalnom nivou, odnosno na nivou čitave matrice. U tabeli 7, prikazani su rezultati globalnog značaja faktora. Na osnovu dobijenih rezultata, može se zaključiti da se posebno izdvaja pet faktora: D1 (Unapređenje dostupnosti usluge), EKO3 (Emisije štetnih gasova), T5 (Stalna potreba za rešavanjem optimizacionih zadataka), T1 (Mogućnost povezivanja sa drugim načinima dostave) i D5 (Jednostavan pristup i korišćenje servisa). Ovi faktori, u posmatranom trenutku, na osnovu mišljenja eksperata predstavljaju najznačajnije uticajne faktore koji se mogu dovesti u vezu sa implementacijom i korišćenjem mobilnih paketomata u okvirima unutrašnjeg poštanskog saobraćaja.

Tabela 7. Značaj faktora na nivou čitave matrice

Grupe	Faktori	Značaj faktora	Značaj grupa	Globalni značaj faktora
<b>D</b>	D1	0.267	0.274	<b>0,073</b>
	D2	0.200		<b>0,055</b>
	D3	0.143		<b>0,039</b>
	D4	0.166		<b>0,046</b>
	D5	0.224		<b>0,061</b>
<b>EKN</b>	EKN1	0.159	0.215	<b>0,034</b>
	EKN2	0.205		<b>0,044</b>
	EKN3	0.169		<b>0,036</b>
	EKN4	0.245		<b>0,053</b>
	EKN5	0.222		<b>0,048</b>
<b>EKO</b>	EKO1	0.165	0.248	<b>0,041</b>
	EKO2	0.221		<b>0,055</b>
	EKO3	0.269		<b>0,067</b>
	EKO4	0.161		<b>0,040</b>
	EKO5	0.184		<b>0,046</b>
<b>T</b>	T1	0.244	0.263	<b>0,064</b>
	T2	0.155		<b>0,041</b>
	T3	0.163		<b>0,043</b>
	T4	0.182		<b>0,048</b>
	T5	0.256		<b>0,067</b>

Okolnosti današnjice često sputavaju ljude da koriste poštanske usluge na mestu i u vreme koje im odgovara. Naime, potencijalni korisnik često zbog poslovnih ili privatnih obaveza nije u mogućnosti da koristi usluge kada su one dostupne. Primena klasičnih paketomata u ovom slučaju predstavlja dobro rešenje, jer unapređuju vremensku dostupnost, dok primena mobilnih paketomata dovodi do unaprednja i teritorijalne dostupnosti. Na ovaj način se sa aspekta kompanije unapređuje i efikasnost poslovanja. U uslovima velikog broja zahteva za poštanskim uslugama i istovremeno velikog opterećenja gradskih saobraćajnica, može se zaključiti da primena mobilnih paketomata sa kojima je moguće „komunicirati“ i koje je moguće pratiti kroz aplikaciju, predstavlja dobro rešenje. Primenom ovakvog sistema smanjuje se broj vožnji od strane korisnika, kako bi koristili uslugu, a samim tim i emisije štetnih gasova. Dodatno, korisnicima se pruža mogućnost da pristupe paketomatu i u nepopularnim terminima u toku 24h, odnosno kada nema gužve. Vožnja u takvim uslovima je znatno ekonomičnija, a samim tim je i manji negativni uticaj na životnu sredinu [6]. Kako bi efikasnost sistema mobilnih paketomata bila na visokom nivou, potrebno je u kontinuitetu rešavati niz optimizacionih zadataka. Neki od njih su definisanje rute kojom će se kretati paketomat, na kojim lokacijama će se zadržavati, u kojim periodima dana i sl. Jedan od dodatnih zadataka jeste i optimizacija prilikom povezivanja sa drugim vidovima dostave. Ovo je i značajna mogućnost sistema, pre svega iz razloga organizovanja efikasne dostave na široj posmatranoj teritoriji, na kojoj postoje ili je moguće implementirati i druge vidove dostave, poput tradicionalne, autonomnih vozila, dronova i sl. Sa aspekta korisnika, pored sigurnog i brzog prenosa pošiljaka, veoma je bitan i faktor kompleksnosti korišćenja usluge. Princip pristupa mobilnom paketomatu gotovo je isti u odnosu na klasičan. Jedna od bitnih razlika je eventualno korišćenje prateće aplikacije. Aplikacija bi pored osnovnih funkcionalnosti trebalo da pruži korisnicima vrednost više, odnosno neke dodatne mogućnosti u odnosu na konvencionalni pristup usluzi. Ovde se pre svega misli na mogućnost praćenja statusa paketomata, odnosno njegove trenutne lokacije, kao i plana kretanja u narednom periodu. Ove informacije korisniku pružaju mogućnost planiranja korišćenja usluga i organizaciju u vremenu.

#### **4. Zaključak**

Savremeno poslovanje i uslovi života uticali su na promenu i razvoj ustaljenih poštanskih usluga, kako bi zahtevi i potrebe krajnjih korisnika bili zadovoljeni. Na ovaj način kompanije teže da održe i unaprede kvalitet svojih usluga, a time i za sebe ostvare veći profit. Pod uticajem talasa e-trgovine u sistemima poštanskih kompanija pojavio se veliki broj pošiljaka, što uz specifične zahteve i ograničenja predstavlja veliki izazov za njih. Prateći tehnološki razvoj, poštanske kompanije su vremenom uspevale da prihvate i razvijaju različite modele poslovanja. Osnovni predmet ovog rada predstavlja analiza implementacije jednog savremenog tehnološkog rešenja – mobilnih paketomata u poštanski sistem. Sprovedena je studija slučaja na primeru unutrašnjeg poštanskog tržišta. U saradnji sa ekspertima formirana je matrica uticajnih faktora i izvršeno je ocenjivanje grupa i faktora. Rezultati analize ukazuju da su za implementaciju i korišćenje mobilnih paketomata, od 20 izdvojenih uticajnih faktora najvažniji oni koji se odnose na unapređenje dostupnosti, emisiju štetnih gasova, potrebu za rešavanjem optimizacionih zadataka, mogućnost povezivanja sa drugim načinima dostave i jednostavnost korišćenje servisa. Primena mobilnih paketomata uz korišćenje različitih funkcionalnosti prateće aplikacije, pruža mogućnost korisnicima da efikasno koriste poštanske usluge u periodima dana i na lokacijama koje im najviše odgovaraju.



## Literatura

- [1] J.P. Aurambout, K. Gkoumas, and B. Ciuffo, "Last mile delivery by drones: an estimation of viable market potential and access to citizens across European cities", *European Transport Research Review*, vol. 11, pp. 30, 2019.
- [2] M. Moshref-Javadi, S. Lee, and M. Winkenbach, "Design and evaluation of a multi-trip delivery model with truck and drones", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 136, pp. 101887, 2020.
- [3] M. Dobrodolac, D. Lazarević, L. Švadlenka, and M. Blagojević, "The impact of entropy on the efficiency of express courier systems", *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 13(3), pp. 147-154, 2015.
- [4] D. Lazarević, M. Dobrodolac, L. Švadlenka, and B. Stanivuković, "A model for business performance improvement: a case of the postal company", *Journal of Business Economics and Management*, vol. 21(2), pp.564-592, 2020.
- [5] V. Simić, D. Lazarević and M. Dobrodolac, "Picture fuzzy WASPAS method for selecting last-mile delivery mode: a case study of Belgrade", *European Transport Research Review*, vol. 13(1), pp. 1-22, 2021.
- [6] D. Lazarević, L. Švadlenka, V. Radojičić, and M. Dobrodolac, "New Express Delivery Service and Its Impact on CO2 Emissions", *Sustainability*, vol. 12, 456, 2020.
- [7] M. Dobrodolac and D. Lazarević, "Analiza stavova i potreba za uslugom prenosa ekspres pošiljaka sa unapređenom vremenskom dostupnošću", *Zbornik radova „XXXVII Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju–PosTel*, pp. 83-93, 2019.
- [8] Y. Deutsch and B. Golany, "A parcel locker network as a solution to the logistics last mile problem", *International Journal of Production Research*, vol. 56(1-2), pp.251-261, 2018.
- [9] A. Lagorio and R. Pinto, "The parcel locker location issues: An overview of factors affecting their location", In *Proceedings of the 8th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain: Interconnected Supply Chains in an Era of Innovation, ILS*, pp. 414-421, 2020.
- [10] M. Poppel and S. Spinler, "The impact of optimal parcel locker locations on costs and the environment", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2022.
- [11] Y. Wang, M. Bi, and Y. Chen, "A scheduling strategy of mobile parcel lockers for the last mile delivery problem", *Promet-Traffic&Transportation*, vol. 32(6), pp. 875-885, 2020.
- [12] T. L. Saaty, "A scaling method for priorities in hierarchical structures", *Journal of mathematical psychology*, vol. 15(3), pp. 234-281, 1977.
- [13] M. Dobrodolac, D. Lazarević, L. Švadlenka and M. Živanović, "A study on the competitive strategy of the universal postal service provider", *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 28(8), pp. 935-949, 2016.

**Abstract:** *The development of e-commerce caused an increase in the demand for postal services. Postal companies strive to respond to the emerging situation and satisfy the needs of users through the improvement of their operations. In addition, one of the basic parameter of the quality of the postal service - availability, is increasingly difficult to maintain at an appropriate level due to the circumstances arising from the modern life and business. Users find it increasingly difficult to manage to use postal services, because their business and private obligations largely coincide with the working hours of postal companies. One of the solutions that companies can offer the so-called "out-of-home delivery", i.e. delivery of shipments outside the recipient's home. In that case, it is attempted that this type of service is carried out as close as possible to the location of the recipient's residence, that is, the location of the business premises, if the recipient is a legal entity. In addition to delivery, the user can be enabled to hand over the shipment in this way. One of the most modern solutions in this area is the application of mobile parcel lockers, and the results of the analysis of their implementation are presented in this paper.*

**Keywords:** *shipment transfer, service availability, mobile parcel lockers*

**ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF MOBILE  
PARCEL LOCKERS IN THE POSTAL SYSTEM**  
Momčilo Dobrodolac, Dragan Lazarević, Dejan Marković

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.018>

## **ALTERNATIVNA DOSTAVA POŠILJAKA U FUNKCIJI ZADOVOLJSTVA KORISNIKA**

Mladenka Blagojević, Bojan Stanivuković  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet  
m.blagojevic@sf.bg.ac.rs, stanivukovic@yahoo.com

**Rezime:** *Internet kupovina, za razliku od tradicionalne, podrazumeva uručenje kupljene robe do krajnjeg kupca, proces koji je komplikovan i skup. Zahteva, pre svega kapacitet, kvalitet (odnosi se na kvalitet prvog pokušaja dostave) i izbor (gde, kako, kada, za koliko). Poslednja milja je kritična tačka u celokupnom lancu snabdevanja i realizacije e-trgovine, pa, stoga, predstavlja najveći izazov za operatora, posebno u svetlu stvorenih sve veći očekivanja od e-trgovine. S obzirom na veliki rast obima pošiljaka koje su posledica e-trgovine opcija alternativne dostave van kuće (OOH - Out of home) je opcija koja se „mora imati“ da bi prodavac mogao ispuniti svoje kapacitete i ponudio korisniku izbor. Cilj ovog rada je pojasniti šta se krije iza trenda dostave van kuće i proceniti kakav uticaj danas ovaj koncept dostave ima na zadovoljstvo korisnika.*

**Ključne reči:** *dostava, PUDO, paketomat, korisnici, zadovoljstvo*

### **1. Uvod**

CEP (*Courier Express Parcel*) industriju pokreće dinamičan rast e-trgovine koja je dodatno ojačana ograničenjima u maloprodaji izazvanim pandemijom Covid-19. Tokom 2021. godine evropsko CEP tržište je premašilo 10,6 milijardi paketa u segmentu B2C (*Business to customer*) i vrednost preko 80 milijardi evra [1]. Očekivanja za 2022. godinu su bila još optimističnija i ispunjena su.

Alternativna dostava ili tzv. dostava van kuće (OOH - *Out of home*), uključujući PUDO (*Pick-up and drop-off* (*drop-off* u kontekstu procesa povrata kupljene robe)) tačke i paketomate (APM - *Automated parcel machine*), igra sve važniju ulogu u procesu prenosa i uručenja pošiljaka [1]. Korisnici su sada sve više i više zahtevniji u pogledu dostave pošiljaka. Oni žele transparentnost, fleksibilnost i veći uticaj na logistiku dostave njihovih pošiljaka. Sve više korisnika u vidu kupaca vrednuje činjenicu da postoje razne opcije uručenja u postupku onlajn kupovine. Očekuju karakteristike kao što su dostava istog dana ili čak istog sata, precizno vreme dostave, alternativne opcije isporuke (paketomati/PUDO), preusmeravanje ili promena vremenskog okvira dostave, konsolidacija dostave. S obzirom na navedeno i činjenicu da trenutno imamo ogroman porast u CEP industriji (posebno porast obima B2C paketa), opcija alternativne dostave

van kuće je koncept koji se mora nuditi i postojati. Ono što se očekuje je da će globalno tržište dostave duž poslednje milje da poraste sa 108,1 milijardi USD u 2020. godini na više od 200 milijardi USD do 2027. godine<sup>1</sup>. Ovakav rast vodi se povećanim brojem onlajn transakcija koje se odnose na e-trgovinu.

## 2. Zadovoljstvo korisnika dostavom ekspres i kurirskih pošiljaka

Poštanske i paketske usluge, u sticanju konkurentske prednosti onih koji ih pružaju, moraju biti tako koncipirane da su u stanju da obezbede vrednost koju korisnici žele. Danas su poštanski operatori suočeni sa najnovijim tehnološkim izazovima i od njih se očekuje da će poslovati u maniru privatnih kompanija, razumeti profitabilne proizvode i imati održivu saradnju sa privatnim kompanijama. Prema [2] kompanija treba da radi na kvalitetnim uslugama sveobuhvatno, u smislu da kupljenu robu u obliku pošiljaka treba servirati u ruke kupcima, zaokružiti proces.

Zahtevi korisnika ne odnose se samo na pristupačne cene i kvalitetne usluge nego i na vrednosti ostvarene ispunjavanjem potreba putem usluga. Ovakvi zahtevi ukazuju na to da se konstantno moraju ulagati napor da se dobije konkurentska prednost. Konkurentska prednost kompanije se može ostvariti kroz zadovoljavajuću ponudu opcija u poređenju sa konkurentima. Opcije su osmišljene i razvijene zbog korisnika. Međutim, konkurentska prednost može se postići samo ako kompanija može da ponudi veću vrednost za istu cenu ili jednaku vrednost sa nižom cenom. Zadovoljstvo korisnika daje nekoliko prednosti za kompaniju čije usluge ili proizvode korisnik koristi, a neke od njih su međusobno poštovanje, kvalitetan odnos sa korisnicima, povećan profit. Takođe, prijatno prvo iskustvo dovodi do ponovljene kupovine, marketing od usta do usta je preporuka ostalim korisnicima.

Potrebe za dostavom pošiljaka se stalno povećavaju i ovaj segment opsluživanja zahteva kontinualan razvoj i inovativnost zarad postizanja što većeg zadovoljstva korisnika. Da bi se ispitalo zadovoljstvo korisnika poštanskim i ekspres/kurirskim uslugama potrebno je identifikovati karakteristike korisnika ovih usluga, potrošačku vrednost koja utiče na zadovoljstvo korisnika ovim uslugama, identifikovati potrošačku vrednost koja utiče na lojalnost korisnika, identifikovati zadovoljstvo korisnika koje utiče na lojalnost korisnika [3].

Uprkos sve većoj potražnji za izvrsnošću u uručanju pošiljaka, industrija koja se bavi ovom delatnošću ipak ne uspeva da u celini ispuni očekivanja. Izazivanje i održavanje zadovoljstva korisnika je trenutno i dalje prioritet za tržište paketskih usluga. Uprkos izazovnim vremenima, tržište je veoma aktivno i prepoznato je kao jedna od osnovnih usluga koja je potrebna današnjim generacijama.

Tržište paketa je poraslo tokom pandemije, u skladu sa evoluirajućim očekivanjima korisnika. Od poštanske industrije se zahtevalo da se prilagodi velikim količinama paketa, pitanjima vraćanja robe i promenljivim nivoima usluga kako bi zaštitila radno osoblje i korisnike. To je dovelo do više problema sa uručenjem, pre svega dostavom, kako se broj dostava paketa povećavao. Prema podacima iz 2020. godine polovina populacije u Velikoj Britaniji (51%) se više oslanjala na dostavu paketa nego pre izbijanja korona virusa. Njihovo istraživanje je takođe pokazalo da kako raste potražnja, tako raste i problem dostave. U aprilu, neposredno nakon početka zatvaranja, 28% populacije imalo

---

<sup>1</sup> <https://www.statista.com/statistics/1286612/last-mile-delivery-market-size-worldwide>

je problem sa dostavom paketa (kao što je zakasnela dostava ili netačne informacije tokom praćenja statusa). U maju, kako su stanovnici počeli da primaju više paketa, ovaj procenat je porastao na 33%.

Na tržištu CEP usluga definisano je 5 ključnih oblasti za zadovoljstvo korisnika i to su [4]:

1. Pružanje usluga koje korisnici žele: došlo je do značajnog porasta broja vrsta usluga koje koriste pošiljaoci kao korisnici CEP usluga. Upotreba ovih različitih vrsta usluga je porasla za 34% ukupno među pošiljaocima. Prema podacima sa CEP tržišta Velike Britanije<sup>2</sup> dostava sledećeg dana sa nepreciznim terminom same dostave je najčešće pružena usluga (preko 70% svih poslatih paketa), ali postoji pomak ka kategorijama „dostava u roku 2 -3 dana“ i „premijum“ usluzi istog dana. Kao pokazatelj toga navodi se da je, u poređenju sa prošlom godinom, dostava sledećeg dana opala za 13% (od ukupnog broja poslatih paketa), dok je obim usluga dostave za 2-3 dana veći za 6%, a obim istog dana za 2%.

2. Standardi usluge dostave: loša usluga ili iskustvo sa logistikom će ostaviti dugotrajan negativan utisak kod korisnika uzrokujući štetnu reputaciju. Korisnici očekuju udobnost i ne žele da se bave problemima dostave ili isporuke. Sjajno iskustvo dolazi od odlične usluge koja se javlja kada proces uručjenja ispunjava ili premašuje očekivanja korisnika. Ono što se često dešava je da kompanije koje se bave prenosom i uručjenjem pošiljaka zanemare višestruki uticaj koji loša usluga može imati na njihovu tržišnu reputaciju.

3. Poboljšanje nivoa poverenja korisnika: korisnici često osećaju nedostatak poverenja u operatora u pogledu toga da li će dobiti svoj paket koji sadrži, na primer, poručenu robu na vreme ili će dostava kasniti, paket biti izgubljen i sl. Sticanje i održavanje poverenja korisnika je važan faktor u izgradnji čvrstih odnosa i očuvanju lojalnosti. Ovo je povezano sa postojanjem adekvatne operativne strategije i procesa koje kompanija mora da pruži kako bi održala visok standard usluge i ispunila rastuće zahteve.

4. Omogućavanje fleksibilnosti: došlo je do naglog porasta broja različitih vrsta usluga u želji da se zadovolje potrebe korisnika. Operatori moraju da budu veoma prilagodljivi da bi ispunili ove zahteve, a da pritom korisnicima pružaju fantastično iskustvo. Usluga koja postaje sve popularnija je alternativna dostava u vidu PUDO tačaka i paketomata. To što kupci mogu da preuzmu paket onda kada im odgovara je sve veća preferencija koju korisnici ispoljavaju. Dajući korisnicima kontrolu nad uručjenjem, ostavljajući određenu vremensku marginu korisniku da vrati svoj paket prodavcu ili pošiljaocu, može se poboljšati korisničko iskustvo po najnižoj ceni.

5. Poboljšanje transparentnosti: zakasnele dostave su najomraženija situacija kod korisnika i mnoge kurirske kompanije se bore sa tim. Potrebno je uspostaviti sistem koji će obavestavati korisnika da će kurir ili zakasniti sa dostavom ili uopšte neće dostaviti pošiljku onda kada je planirano. Demonstriranje efikasne i efektivne komunikacije ključno je za održavanje zadovoljstva korisnika.

Zadovoljstvo korisnika je ključno na tržištu i sve veća potražnja za izvrsnošću u dostavi ili isporuci nameće sve veći pritisak na poštanske i kurirske službe, pri čemu ukupni nivoi usluga često ne ispunjavaju očekivanja. Međutim, sa odgovarajućim i efikasnim okvirima, zadovoljstvo kupaca može se poboljšati i održavati.

---

<sup>2</sup> <https://www.triangle.eu.com/report/uk-parcels-distribution-survey-2021/>

### 3. Koncept alternativne dostave

Kupovina putem Interneta navikla je kupce na pogodnost. Oni mogu tražiti proizvode i naručiti ih bilo kada i bilo gde. Imaju slična očekivanja u odnosu na način na koji im se dostavljaju paketi. Ne žele samo da brzo primaju svoje narudžbine i da dobiju besplatno slanje ili po niskim cenama, već i da preuzmu pošiljku/paket na mestu i u vremenu koje njima odgovara. Odgovor na ovaj izazov je upravo koncept dostave van kuće (OOH) kao model alternativne dostave. Ovaj model je isplativ i ekološki prihvatljiv. OOH omogućava konsolidaciju pošiljaka u delu poslednje milje što povećava efikasnost dostave i smanjuje emisiju štetnih gasova. Resursi (automobili, kuriri) i procesi (odlaganjem više paketa na istoj lokaciji se smanjuje broj potrebnih zaustavljanja i eliminišu neuspešni pokušaji dostave) se ograničavaju ovim konceptom. Štaviše, i troškovi dostave i prosečno vreme dostave se značajno smanjuju. Razvoj PUDO tačaka i paketomata je nesumnjivo jedan od najvažnih trendova u CEP industriji. Njihova popularnost raste sa porastom e-trgovine. Sve više i više OOH tačaka se pojavljuje, zamenjujući uslugu od vrata do vrata (D2D – *Door to door*) koja, u tom slučaju, polako postaje luksuzna (premium) usluga.

Alternativna dostava van kuće, korišćenjem PUDO tačaka i paketomata, je trenutno najbolje rešenje problema kapaciteta dostave duž poslednje milje. Ovakav koncept uručenja pošiljaka pomaže u održavanju obima B2C i C2C (*Customer to customer*) paketa i održavanju potražnje od strane prodavaca i kupaca kao primaoca za što više korisnički orijentisanom i fleksibilnom uslugom dostave. Dostava van kuće može i do 5 puta poboljšati efikasnost dostavne rute, daje visok kvalitet i izbor korisnicima, što je veoma važno.

Dostava van kuće se obično manifestuje u dva oblika: paketomati i PUDO. PUDO je mesto gde se pošiljka može preuzeti ili čak predati na prenos (ako se radi o povratu robe), a da to nije poslovnica zvaničnog poštanskog operatora. Može biti prodavnica, *parcel shop* (usluga koja omogućava prijem i isporuku pošiljaka fizičkih i pravnih ugovornih lica u određenim maloprodajnim objektima sa kojima je operator zaključio ugovor o poslovnoj saradnji) ili depo. Uopšteno govoreći, PUDO tačke su ili šalteri sa osobljem otvoreni u postojećim prodajnim objektima ili ormarići bez osoblja koji se mogu nalaziti bilo gde. Prednost upotrebe PUDO tačaka je u tome što se ne mora čekati na dostavu, već se paket ostavlja i o tome se obaveštava primalac paketa.

Dostava van kuće uključuje korisnika u proces opsluživanja duž poslednje milje. U tom pogledu korisnici izvršavaju neke od poslova koje bi kurir inače uradio, odnosno korisnici odlaze do tačke gde se alternativna dostava izvršava i sami preuzimaju svoje pošiljke.

Koncept alternativne dostave van kuće pružaju različiti igrači [1]:

- nacionalni poštanski operatori: istorijski najveća infrastruktura za dostavu pošiljaka, obično sa kombinacijom tradicionalnih jedinica poštanske mreže, treće strane/PUDO tačaka i, sve više zastupljenijih, paketomata
- CEP kompanije: kao što su DPDgroup, DHL, InPost/Mondial Relai, UPS, Evri/Hermes, GLS ili FedEx i ostale lokalne kompanije koje imaju sopstvene resurse za prijem i uručenje pošiljaka
- e-trgovina: Amazon i AliExpress, kao i lokalni e-prodavci u ulozi provajdera dostave van kuće
- vlasnici maloprodajnih objekata: na primer 7- Eleven, Orlen, Lidl, PayPoint
- IT platforme/konsolidatori.

Prednosti dostave van kuće su:

- dostava van kuće korisnicima sve više nudi korisnički orijentisanu i fleksibilnu uslugu dostave duž poslednje milje,
- uspešnost prvobitnog pokušaja dostave od skoro 100%,
- neposredno do korisnika, mogućnost preuzimanja paketa „na putu“, npr. odlazak u kupovinu ili povratak sa posla,
- pogodnost 24/7 u slučaju paketomata ili produženo radno vreme PUDO tačaka,
- beskontaktnost, u slučaju paketomata,
- jeftin i jednostavan povrat robe,
- više fleksibilnosti, dug period čuvanja pošiljke (uglavnom oko 5 dana u slučaju PUDO tačaka),
- operativna i finansijska efikasnost,
- ekološka superiornost tamo gde je PUDO objekat ili je paketomat u neposrednoj blizini kuća,
- brza i relativno jeftina sredstva za povećanje kapaciteta.

### 3.1 Preferencije grupa korisnika

Alternativna dostava van kuće daje prednosti svim ključnim korisničkim grupama. Za korisnika koji je primalac ključ je imati opciju izbora načina uručjenja pošiljke. Opcija izbora odnosi se i na različite postojeće operatore, ali i na razne vrste usluga koji najbolje odgovaraju korisnikovim trenutnim potrebama za kupovinom.

Za prodavca ključ je imati takav izbor modela uručjenja koji će povećati indikator obavljenih porudžbina (kupovina) i obezbediti dobre rezultate uspešnosti pokušaja dostave prvi put, kao i dobro celokupno iskustvo korisnika [5].

Za igrača na tržištu, bilo da su poštanski operatori, CEP kompanije ili prevoznici, ključ je sposobnost da ponude kapacitet i dobar korisnički servis efikasno i efektivno, nešto za šta je dostava van kuće ključna [5].

#### 3.1.1. Aspekt korisnika

D2D je teoretski najpogodniji (ako je primalac kod kuće), ali paketomati stvaraju najbolje ukupno korisničko iskustvo (Slika 1).

PAKETOMATI	PUDO	D2D DOSTAVA
<b>Pogodnost:</b> - Pogodnost i fleksibilnost pristupa (24/7) - Nalazi se „na putu“, sa lakim pristupom i parkingom - Fizička blizina	<b>Pogodnost:</b> - „Na putu mi je“, u prodavnici blizu mene ili benzinskoj pumpi - Fizička blizina – jeste u blizini, ali ne generalno 24/7 kao što su paketomati	<b>Pogodnost:</b> - Udobnost lokacije (neograničena geografska pokrivenost) - Udobnost dostave (pošiljka dolazi do mog praga sve dok sam kod kuće)
<b>Fokusiranost na korisnika:</b> - Korisnik ima izbor - Lakoća korišćenja (jednim klikom do otvaranja ormarića) - Brzo i jednostavno – udaljeni pristup eliminiše redove	<b>Fokusiranost na korisnika:</b> - Korisnik ima izbor - Produženo vreme za preuzimanje u odnosu na APM (paketomate), obično nekoliko dana više - Lakše za starije, informatički nepismene korisnike koji više vole ljudski momenat u procesu uručjenja	<b>Fokusiranost na korisnika:</b> - Lakoća dostave (ne moram da napustim svoj dom)
<b>Efikasnost:</b> - Niska, atraktivna cena brze dostave (obično sledećeg dana) - Nema više propuštene dostave, visoka uspešnost prvog pokušaja dostave	<b>Efikasnost:</b> - Niska, atraktivna cena dostave za rok od 2-3 dana - Nema više propuštene dostave, visoka uspešnost prvog pokušaja dostave	<b>Efikasnost:</b> - Operativno najmanje efikasna - Brza dostava, obično sledećeg dana - Dostava do kućnog praga, ali po višoj ceni

Slika 1. Poređenje modela dostave sa aspekta korisnika

### 3.1.2. Aspekt prodavca

Kapacitet, visoka uspešnost dostave prvi put i dobro korisničko iskustvo čine koncept dostave van kuće jako važnim kanalom uručenja pošiljaka (Slika 2).

PAKETOMATI	PUDO	D2D DOSTAVA
<b>Dostava:</b> - Sigurno mesto za pakete smanjuje nivo oštećenja - Velika stopa uspešnosti dostave prvi put - Dobro korisničko iskustvo	<b>Dostava:</b> - Sigurno mesto za pakete, srednji nivo oštećenja - Velika stopa uspešnosti dostave prvi put - Generalno dobro korisničko iskustvo	<b>Dostava:</b> - Najveći stepen oštećenja pošiljaka - Relativno velika stopa neuspešnosti dostave prvi put - Ako prvi pokušaj dostave ne bude uspešan velike su šanse za neuspeh kompletne usluge
<b>Korisničko iskustvo:</b> - Jednostavan povrat robe po niskoj ceni ili bez naplate	<b>Korisničko iskustvo:</b> - Povrat robe generalno lak i dostupan - Manje standardizovano iskustvo nego sa paketomatom (prisustvo ljudskog faktora)	<b>Korisničko iskustvo:</b> - Malo provajdera može postići dobro korisničko iskustvo - Povrat robe je skup i zahtevniji
<b>Upravljanje kapacitetom:</b> - Fleksibilni za iznenadnu promenu obima pošiljaka dok kapacitet nije popunjen	<b>Upravljanje kapacitetom:</b> - Fleksibilni za iznenadnu promenu obima pošiljaka, do određene tačke	<b>Upravljanje kapacitetom:</b> - Srednja osetljivost na nagle promene obima pošiljaka

Slika 2. Poređenje modela dostave sa aspekta prodavca

### 3.1.3. Aspekt operatora/prevoznika

Dostava na kućnu adresu je tradicionalna, nasleđena opcija, ali troškovi rada i goriva sve više favorizuju dostavu van kuće (Slika 3).

MREŽA PAKETOMATA	PUDO MREŽA	D2D DOSTAVA
<b>Lokacija:</b> - U urbanim područjima na idealnoj lokaciji „blizu kuća“ - Pristup paketomatima je uglavnom 24/7 - Potrebna je dobra i gusta mreža (može biti podržan od PUDO-a)	<b>Lokacija:</b> - U urbanim područjima ili centrima ruralnih nalazi se na intenzivnim saobraćajnim tačkama - Pristup zatvorenom prostoru sa ograničenim radnim vremenom ili radnim danima	<b>Lokacija:</b> - Uglavnom stambeni blokovi sa ponekim poslovnim - Neograničena geografska pokrivenost
<b>Usluga dostave:</b> - Najveći broj paketa po zaustavljanju - Automatizovani proces - Uspeh uručenja pri prvom pokušaju	<b>Usluga dostave:</b> - Bolje od D2D dostave za nekoliko paketa po zaustavljanju - Ručni proces dostave - Uspeh dostave pri prvom pokušaju	<b>Usluga dostave:</b> - Najskuplje i najmanje efikasno za operatora/prevoznike (1 paket po zaustavljanju) - Relativno niska uspešnost dostave pri prvom pokušaju
<b>Korisničko iskustvo:</b> - Nema direktnog kontakta sa korisnicima - Velika mogućnost upravljanja vremenom uručenja i generalno najbolje korisničko iskustvo	<b>Korisničko iskustvo:</b> - Nema direktnog kontakta sa korisnikom (osim ako poseduje PUDO) - Velika mogućnost upravljanja vremenom uručenja i generalno dobro korisničko iskustvo	<b>Korisničko iskustvo:</b> - Potpuni lični kontakt sa svakim korisnikom, ali to zavisi od ponašanja kurira - Umerena mogućnost upravljanja vremenom dostave i raznolika korisnička iskustva

Slika 3. Poređenje modela dostave sa aspekta operatora

## 3.2. Analiza po zemljama

U današnje vreme e-prodavci, u proseku, sve manje koriste standardne načine dostave pošiljaka koje su posledica e-trgovine, najverovatnije kao rezultat ograničenja mobilnosti zbog pandemije. Kada se rangiraju načini uručenja, sa aspekta izbora korisnika, primećuje se da se paketomati i *parcel shop*-ovi visoko rangiraju. Preferencije korisnika po pitanju same dostave ostaju prilično iste kao što su bile i par godina unazad. Korisnicima je uvek bilo bitno i biće i dalje da imaju informacije o realnom vremenu dostave, da imaju

više opcija dostave (izbor dana dostave, najava dolaska dostavljača jedan sat unapred i slično).

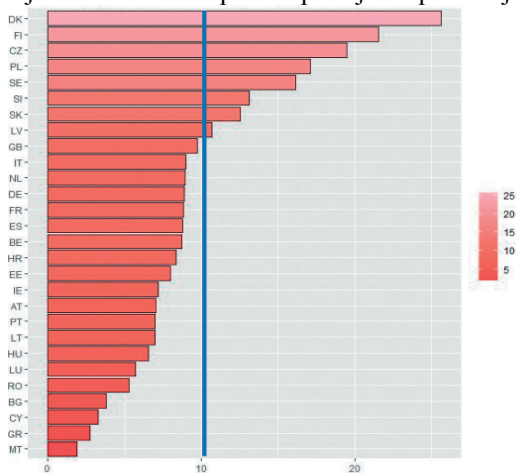
Evropske zemlje gde je upotreba paketomata porasla i visoko se rangira od strane korisnika su: Estonija, gde redovno e-kupci rutinski koriste paketomate u 87% slučajeva, zatim Letonija (75%), Litvanija (70%), Poljska (62%), Mađarska (24%) i Rumunija (21%). Međutim, u Kini 39% kineskih e-kupaca više preferira dostavu putem paketomata, a 38% putem *parcel shop*-ova.

U 2021. godini Danska, Finska i Češka bile na vrhu evropskog ranga opcija dostave van kuće na 10.000 stanovnika. U ovim zemljama mnoge tačke dostave van kuće (OOH) podeljene su između igrača na polju e-trgovine, a koji su masovno usvojili dostavu van kuće kao opciju dostave, zauzvrat omogućivši korisnicima primanje paketa od različitih brendova i prodavaca na konsolidovaniji način.

Danska i Finska su bile jedine zemlje sa preko 20 OOH tačaka na 10.000 stanovnika. Zatim slede Češka, Poljska i Švedska koje su premašile 15 OOH tačaka na 10.000 stanovnika. Prate ih Slovenija i Slovačka. Letonija i Velika Britanija su poslednje dve zemlje koje čine evropsku vodeću grupu sa 10 OOH tačaka na 10.000 stanovnika (Slika 4).

Lideri u usvajanju OOH dostave razvijali su svoje OOH mreže brže od najboljih pratilaca, grupe zemalja koju čine Italija, Holandija, Nemačka, Francuska, Španija, Belgija, Hrvatska i Estonija. Druga grupa sledbenika sastoji se od država poput Irske, Austrije, Portugalije i Litvanije, a koje su postigle značajne rezultate u pogledu visokog nivoa gustine tačaka OOH mreže. Mađarska, Luksemburg i Rumunija su počele da se pridružuju sledbenicima. Bugarska, Kipar, Grčka i Malta kao zaostaju u odnosu na druge evropske zemlje u OOH dostavi.

Tokom 2021. godine skoro sve zemlje sledbenici su dobile na ubrzanju prodora praga od 10 OOH tačaka na 10.000 stanovnika. Smatra se da je to dovoljan broj tačaka za dalje ubrzanje prihvatanja ovog modela dostave od strane korisnika, odnosno da se stvori takozvani „mrežni efekat OOH dostave“. Kada se jednom dostigne 10 OOH tačaka na 10.000 stanovnika, usvajanje OOH modela isporuke postaje eksponencijalno.



Slika 4. Ukupan broj OOH tačaka na 10.000 stanovnika [1]



Osim četiri zemlje koje zaostaju u smislu gustine OOH mreže, ostale zemlje Evropske unije i Velika Britanija stalno su širile korišćenje OOH alternativa u 2021. godini. Gustina tačaka OOH dostavne mreže povećana je za preko 50% u sedam zemalja između 2020. i 2021. godine. Treba napomenuti da se mnoge OOH tačke dele između najmanje dve različite dostavne mreže ili platforme za e-trgovinu. Ovo je rezultiralo značajnim poboljšanjem pogodnosti za onlajn kupce i efikasnom dostavnom mrežom tipa „ekonomije deljenja“.

### **3.2.1. Gustina PUDO mreža**

Danska, Češka i Finska bile su na vrhu rangiranja po broju PUDO lokacija na 10.000 stanovnika u Evropi u 2021. godini. Još tri zemlje takođe dostižu kritični prag od 10 PUDO lokacija na 10.000 stanovnika, a to su Poljska, Švedska i Slovačka. Slično kao i kod paketomata, posle dostizanja praga od 10 tačaka na 10.000 stanovnika, usvajanje PUDO mreža od strane platformi za e-trgovinu i onlajn kupaca može eksponencijalno rasti. Gušće PUDO mreže su poziv platformama za e-trgovinu da dodaju PUDO opcije dostave i dalje povećavaju atraktivnost OOH rešenja za dostavu u smislu pogodnosti za korisnika.

Još jedna grupa zemalja je blizu praga od 10 PUDO lokacija na 10.000 stanovnika u naredne dve godine, a to su Slovenija, Italija, Francuska, Holandija, Velika Britanija, Mađarska, Belgija, Danska i Španija. To znači da će većina evropskih zemalja verovatno imati koristi od gustih PUDO mreža u veoma bliskoj budućnosti. Dakle, očekuje se da će PUDO kao opcija OOH dostave da doprinese još boljem sveukupnom usvajanju OOH dostavnih mreža u Evropi u narednim godinama.

### **3.2.2. Gustina mreža paketomata**

Od dvadeset sedam zemlje Evropske unije, plus Velika Britanija, u 2021. godini dvadeset zemalja je ostalo na veoma niskom nivou penetracije paketomata, posmatrajući broj lokacija paketomata na 10.000 stanovnika. Ovakvi pokazatelji znatno smanjuju verovatnoću širokog usvajanja paketomata u većini evropskih zemalja kao glavnog načina za alternativnu dostavu van kuće u narednim godinama.

Neki interesantni izgledi u pogledu budućih masovnih usvajanja paketomata u Evropi se otkrivaju u sedam zemalja: u Danskoj, Finskoj i Estoniji, a koje prednjače u evropskom rangiranju gustine mreže paketomata. Zatim slede Letonija, Švedska, Poljska i Litvanija. Ubrzanje usvajanja paketomata očekuje se u ovim zemljama čim se dostigne kritični prag od 10 paketomata na 10.000 stanovnika. Uprkos trenutno relativno niskoj gustini mreže paketomata u Evropi, skoro u celoj EU zemlje su pokušale da razviju i održe ovaj vid usluživanja korisnika na nekoj minimalnoj održivoj skali penetracije. Saradnja između raznih mreža paketomata i zajednički, deljeni pristup istima između operatora/prevoznika i platformi za e-trgovinu bi mogli osigurati da se pravi nivo gustine mreže dostigne što pre, kao i da se uspostavi eksponencijalni trend rasta usvajanja paketomata od strane korisnika.

### **3.2.3. Podaci o OOH mrežama, po zemljama**

Predstavljeni podaci odražavaju broj dostupnih OOH tačaka svih operatora na području Evropske unije. U mnogim slučajevima jednom PUDO lokacijom/tačkom ili

paketomatom može se služiti više operatora/prevoznika (Tabela 1). Dakle, tabela predstavlja OOH mreže sa dupliranim brojevima, zato što korisnici mogu primiti različite pakete putem raznih operatora/prevoznika na istoj lokaciji. Ovo je važno sa stanovišta održivosti.

Ključne PUDO mreže su:

- Nemačka 63.330 lokacija
- Francuska 56.620
- Velika Britanija 56.130
- Italija 52.980
- Poljska 45.280

Ključna tržišta paketomata (APM) su:

- Poljska 19.580
- Nemačka 10.720
- Velika Britanija 10.070
- Španija 6.920
- Švedska 5.510.

*Tabela 1. OOH mreže zemalja EU*

Država	Broj PUDO	Broj APM	Broj operatora
Austrija	4.790	1.460	11
Belgija	9.070	1.040	11
Bugarska	4.260	120	8
Hrvatska	3.230	180	6
Kipar	280	10	6
Česka	18.420	2.410	13
Danska	11.050	3.890	11
Estonija	270	790	44
Finska	8.380	3.540	9
Francuska	56.620	2.740	13
Nemačka	63.330	10.720	10
Velika Britanija	56.130	10.070	18
Grčka	2.860	70	9
Mađarska	5.390	1.050	10
Irska	3.330	240	7
Italija	52.990	1.090	17
Letonija	1.010	1.030	5
Litvanija	580	1.370	5
Luksemburg	220	140	5
Malta	80	20	1
Holandija	14.530	1.040	13
Poljska	45.280	19.580	17
Portugalija	6.930	270	10
Rumunija	7.690	2.500	9
Slovačka	5.660	1.190	8
Slovenija	1.980	770	4
Španija	34.690	6.920	17
Švedska	11.180	5.510	10

#### 4. Zaključak

Pandemija Covid-19 je ubrzala usvajanje onlajn kupovine u 21. veku. To je zauzvrat uticalo na obim B2C paketa, a poštanske i logističke kompanije su ubrzale usvajanje novih alternativnih metoda uručenja pošiljaka. Platforme za e-trgovinu i trgovci na malo su takođe implementirali i usvojili širi spektar opcija isporuke i dostave.

Dostava B2C paketa u evropskim zemljama se oblikuje prema dva pravca koja se razvijaju istovremeno: usvajanje same elektronske trgovine, na jednoj strani, i usvajanje sledeće generacije metoda uručenja elektronski kupljene robe, s druge strane. Zahvaljujući odličnoj stopi usvajanja e-trgovine i nove infrastrukture za uručenje (za dostavu i isporuku)

pošiljaka, neke zemlje su maksimizirale obim B2C paketa i razvoj alternativne dostave van kuće (OOH) dostave. Druge zemlje još uvek traže kako da na najbolji način iskoriste prednosti OOH dostave za postizanje većeg rasta obima B2C paketa ili da visoku penetraciju onlajn kupovine učine održivijom zahvaljujući OOH mrežama za dostavu.

Razlozi za uspeh koncepta alternativne dostave van kuće su:

- veći izbor za korisnika;
- visoka stope uspešnosti dostave prvi put;
- kuririma je olakšano lociranje i pristup tačkama dostave;
- veoma efikasan način uručjenja, što povećava kapacitet dostave poslednje milje do 4 puta;
- značajna troškovna korist u odnosu na dostavu od vrata do vrata (D2D);
- znatno manje zagušenja;
- otprilike 2/3 manje emisije ugljenika u urbanim sredinama, a još manja emisija u ruralnim.

## Literatura

- [1] Last Mile Experts, Out of home delivery in Europe, 2022.
- [2] N. Khairunnisa, J. Munandar, M. Najib, "Customer Satisfaction and Loyalty on Customer Delivered Value of Postal and Shipping Service", *International Journal of Research and Review*, vol. 5, Issue 11, pp. 15-27, 2018.
- [3] HypaShip (2022). [Online]. Available at: <https://www.hypaship.com/the-importance-of-customer-satisfaction-in-the-post-and-parcel-market/>
- [4] M. Mujahid, N. Nasyirah, A. Nurfaisyah, "Customer Satisfaction Analysis Using Package and Document Delivery Services Pt. Indonesian Post (Case Study of Makassar Central Post Office)", *International Journal of Health, Economics, and Social Sciences*, vol. 3, Issue 4, pp. 294-303, 2021. DOI: 10.56338/ijhess.v3i4.1904

**Abstract:** *Online shopping, as opposed to traditional trade, involves delivery to the final customer, a process that is complicated and costly. It requires, above all, capacity, quality (refers to the quality of the first-time delivery) and choice (where, how, when, for how much). The last mile is a critical point in the entire supply chain and as it represents the biggest challenge for operators, especially in light of the ever growing expectations created by e-commerce. Given massive volume growth resulting from e-commerce, alternative out-of-home (OOH) delivery is a „must have“ option for a retailer to fulfill capacity and offer the customer choice. The aim of this paper is to clarify what is hidden behind the trend of out-of-home delivery and to assess what impact this delivery concept has on user satisfaction today.*

**Keywords:** *delivery, PUDO, automated parcel machine, customer, satisfaction*

## ALTERNATIVE DELIVERY AS A FUNCTION OF USER SATISFACTION

Mladenka Blagojević, Bojan Stanivuković

## ZNAČAJ PRUŽANJA USLUGA ZA ODRŽIVOST RURALNIH OBLASTI

Jelena Milutinović

<sup>1</sup>ATUSS – Odsek Visoka ICT škola, jelena.milutinovic@ict.edu.rs

**Rezime:** *Trend depopulacije ruralnih područja utiče na smanjenje broja lokalnih objekata kao što su škole, pošte i prodavnice. Često postoji bojazan da će zatvaranje lokalnog objekta negativno uticati na dostupnost određene usluge i pogodnosti života na selu. Koncept poštanske usluge menjao se paralelno sa razvojem i napretkom ljudskog društva. Ovaj pojam danas prevazilazi svoju primarnu ulogu povezivanja na svim nivoima društva i postaje usluga kroz koju se ostvaruju širi društveni ciljevi. Zbog svoje važnosti koja se ogleda u specifičnoj socijalnoj vrednosti kako za fizička, tako i za pravna lica i društvenoj ulozi u ostvarenju Globalnih ciljeva, pozitivnog uticaja na životnu sredinu, tradicionalnu saradnju sa drugim državnim organima, jačanja patriotizma, sigurnosti i bezbednosti, postoji potreba da se ovaj humani koncept zaštititi, razvija, diverzifikuje i održi naročito u nerazvijenim i devastiranim oblastima i posebno za najosetljivije grupe stanovništva.*

**Ključne reči:** *poštanske usluge, socijalne usluge, ruralne oblasti, održivost*

### 1. Uvod

Poštanski sistemi širom sveta imaju dobro razvijenu infrastrukturu i tradicionalne veze sa lokalnim zajednicama. Ovi sistemi su u neprekidnoj interakciji sa okruženjem i različitim faktorima koji se mogu svrstati u političke, ekonomske, socio-demografske, tehnološke, kao i promene u životnoj sredini, odnosno radnom okruženju. Kroz strategijsku analizu okruženja, odnosno analizu spoljnih uticaja, trendova i promena na tržištu mogu se utvrditi određene zakonitosti koje uzimaju u obzir specifičnosti lokalnih zajednica i značaj poštanskih usluga za njihovo održanje.

Cilj ovog rada jeste da se utvrde specifičnosti pružanja usluga u ruralnim oblastima, da se definišu problemi i izazovi i ponudi odgovor poštanskog sektora kroz dalju diversifikaciju, inovacije, investicije i partnerstvo pružanjem nove grupe usluga – socijalnih usluga. Stvarajući posebnu reputaciju kroz istorijski razvoj i svakodnevne interakcije sa korisnicima, poštanski sektor uspostavlja jedinstven položaj poverenja u mnogim zajednicama. Poštanski sektor se transformiše kroz razvoj novih poslovnih modela gradeći strateška partnerstva sa vladama, nevladinim organizacijama i multilateralnim agencijama koje traže načine da postignu definisane ciljeve društvenog razvoja. Podrška društvenom razvoju daje i mogućnost povećanja profitabilnosti i zadovoljstva korisnika.

Rad je podeljen u nekoliko celina. Posle uvodnih razmatranja predstavljene su neke od specifičnosti ruralnih područja Evrope i Srbije. Zatim su predstavljene karakteristike uslužnog sektora u ovim oblastima sa posebnim akcentom na poštanski sektor. Dalje je definisan pojam posebne vrednosti – socijalne vrednosti poštanskih usluga

i predstavljen je concept socijalnih poštanskih usluga. Na kraju su data zaključna razmatranja.

## 2. Karakteristike ruralnih oblasti

Ruralna područja predstavljaju mesto života i rada ruralnog stanovništva, ali, s druge strane, ona danas preuzimaju čitav niz novih funkcija prema globalnom društvu [1]. U prošlosti ruralni razvoj bio je fokusiran na poboljšanje poljoprivrednih performansi, povećanje konkurentnosti, konsolidovanje zemljišta i poboljšanje tržišne orijentacije. Novije mere politike ruralnog razvoja fokusiraju se na integraciju principa zaštite životne sredine u poljoprivrednu proizvodnju i održivo korišćenje resursa. Konkurentna ruralna ekonomija zahteva ravnotežu između poljoprivredne proizvodnje, različitih ekonomskih aktivnosti, zaštite životne sredine i društvenog razvoja kako bi se poboljšao kvalitet života, smanjilo siromaštvo i sprovela borba, kako protiv društvene degradacije, tako i protiv degradacije životne sredine i prirodnih resursa [2].

Identitet ruralnih sredina sve se više udaljava od agrarnog [3]. Ove sredine postaju mesta pogodna za kvalitetan život naspram sredine iz koje se nekada bežalo u grad. One preuzimaju funkciju mesta za odmor, rekreaciju, turizam, lov, uživanje u prirodnim lepotama, mesta za privremeni povratak urbanog čoveka prirodi. Ova promena utiče na to da ruralna područja postaju i mesta specifične potrošnje, a ne samo mesta proizvodnje. Savremeno evropsko selo postaje sve više urbanizovano naselje sa uslovima života koji su sve sličniji onima u gradu. Uloga države u ovoj oblasti je veoma značajna jer je ruralni razvoj (kao ekonomski, ekološki, politički, institucionalni i sociokulturni razvoj) samo deo ukupnog društvenog razvoja. Ruralna populacija ne sme biti osuđena na socijalno izopšten život u „ruralnim rezervatima“ [4].

Ulaganje u poljoprivredu je samo jedan segment života na selu, pa je neophodno pronaći balans, odnosno više ulagati u ruralni razvoj. Udeo sredstava namenjenih za ruralni razvoj od ukupnog EU budžeta pojedinačnih zemalja u EU 27 prosečno iznosi 32%, za NZČ 43%, a za EU stare zemlje članice 29%. Najviše izdvajaju Malta (preko 70%), Finska i Austrija (preko 60%). Prateći ovaj trend zemalja EU, može se reći da se u Srbiji veoma malo izdvaja za mere ruralnog razvoja, kako za investicije u poljoprivredne ili nepoljoprivredne delatnosti, tako i u ruralnu infrastrukturu [3]. Ruralni razvoj u politici EU sve više dobija na značaju (od sektorske, on prerasta u regionalnu politiku), između ostalog i procesom proširenja EU i brojnim problemima u ruralnim područjima sa kojima se suočavaju zemlje koje pristupaju EU, kao i neke nove zemlje članice.

Studija [5] ukazuje na neke specifične probleme koji karakterišu ruralna područja i pokušava da utvrdi rizik od siromaštva i isključenosti za seosko stanovništvo u 15 evropskih zemalja. Ovi problemi se vezuju za demografiju, udaljenost, obrazovanje i tržište rada koji u interakciji generišu „začarani krug“ i pojačavaju fenomen siromaštva ruralnih područja. Nalaz studije je da ruralna područja karakteriše viši stepen siromaštva na osnovu dohotka u odnosu na urbana područja u svim zemljama za koje je takvo poređenje bilo moguće izvršiti zbog neusaglašenosti metodologije i dostupnih socioekonomskih podataka, kao i heterogenosti posmatranih zemalja i sugerise sledeće prioritete u politikama rada:

- Izgradnja formalnije mreže za traženje posla i pružanje prilagođene obuke kako bi se smanjile neusklađenosti poslova i veština;
- Pružanje transportnih i logističkih rešenja u cilju smanjenja problema pristupačnosti;
- Obezbeđivanje brige o deci, podrška starijima i pružanje socijalnih usluga.

Iako značajan udeo ruralne populacije tranzicionih zemalja svoje prihode stiže iz poljoprivrede, postoji velika potreba za razvojem i nepoljoprivrednog sektora koji mora da odigra ulogu upijanja viška radne snage koja će biti istisnuta iz poljoprivrede.

Jedan od preduslova, ali i posledica stvaranja lokalnog identiteta i povezanosti stanovnika sa lokalnom zajednicom, jeste postojanje zajedničkih interesa, intenzivna interakcija među lokalnim stanovništvom, kao i mogućnost da se većina osnovnih potreba u selu može zadovoljiti „u lokalnu“. Povezanost stanovnika sa selom i želja da se opstane i ostane pozitivno korelira sa većom aktivnošću pojedinaca i društvenih grupa u selu, politici, udruženjima, intenzivnim susedskim odnosima, odnosno sa stepenom lokalne integracije. Neposrednost karakteristična za male lokalne zajednice koje imaju svoj kulturni identitet stvara specifične oblike mišljenja, verovanja i ponašanja što je u skladu sa nalazima o značaju društvenog kapitala.

### **3. Promene u srpskom selu**

Prema [6] u Srbiji je 17,25% stanovnika starije od 65 godina. Demografske projekcije za Srbiju predviđaju da će 2030. udeo osoba starijih od 65 godina iznositi 21%, a starijih od 80 godina 5%. U naseljima do 200 stanovnika u najmanje pristupačnim delovima Srbije, na jugu i jugoistoku, udeo starijih od 65 godina u stanovništvu je viši od 30%.

Sa strane korisnika, u okviru sprovedenog istraživačkog projekta Položaj starijih na selu [7] jedan od osnovnih problema je smanjen pristup uslugama zdravstvene i socijalne zaštite, nemogućnost informisanja o pravima i uslugama i nemogućnost prepoznavanja mentalnih bolesti. Pružaoci usluga, zbog ograničenosti tržišta, male gustine stanovništva i ograničenog pristupa transportnim kapacitetima nisu zainteresovani za pružanje usluga u ovim oblastima. Za staračka domaćinstva karakteristična je socijalna izolacija, mali broj i loš pristup socijalnim i kulturnim sadržajima. Relativno je visoka zastupljenost novčanih prihoda u domaćinstvu, ali su oni nedovoljni i to se ispoljava kao subjektivni osećaj siromaštva. Većina domaćinstava (61%) sa svojim ukupnim prihodima teško ili veoma teško „sastavlja kraj sa krajem” - percepcija života stanovništva na selu je sumorna – svaki četvrti stanovnik smatra da živi loše ili veoma loše (struju nema 3% domaćinstava, zemljani pod ima svako treće domaćinstvo, kupatilo ima 70% domaćinstava, tekuću vodu nema 14% domaćinstava).

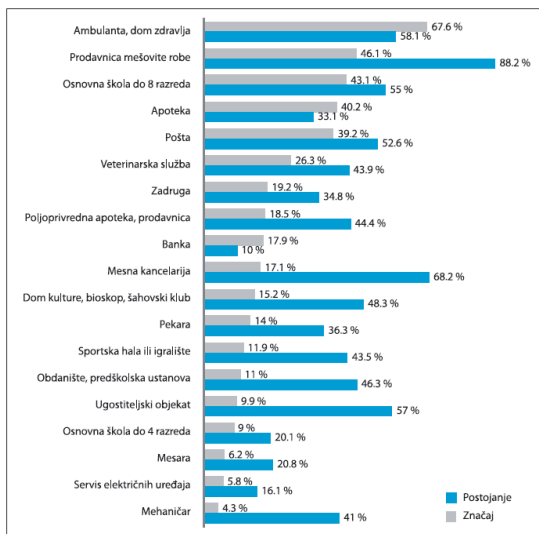
Većina starih na selu (78%) ima kapacitete za brigu o sebi i samostalno obavlja svakodnevne aktivnosti na održavanju lične higijene, a svaki deseti je potpuno nesamostalan i zavisi od nečije pomoći i podrške. Stariji na selu su uglavnom van institucionalnog sistema usluga za pomoć i podršku, pa su njihov glavni oslonac neformalne usluge.

Stanovnici sela nisu zadovoljni kvalitetom života u svojim sredinama - više od trećine domaćinstava očekuje pogoršanje kvaliteta života u svom selu, dok samo 13% očekuje poboljšanje u narednih 5 godina, ali to i dalje nisu razlozi za napuštanje sela - više od 60% ispitanika nije spremno na migraciju.

Trend migracija stanovništva iz grada u selo koji je karakterističan za neke evropske zemlje nije aktuelan u RS zbog niza povezanih otežavajućih okolnosti, pa penzioneri koji imaju mogućnost da žive na selu, to ne prihvataju kao trajno rešenje. Za starije stanovništvo jedan od problema je slaba dostupnost primarne zdravstvene zaštite i nizak kvalitet usluga. Gerontološka služba najčešće nije zastupljena u seoskim područjima, dok je odziv ekipa hitne pomoći po pozivu vrlo redak. Odlazak u grad ili obližnje veće selo

sredstvima javnog transporta zbog potrebe za bankom, poštom, ili apotekom je zahtevan usled loših saobraćajnih veza.

Radno sposobno stanovništvo koje je zaposleno na selu (poljoprivreda, ruralni turizam, državna služba) retko se odlučuje na preseljenje iz grada zbog otežanih uslova života. Pošto je reč uglavnom o porodicama s decom, glavni problemi se vezuju za ograničenost broja predškolskih ustanova, vrtića i škola. Smatra se da je kvalitet rada sa decom u ovim ustanovama ispod gradskih standarda, dok je, generalno, zbog malog broja dece, na selu njihova socijalizacija upitna jer često nemaju kontakt sa vršnjacima... Većina ovih problema lako je rešiva ukoliko postoji odgovarajuća putna infrastruktura koja povezuje selo i grad, ali u Srbiji to često nije slučaj [3].



Slika 1 Dostupnost i značaj ruralnih servisa i institucija, izvor [9]

Agrarom i selima u Srbiji bavi se više od 30 institucija, ali i pored niza obećanja o boljitku, selu je sve teže, a svako četvrto nestaje. Po Ustavu Srbije ne postoje sela, već naselja, pa je stanje u naseljima – selima [8]:

- Od 4.709 naselja, odnosno sela, 1.200 je u fazi nestajanja;
- U naseljima se nalazi 50.000 praznih kuća, a na još 150.000 piše da trenutno u njima niko ne živi;
- Poštu nema 2.000 sela;
- Čak 500 sela nema asfaltni put, ni vezu sa svetom;
- U 400 sela u Srbiji nema prodavnice, pa stanovnici moraju da putuju da kupe hranu;
- Čak 73% sela nema dom kulture ni biblioteku;
- U 230 sela nema osnovne škole;
- U 2015. godini 173 škole imale su samo po jednog đaka;
- U 2.760 sela nema vrtića;
- U dve trećine sela nema ambulante;
- U Srbiji ima više od 200 sela bez ijednog stanovnika mlađeg od 20 godina;
- Prosečna penzija je 10.800 dinara;

- 2-4% državnog budžeta se ulaže u agrar u RS , dok je više od 40% EU budžeta predviđeno za agrar.

#### 4. Pružanje usluga u ruralnim oblastima

Iako ruralna zajednica postaje sve više raznolika, seoske oblasti se često posmatraju kao homogene zajednice iako sada postoji veliki stepen varijabilnosti među stanovnicima sela. Sada se pojavljuju nove socijalne grupe kao što su gradski penzioneri, ljudi koji periodično borave na selu (imaju vikendice) ili mlađi ljudi koji su se zbog nižih troškova opredelili za život na selu i svakodnevno putuju na posao u obližnji grad. Rezultat je promena potražnje za uslugama jer nove grupe imaju nove navike (na primer kupovina dobara putem interneta iz drugih gradova ili država), tako da se u definisanju lokalne potražnje ovaj deo ne sme zanemariti.

Uticao globalne finansijske krize i ekonomske recesije na zemlje južne Evrope ugrozio je dobrobit sela u mnogim regionima [10]. Emigracija mladog stanovništva, mere štednje i teritorijalna koncentracija osnovnih usluga dovele su do rasta regionalnih nejednakosti („ruralni jaz“), a osnovni problemi se vezuju za mobilnost i pristupačnost. Za ruralna područja sve manje se vezuje nerazvijenost, a sve više nedostatak atraktivnosti ovih područja - petina seoskih domaćinstava ima poteškoće u pristupu prehrambenim prodavnicama, bankarskim i poštanskim uslugama, zdravstvu i obrazovanju, a posebno javnom prevozu koji koristi samo jedna trećina ovog stanovništva.

Autor [11] smatra da su ruralna preduzeća često vođena ne-poslovnim motivima, a vrlo često i željom za očuvanjem porodičnih vrednosti i porodičnog života. On specifičnosti malih seoskih preduzeća povezuje sa lokacijom, posebnim odnosom prema prirodnom okruženju i percepcijom da radni zadatak zapravo predstavlja služenje zajednici. Uloga lokalnog preduzeća i preduzetnika nadrasla pružaoca usluga. Ljudi ih povezuju sa aspektima zajednice koje opslužuju - seoska prodavnica ili kafana su veza sa nekadašnjim selom, tj. seoskom idilom za kojom čeznemo, dok ljudi koji rade kao pošтари, mlekari, trgovci su važne ličnosti iz detinjstva. Seoska preduzeća prevazilaze ekonomski doprinos i daju vrednost koju otvoreno tržište ne prepoznaje i ne nagrađuje u potpunosti. Autor gotovo lirski opisuje njihov značaj govoreći o „socijalnoj i emocionalnoj percepciji uloge vlasnika preduzeća i njihovog bezvremenog preplitanja sa tkivom ruralnog života.“ On smatra da bez sveobuhvatne i detaljne analize svih aspekata poslovanja i prepoznavanja vrednosti koje ovi poslovni subjekti obezbeđuju lokalnoj zajednici, postoji zabrinutost da će mnoge delatnosti koje pružaju ključne usluge, posebno ugroženim, osobama smanjene mobilnosti u ruralnom društvu, zapošljavaju lokalno stanovništvo i izgrađuju specifično okruženje čuvajući prirodnu sredinu, i dalje doživljavati pad aktivnosti. Potpuno drugačiji stav zastupa autor [12] - da je pogrešno uživati u lepotama ruralnih područja, a očekivati da drugi ljudi podmiruju troškove – danas stariji ljudi tokom celog svog života uživaju u blagodatima ovakvog načina života da bi tek u starosti osetili neprijatnosti koje proističu iz nepristupačnosti/udaljenosti od elementarnih usluga.

Iako neki stanovnici gradova nemaju pristup određenim uslugama, većina usluga je dostupna svim građanima bez obzira na platežnu sposobnost. S druge strane, u mnogim seoskim oblastima, posebno u udaljenijim, određene usluge nisu dostupne ili su dostupne po znatno višim cenama i/ili nižeg kvaliteta nego u urbanim oblastima, tako da stanovnici ovih oblasti obično imaju manje izbora među pružaocima usluga nego gradski stanovnici. Mogućnost izbora je dragocena jer omogućuje potrošačima da pronađu provajdera koji najbolje zadovoljava njihove potrebe čime se istovremeno podstiče i konkurencija. U ruralnim oblastima čak i značajna potražnja je, zbog veličine područja, zapravo relativno



mala i najčešće utiče da se pojavi jedan ili dva provajdera koji, zbog male konkurencije, i dalje imaju visoke cene i pritom dele tržište.

Mogući način organizacije servisnih usluga u manjim sredinama jeste konsolidacija gde se pojedine servisne lokacije zatvaraju kako bi se korisnici i njihova potražnja fokusirali na preostala servisna mesta ili zajedničko lociranje više različitih usluga što davaocima usluga snižava troškove (energetske, sigurnosne i administrativne), dok korisnici dolaskom na jednu lokaciju mogu zadovoljiti više potreba za različitim uslugama. Osnovne usluge pomažu u izgradnji socijalne kohezije (“lepkom koji društvo u celini drži zajedno”), ali ne garantuju ekonomsku održivost ruralnih regiona. Nije uvek lako odrediti koje usluge i javni servisi su ključni za budućnost ovih zajednica jer je u tom procesu neophodna primena analitičkih alata, razumevanje različitosti i složenosti određenog ruralnog područja i regiona u celini.

Pružanje grupe osnovnih usluga je neophodan uslov za ruralni razvoj (putna infrastruktura, vodovod, škole) za razliku od konkurentnih usluga koje predstavljaju specifičnost posmatrane regije koja je bazirana na kompetitivnim prednostima. Dok se vlade uglavnom fokusiraju na svoju ulogu direktnih pružalaca javnih usluga, posebno osnovnih usluga koje su zagantovane svim građanima, značajna je i njihova uloga u oblikovanju ukupnog skupa usluga kojima pravna i fizička lica imaju pristup. Ključni faktor u određivanju kvaliteta života je pristup svim vrstama usluga. Vlade moraju osigurati pružanje usluga na način da se ostvari i efikasnost i pravičnost na celoj nacionalnoj teritoriji. Za redizajniranje procesa pružanja usluga neophodna je i participacija stanovništva koje želi da odabere odgovarajuće usluge i provajdere koji će ih pružiti na adekvatan način. Ovakav pristup bi mogao imati značajan potencijal jer na ovim područjima tradicionalni način pružanja usluga može biti skup ili neprikladan.

Raspoloživost usluga utiče na nivo socijalne kohezije [13] [14] - prisustvo objekata iz domena uslužnih delatnosti (mesna zajednica ili dom kulture, prodavnica, biblioteka, pošta i pab - ovaj izbor su diktirali dostupni podaci) ima značajan uticaj na stanovnike u ruralnim područjima, odnosno njihov socijalni angažman. Utvrđeno je da, pored pabova, biblioteke i pošte imaju veći uticaj na koheziju u ruralnoj zajednici u odnosu na druge organizacije.

#### **4.1. Specifičnost pružanja poštanskih usluga u ruralnim oblastima**

Tema studije [15] jeste specifičnost korišćenja poštanskih usluga u ruralnim oblastima od strane fizičkih lica i malih preduzeća. U istraživanju je učestvovalo 800 stanovnika ruralnih oblasti i 250 malih preduzeća. U studiji se naglašava istorijska važnost JPM za seoske lokalne zajednice, ali i uloga poštanskog sektora u budućnosti u promerljivom tehnološkom okruženju za održanje ovih zajednica. Nekoliko najznačajnijih nalaza ove studije govore u prilog tome:

- Korisnici u seoskim oblastima češće koriste poštanske usluge od korisnika u gradskim oblastima. Smatra se da su neki od razloga manji broj konkurentnih organizacija i veći broj starijeg stanovništva,
- Pošte predstavljaju deo svakodnevnog seoskog života – mesto razmene lokalnih informacija, mesto neformalne podrške i susreta sa građanima. Takođe, 7 od 10 osoba svakodnevne nabavke obavlja u njihovim maloprodajnim objektima. Čak 1 od 5 korisnika poštanskih usluga u ruralnim oblastima smatra da bi izgubili kontakt sa prijateljima i komšijama da nema lokalne pošte,
- Poslovni subjekti u ruralnim oblastima u većoj meri koriste poštanske usluge, naročito finansijske transakcije. 71% ovih organizacija smatra da bi se, bez

prisustva lokalne JPM, njihovi troškovi pristupa poštanskim uslugama značajno povećali. 87% poslovnih subjekata u ruralnim oblastima smatra da će se njihova frekvencija korišćenja poštanskih usluga u naredne dve godine ili povećati ili ostati na istom nivou,

- 6 od 10 stanovnika ovih oblasti ocenjuju da je pošta „veoma“ ili „izuzetno“ važna za njih. Što je veća ruralnost posmatranog područja, to je veći i značaj pošte za stanovništvo. Percipirani značaj se takođe povećava sa godinama, među onima čija je mobilnost ograničena i među ljudima koji su digitalno isključeni. Stanovništvo u ovim područjima smatra da će se, ukoliko dođe do zatvaranja njihove lokalne pošte, negativan uticaj osetiti u različitim aspektima (87% smatra da će im biti neophodno više vremena kako bi realizovali tražnju za poštanskim uslugama, 71% smatra da će imati više troškove i 46% smatra da će biti više zavisni od drugih osoba).

Trend smanjenja broja stalnih JPM je jedan od prioriteta evropskih poštanskih operatora, ali se, za ovaj proces, vrlo transparentno i vrlo pažljivo moraju birati kriterijumi kako bi uticaj na korisnike poštanskih usluga bio najmanji mogući.

Autori [16] detaljno razmatraju ekonomski uticaj zatvaranja pošta na poslovanje i lokalnu ekonomiju, kao i širu zajednicu - naročito najugroženije društvene grupe. Poštanske finansijske usluge predstavljaju bazu za stvaranje lokalnog bogatstva i pojedinaca i preduzeća koja podržavaju.

Najznačajniji ekonomski efekti su:

- Dodatni troškovi preduzeća koja zatvaranjem pošte bivaju prinuđena da svoje potrebe za poštanskim uslugama zadovoljavaju na drugoj, udaljenoj lokaciji,
- Gubitak mesta na kome može da se realizuje potražnja za bankarskim uslugama što stvara dodatne troškove i utiče na bezbednost,
- Zatvaranje pošte utiče na poslovanje okolnih preduzeća - korisnici menjaju navike i ranija kretanja do pošte i lokalnih kafea, prodavnica, sada usmeravaju ka drugoj lokaciji. Takođe, na poželjnost određene lokacije za stanovanje utiče blizina pošte, banke, prodavnice, pa zatvaranje može dugoročno uticati na smanjenje broja stanovnika ili promenu prebivališta.

Najznačajniji socijalni efekti:

- Dodatni troškovi za korisnike zbog putovanja na novu lokaciju, prilagođavanje redovima vožnje za korisnike javnog prevoza i duži redovi čekanja zbog većeg broja korisnika,
- Gubitak mesta za sastanke, razmenu informacija i viđanje sa poznanicima i prijateljima,
- Gubljenje besplatnih usluga – savet i pomoć zaposlenih u administrativnim poslovima, novosti i obaveštenja u pošti, informacije o merama i akcije Vlade,
- Ranjive grupe su posebno zavisne od poštanskih usluga – u zavisnosti od kategorije, to su obično lica manje platežne sposobnosti ili smanjene mobilnosti, pa svaka promena lokacije može značajno da utiče na njih i stvara subjektivni osećaj uznemirenosti i nezadovoljstva.

## **5. Socijalna vrednost poštanskih usluga**

Poštanske usluge mogu se svrstati u resurs koji je višeznačan za zajednicu jer se, pružanjem ovih usluga, realizuju potražnje korisnika koje su od suštinskog značaja za svakodnevni život [17].

Vrednosti predstavljaju jedan od najznačajnijih konstrukata društvenih nauka. One su ključne u određenju ko smo i šta je važno u našim životima, odnosno po čemu se razlikujemo od drugih ljudi [18]. Za razliku od ekonomske vrednosti usluge koja podrazumeva poboljšanje tržišne vrednosti nečega, socijalna vrednost se stvara kada usluga dovodi do poboljšanja u životima pojedinaca ili celokupnog društva. Kako Gregory Dees navodi „socijalna vrednost je povezana sa uključivanjem i davanjem. Ona je povezana sa poštovanjem i otvorenošću institucija. Ona takođe asocira na istoriju, nasleđe i kulturni identitet.“ U studiji [19] se pominju elementi koji doprinose društvenoj vrednosti (engl. *social value*) kao „društvene koristi“ (engl. *social benefits*). Društvene koristi je teško kvantifikovati, ali doprinose opštem osećanju blagostanja pojedinca ili zajednice, i zato su vredne. Kroz različitu literaturu koja se bavi istorijom pošte, ekonomijom blagostanja i razvojem zajednice, kroz intervjue i fokus grupe, autori su utvrdili određene grupe koristi za fizička, pravna lica i neprofitne organizacije, svrstanih u nekoliko širokih kategorija: fizička lica, pravna lica, bezbednost i sigurnost, okruženje, ispostava države za Vladine servise, razmena informacija, ostvarivanje društvenih kontakata i očuvanje identiteta zajednice i patriotizma.

Svetski poštanski savez (SPS) definiše poštanske socijalne usluge [20] kao usluge koje su eksplicitno dizajnirane da obezbede direktnu korist društvu, koje se pružaju redovno, pouzdano i široko su pristupačne. Ključni izazovi održivog razvoja za narednih 20 godina uključuju smanjenje siromaštva i nejednakosti, zadovoljenje potreba stanovništva koje stari, podržavanje sve mobilnijeg društva koje se oporavlja od širokog uticaja COVID-19. Poštanski sektor ima veliki broj aktivnosti usmerenih na ispunjavanje 17 Ciljeva održivog razvoja, posebno za ciljeve:

- 8 (Promovisati inkluzivan i održiv ekonomski rast, zaposlenost i dostojanstven rad za sve),
- 9 (Izgraditi prilagodljivu infrastrukturu, promovisati održivu industrijalizaciju i podsticati inovativnost),
- 11 (Učiniti gradove i ljudska naselja inkluzivnim, bezbednim, prilagodljivim i održivim) i
- 17 (Učvrstiti globalno partnerstvo za održivi razvoj) [21].

Poštanski sektor može da ponudi rešenja pomažući ljudima da zadovolje svoje potrebe u oblastima kao što su zdravlje, obrazovanje, povezanost sa zajednicom, pristup vladinim uslugama, komunalne usluge i tehnologije. Mnogi poštanski operatori već imaju kapacitet i ambicije da obezbede ova rešenja: 79% pošta (89 od 113 odgovora na anketu SPS) trenutno nudi neku vrstu socijalnih usluga, a 59% namerava da ponudi nove usluge iz ove kategorije u budućnosti. Neke socijalne usluge stvaraju direktan prihod za pošte, dok druge predstavljaju priliku da se postignu ciljevi definisani kroz strategiju društveno odgovornog poslovanja ili da se poboljša vidljivost i prepoznatljivost brenda.

Korisnicima prošireni opseg poštanskih usluga može poboljšati kvalitet života - to dovodi do povećanja baze korisnika, veće lojalnosti i mogućnosti za indukovanu prodaju poštanskih usluga. Određene poštanske socijalne usluge su dizajnirane kao podrška vladama u sprovođenju njihovih društvenih obaveza i politike. Jačanje odnosa sa vladom, na ovaj način, obezbeđuje bolju stratešku poziciju poštanskog sektora koji ostaje relevantan partner kome su obezbeđene buduće subvencije, investicije i prihodi od ugovora.

SPS je definisao šest važnih oblasti u okviru kojih se nalazi oko 40 usluga koje različite poštanske uprave već nude:

- zdravlje i blagostanje,
- obrazovanje,

- socijalna kohezija, participacija i inkluzija,
- pristup vladinim servisima,
- otpad, reciklaža, energija i komunalne usluge i
- podaci i tehnologija.

Za zemlje koje tek ulaze u proces pružanja socijalnih usluga važno je da sagledaju iskustva drugih operatora jer buduća potražnja može varirati u zavisnosti od geografskog regiona ili krajnjeg korisnika. Ključno pitanje je kako da se identifikuje i da prioritet ovim potencijalnim uslugama. Razumno polazište je sagledavanje raznovrsnosti socijalnih usluga koje već nude druge pošte, ali i razmatranje nacionalnih društvenih prioriteta i uslova, nadogradnja postojećih snaga i resursa i angažovanje sa širom, kako lokalnom, tako i nacionalnom, inovacionom zajednicom. Poštanski sektor može da u procesu diversifikacije usluga ponudi hibridne fizičko-digitalne usluge i stvaranje novih socijalnih usluga koje su potpuno digitalne. Socijalne usluge su prvenstveno lične, najčešće uključuju interakciju licem u lice sa javnošću/korisnicima i blisko su povezane sa poverenjem, motivacijom, obukom i dobrom voljom poštanskih radnika, prvenstveno poštara i šalterskih radnika. Predlozi za nove socijalne usluge treba da budu kreirani i razvijani u konsultaciji sa poštanskim radnicima i njihovim predstavnicima kako bi se obezbedilo učešće i posvećenost u pružanju usluga. Pristup usredsređenosti na korisnika je od suštinskog značaja za uspeh koncepta socijalne usluge. Osnova za razvoj ovih usluga mora biti razumevanje potreba lokalnih zajednica i ključnih grupa korisnika. Poštanski sektor treba da promoviše kulturu prilagođavanja usluga promenljivim potrebama društva, dok prihvata novu tehnologiju, implementira inovacije kako bi ostao relevantan za javnost, fokusiran na budućnost.

## 6. Zaključak

Ruralna područja se odlikuju različitošću u pogledu prirodnih, ekonomskih, infrastrukturnih i drugih važnih uslova za život i rad. Ove promene utiču na heterogenost ruralnog prostora u pogledu ekoloških obeležja, privrednog i društvenog razvoja, kulturoloških i demografskih trendova, što se odražava na kvalitet života i rada na selu. Jedan od rezultata je i promena potražnje za uslugama. U mnogim seoskim oblastima, određene usluge nisu dostupne ili su dostupne po znatno višim cenama i/ili nižeg kvaliteta nego u urbanim oblastima. Poštanski sektor odgovara na ove promene građenjem strateških javno-privatnih partnerstava, deljenjem resursa i infrastrukture, razvojem socijalnih poštanskih usluga, diversifikacijom postojećih usluga korišćenjem digitalnih tehnologija, daljim jačanjem ugleda i reputacije i jačanjem brenda, povećanom participacijom svih zaposlenih u formiranju inovativnih usluga, jačanjem korisnički orijentisanog pristupa uz puno razumevanje potreba i zahteva lokalne zajednice.

„Postman’s bag is always heavy because it carries the life itself: It carries all the sorrows and all the joys, all the worries, and all the hopes!”

## Literatura

- [1] Janković, D. (2007) Značaj socijalnog kapitala u razvoju lokalnih seoskih zajednica, *Zbornik Matice srpske za društvene nauke*, br. 123, str. 173-190
- [2] Džastin, S. (2009). Jačanje ruralnog socijalnog kapitala i mreža. UNDP Srbija, Centar za inkluzivni razvoj.
- [3] Živkov, G., Dulić Marković, I., Tar, D., Božić, M., Milić, B., Paunović, M., Bernardoni, R., Marković A., i Teofilović, N., 2012, Studija Budućnost sela u Srbiji, Tim za socijalno uključivanje i smanjenje siromaštva, Kabinet potpredsednice Vlade za evropske integracije, [http://socijalnouklucivanje.gov.rs/wpcontent/uploads/2014/05/buducnost\\_sela\\_web.pdf](http://socijalnouklucivanje.gov.rs/wpcontent/uploads/2014/05/buducnost_sela_web.pdf)

- [4] Mitrović, M. (2015). *Sela u Srbiji: promene strukture i problemi održivog razvoja*. Republički zavod za statistiku.
- [5] Bertolini, P., Montanari, M., & Peragine, V. (2008). Poverty and social exclusion in rural areas. Final study report.
- [6] Srbija, R. (2011). Republički zavod za statistiku. URL: <http://webrzs.stat.gov.rs/Web-Site>  
<http://www.stat.gov.rs/sr-latn/oblasti/popis/popis-2011/popisni-podaci-eksel-tabele/>
- [7] Janković B, Zajić G, Vračević M, Todorović N, 2016, Položaj starijih na selu, Crveni krst Srbije, Beograd
- [8] Gulan, B. (2019), Ruralne sredine u Srbiji – spasavanje sela i države, Izdavačka kuća Prometej, Novi Sad
- [9] Bogdanov, N. L., Đorđević-Milošević, S., & Clark, L. (2007). *Mala ruralna domaćinstva u Srbiji i ruralna nepoljoprivredna ekonomija*. UNDP.
- [10] Camarero, L., & Oliva, J. (2019). Thinking in the rural gap: mobility and social inequalities. *Palgrave Communications*, 5(1), 1-7.
- [11] Bosworth, G. (2012). Characterizing rural businesses–Tales from the paperman. *Journal of Rural Studies*, 28(4), 499-506.
- [12] Meadowcroft, J. (2007). Should rural post offices be subsidized?. *ECONOMIC AFFAIRS-HARLOW THEN LONDON-*, 27(2), 102.
- [13] Cabras, I., & Lau, C. K. (2019). The availability of local services and its impact on community cohesion in rural areas: Evidence from the English countryside. *Local Economy*, 34(3), 248-270.
- [14] Cabras, I., & Mount, M. P. (2017). Assessing the impact of pubs on community cohesion and well-being in the English countryside. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*
- [15] Barnett, A. (2017). Rural Post Office Use, How rural consumers and small businesses use post offices, Citizens advice, charity number 279057
- [16] NEF. (2006). *The Last Post: The Social and Economic Impact of Changes to Postal Services in Manchester*. London: New Economics Foundation
- [17] Comber, A., Brunsdon, C., Hardy, J., & Radburn, R. (2009). Using a GIS-Based Network Analyses and Optimisation Routines to Evaluate Service Provision: A Case Study of the UK Post Office. *Applied Spatial Analysis*, 2, 47-64. <http://dx.doi.org/10.1007/s12061-008-9018-0>
- [18] Gurel-Atay, E., & Kahle, L. R. (Eds.). (2019). *Consumer Social Values*. Routledge.
- [19] Pindus, N., Brash, R., Franks, K., & Morley, E. (2010). A framework for considering the social value of postal services. *Postal Regulatory Commission*.
- [20] Hale, J, Alexander, S (2021), UPU Guide to Postal Social Services, 2021, Published by the Universal Postal Union (UPU) Berne, Switzerland, ISBN: 978-92-95116-09-2
- [21] J. Milutinović., Marković D., Popović Đ. (2019). Poštanski saobraćaj kao indikator socio-demografskih i ekonomskih karakteristika područja, XXXVII simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju, Zbornik radova, 61-70, Beograd

**Abstract:** *The trend of depopulation of rural areas affects the reduction of the number of local facilities such as schools, post offices, and shops. There is often a fear that the closure of a local facility will negatively affect the availability of certain services and amenities of rural life. The concept of postal service has changed in parallel with the development and progress of human society. Today, this term goes beyond its primary role of connecting at all levels of society and becomes a service through which broader social goals are achieved. Due to its importance, which is reflected in the specific social value for both individuals and legal entities and the social role in the achievement of SDG, positive impact on the environment, traditional cooperation with other state bodies, strengthening of patriotism, safety, and security, there is a need to this humane concept is protected, developed, diversified and maintained especially in underdeveloped and devastated areas and especially for the most sensitive population groups.*

**Keywords:** *postal services, social services, rural areas, sustainability*

## THE IMPORTANCE OF SERVICE PROVISION FOR THE SUSTAINABILITY OF RURAL AREAS

Jelena Milutinović

## **EMPLOYER BRANDING AS AN INNOVATIVE ELEMENT OF ORGANIZATIONAL COMMUNICATION**

Nino Ćorić<sup>1</sup>, Ilarija Bašić<sup>2</sup>, Mihaela Sulić Filipović<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Transport and Communications, University of Sarajevo

<sup>2</sup>Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mostar

<sup>3</sup>Agency for Postal Traffic of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo

**Abstract:** Changes caused by liberalization of the market of postal logistic services, as well as the development of information and communication technologies, impose numerous challenges to business entities competing in the market in order to achieve the satisfaction of their customers and gain their loyalty. Business transformation activities created as a response to market reality are often primarily focused on structural and process improvements, while neglecting the most important aspect of customer-oriented business: current and potential employees. The concept that appears as a way in which they improve existing communication towards this vital stakeholder is called employer branding. The paper explains the market context that led to the development of this concept, its definition and role, goals and scope, attractiveness dimensions and an overview of relevant available studies.

**Keywords:** employer branding, transformation, communication, attractiveness dimensions

### **1. Introduction**

Modern market environment, characterized by complete liberalization, but also by dynamic changes caused by the development of information and communication technologies, is radically changing the way business entities operate, especially providers of postal and logistics services. Their customers are becoming more self-aware and their demands and expectations, regarding the overall quality of service are constantly increasing. Quality of service is reflected in customer satisfaction, which can be determined by the difference between their perception of the overall process and their expectations, with the fact that the lower limit of expectations is actually the level of quality that the customer had when last using a particular service. The possibility of choosing a service provider, increasing delivery options, its feedback, increased visibility and ability to monitor the process, enrichment of basic services with various additional benefits, such as improved communication both those interpersonal of frontline staff and

those at the corporate level, are some of the imperatives that this stakeholder places before market participants.

The above points to the change of previous "inside-out" paradigm of business to a customer-oriented "outside-in", which aims for a better customer experience, and implies the research of their real needs and desires and, accordingly to the results of these studies, the development of such services. This includes the transformation of ways of thinking, behaving, acting and communicating, both at the individual level and at the organizational level. Simultaneous, rapid and radical change of the most important organizational business activities such as strategy, culture, structure and processes with the intensive application of available digital technologies and resources, which aims to create new business models and ways of doing business Spremić defines with the term of digital transformation (Spremić, 2017: 16).

When deciding on a choice, customers take into account (technical and functional) quality of service and its price. However, if these parameters are approximately the same for all service providers, then they choose those with a better brand, defined as "a cluster of functional and emotional values that enables organizations to create the promise of a unique and pleasant experience." (de Chernatony, McDonald & Wallace, 2011, according to Ćorić, 2019: 224). Veljković and Đorđević consider precisely the expected quality, along with recognition and brand loyalty, as the basic dimensions of the brand, defining it as "an organizational promise to meet the expectations of stakeholders." (Veljković & Đorđević, 2010, according to Ćorić, 2019: 224)

The impression is that as organizations attempt their digital transformation, they direct the focus of their activities towards structural changes and digitization of already existing processes, while neglecting the human dimension. Research conducted in Bosnia and Herzegovina states that the most common barriers to implementation of digital transformation are resistance to changes and innovations, lack of necessary knowledge and skills, and fear of job loss (Turulja et al., 2021), which confirms the results of some previous studies (Microsoft, 2017, Forbes, 2019, according to Alavi and Habel, 2021). On the other hand, the lack of much-needed "knowledge workers", which Drucker describes as "those who work with their minds, ... are ever-changing, dynamic and autonomous, ... and possess convergent and divergent thinking..." (Drucker, 1959, according to Eyl, 2015) is more and more evident.

In order to successfully beat the competition in a sort of war for acquiring the best on the labor market, but also to strengthen internal human resources capacities, successful organizations increasingly practice employer branding in their communication, as a concept that prioritizes the importance of human capital in creating organizational value.

## **2. Employer branding: definition and strategic role**

Most of the literature in the field of branding is devoted to the topics of branding countries, cities, organizations, products, services, while only a few papers deal with employer branding (Aldousari et al., 2017), a concept for which the interest of the scientific and professional public has been actualized by the recognition of the importance of human potential by employers and when they, intellectual assets, have

become a factor that affects organizational success to a greater extent than material resources (Lukić, Brkljač & Perčić, 2019: 83).

Although product, service and companies branding have similarities with employer branding, Kymäläluoma (2017) states that there are two main differences: (1) employer branding focuses solely on characterizing the company's identity as an employer, (2) unlike product and service or corporate branding that focus mainly on external audiences, employer branding is focused to both internal and external audiences (Kymäläluoma, 2017: 13).

The term employer branding was first introduced and defined in the business world by business consultant Simon Barrow in 1990. One of the first definitions of this concept was determined by Ambler and Barrow in 1996 in the "Journal of Brand Management", defining it as "the package of functional, economic and psychological benefits provided by employment, and defined by the organization" (according to Srednoselec, 2019: 15).

According to Martin, Gollan and Grigg (2011), employer branding is the practice of joining concepts of branding, marketing as well as human resources (HR) techniques and communication (Tryfonos, 2015: 11). Backhaus and Tikoo (2004) define it as a three-step process that includes developing the value proposition, external branding and internal branding of the employer brand. The employer brand is continuously built through corporate culture (value systems, rules, norms, beliefs), management and leadership style, policies, procedures, business methods, communication and functioning systems (Minchington & Thorne, 2007).

Employer branding is a targeted, long-term strategy for managing the awareness and perception of employees, potential employees and related stakeholders in relation to a particular company. The strategy can be adapted to encourage and improve efforts to recruit, retain and manage worker productivity (Brcković, 2021: 13).

Van Hoyer (2008, according to Tanwar & Prasad, 2016) emphasizes that the employer branding strategy has two communication processes: external and internal. Although external enables the organization to attract talented workforce, internal helps in motivating and retaining employees who further act as brand promoters of their organizations (Pejković, 2020: 17-18).

Bakanauskiene et al. (2011) believe that for the employer branding to be successful, it needs to include eight important elements, namely: (1) a culture of sharing and continuous improvement, (2) balancing good management as well as elevated productivity, (3) gaining public recognition, (4) current employees giving positive feedback about the organization, (5) having more people talk about the organization, (6) becoming a leading (benchmark) firm, (7) increasing potential talent consciousness and (8) branding assessment metrics (Tryfonos, 2015: 15-16).

HR experts also suggest five steps for strong employer branding: (1) understand your own organization, (2) create a 'compelling brand promise' for employees that mirrors the brand promise for consumers, (3) develop standards to measure the fulfillment of brand promise, (4) ruthlessly align all people practices to support and reinforce brand promise, and (5) execute the measure (Sokro, 2012: 165).

Most of the authors believe that in the process of branding, the best strategic approach is to form an internal team (despite the fact that there are specialized agencies for providing this type of service), which will consist of employees from the communications, human resources, marketing, and sales sectors, as well as leaders,



managers, at all levels of the organizational structure. This is how all the positive effects of teamwork are realized: more knowledge, more perspectives of observation, more ideas, the possibility of exchanging experiences, synergistic effects, better decisions and faster reaction to changes in the environment (Lazarević & Lukić, 2018). Drury (2016) points out that all of them with joint efforts choose the set of elements that present the organization as a great place to work. Eger et al. (2019) consider that an organization benefits from building employer branding only when current employees see it as a great place to work in (Domšić, 2021: 4-7).

### **3. Goals and scope of employer branding**

Employer branding is used as a new technique of attracting new, talented and qualified employees, while ensuring the loyalty of current ones. Thus, it is not only a strategy for recruiting employees, but also a strategy for ensuring a reliable and attractive corporate reputation and brand (Nappa 2013). Berthon et al. (2005) believe that today's companies invest a generous amount of resources and efforts to achieve the status of "best employer" due to the increased competition to recruit and select new talented workers while competing for new customers and a larger market share (Hadi & Ahmed, 2018: 1).

Armstrong (2006) states that the goal of employer branding is to become an employer of the first choice, the place where people want to work, and the factors that contribute to this are multiple: providing job security; increasing the possibility of future employment due to the organization's positive reputation as one that hires and develops quality workers and provides many learning opportunities; employment conditions that enable work/life balance; reward system that recognizes and values employee contributions; competitive salary and benefits; interesting and challenging tasks that offer opportunities for learning and career growth and development (Sokro, 2012). These factors are considered the employer value proposition and serve to attract and retain employees. That is why, according to Backhaus and Tikko (2004), the central activity of employer branding is often the presentation of Employee Value Proposition (EVP) that is provided to employees, a unique employment experience (Večerin, 2021: 2-3).

Chhabra and Mishra (2008) point out that employer branding is the process of creating corporate identity, image and reputation, a long-term strategy that establishes a recognizable corporate identity of a desirable employer. Employer branding includes the development of an organizational culture that, in addition to specific attitudes and values, involves supporting people to accept and share goals related to achieving success, greater satisfaction and productivity. Such organizations easily attract talents and have no problems with retaining them (Jakovljević et al., 2012).

Pološki Vokić and Mostarac (2019) point out that the key advantages achieved by building a strong employer branding are the following:

- increase in the quantity and quality of applications per published job advertisement,
- lower attraction costs,
- reduced employee turnover,
- retention of knowledge in the organization,
- positive attitudes of employees (such as greater job satisfaction, employee engagement at work, organizational citizenship behavior and employee attachment),

- better alignment of employees with the organizational culture, lower overall rewards compared to organizations with a weaker employer branding (Domšić, 2021: 18).

Many authors state that for successful employer branding it is important to take into account the needs of different generations. Lukić, Brkljač and Perčić (2019) in research dedicated to millennials state that attracting this generation to the organization is the first step that implies recognizable and strong employer branding, but keeping them in the company implies whole series of other activities. The process of employer branding implies taking into account the needs of different generations. The generation that is increasingly occupying important positions in the economy and in society in general - the millennial generation, also known by the names: Y generation, "me" generation, digital, net, e-generation, has specific preferences, demands and wishes when it comes to choosing an employer (Brkljač et al., 2018). In order for the organization to keep them, it is necessary first of all to select those to keep, and then: (1) reduce the level of monotony of the tasks and increase the dynamism of the work; (2) introduce millennials to training programs through various sectors in the company; (3) highlight the significance and importance of individual differences; (4) encourage the culture that embraces new ideas and innovation (Sujansky & Ferri-Reed, 2009).

#### **4. Attractiveness dimensions as a measure of employer branding strength**

Berthon, Ewing and Hah (2005) define "employer attractiveness" as the envisioned benefits that an employee sees in working for a specific company. Observed from the point of view of potential employees, attractiveness represents the perception of the company as a desirable entity with which a certain relationship should be initiated (Reis & Braga, 2016). Building employer attractiveness is based on the perception of the current employees and potential employees, which is what differs it from the employer branding. In this sense, Bakanauskiene, Bendaravičienė and Barkauskė (2017) believe that the application of the employer branding strategy affects the strengthening of the employer attractiveness (Ognjanović, 2019: 54-55).

Berthon et al. (2005) defined the dimensions of employer attractiveness and classified them into five key elements that form the employer branding:

- Interest value: the extent to which the organization is attractive to the individual in terms of work environment, methods and work practices, unique and innovative culture.
- Social value: the extent to which an employee is willing to stay in the company because of the work atmosphere, exciting and pleasant work environment, good relationship with the colleagues and superiors.
- Economic value: the extent to which the employee is satisfied with the earnings, intangible types of rewards and promotional opportunities.
- Development value: the extent to which the employee is satisfied with the career advancement and opportunities for a springboard to future employment.
- Application value: the extent to which the employees are satisfied with the possibilities to practically apply what they have learned at work through their experience, training and development (Lukić, Brkljač & Perčić, 2019: 88). Dabirian et al. added two more dimensions in 2017:

- Management value: states that the good or bad influence of supervisors at work determines employee retention and social relationships.
- Work/life balance: an attribute determining that a proper balance among the employees' work and life allows them to work in harmony with all their identities. (Hadi & Ahmed, 2018: 4).

In their work, Tuzuner and Yuksel (2009) recognized two dimensions of attractiveness: integrated brand building (includes promotion opportunities, challenging tasks, good references, innovative solutions, strong culture, ethics, good leadership, market success, internal education, inspiring colleagues, dynamic organization, work/life balance, the environment friendly company, international career opportunities, good reputation, secure job, work on projects, further monitoring of work, a variety of work, good location of the employer, employees from various fields, hiring only the best, less overtime, exciting products or services, flexible working hours) and competitiveness (includes stimulating work environment, stimulating wages, possibility to work from home). Srivastava and Bhatnagar (2010) indicated eight dimensions: consideration, stimulating environment, career development, reliable and fair, flexible and ethical, positive employer image, global action (Srednoselec, Ružić, Benazić, 2021: 146-147).

For the purpose of grouping different dimensions of employer attractiveness, Drury (2016) lists two basic groups of benefits that arise for employees from employment, on the basis of which the employer's total value proposition is divided into two equally important groups:

- functional attributes (such as salary, benefits, health insurance and paid annual leave),
- symbolic attributes (such as organizational culture, opportunity for career advancement and the prestige of working for a well-known organization).

Functional attributes are predominantly material and tangible, and symbolic attributes refer to intangible values and they are intangible, and by combining them, employers can develop a unique value proposition for their employees that sets them apart from competitors with whom they are fighting for the same job candidate profile. Additionally, with increase in the work experience of employees, symbolic attributes become more important predictors of the attention of individuals in the search for a job (Domšić, 2021: 10-11).

The employer branding strategy contributes to the growth of the employer attractiveness and the improvement of the corporate reputation (Bakanauskiene et al., 2017).

Digital transformation has become a key concern for many companies (Chaniias, Myers & Hessa, 2019). Therefore, many studies have shown that the use of social networks in employer branding increases the organizational attractiveness of the company and encourages job seekers' intention to apply for a job (Carpentier et al., 2017; Ha & Luan, 2018; Kissel & Büttgen, 2015; Sivertzen et al., 2013). Social networks allow an organization to build a positive employer branding and good organizational attractiveness when sharing accurate and complete information with job candidates about its culture and work environment, career advancement, business ethics, and growth prospects (El Zoghbi & Aoun, 2016; Turban & Cable, 2003). In addition to potential employees, the use of social networks in employer branding is also useful for the empowerment and loyalty of current and new company employees (Lissaneddine, El Manzani & El Idrissi, 2021: 265).

## **5. Overview of relevant studies on employer branding**

Some studies on employer branding confirm that organizations that have clearly defined employer branding strategies have higher productivity compared to organizations that do not use them (Aldousari et al., 2017). Study by Collins and Stevens (2002) shows that organizations that have developed employer branding more easily implement the recruitment process, attract and retain more qualified candidates, and achieve numerous other benefits. According to Tanwar and Prasad (2016), an organization will be an attractive, desirable place to work if it offers a good work/life balance, quality products and services, stimulating compensation, the possibility of advancement, a challenging task, carries out socially responsible activities, enables the upgrading of knowledge and if it maintains a working environment with good interpersonal relationships. Chhabra and Sharma (2014) found out in their study that internal branding practices increase loyalty to the employer while simultaneously increasing the employer attractiveness to potential employees.

Lenaghan and Eisner (2005) and Minchington and Thorne (2007) consider the creation and maintenance of a favorable customer image with reduced employee turnover as a benefit that employer branding brings to the organization, while for Luthans and Peterson (2002) the benefit is the creation of a positive identity and a positive reputation, the brand. Love et al. (2011) believe that employer branding brings a competitive advantage to the organization and the assimilation of organizational values. Lievens et al. (2007) state that employer branding leads to increase in quantity and quality of job candidates, while Backhaus et al. believe that employer branding influences an improved supportive organizational culture (Aboul Ela, 2016: 155-157).

## **6. Closing remarks**

The information revolution has implied numerous changes in business, which, among other things, relate to the ways of communication of business entities, as well as to the channels and techniques they use to deliver their messages to those they are intended for. In doing so, they encounter numerous challenges and the biggest one is how to win the "war for talent". It is increasingly difficult for organizations to attract qualified, "digitally literate", potential employees, as well as to improve knowledge and skills of current employees and to retain them. It is becoming more and more important to employees what the organization is offering them, beside dynamic job, and they are especially interested in the work/life balance. Organizations are facing workforce that, thanks to the digital transformation of society, know exactly what they want from employers. Employer branding as a concept that contains various constructs is a perfect tool for differentiating organizations from the competition, attracting talent, but also retaining current workforce. With appropriate internal and external communication activities, adapting the organization business model to current market needs is possible, the same as developing the desired organizational identity, culture and brand and positioning it as desirable for work. Only the organizations accepting changes imposed by liberalization and development of information and communication technologies and those that place employees as their most important potential can achieve a competitive advantage. Since the application of employer branding in Bosnia and Herzegovina, but also more widely, is still emerging, the recommendations are to conduct research that

would indicate the prevention of potential talent crises, research on the dimensions of employer attractiveness and their impact on potential and current employees, but also research on the perception of employer branding, both internally and externally.

## Literature

- [1] Aboul-Ela, G. M. (2016). Employer branding: What constitutes “An Employer of choice?”. *Journal of Business and Retail Management Research*, 11 (1), 154-166, [https://www.researchgate.net/publication/311614402\\_Employer\\_branding\\_What\\_constitutes\\_An\\_Employer\\_of\\_choice](https://www.researchgate.net/publication/311614402_Employer_branding_What_constitutes_An_Employer_of_choice) [12. 9. 2022.]
- [2] Alavi, S., Habel, J. (2021). The human side of digital transformation in sales: review & future paths. *Journal of Personal Selling & Sales Management*, 41 (2), 83-86, DOI: 10.1080/08853134.2021.1920969
- [3] Aldousari, A. A., Robertson, A., Yajid, M. S. A., Ahmed, Z. U. (2017). Impact of employer branding on organization’s performance. *Journal of Transnational Management*, 22 (3), 153-170, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15475778.2017.1335125?journalCode=wtnm20> [12. 9. 2022.]
- [4] Ambler, T., Barrow, S. (1996). The employer brand. *Journal of Brand Management*, 4 (3), 185-206, <[https://www.researchgate.net/publication/263326597\\_The\\_employer\\_brand](https://www.researchgate.net/publication/263326597_The_employer_brand)> [18. 9. 2022.]
- [5] Armstrong, M. (2006). *A Handbook of Human Resource Management Practice*. London: Kogan Page Publishing, <[https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjt55\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1927862](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjt55))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1927862)>. [18. 9. 2022.]
- [6] Backhaus, K., Tikoo, S. (2004). Conceptualizing and researching employer brandin. *Career Development International*, 9 (5), 501-517, <<https://doi.org/10.1108/13620430410550754>>. [18. 9. 2022.]
- [7] Bakanauskiene, I., Bendaravičienė, R., Krikstolaitis, R., Lydeka, Z. (2011). Discovering as Employer Branding: Identifying Dimensions of Employer's Attractiveness in University. *Organizacijų vadyba*, 7-22, <<https://portalcris.vdu.lt/server/api/core/bitstreams/aa51b355-8dd1-4cf4-8fbf-f51dd0584c5b/content>>. [18. 9. 2022.]
- [8] Bakanauskiene, I., Bendaravičienė, R., Barkauskė, L. (2017). Organizational attractiveness: an empirical study on employees attitudes in lithuanian business sector. *Problems and Perspectives in Management*, 15 (2), 4-18, <<https://etalpykla.lituanistikadb.lt/object/LT-LDB-0001:J.04~2017~1543236107553/>>. [18. 9. 2022.]
- [9] Berthon, P., Ewing, M., Hah L. (2005). Captivating company: dimensions of attractiveness in employer branding. *International Journal of Advertising*, 24 (2), 151-172, <<https://doi.org/10.1080/02650487.2005.11072912>>. [1. 10. 2022.]
- [10] Brcković, M. (2021). Utjecaji COVID 19 bolesti na provedene aktivnosti internog marketinga hrvatskih poduzetnika. Diplomski rad. Pula: Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, <<https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:137:087459>> [1. 10. 2022.]
- [11] Brkljač, M., Lukić, J., Dejanović, A. (2018) Innovations, new technologies and millennial generation: Simultaneous development. u: Integrated politics of research and innovations, Association of Economists and Managers of the Balkans - Udekom Balkan, str. 411-418
- [12] Carpentier, M., Van Hoye, G., Stockman, S., Schollaert, E., van Theemsche, B., Jacobs, G. (2017). Recruiting nurses through social media: Effects on employer brand and attractiveness. *Journal of Advanced Nursing*, 73 (11), 2696–2708, <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28494103/>>. [1. 10. 2022.]
- [13] Chhabra, N. L., Sharma, S. (2014). Employer branding: strategy for improving employer attractiveness. *International Journal of Organizational Analysis*, 22 (1), 48-60,

- <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJOA-09-2011-0513/full/html>> [23. 9. 2022.]
- [14] Chanas, S., Myers, M. D., Hess, T. (2019). Digital transformation strategy making in pre-digital organizations: The case of a financial services provider. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28 (1), 17-33, <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963868718300143>>. [1. 10. 2022.]
- [15] Collins, C. J., Stevens, C. K. (2002). The relationship between early recruitment-related activities and the application decisions of new labour-market entrants: a brand equity approach to recruitment. *Journal of Applied Psychology*, 87 (6), 1121-1133, <[https://www.researchgate.net/publication/10925796\\_The\\_Relationship\\_between\\_Early\\_Recruitment-Related\\_Activities\\_and\\_the\\_Application\\_Decisions\\_of\\_New\\_Labor-Market\\_Entrants](https://www.researchgate.net/publication/10925796_The_Relationship_between_Early_Recruitment-Related_Activities_and_the_Application_Decisions_of_New_Labor-Market_Entrants)> [23. 9. 2022.]
- [16] de Chernatony, L., McDonald, M. i E. Wallace, E. (2011). *Creating powerful brands*, Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [17] Čorić, N. (2019). *Korporativna komunikacija*. Zagreb/Sarajevo/Mostar: Synopsis/Filozofski fakultet Mostar.
- [18] Dabirian, A., Kietzmann, J., Diba, H. (2017). A great place to work!? Understanding crowdsourced employer branding. *Journal of Brand Management*, 60, 197-205, <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007681316301276>>. [1. 10. 2022.]
- [19] Domšić, A. (2021). *Važnost sustavne izgradnje marke poslodavca za privlačenje akademski najuspješnijih studenata*. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet, <<https://repositorij.efzg.unizg.hr/islandora/object/efzg%3A7853/datastream/PDF/view>> [29. 9. 2022.]
- [20] Drucker, P. F. (1959). *The Landmarks of Tomorrow* New York: Harper and Row.
- [21] Drury, P. (2016). Employer branding: Your not-so-secret weapon in the competition for young workers. *Human Resource Management International Digest*, 24 (3), 29-31, <[https://www.researchgate.net/publication/303774204\\_Employer\\_branding\\_Your\\_not-so-secret\\_weapon\\_in\\_the\\_competition\\_for\\_young\\_workers](https://www.researchgate.net/publication/303774204_Employer_branding_Your_not-so-secret_weapon_in_the_competition_for_young_workers)> [29. 9. 2022.]
- [22] El Zoghbi, E., Aoun, K. (2016). Employer Branding and Social Media Strategies. In F. Ricciardi, A. Harfouche (Eds) *Information and Communication Technologies in Organizations and Society Past, Present and Future Issues*. Switzerland: Springer International Publishing, 277-283. [1. 10. 2022.]
- [23] Eger, L., Mičik, M., Gangur, M. i Řehoř, P. (2019). Employer branding: exploring attractiveness dimensions in a multicultural context. *Technological and Economic Development of Economy*, 25 (3), 519-541, <[https://www.researchgate.net/publication/332346023\\_Employer\\_branding\\_exploring\\_attractiveness\\_dimensions\\_in\\_a\\_multicultural\\_context](https://www.researchgate.net/publication/332346023_Employer_branding_exploring_attractiveness_dimensions_in_a_multicultural_context)>. [1. 10. 2022.]
- [24] Eyl, E. (2015). *You Are More Than Just A "Knowledge Worker"*. [https://www.huffpost.com/entry/youre-more-than-just-a-knowledge-worker\\_b\\_7253224](https://www.huffpost.com/entry/youre-more-than-just-a-knowledge-worker_b_7253224) [30. 9. 2022.]
- [25] Forbes. (2019). 100 Stats on Digital Transformation and Customer Experience. <https://www.forbes.com/sites/blakemorgan/2019/12/16/100-stats-on-digital-transformation-and-customer-experience/?sh=8c2b2573bf3e> [4. 10. 2022.]
- [26] Ha, N. M., Luan, N. V. (2018). The effect of employers' attraction and social media on job application attention of senior students at Pharmaceutical Universities in Vietnam. *International Journal of Business & Society*, 19 (2), 473-491, <[https://www.researchgate.net/publication/327672233\\_The\\_effect\\_of\\_employers'\\_attractioa\\_and\\_social\\_media\\_on\\_job\\_application\\_attention\\_of\\_senior\\_students\\_at\\_pharmaceutical\\_universities\\_in\\_Vietnam](https://www.researchgate.net/publication/327672233_The_effect_of_employers'_attractioa_and_social_media_on_job_application_attention_of_senior_students_at_pharmaceutical_universities_in_Vietnam)>. [4. 10. 2022.]
- [27] Kissel, P., Büttgen, M. (2015). Using social media to communicate employer brand identity: The im-pact on corporate image and employer attractiveness. *Journal of Brand Management*, 22 (9), 755-777, <<https://link.springer.com/article/10.1057/bm.2015.42>>. [4. 10. 2022.]

- [28] Hadi, N., Ahmed, S. (2018). Role of employer branding dimensions on employee retention: Evidence from educational sector. *Administrative Sciences*, 8 (3), 44, <10.3390/admsci8030044> [8. 10. 2022.]
- [29] Jakovljević, M., Marin, R., Čičin-Šain, D. (2012). Izazovi globalizacije i njihov utjecaj na privlačenje i zadržavanje talenata. *Oeconomica Jadertina*, 2(2), 66-81, <<https://hrcak.srce.hr/94460>> [4. 10. 2022.]
- [30] Kissel, P., Büttgen, M. (2015). Using social media to communicate employer brand identity: The im-pact on corporate image and employer attractiveness. *Journal of Brand Management*, 22 (9), 755-777, <<https://link.springer.com/article/10.1057/bm.2015.42>>. [6. 10. 2022.]
- [31] Kylmäluoma, E. (2017). Managing employer brand for attracting potential employees. Master thesis. University of Oulu: Oulu Business School.
- [32] Lazarević, S., Lukić, J. (2018). Team Learning Processes and Activities in Organization: A Case Study. *Economic Themes*, 56 (3), 301-319, <<https://www.sciendo.com/article/10.2478/ethemes-2018-0018>>. [1. 10. 2022.]
- [33] Lenaghan, J. A., Eisner, A. B. (2005). An Exploration of the Competitive Advantage of Employer of Choice Programs on International Human Resource Management. *Journal of International Business Research*, 4, (2), 87-97, <[https://www.researchgate.net/publication/236260572\\_11\\_Lenaghan\\_Janet\\_A\\_Eisner\\_AlaA\\_B\\_2005\\_An\\_Exploration\\_of\\_the\\_Competitive\\_Advantage\\_of\\_Employer\\_of\\_Choice\\_Progra\\_on\\_International\\_Human\\_Resource\\_Management\\_Journal\\_of\\_International\\_BusiBusi\\_Research\\_](https://www.researchgate.net/publication/236260572_11_Lenaghan_Janet_A_Eisner_AlaA_B_2005_An_Exploration_of_the_Competitive_Advantage_of_Employer_of_Choice_Progra_on_International_Human_Resource_Management_Journal_of_International_BusiBusi_Research_)>. [23. 9. 2022.]
- [34] Lievens, F., Van Hoye, G., Anseel, F., (2007). Organisational Identity and Employer Image: Towards a Unifying Framework. *British Journal of Management*, 18 (1), 45-59, <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8551.2007.00525.x>>. [23. 6. 2022.]
- [35] Lissaneddine, Z., El Manzani, Y., El Idrissi, M. (2021). Digital Employer Branding: An Exploration of the Moroccan Customer Relation Centers. *Emerging Challenges, Solutions, and Best Practices for Digital Enterprise Transformation*, 261-283, <<https://www.igi-global.com/gateway/chapter/275711>> [4. 9. 2022.]
- [36] Lukić, J., Brkljač, M., Perčić, K. (2019). Brendiranje poslodavaca u funkciji privlačenja i zadržavanja talenata koji pripadaju generaciji milenijalaca. *Marketing*, 51, 83-93, <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0354-3471/2019/0354-34711902083L.pdf> [15. 9. 2022.]
- [37] Love, L. F., Singh, P. (2011). Workplace Branding: Leveraging Human Resources Management Practices for Competitive Advantage through „Best Employer” Surveys. *Journal of Business and Psychology*, 26 (2), 175-181, <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10869-011-9226-5>> [1. 10. 2022.]
- [38] Luthans, F., Peterson S.J. (2002). Employee engagement and manager self- efficacy: Implications for Managerial Effectiveness and Development. *Journal of Management Development*, 21 (5), 376-387, <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02621710210426864/full/html>> [23. 9. 2022.]
- [39] Martin, G., Gollan, P. J., Grigg, K. (2011). Is there a bigger and better future for employer branding? Facing up to innovation, corporate reputations and wicked problems in SHRM. *The International Journal of Human Resource Management*, 22 (17), 3618-3637, <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09585192.2011.560880>>. [22. 9. 2022.]
- [40] Microsoft. 2017. Creating a Culture of Digital Transformation. [https://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/digital\\_spreads\\_00950\\_MICROSOFT\\_DT%20Report\\_A4\\_COVER.PDF](https://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/digital_spreads_00950_MICROSOFT_DT%20Report_A4_COVER.PDF) [4. 10. 2022.]
- [41] Minchington, B., Thorne, K. (2007). Measuring the effectiveness of your employer brand. *Human Resources Magazine*, 12 (4), 14-16, <[https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Measuring+the+effectiveness+of+your+em](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Measuring+the+effectiveness+of+your+em)>

- ployer+brand&author=Brett+Minchingotn&author=Kaye+Thorne&publication\_year=2200&journal=Human+Resources+Magazine> [4. 10. 2022.]
- [42] Nappa, A. (2013). *Creating a String Service Brand through Talent. The Relationship between Corporate, Internal and Employer Branding*. Diplomski rad. Lulea: Lulea University of Technology, <<http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1028685&dswid=-4782>>. [4. 10. 2022.]
- [43] Ognjanović, J. (2019). Izgradnja atraktivnosti poslodavca kao deo strategije brendiranja poslodavca. *Ekonomija teorija i praksa*, 12 (3), 53-68, <DOI: 10.5937/etp1903053O> [23. 9. 2022.]
- [44] Pejković, S. (2020). Brendiranje poslodavca kao strategija privlačenja, zapošljavanja i zadržavanja talenata. Završni magistarski rad. Sarajevo: Univerzitet u Sarajevu, Filozofski fakultet, [https://www.ff.unsa.ba/files/zavDipl/19\\_20/psi/Saira-Pejkovic.pdf](https://www.ff.unsa.ba/files/zavDipl/19_20/psi/Saira-Pejkovic.pdf) [23. 9. 2022.]
- [45] Pološki Vokić, N., Mostarac, V. (2021). Employer attractiveness attributes and dimensions for economists. *Ekonomski pregled*, 72 (3), 341-357, <<https://doi.org/10.32910/ep.72.3.1>>. [4. 10. 2022.]
- [46] Reis, G. G., Braga, B. M. (2016). Employer attractiveness from a generational perspective: Implications for employer branding. *R.Adm*, 51 (1), 103-116, <<https://www.scielo.br/j/rausp/a/gyp3fNh5bnCTxWprDZYwPgr/abstract/?lang=en>>. [4. 10. 2022.]
- [47] Sivertzen, A.-M., Nilsen, E., Olafsen, A. (2013). Employer branding: employer attractiveness and the use of social media. *Journal of Product & Brand Management*, 22 (7), 473-483, <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JPBm-09-2013-0393/full/html>>. [4. 10. 2022.]
- [48] Sokro, E. (2012). Impact of Employer Branding on Employee Attraction and Retention. *European Journal of Business and Management*, 4 (18), 164-173, <<https://core.ac.uk/download/pdf/234624436.pdf>> [18. 9. 2022.]
- [49] Spremić, M. (2017). Digitalna transformacija poslovanja. Zagreb: Ekonomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- [50] Srednoselec, T. (2019). Izgradnja marke poslodavca. Magistarski rad. Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, <<https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:137:802309>> [5. 10. 2022.]
- [51] Srednoselec, T., Ružić, E., Benazić, D. (2021). Faktori atraktivnosti i izgradnja marke poslodavca iz perspektive generacije Z. *Zbornik Veleučilišta u Rijeci*, 9 (1), 143-154, <<https://doi.org/10.31784/zvr.9.1.9>>. [4. 10. 2022.]
- [52] Srivastava, P., Bhatnagar, J. (2010). Employer Brand for Talent Acquisition: An Exploration towards Its Measurement. *Vision – The Journal of Business Perspective*, 14, 25-34, <<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/097226291001400103>>. [4. 10. 2022.]
- [53] Sujansky, J., Ferri-Reed, J. (2009). *Keeping the Millennials: Why companies are losing billions in turnover to this generation-and what to do about it*. New Yersay: John Wiley and Sons.
- [54] Tanwar, K., Prasad, A. (2016). Exploring the Relationship between Employer Branding and Employee Retention. *Global Business Review*, 17 (S), 1-21, <<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0972150916631214>> [23. 9. 2022.]
- [55] Tryfonos, A. (2015). The relationship between employer branding and organisational commitment. Diplomski rad. Faculty of Business and Economics Sciences at the Nelson Mandela Metropolitan University, <https://core.ac.uk/download/pdf/145048298.pdf> [9. 10. 2022.]
- [56] Turban, D. B., Cable, D. M. (2003). Firm Reputation and Applicant Pool Characteristics. *Journal of Organizational Behaviour*, 24 (6), 733-751, <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/job.215>>. [4. 10. 2022.]
- [57] Turulja, L., Alagić, A., Džananović, S., Kačapor, K. (2021). Studija o digitalnoj transformaciji kompanija u Bosni i Hercegovini. Sarajevo : Udruženje za digitalnu



transformaciju u Bosni i Hercegovini. <https://b2bit.ba/wp-content/uploads/2021/11/studija-o-digitalnoj-transformaciji-kompanija-u-bih-2021.pdf> [28. 9. 2022.]

- [58] Tuzuner, V. L., Yuksel, C. A. (2009). Segmenting potential employees according to firms employer attractiveness dimensions in the employer branding concept. *Journal of Academic Research in Economics*, 1 (1), 46-61, <<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.619.578&rep=rep1&type=ppd>>. [4. 10. 2022.]
- [59] Večerin, V. (2021). Uloga brenda poslodavca u zadovoljstvu poslom, organizacijskoj predanosti i namjeri napuštanja organizacije zaposlenika u IT sektoru. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet hrvatskih studija, <<https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:111:086722>> [4. 10. 2022.]
- [60] Veljković, S., Đorđević, A., (2010). *Brand Values for Consumers and Companies*. Marketing, 41 (1), 2010., 3–16.

**Rezime:** Promene izazvane liberalizacijom tržišta poštanskih logističkih usluga, kao i razvojem informaciono-komunikacionih tehnologija, nameću brojne izazove privrednim subjektima koji se takmiče na tržištu u cilju postizanja zadovoljstva svojih korisnika i sticanja njihove lojalnosti. Aktivnosti poslovne transformacije kreirane kao odgovor na tržišnu realnost često su prvenstveno usmerene na strukturalna i procesna poboljšanja, a zanemaruju najvažniji aspekt poslovanja orijentisanog na klijenta: sadašnje i potencijalne zaposlene. Koncept koji se javlja kao način na koji poboljšavaju postojeću komunikaciju prema ovom vitalnom stejkholderu naziva se brendiranje poslodavca. U radu se objašnjava tržišni kontekst koji je doveo do razvoja ovog koncepta, njegova definicija i uloga, ciljevi i obim, dimenzije privlačnosti i pregled relevantnih dostupnih studija.

**Ključne reči:** brendiranje poslodavca, transformacija, komunikacija, dimenzije atraktivnosti

## **BRENDIRANJE POSLODAVCA KAO INOVATIVI ELEMENT ORGANIZACIONE KOMUNIKACIJE**

Nino Ćorić, Ilarija Bašić, Mihaela Sulić Filipović

**TELEKOMUNIKACIONI  
SAOBRAĆAJ, MREŽE I  
SERVISI**



## **OPEN RAN – POSSIBILITIES AND CHALLENGES**

Aleksandar Đurović<sup>1</sup>, Anica Plečić<sup>2</sup>, Filip Banković<sup>3</sup>, Goran Marković<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Roaming Networks, [aleksandar.djurovic@roamingnetworks.rs](mailto:aleksandar.djurovic@roamingnetworks.rs)

<sup>2</sup>RNC Solutions, [a.plecic@rnc-solutions.com](mailto:a.plecic@rnc-solutions.com)

<sup>3</sup>Roaming Networks, [filip.bankovic@roamingnetworks.com](mailto:filip.bankovic@roamingnetworks.com)

<sup>4</sup>University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering,  
[g.markovic@sf.bg.ac.rs](mailto:g.markovic@sf.bg.ac.rs)

**Abstract:** *The entire telecom industry is going through a change that can be only compared to the change that data centers went through in the 2000s, both driven by Moore's Law. Open RAN (O-RAN) is a crucial enabler for this transformation, allowing building networks using a fully programmable software-defined RAN solution based on open interfaces that run on commercial, off-the shelf hardware. This paper aims to present the O-RAN from a theoretical perspective, the possibilities and advantages of the O-RAN compared to legacy RAN, and the challenges mobile network operators might face during the O-RAN deployment.*

**Key words:** *Open RAN, 5G, virtualization, functional split*

### **1. Introduction**

Though the RAN components are “supposed” to be open as they are 3GPP-standards based, they are monolithic units provided by a limited number of vendors and seen by the operators as black boxes, which leads to limited reconfigurability of the RAN and lack support for diverse deployments and different traffic profiles. Operators can not put vendor B's software on a BBU (Baseband Processing Unit) from Vendor A or connect a radio from Vendor A to a virtualized BBU hardware and software from vendor B, known as vendor lock-in. Furthermore, the complexity of cellular networks is constantly increasing. New developments include mMIMO (massive Multiple Input, Multiple Output), millimeter wave and sub-terahertz communications, network slicing and Machine Learning (ML) based digital signal processing [1]. This will impose increasing capital and operational costs (CapEx and OpEx) for the network operators, which will have to continuously upgrade and maintain their infrastructure to keep up with new market trends and customer requirements.

Recently, researchers have shown that RAN participates with almost 60% in CapEx and OpEx. To overcome these limitations and cut down the costs, in the last decade, several research and standardization efforts have promoted the O-RAN as the new paradigm for the RAN of the future. O-RAN deployments are based on

disaggregated, virtualized and software-based components, connected through open and standardized interfaces and interoperability across different vendors. O-RAN helps significantly reduce RAN costs, and reducing RAN costs can significantly help mobile network operators cut down their CapEx. Before we discuss O-RAN in more detail, in the next chapter, we will explain the difference between the Centralized/Cloud RAN (C-RAN), virtualized RAN (vRAN), and O-RAN concepts since they are often used in conjunction with each other and sometimes confusingly.

## 2. Open RAN evolution

About 12 years ago, virtualization of the RAN functions started with the C-RAN (cloud RAN or centralized RAN) initiative from IBM, Intel and China Mobile. The BBU moves to a centralized location in C-RAN implementation, and the cell site only has the antenna and remote radio unit (RRU). C-RAN required a new fronthaul interface (FH), and various industry standards such as the Common Public Radio Interface (CPRI) [2] and the Next Generation Fronthaul Interface (NGFI) [3] evolved to enable these new interfaces between the radios and BBU. In addition, a second option of the centralized RAN architecture has a further split in BBUs into Distribution Unit (DU) and Central Unit (CU). As shown in Figure 1, CU is further toward the core network resulting in a new interface called midhaul (MH). Since radios were connected to BBU in the data center via a dedicated high-bandwidth connection, this made C-RAN deployments only applicable to areas with access to fiber. Furthermore, C-RAN wasn't necessarily open, but it did begin the movement toward disaggregating the RAN.

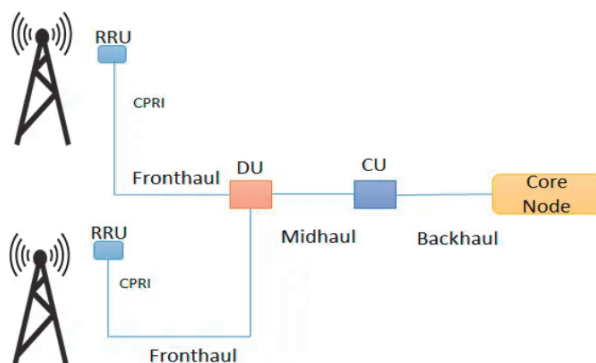


Figure 1. C- RAN with BBU split

Next came Virtual RAN or vRAN, which decouples the software from the hardware by virtualizing network functions. It uses virtualization technologies such as Network Function Virtualization (NFV) or containers to deploy CU and DU over an x86 server. Even if RAN functions are virtualized on a COTS server, the interface between the BBU and RRU is still not an open interface, so vRAN can still create vendor lock-in. In fact, we can consider vRAN as a type of C-RAN since there is no difference between vRAN and C-RAN except that traditionally C-RAN uses proprietary hardware. In contrast, vRAN uses Network Functions on the server platform.

The key with O-RAN is that the interface between the BBU and RRU is an open interface, so, any vendor's software can work on any open RRU. As seen in Figure 2, an MNO can virtualize and disaggregate its RAN, but unless the interfaces between components are open, the RAN is not truly open.

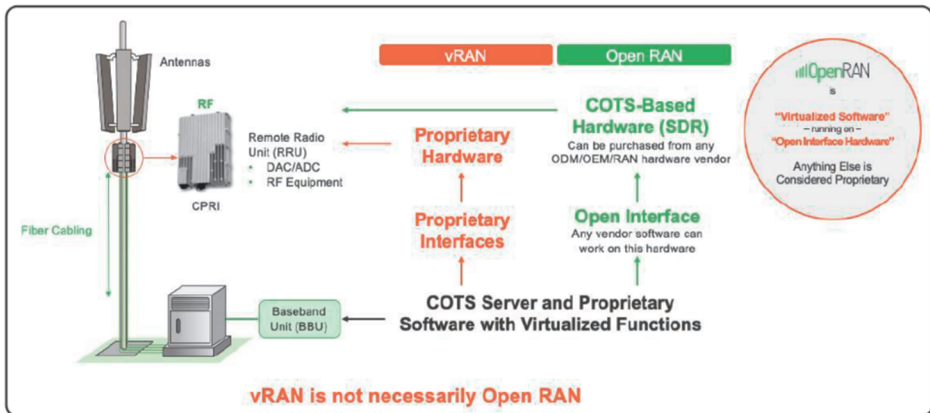


Figure 2. Virtualized RAN versus O-RAN [4]

Two leading organizations are driving O-RAN development today: O-RAN Alliance and OpenRAN group. OpenRAN refers to the project group that is a part of the Telecom Infra Group (TIP), whose main objective is the deployment of fully programmable RAN solutions based on general-purpose processors (GPPs)/COTS and disaggregated software [5]. The O-RAN alliance [6] is the other main driver of the O-RAN concept, focused on efforts to standardize interfaces. The alliance was founded in 2018 by AT&T, China Mobile, Deutsche Telekom, NTT DOCOMO and Orange. While The O-RAN Alliance develops, drives and enforces standards to ensure that equipment from multiple vendors inter-operates with each other, TIP is more deployment and execution focused. TIP encourage Plugfests and live deployments in the field, and it's responsible for productization of use cases, facilitates trials, field testing and deployment. An essential step in developing the O-RAN ecosystem was an alliance agreement between the two organizations. The new deal allows the two groups to share information, reference specifications and conduct joint testing and integration efforts.

### 3. O-RAN architecture and functional splits

In Release 15, 3GPP, defined a new, flexible architecture for the 5G RAN, where the base station or gNodeB (gNB) is split into three logical nodes: the CU, DU and the RU, each capable of hosting different functions of the 5G NR stack [7]. As shown in Figure 3, 3GPP specifies eight options for distributing the functionality of the 5G NR RAN stack across the fronthaul network — the functional splits. Within the eight main functional split options that 3GPP defines, option 7 further divides into sub-options 7-1, 7-2 and 7-3.

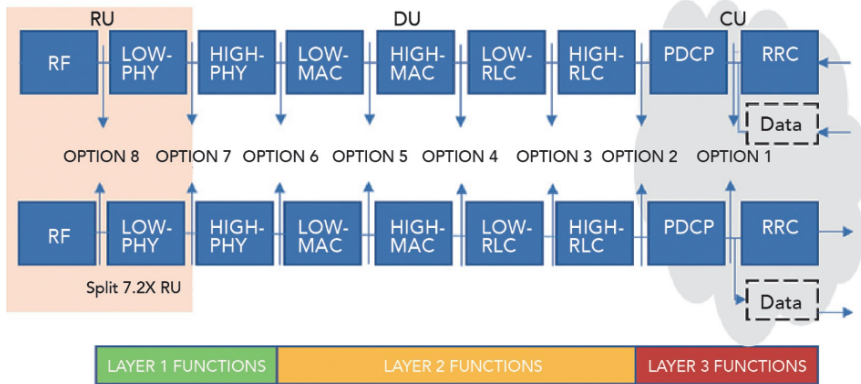


Figure 3. 3GPP functional split options for the 5G [8]

To support increasing FH bandwidth O-RAN fronthaul specifications include a new provision for functional splitting called Split Option 7-2x. An overview of Split Option 7-2x is shown in Figure 4. This split places in radio equipment some Layer 1 functions (named PHY-Low) traditionally located in the BBU. They also prescribe detailed signal formats and equipment operation required for multi-vendor RAN hasn't been prescribed in eCPRI specifications and Management Plane (M-Plane).

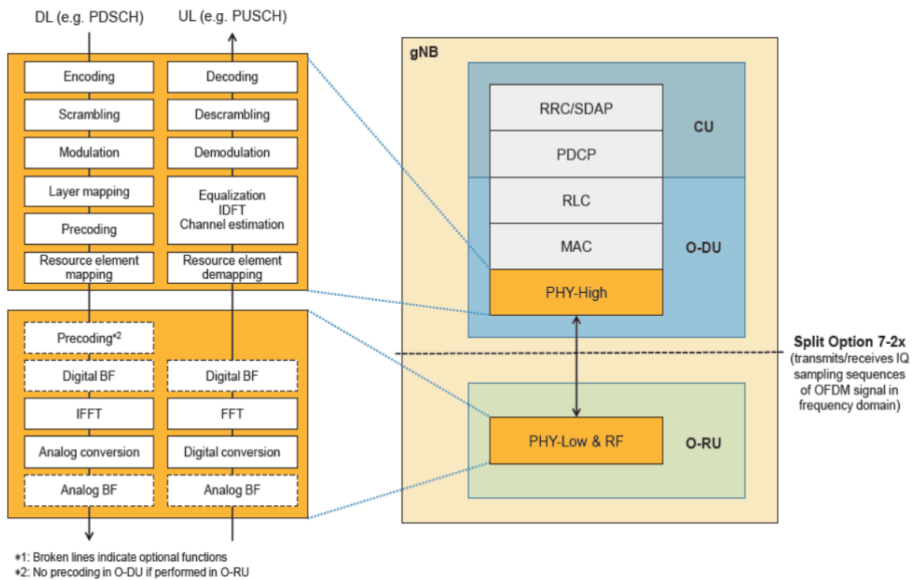


Figure 4. Split option 7-2x adopted in O-RAN [9]

O-RAN architecture is designed flexibly, consisting of different nodes and interfaces along with various options for implementation. The main building blocks in O-RAN architecture are presented in Table 1. Separate vendors can provide them, thus, they can create an ecosystem of players developing only CUs, DUs, or only xApps or RICs.

Table 1. O-RAN architecture building blocks [10]

Name	Short description
O-Cloud	Cloud Computing platform comprising physical infrastructure nodes to host O-RAN functions, like near RT-RIC, O-DU, etc.; supporting software components (e.g. operating systems, virtual machine monitoring, container runtime), management, and orchestration functions.
O-RU (O-RAN Remote Unit)	A logical node hosting a low-PHY layer functions
O-DU (O-RAN Distributed Unit)	A logical node hosting RLC (Radio Link Control)/MAC (Medium Access Control) and high-PHY layer functions.
O-CU-CP (O-RAN Central Unit-Control Plane)	A logical node hosting RRC (Radio Resource Control) and CP (Control Plane) part of PDCP (Packet Data Convergence Protocol).
O-CU-UP (O-RAN Central Unit-User Plane)	A logical node hosting SDAP (Service Data Adaption Protocol) and UP (User Plane) part of PDCP.
near-RT RIC (near Real-Time RAN Intelligent Controller or nRT RIC)	A logical node, enabling near-RT control and optimization of RAN elements and resources via fine-grained data collection and actions over E2. Near-RT RIC may include AI/ML workflow.
non-RT RIC (non Real-Time RAN Intelligent Controller or NRT RIC)	A logical node, enabling non-RT control and optimization of RAN elements and resources, capturing AI/ML workflow, and policy-based guidance of application-features in NRT RIC.
xAPP	An application designed to run on near-RT, likely to consist of one or more micro services, that identifies data to consume and provide. xApp is independent of nRT RIC and may be provided by a third party.
SMO (Service and Management Orchestration)	System supporting orchestration of O-RAN components that includes NRT RIC.

Within the logical architecture of O-RAN, as shown in Figure 5 below, the radio side includes nRT RIC, O-CU-CP, O-CU-UP, O-DU, and O-RU functions. Although not shown in this figure, the O-eNB supports O-DU and O-RU functions with an Open Fronthaul interface between them. The solid line is used for interfaces specified by 3GPP, while dashed lines are used for interfaces specified by O-RAN Alliance.

A1 interface is defined between non-RT RIC and near-RT RIC, through which NRT provides nRT RIC with policies, enrichment info, and ML model updates, while on the other hand nRT RIC provides back the policy feedback. E2 interfaces, touch and get into specific entities within the base station, i.e., O-DU and O-CU. It can control what is happening with the base station, using monitor, suspend, override, control messages, and execute actions coming from xAPPs/nRT RIC. O1 and Open-Fronthaul M-Plane interfaces are responsible for FCAPS (Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security). O2 interfaces manage the platform resources and workload (like resource scaling and FCAPS for a cloud computing platform).



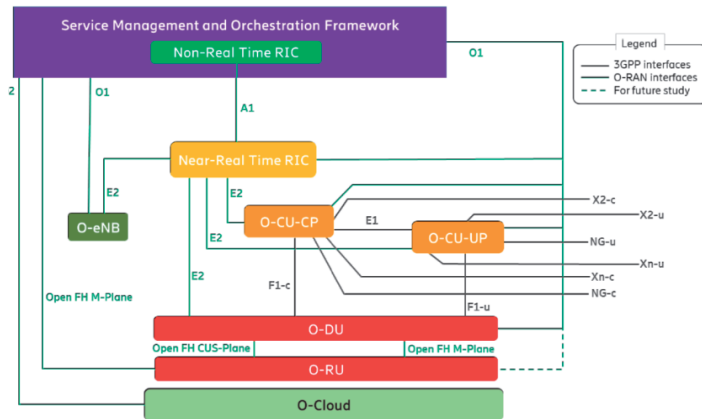


Figure 5. The logical architecture of O-RAN [10]

#### 4. O-RAN possibilities and challenges

The O-RAN concept and movement are not new – MNOs and network and technology vendors have been developing solutions, conducting trials and deploying networks for the last few years. Clearly, O-RAN is no longer a regional solution, nor one that only applies to greenfield operators or MNOs in developing regions of the world. iGR identified 23 publicly announced MNOs worldwide using equipment from multiple vendors, including Altistar, Mavenir and Parallel Wireless, who had deployed O-RAN in commercial networks. These MNOs collectively have just over 1.308 billion subscribers in their retail networks and operate in countries or regions with a total population of nearly 2.459 billion [11]. These MNOs have realized significant savings in CapEx and OpEx and many have discussed this publicly. The primary benefits of deploying O-RAN are:

- Lower CapEx/OpEx costs compared to legacy RAN since there is a competition among many different layers of the hardware and software supply chain. Operation and maintenance of an O-RAN system are simplified because the hardware is standardized, standardized interoperable interfaces and open APIs are used, DevOps approaches can be utilized, and the software does not rely on purpose-built components.
- Enabling edge centric architecture – multiple mini data centers can be built closer to subscribers, mainly in high-population areas, to serve subscriber needs, support low latency connectivity for 5G applications and provide scalability for both devices and applications.
- Use best-of-breed components and software architecting to build the infrastructure for the network.
- Lower deployment times – Using virtualized RAN, benefits like automation can reduce the average time for deploying a site. Also, a virtualized RAN combined with centralization can be deployed faster than a traditional architecture since the only site installation required is for the radio and power.
- Minimizes vendor lock-in danger. The incoming O-RAN vendor’s equipment will work with the incumbent and future vendors’ solutions.

- Ability to add massive scale if needed using a web-scale approach.
- In addition, to further support mobile operators as they transition to 5G, O-RAN also supports legacy 2G, 3G and 4G networks.

Nevertheless, MNO might face challenges and limitations during the O-RAN deployment and maintenance. Table 2 lists some of the major arguments against O-RAN and reasons why they are not or shouldn't be relevant anymore in the future.

*Table 2. The discussion against Open RAN integration*

Argument	Details	Current situation
MNO will need to integrate O-RAN solutions themselves	Since multiple vendors are required for an O-RAN deployment, the solution is not integrated, so MNO will be responsible for the cost of integration, which might lead to higher overall costs and delayed time to market	MNOs that have deployed O-RAN have said integration costs are no higher than with the traditional single-vendor approach
High risk for network reliability	Since network elements are from different vendors, network reliability might be compromised because identifying and troubleshooting network issues will be more complex	Network management tools have been developed for O-RAN, meaning that any issues can be quickly identified and resolved
COTS capability	Some advanced features and RAN deployments require more specialized hardware solution	Major hardware vendors are working to address this issue
Systems integration lacking	The argument is that software solutions are not integrated, and that software is not integrated into hardware	Rich ecosystem of vendors for radios, BBU, hardware and software is already working together to ensure integrated solutions are available to the market
Less secure	Lack of integration argument is that O-RAN deployments are inherently less secure than the traditional single-vendor approach	O-RAN deployments have followed data center, private cloud, and enterprise IT integration and security best practices

## 5. Conclusion

The legacy RAN vendors have provided proprietary solutions and continue to promote and deliver only closed systems in their best interests. We can even say that some of the legacies of RAN vendors underestimated the potential of O-RAN, but nowadays they are moving slowly in that direction. Some of the major O-RAN benefits for MNO are following: lower costs (both CapEx and OpEx) and deployment times, minimizing the danger of vendor lock-in, more accessible network scale and upgrade, usage of best-of-breed software and less expensive hardware components, etc.

Nevertheless, there are some challenges associated with an O-RAN concept. Because of the multi-vendor environment, MNO can not use the “one neck to choke” approach. Also, O-RAN standards are not currently widely adopted, and O-RAN vendors are slightly behind the legacy vendor regarding network performances and supported features. In theory, MNO can use COTS hardware, but the practice has shown that general-purpose hardware is insufficient to support RAN demands in some cases. Hardware and software vendors, system integrators, ORAN Alliance, TIP, and other organizations are putting great effort into overcoming these challenges. The future of O-RAN should be more transparent in upcoming years. Still, since significant operators worldwide already adopt O-RAN, we think O-RAN is on its way to become a natural and unified alternative to proprietary RAN networks in the middle of this decade.

## Literature

- [1] M. Polese, L. Bonati, S. D’Oro, S. Basagni, T. Melodia, “*Understanding O-RAN: Architecture, Interfaces, Algorithms, Security, and Research Challenges*”, August 2022
- [2] Ericsson AB, Huawei Technologies Co. Ltd, NEC Corporation, Alcatel and Nokia Networks, *CPRI Specification V7.0*, 2015, available at <http://www.cpri.info/spec.html>
- [3] Small Cell Forum, “*nFAPI and FAPI specification*”, Version 082.09.05, May 2017.
- [4] Parallel Wireless, “*Everything you need to know about Open RAN*”, 2020.
- [5] <https://telecominfraproject.com/>
- [6] <https://www.o-ran.org/>
- [7] <https://ieeexplore.ieee.org/document/8479363>
- [8] 3GPP, “*NR and NG-RAN Overall description; Stage-2*,” 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 38.300, July 2022
- [9] A.Umesh, T. Yajima, T. Uchino, S. Okuyama, “*Overview of O-RAN Fronthaul specifications*”, *NTT DOCOMO Technical Journal*, vol 21, pp. 46-59, July 2019.
- [10] O-RAN Working Group 1, “*O-RAN Architecture Description*,” *ORAN.WG1.O-RAN-Architecture-Description-v06.00*”, Technical Specification, November 2021.
- [11] iGR, “*Open RAN Integration: Run With it*”, White Paper, 2021.

**Rezime:** Telekom industrija prolazi kroz promenu koja se po značaju može uporediti sa virtualizacijom hardvera u data centrima početkom XXI veka. Otvorene radio pristupne mreže se nalaze u središtu transformacije, omogućavajući izgradnju mreže instalacijom potpuno programabilnog RAN softvera na komercijalnom hardveru opšte namene koji je baziran na otvorenim interfejsima. U radu se razmatraju otvorene radio pristupne mreže sa teorijskog stanovišta, njihove mogućnosti i prednosti u poređenju sa tradicionalnim bežičnim mrežama, ali i izazovi sa kojima se mobilni operator može suočiti prilikom implementacije otvorenih radio pristupnih mreža.

**Ključne reči:** Otvorene radio pristupne mreže, mobilna mreža pete generacije, virtualizacija, funkcionalna podela

## OPEN RAN – MOGUĆNOSTI I IZAZOVI

Aleksandar Đurović, Anica Plečić, Filip Banković, Goran Marković

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.022>

## **MODELIRANJE KORISNIČKIH PROFILA TELEKOMUNIKACIONIH SERVISIA**

Valentina Radojičić, Slobodan Mitrović  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet  
valentin@sf.bg.ac.rs; s.mitrovic@sf.bg.ac.rs

**Rezime** - *Izuzetno brz razvoj tehnologije u današnje vreme zahteva kreiranje korisničkih profila, kroz prezentaciju korisničkih interesovanja i preferencija, kao neophodan preduslov uspešnog funkcionisanja savremenih servisa. Sam korisnički profil rezultat je procesa profilisanja korisnika, a neophodan je, kako za procese planiranja poslovanja u sektoru telekomunikacija, tako i za samu personalizaciju servisa. Efikasno profilisanje korisnika podrazumeva individualnu ili kombinovanu primenu različitih tehnika i metoda, kao i odgovarajućih algoritama za obradu prikupljenih podataka o korisniku. Ovaj rad istražuje koje informacije je potrebno modelovati za predstavljanje različitih korisničkih profila, kako se ove informacije prikupljaju, koje tehnike se koriste za profilisanje korisnika i konačno kako se predstavlja i održava model korisnika. U radu su date uporedne karakteristike tipova profilisanja korisnika koji se koriste za različite potrebe u procesu planiranja i razvoja pojedinih servisa. Takođe, ovaj rad istražuje modeliranje korisničkih profila kroz diskusiju o prednostima i nedostacima raspoloživih tehnika koje se koriste za profilisanje korisnika.*

**Ključne reči:** *profilisanje korisnika, korisnički profil, personalizacija, klasifikacija, klasterovanje*

### **1. Uvod**

Brojni *online* servisi, danas su dostupni korisnicima putem različitih elektronskih platformi (npr. pametni telefoni, personalni računari, smart televizori i dr.). Na ovako konkurentskom tržištu, korisnički profili postaju veoma važni za provajdere servisa kako bi postigli uspešnu personalizaciju servisa i prilagodili pakete servisa potrebama korisnika. Personalizovani servisi imaju za cilj da odgovaraju zahtevima i preferencijama korisnika, radi što kvalitetnijeg pružanja servisa. Uspeh ovih servisa zavisi od toga koliko dobro servis provajder poznaje korisnika i u kojoj meri se ponašanje korisnika odražava na kvalitet servisa, imajući u vidu da korisnički profil predstavlja virtuelnu reprezentaciju samog korisnika.

Profilisanje korisnika može se definisati kao proces identifikacije podataka u domenu interesovanja korisnika [1]. Istraživanje procesa za profilisanje korisnika je trenutno polje proučavanja u širokom spektru istraživačkih domena, poput veštačke

inteligencije, rudarenja podataka i informacionih nauka [2]. Potreba za personalizacijom servisa i profilisanjem korisnika nastala je usled velike količine i heterogenosti prisutnih informacija, zbog čega se smanjuje mogućnost razlikovanja relevantnih informacija u odnosu na nebitne [2]. Primenom personalizacije servisa povećava se kvalitet pruženih servisa, što dovodi do sprečavanja pada profita provajdera informacionih i komunikacionih servisa [3].

Imajući navedeno u vidu, postoji potreba od strane provajdera servisa da izgrade sistem koji korisnicima nudi tačno one informacije koje odgovaraju njihovim trenutnim potrebama. Takav sistem je u direktnoj zavisnosti od korisničkog profila i sistema personalizacije. Shodno tome, može se reći da korisnički profil predstavlja instancu korisničkog modela, potrebnu za interaktivni adaptivni sistem obrade podataka, dok se sistem personalizacije oslanja na različite oblike korisničkog profila, koji su potrebni za izgradnju efikasnog mehanizma za preporuku relevantnih informacija. Na taj način se unapređuje sistem upravljanja podacima, čime efikasnost profilisanja korisnika pruža visoku meru personalizacije i zadovoljstva korisnika u pogledu kvaliteta pruženog servisa.

U ovom radu opisan je značaj procesa profilisanja korisnika i personalizacije servisa. Ostatak ovog rada organizovan je na sledeći način. U drugom poglavlju dat je pregled literature i različite definicije korisničkog profila. Nakon ovoga, u poglavlju 3, opisani su tipovi korisničkog profila. Poglavlje 4 prikazuje modeliranje korisničkih profila. Poglavlje 5 daje kratak prikaz raspoloživih tehnika primenjenih za modeliranje profila, nakon čega sledi poglavlje 6 o personalizaciji servisa. Poslednje poglavlje se odnosi na zaključak rada.

## **2. Korisnički profili - pregled literature**

Korisnički profil je skup informacija koje predstavljaju korisnika na osnovu određenih zakonitosti, stavki, potreba, interesovanja, ponašanja i preferencija. Širok spektar primene principa korisničkog profilisanja, uticao je na pojavu više različitih definicija i opisa entiteta „korisnički profil“ u literaturi. U [4], autori definišu korisnički profil kao skup informacija koje bliže opisuju korisnika. Skup se sastoji od demografskih informacija kao što su starost, pol, nivo obrazovanja, ekonomski status itd. [5]. Godoj i Amandi [6] opisali su korisnički profil kao naraciju o korisničkom ponašanju, interesovanjima, karakteristikama i preferencijama dobijenim putem intervjua i upitnika ili uz pomoć algoritama mašinskog učenja i tehnika rudarenja podataka. U [7] autori definišu korisnički profil kao proceduru za prikupljanje informacija od interesa korisnika. Sistem nadalje koristi prikupljene informacije da bi prilagodio servise i poboljšao zadovoljstvo korisnika. El Alloui i El Bekkali [8] su u svojoj studiji objasnili korisnički profil kao skup struktura podataka koji opisuju okruženje za interakciju čoveka i računara. U [9], korisnički profil opisuje se kao primena ontologije za sistematsko predstavljanje interesa korisnika, imajući u vidu efikasnost funkcionisanja web pretraživača. U [10] autori su opisali korisnički profil kao obrazac koji se sastoji od sklonosti i preferencija korisnika u ponašanju. Prema ovim autorima, znanje o korisničkom profilu daje predstavu o ponašanju grupe korisnika i može predvideti njihove namere. Zahvaljujući mogućnosti kreiranja obrazaca, lako je identifikovati korisnike sa sličnim ponašanjem sve dok su grupisani u isti korisnički profil. Na ovaj način, predviđanje trendova ponašanja korisnika je praktično izvodljivo upravo

zahvaljujući trenutnom modelu ponašanja [2]. Slično navedenom, u [11] autori definišu korisnički profil kao informaciju koja nudi uvid u potrebe korisnika i predviđa njegovu buduću nameru. Oni su primetili da ove informacije zavise od tri glavna faktora, koji uključuju sličnosti, rukovanje digitalnim tragovima i predikciju putem algoritama mašinskog učenja.

### 3. Tipovi korisničkih profila

Sadržaj i količina informacija prikazani kroz korisnički profil mogu varirati u zavisnosti od oblasti primene. Međutim, bez obzira na informacije, tačnost definisanja korisničkog profila zasniva se na tome kako su informacije o korisniku prikupljene i organizovane, i koliko zaista te informacije realno oslikavaju korisnika. Korisnički profil se može grupisati u tri osnovna tipa: statički, dinamički i hibridni profil [12]. Kod statičkog ili eksplicitnog profila, informacije u vezi sa interesovanjima i preferencijama korisnika eksplicitno daje sam korisnik sistemu. Ovi podaci se obično dobijaju popunjavanjem *on line* formulara ili iz anketa itd. Nedostatak ovog tipa profila je da se odnosi na činjenicu da korisnici retko daju sve svoje informacije tačno, jer smatraju da je njihova privatnost ugrožena. Zbog često netačno unesenih podataka, statički profil se često smatra nepouzdanim.

Tabela 1. Uporedne karakteristike pristupa profilisanja korisnika [1]

Tip korisničkog profila	Opis	Tehnika prikupljanja podataka	Prednosti	Nedostaci
Eksplicitni	Korisnik manuelno kreira profil	Upitnici, ocenjivanje, registracija i sl.	Prikupljene informacije mogu biti visokog kvaliteta ako su podaci tačni	Informacije su nepouzdanе; Veliki napor za ažuriranje informacija
Implicitni	Sistem generiše informacije iz datoteka; interakcija između korisnika i sadržaja	Algoritmi mašinskog učenja, veštačka inteligencija	Minimalno angažovanje korisnika uz jednostavno ažuriranje automatizovanim metodama	Veliki broj interakcija između korisnika i sadržaja
Hibridni	Kombinacija eksplicitnog i implicitnog pristupa	Tehnike i eksplicitnog i implicitnog pristupa	Otklanjaju se nedostaci a promovišu dobre osobine i jedne i druge tehnike	/

Za razliku od statičkog, dinamički profil se automatski generiše od strane sistema za obradu podataka, što ima za posledicu da se atributi korisnika i korespondentni sadržaj menjaju tokom vremena. Prema tome, ova vrsta profila predstavlja rezultat dinamičkog profilisanja, u kome informacije o ponašanju korisnika teže da odrede buduće informacije o korisniku više nego sadašnje informacije [13]. Zbog ove karakteristike, ovaj tip profila se još naziva i bihejvioristički ili adaptivni profil. Dinamički profil je uvek tačan u situaciji kada postoji velika brzina isporuke podataka.

Pored toga, postojeća ontologija korisnika se koristi za usmeravanje ekstrakcije podataka, definisanje odnosa među njima, kao i obezbeđivanje registra entiteta. Na osnovu toga, može se formirati struktura korisničkih podataka, koja može identifikovati kratkoročne i dugoročne interese korisnika. Dok kratkoročni profil prikazuje trenutna interesovanja korisnika, dugoročni predstavlja skup interesovanja koji se ne menja ili se veoma retko menja. Takođe je moguće napraviti hibridni korisnički profil koji kombinuje prednosti implicitnog i eksplicitnog profilisanja korisnika, tj. uzima u obzir i statičke karakteristike korisnika i takođe preuzima dinamičke informacije o ponašanju korisnika. Ovaj pristup pomaže efikasnijem profilisanju i održava tačnost vremenskih informacija kako se informacije ažuriraju tokom vremena. U takvom profilisanju koriste se i različite vrste tehnika filtriranja. Najčešće, hibridni pristup počinje korišćenjem eksplicitnih tehnika za prikupljanje početnih podataka, a zatim implicitnih tehnika za ažuriranje korisničkog profila. Tabela 1 upoređuje prethodno pomenute tipove korisničkih profila.

### **3. Proces profilisanja korisnika**

Profilisanje korisnika podrazumeva realizaciju više procesa: 1) prikupljanje informacija o korisniku, 2) konstrukcija korisničkog profila i 3) ažuriranje korisničkog profila.

(1) Prikupljanje informacija o individualnom korisniku predstavlja polaznu tačku za primenu tehnika profilisanja korisnika. Da bi se dobila identifikacija korisnika, primenjuje se pet standardnih pristupa kao što su: prijavljivanje na sistem (na osnovu registracije), upotreba softverskih agenata, napredne verzije proksi servera, upotreba kolačića na web platformama, kao i identifikatori sesija. [2].

(2) Konstrukcija korisničkog profila podrazumeva proces koji se može realizovati kroz direktnu interakciju sa korisnikom, putem korisničkih interfejsa ili automatizovano, upotrebom sistema kroz primenu algoritama učenja. Na ovaj način se formira profilna grupa informacija, koja se može kategorisati u neophodne forme, poput semantičke mreže, profila ključnih reči i koncepta podataka [2].

(3) Ažuriranje korisničkog profila je proces koji se realizuje tek nakon pojave naznake da je korisnički profil uspešno kreiran. Proces ažuriranja započinje pojavom određenog upita koji je vezan za posmatranog korisnika. Na osnovu toga, sistem preuzima element upita (npr. ključne reči) i vrši proveru da li se kontekst upita uklapa sa postojećim karakteristikama u okviru samog profila. Ukoliko je ovakav vid verifikacije pozitivan, tada se upit stavlja u kontekst već postojećih karakteristika u korisničkom profilu. Shodno tome, odgovor sistema na postojeći upit bi trebao da odgovara identifikovanim preferencijama, čime se uvećava kvalitet servisa pruženog korisniku na osnovu hibridnog rešenja [8].

### **4. Modeliranje korisničkog profila**

Modeliranje korisničkog profila je proces izgradnje računarskog modela koristeći izdvojene karakteristike koje mogu predvideti potrebe ili preferencije korisnika [2]. Ovaj proces se odvija u nekoliko faza (prikupljanje podataka, preprocesiranje i ekstrakcija karakteristika). Analiza rezultata ima osnovni cilj da kreirani profil predstavlja presek svih aktivnosti i interesa korisnika koji su klasifikovani u istu grupaciju.

**Prikupljanje podataka** - prva faza u modeliranju korisničkog profila odnosi se na prikupljanje podataka o aktivnosti korisnika. O prikupljanju podataka bilo je već reči u prethodnom poglavlju, dok će u ovom delu biti pružen osvrt na tipove podataka i njihovu konverziju tokom ove faze modeliranja. Podaci koji se prikupljaju obično obuhvataju eksplicitno prikupljane informacije o korisnicima, punog imena korisnika, statusa obrazovanja, zanimanja, mesta življenja, kratke biografije i sl. Ovi podaci se nadalje koriguju i dopunjuju implicitno prikupljenim podacima, koji mogu uključivati spektar informacija koji se proteže od domena interesovanja i preferencija, preko statusa profila, emocija predstavljenih preko statusa emotikona, pa do statusa uređaja koji se koriste (poput statusa mrežne povezanosti, propusnog opsega, lokacije i dr.).

**Preprocesiranje** - Većina prikupljenih informacija može sadržati određene nedostatke, koji naknadno mogu napraviti probleme u toku analize podataka. Zbog toga je uvedena faza pripreme prikupljenih podataka, u kojoj se vrši pročišćavanje ulaznih podataka da bi se dobio njihov stvarni oblik, koji bi poboljšao efikasnost modeliranja profila, a time i kvalitet izlaznog rezultata. Faza preprocesiranja uključuje uklanjanje duplikata u podacima, uklanjanje dvosmislenosti podataka u odnosu na kontekst i sl, za šta se mogu primeniti različite tehnike poput označavanja (tagovanja) podataka, upotrebe segmenata tekstualnih podataka kao tokena u daljoj obradi i sl. [14].

Tabela 2. Formule za evaluaciju performansi [2]

Test evaluacije	Formula	Varijable
<b>Tačnost (ACC):</b> odnos pozitivno izdvojenih instanci, prema ukupnom broju instanci (%)	$ACC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$	<i>TP</i> - true-positive (broj) <i>TN</i> - true-negative (broj) <i>FP</i> - false-positive (broj) <i>FN</i> - false-negative (broj)
<b>Preciznost (PRE):</b> metrika učinka izračunata kao odnos true-positive prema zbiru true-positive i false-positive.	$PRE = \frac{TP}{TP + FP}$	
<b>Opoziv (REC):</b> netačno predstavljanje interesovanja ili preferencija korisnika. Izračunava se kao odnos true-positive prema zbiru true-positive i false-negative.	$PRE = \frac{TP}{TP + FP}$	
<b>F-mera (F-M):</b> F-mera predstavlja kombinaciju preciznosti i opoziva, posebno kada postoji velika jednakost false-positive i false-negative. Ona izračunava harmonijsku sredinu preciznosti i opoziva i pretpostavlja vrednosti 0 i 1.	$F - M = \frac{2 * (PRE * REC)}{PRE + REC}$	
<b>Srednji recipročni rang (MRR):</b> prosečni multiplikativni inverzni rang ciljanog skupa za testiranje, preko broja ciljnih oznaka u skupu za testiranje.	$MMR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}$	<i>r<sub>i</sub></i> - rang ciljane oznake

**Ekstrakcija karakteristika profila** - Ova faza u modeliranju korisničkog profila podrazumeva ekstrakciju svih karakteristika posmatranog korisničkog profila iz različitih domena koji su u vezi sa dostupnim ulaznim podacima. Ova faza se smatra neophodnom, jer izdvajanje određene karakteristike koja se smatra ključnom, ima krucijalan uticaj na performansu modeliranja profila. Najčešće korišćene karakteristike u



dostupnoj literaturi uključuju karakteristike sadržaja, šablona, profila, termina i ponašanja korisnika, i sl. [2]. Potom se izdvojene karakteristike modifikuju na odgovarajuće načine, kako bi se iskoristile u procesu mašinskog učenja ili druge tehnike koje mogu biti adekvatne za treniranje i/li razvoj modela. Pregled aktuelnih tehnika biće predstavljen u narednom poglavlju.

Analiza rezultata modeliranog profila predstavlja bitan deo procesa modeliranja i vrši se sa ciljem da se ispitaju performanse modeliranog profila. Ispitivanje performansi se vrši putem evaluacije (predstavljene u tabeli 2), koja se sastoji od identifikacije parametara profila, koji se mogu okarakterisati kao *true-positive* (tačno predstavljanje interesa ili preferencija korisnika), *false-positive* (pogrešno predstavljanje interesa ili preferencija korisnika), *true-negative* (tačno predstavljanje potreba korisnika od strane drugog korisnika) i *false-negative* (pogrešno predstavljanje interesa ili preferencija korisnika od strane „prevaranta“).

## 5. Tehnike modeliranja

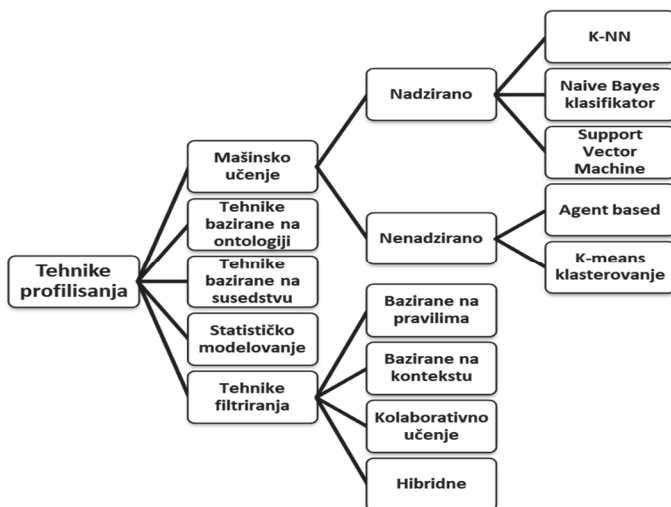
Proces izgradnje računarskog modela realizuje se kroz upotrebu različitih tehnika modeliranja. Ove tehnike se koriste u skladu sa sledećim pristupima: pristup zasnovan na susedstvu, pristup zasnovan na mašinskom učenju, pristup zasnovan na ontologiji, pristup baziran na filtraciji ili baziran na statističkom modeliranju (slika 2) [2].

**Tehnike bazirane na mašinskom učenju** - osnovni model mašinskog učenja podrazumeva primenu algoritma iz kojeg sistem može da uči i uspostavlja predviđanje podataka. Ovo se postiže korišćenjem ulaznih podataka za izgradnju modela kako bi se kreirala odluka zasnovana na podacima [15]. Algoritmi za mašinsko učenje se u osnovi mogu klasifikovati na one koji uče pod nadzorom (odnosno, gde je ulaz mapiran na željeni izlaz) i one koji uče bez nadzora (automatsko otkrivanje podataka bez obzira na obrazac za dodeljivanje klase). Mašinsko učenje pod nadzorom podrazumeva da sistemi uče iz posebne grupe podataka kako da izvrše zadatak nove klasifikacije posmatranja iz ulaznih podataka. U praksi se najčešće koriste algoritmi K-najbližih suseda, K-NN (u problemima klasifikacije i regresije, vezane za profilisanje korisnika na osnovu personalizacije) [14], *Naive Bayes* (u domenu interaktivnih aplikacija) [16] i *Support Vector Machine* (koji se koristi npr. za identifikaciju relevantnih dokumenata plasiranih na www mreži) [17].

U nenadziranom učenju, mašina sama uči podatke iz stvarnog sveta [18]. Tehnike mašinskog učenja bez nadzora koje se obično koriste u profilisanju korisnika su sistemi bazirani na agentu [19] i klasterovanje K-srednjih vrednosti (K-means, koji za grupisanje korisnika koristi algoritam koji deli karakteristične skupove podataka u individualno grupno ponašanje kako bi se odredili profili korisnika [2]).

Sistem baziran na agentu se koristi za poboljšanje rezultata preuzimanja i kriterijuma evaluacije kreiranjem više agenata koji se bave različitim problemima i fazama personalizacije [2]. Agent koristi model web pretrage da bi dobio najbolji rezultat koji zadovoljava interesovanje korisnika i njegova prednost u odnosu na tradicionalni pretraživač se ogleda u tome što izgradnja profila počinje od nule sa osnovnim informacijama i održava se do kraja korišćenjem povratnih informacija korisnika, [20]. Ipak, unos podataka profila je podložan pristrasnosti jer opis korisnika sprovode sami korisnici, a profil se vremenom degradira zbog statične prirode profila [2], [19]. Pored navedenog, za modeliranje se koriste i tehnika klasterovanja na bazi K-

srednjih vrednosti (*K-means*). Mašinsko učenje se standardno primenjuje u sistemima za preporuku.



Slika 2. Pregled tehnika modeliranja profila korisnika [2]

**Tehnike zasnovane na ontologiji korisnika** - Ontologija je „konceptualizacija domena u čoveku na razumljiv ali mašinski čitljiv način, koji se sastoji od entiteta, atributa, odnosa i aksioma“. Korisnička ontologija ima veću verovatnoću da poboljša profilisanje korisnika zbog evolucije semantičkih mreža, čime se eliminiše problem sa pogrešnom klasifikacijom interesa korisnika. Primena ove tehnike je detaljnije predstavljena u [21].

**Tehnike zasnovane na susedstvu** - ova tehnika je fokusirana na rešavanje problema izgradnje/dopune profila individualnog korisnika na osnovu karakteristika profila korisnika tj. „suseda“, za koju sistem proceni da može biti pripadajuća za posmatranog korisnika tj. njegovu „susedstvo“. Ova tehnika ima i reverzibilan efekat, tj. profil pojedinca može „obogatiti“, odnosno dopuniti profil „susedstva“. Ova tehnika je analizirana u [22].

**Tehnike zasnovane na statističkom modelu** - statistički model je tehnika koja se koristi za formiranje korisničkog profila korišćenjem liste ključnih reči ili korisničkih dnevnika. Web pretraživači koriste ovu tehniku za selekciju rezultata i preporuku na osnovu frekvencije upotrebe ključnih reči [14]. Takođe, ova tehnika se primenjuje i u slučaju društvenih mreža, ali i za druge namene, poput bezbednosnih analiza na bazi profila [2].

**Tehnike filtriranja** - zadatak ove vrste tehnika je da shodno situaciji, naglasi određene karakteristike individualnog korisnika, izdvajajući ga iz korisničkog profila u koji je svrstan, kao i da ukloni manje bitne karakteristike sa ciljem da odgovor na postavljeni upit bude što precizniji. Za realizaciju ovakvih ciljeva koriste se različite metode, koje mogu biti zasnovane na pravilima, kontekstu, kolaboraciji, kao i metode zasnovane na hibridnom pristupu. Kod metode zasnovane na pravilima, sama pravila su unapred utvrđena od strane sistema na osnovu profila korisnika dobijenog kroz proces registracije postavljanjem niza pitanja korisnicima. Unapred utvrđena pravila, koja

funkcionišu po principu „*if-then*“, koriste se prilikom primene sistema za preporuku. U slučaju metode zasnovane na kontekstu, koja se takođe naziva i kognitivno filtriranje [23], pretpostavlja se da se korisnik isto ponaša pod istim okolnostima [6], zbog čega sistem bira stavke koje imaju visoku korelaciju konteksta sa korisničkim profilom. U metodi filtracije zasnovanoj na kolaboraciji, filtracija funkcioniše upotrebom algoritma koji objedinjuje povratne informacije koje daju različiti korisnici i preporučuje određene stavke za korisnike uzimajući u obzir sličnosti među korisnicima [1]. Hibridne metode filtracije kombinuju karakteristike filtriranja zasnovanog na kontekstu i metode kolaborativnog filtriranja da bi se poboljšao njihov učinak, ali i sprečili specifični nedostaci [23].

## 6. Personalizacija

Poslednja faza u razvoju korisničkog profila uključuje upotrebu informacija u korisničkom profilu za pružanje personalizovanih servisa. Nakon što se konstruiše, korisnički profil se koristi za pružanje personalizovanih servisa u različitim oblastima, kao što su personalizovani sistemi preporuka, mobilni servisi, društvene mreže, web pretraga i pregledanje itd.

Personalizacija servisa je proces promene funkcionalnosti sadržaja informacija ili posebnosti sistema kako bi se povećala njegova sposobnost da prepozna pojedinca. Štaviše, personalizacija se definiše kao prilagođavanje servisa na način da odgovara interesima, preferencijama i potrebama korisnika [24]. Postoje dve vrste metoda personalizacije servisa: implicitna i eksplicitna personalizacija. U implicitnoj personalizaciji, informacije o korisniku za kreiranje korisničkog profila se prikupljaju implicitno (npr. tokovi klikova, skrolovanje, skladištenje). Dakle, korisnik nije svestan procesa prikupljanja informacija. Sa druge strane, u eksplicitnoj personalizaciji, informacije o korisničkom profilu se prikupljaju direktnim angažovanjem sa korisnikom (npr. upitnici, ocene i obrasci za povratne informacije). Ovde je korisnik svestan procesa prikupljanja informacija. U implicitnoj personalizaciji, tačnost se poboljšava uz kontinuiranu upotrebu sistema od strane korisnika. U eksplicitnoj personalizaciji, s druge strane, tačnost personalizovanih informacija zasniva se na lično datim informacijama koje korisnik sam ažurira [1].

## 7. Zaključak

U ovom radu dat je pregled procesa izgradnje računarskog modela za kreiranje korisničkih profila kroz fazu prikupljanja podataka, preprocesiranje i ekstrakciju karakteristika korisničkog profila. Sam proces izgradnje računarskog modela predstavljen je kroz upotrebu različitih tehnika modeliranja.

Primena principa profilisanja korisnika i personalizacije servisa predstavlja neophodan preduslov za konzistentan prikaz relevantnih informacija pojedinačnih servisa, na bilo kojoj platformi, koju jedan korisnik može koristiti. Time se maksimizira kvalitet pružanja servisa krajnjem korisniku odnosno otvara mogućnost prilagođavanja paketa servisa potrebama korisnika, čime entitet korisničkog profila dobija ključnu ulogu u nadmetanju konkurenata na telekomunikacionom tržištu. Drugim, rečima, uspeh jednog servisa zavisice od toga koliko sam provajder dobro poznaje potrebe korisnika, posmatrano kroz rezultat sprovedenog procesa profilisanja.

## Zahvalnica

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

## Literatura

- [1] A. Cufoglu, „User Profiling - A Short Review,“ *International Journal of Computer Applications*, t. 108, pp. 1-9, 18 December 2014.
- [2] C. Eke, A. Norman, L. Shuib / H. Nweke, „A Survey of User Profiling: State-of-the-Art, Challenges, and Solutions,“ *IEEE Access*, t. 7, pp. 144907-144924, 2019.
- [3] S. Mitrović, V. Radojičić / G. Marković, „Razvoj modela potencijala tržišta širokopojasnog pristupa mreža naredne generacije,“ u *Zbornik radova trideset devetog simpozijuma o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2021*, Beograd, 2021.
- [4] S. Ouafoutuh, A. Zellou / A. Idri, „User profile model: A user dimension based classification,“ u *2015 10th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA)*, 2015.
- [5] D. Poo, B. Chng / J.-M. Goh, „A hybrid approach for user profiling,“ u *36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2003. Proceedings of the*, 2003.
- [6] D. Godoy / A. Amandi, „User profiling in personal information agents: a survey,“ *The Knowledge Engineering Review*, t. 20, p. 329–361, 2005.
- [7] S. Kanoje, S. Girase / D. Mukhopadhyay, „User profiling trends, techniques and applications,“ *arXiv preprint arXiv:1503.07474*, 2015.
- [8] Y. El Alloui / O. El Beqqali, „User profile Ontology for the Personalization approach,“ *International Journal of Computer Applications*, t. 41, 2012.
- [9] S. Calegari / G. Pasi, „Ontology-based information behaviour to improve web search,“ *Future Internet*, t. 2, p. 533–558, October 2010.
- [10] R. Lashkari, M. Chen / A. Ghorbani, „A Survey on User Profiling Model for Anomaly Detection in Cyberspace,“ *Journal of Cyber Security and Mobility*, t. 8, pp. 75-112, 2018.
- [11] S. Alaoui, Y. Idrissi / R. Ajhoun, „Building Rich User Profile Based on Intentional Perspective,“ *Procedia Computer Science*, t. 73, pp. 342-349, 2015.
- [12] A. Farseev, M. Akbari, I. Samborskii / T.-S. Chua, „360° user profiling: past, future, and applications" by Aleksandr Farseev, Mohammad Akbari, Ivan Samborskii and Tat-Seng Chua with Martin Vesely as coordinator,“ *ACM SIGWEB Newsletter*, pp. 1-11, 6 July 2016.
- [13] G. Webb, M. Pazzani / D. Billsus, „Machine Learning for User Modeling,“ *User Modeling and User-Adapted Interaction*, t. 11, pp. 19-29, 2001.
- [14] J. Tang, L. Yao, D. Zhang / J. Zhang, „A Combination Approach to Web User Profiling,“ *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data*, t. 5, pp. 1-44, December 2010.
- [15] L. Fuyan, „An Attribute Selection Approach and Its Application,“ u *2005 International Conference on Neural Networks and Brain*, IEEE, 2005.

- [16] Z. Xie / Q. Zhang, „A study of selective neighborhood-based naive Bayes for efficient lazy learning,“ u *16th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, IEEE Comput. Soc, 2004.
- [17] K. Nyberg, T. Raiko, T. Tiinane / E. Hyvönen, „Document classification utilising ontologies and relations between documents,“ u *Proceedings of the Eighth Workshop on Mining and Learning with Graphs - MLG '10*, 2010.
- [18] E. M. Celebi / K. Aydin, Urednici, *Unsupervised Learning Algorithms*, Springer International Publishing, 2016.
- [19] I. Moawad, H. Talha, E. Hosny / M. Hashim, „Agent-based web search personalization approach using dynamic user profile,“ *Egyptian Informatics Journal*, t. 13, pp. 191-198, November 2012.
- [20] I.-T. Nébel, B. Smith / R. Paschke, „A user profiling component with the aid of user ontologies,“ u *Workshop Learning-Teaching-Knowledge-Adaptivity (LLWA 03)*, Karlsruhe, 2003.
- [21] N. Guarino / P. Giarretta, „Ontologies and knowledge bases,“ *Towards very large knowledge bases*, p. 1–2, 1995.
- [22] K. Sugiyama, K. Hatano / M. Yoshikawa, „Adaptive web search based on user profile constructed without any effort from users,“ u *Proceedings of the 13th conference on World Wide Web - WWW '04*, 2004.
- [23] Y.-J. Park / K.-N. Chang, „Individual and group behavior-based customer profile model for personalized product recommendation,“ *Expert Systems with Applications*, t. 36, pp. 1932-1939, March 2009.
- [24] R. Guarneri, A. M. Sollund, D. Marston, E. Fossbak, B. Berntsen, G. Nygreen, G. Gylterud, R. Bars / A. Kerdraon, *Report of state of the art in personalisation, Common Framework*, 2004.

**Abstract:** *The extremely rapid development of technology today highly depends on the efficiency of user profile concept. A user profile is a representation of user interests and preferences, so it has a keyrole in successful operation of modern services, throughout customer personalisation capabilities. Therefore, it could be strongly related to business planning processes in the communications sector. Efficient user profiling implies the individual or combined application of various techniques and methods, as well as appropriate algorithms for processing collected user data. This paper explores what information needs to be modelled in order to represent different user models, how this information is collected, what techniques are used for user profiling and finally how the user model is represented and maintained. The paper presents the comparative characteristics of the types of user profiling that are used for different needs in the process of planning and development of individual services. Also, this paper explores the modelling of user profiles through a discussion of the advantages and disadvantages of the available techniques used for user profiling.*

**Keywords:** *user profiling, user profile, personalization, classification, clustering*

## **MODELLING OF TELECOMMUNICATION USERS PROFILES**

Valentina Radojičić, Slobodan Mitrović

## **SAOBRAĆAJNI MODELI *BLOCKCHAIN* SISTEMA**

Zoran Bojković, Bojan Bakmaz

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, z.bojkovic@yahoo.com

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, b.bakmaz@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Blockchain tehnologija otvorila je nove mogućnosti u digitalnom okruženju, uključujući distribuiranu verifikaciju podataka bez ovlašćenog entiteta, što je od velikog značaja za razmenu resursa. Veliki broj radova iz dostupne naučne literature posvećen je mogućnostima primene i poboljšanja performansi mehanizama za postizanje konsenzusa, dok istraživanja relativno ograničenog obima tretiraju saobraćajne modele od značaja za analizu i optimizaciju blockchain sistema. U radu su analizirani saobraćajni modeli kompleksnije teorijske osnove, koji mogu poslužiti kao solidan osnov za dalja istraživanja, sa posebnim akcentom na bitne parametre kojima se određuju performanse blockchain sistema.*

**Cljučne reči:** *blockchain*, saobraćajni modeli, sistemi opsluge.

### **1. Uvod**

*Blockchain* tehnologija, inicijalno osmišljena kao potpuno distribuirana baza podataka finansijskih transakcija u domenu kripto ekonomije, danas podrazumeva sisteme za digitalno upravljanje različitim vidovima resursa (nekretnine, intelektualna svojina, električna energija, radio spektar i sl.). Ovi sistemi su već iskazali veliki potencijal u sferama kao što su logistika [1], transport [2], zdravstvo [3] itd. *Blockchain* tehnologija koristi infrastrukturu i resurse savremenih informaciono-komunikacionih sistema, a u isto vreme može imati značajnu ulogu u optimizaciji funkcionisanja i povećanju bezbednosti istih, formirajući tako relaciju međusobne dobrobiti (tj. simbioze) [4-6]. Od velikog značaja je i uloga ove tehnologije u virtualizaciji i alokaciji resursa u savremenim komunikacionim mrežama [7].

Značajan broj radova iz dostupne literature posvećen je mogućnostima primene *blockchain* tehnologije, unapređenju mehanizama za postizanje konsenzusa, kao i bezbednosti informacija, dok je za sada skromniji opseg istraživanja usmeren ka teorijskom aspektu razvoja saobraćajnih modela. Saobraćajni modeli imaju primarnu ulogu u određivanju performansi sistema. Kao najznačajniji parametri izdvajaju se srednji broj transakcija na čekanju, srednje vreme potvrde transakcija, srednji broj transakcija po bloku.

Posle uvoda, u prvom delu rada predstavljeni su osnovni principi funkcionisanja *blockchain* sistema, dok je ostatak rada posvećen najinteresantnijim predloženim modelima opsluge koji se mogu primeniti u ovoj problematici. To su klasični modeli

opsluge sa čekanjem, jednofazni i dvofazni, sa eksplicitnim rešenjima ili sa potrebom simulacionog rešavanja, pri čemu je poseban izazov priprema polaznih saobraćajnih parametara modela, tako da ceo proces simulacije što realnije odražava saobraćajnu osobenost *blockchain* tehnologije. Rad je poučno-preglednog karaktera, dovodi do odgovarajućih zaključaka i usmerava ka daljim istraživanjima.

## 2. Principi funkcionisanja *blockchain* sistema

*Blockchain* mrežu čine čvorovi koji generišu (iniciraju) i verifikuju transakcije (zahteve). Transakcije predstavljaju apstrakciju interakcije među korisnicima i kontinualno se generišu. Podaci o verifikovanim transakcijama čuvaju se u blokovima distribuiranim po čvorovima, formirajući linearnu sekvencu (lanac). Čvorovi mogu čuvati kompletnu repliku lanca blokova. Svaki blok predstavlja paket podataka sa zaglavljem i sadržajem. Zaglavlje sadrži meta podatke koji se odnose na identifikaciju bloka, kriptovanu vrednost bloka i prethodnog bloka (Merkleovo stablo), vremenski žig (*timestamp*), jednokratni slučajan broj (*nonce*), itd. Sadržaj bloka čine podaci o transakcijama. Pri generisanju bloka određeni čvorovi selektuju grupu transakcija koje su smeštene u privremenoj memoriji (*memory pool*). Veličina bloka direktno određuje broj transakcija koje mogu da se validiraju. Posle validacije, u procesu "rudarenja" (*mining*), blok se pridružuje lancu. *Blockchain* sistemi se direktno oslanjaju na kriptografske tehnike, kako bi se osigurao integritet podataka, naročito u okruženjima gde "poverenje" među čvorovima nije unapred uspostavljeno.

U zavisnosti od otvorenosti pristupa razlikuju se javne i privatne platforme. Tip platforme u značajnoj meri utiče na saobraćajne performanse sistema. Kod javnih *blockchain* platformi (npr. *Bitcoin*) bilo koji čvor u mreži je ovlašćen da generiše i verifikuje transakcije, kao i da dodaje blokove u lanac. Ovakva otvorenost sistema svakako je privlačna za potencijalne napadače, ali se to kompenzuje robusnim kriptografskim mehanizmima za verifikaciju, što sa druge strane negativno utiče na energetska efikasnost i saobraćajne performanse zbog značajnog povećanja vremena opsluge. Kod široko primenjene SHA-256 heš (*hash*) funkcije vreme kriptovanja bloka je reda minuta, dok kriptovanje sa *ethash* funkcijom, primenjeno kod *Ethereum* platforme, traje nekoliko sekundi. Kod privatnih platformi (npr. *Hyperledger Fabric*) pristup sistemu je kontrolisan, dok samo određeni broj čvorova ima privilegije za validaciju transakcija. Ograničeni broj čvorova doprinosi povećanju skalabilnosti sistema, pri čemu i saobraćajne performanse mogu biti značajno unapređene. Takođe, moguće je identifikovati i konzorcijumski tip *blockchain* platformi, kao oblik delimično privatnog okruženja, sa jedinstvenim entitetom koji je odgovoran za postizanje konsenzusa i validaciju [8].

## 3. Osnovni modeli sistema sa čekanjem

Uobičajeno je i praktično da se modeli opsluge (*servicing, queueing models*) tretiraju kao sistemi sa čekanjem ili sistemi bez reda čekanja, pri čemu i jedni i drugi mogu biti sa gubicima zahteva ili bez gubitaka zahteva. Najpoznatiji saobraćajni model bez čekanja je Erlangov (M/M/s/s(0)) model, odnosno Erlangova B formula gubitaka, sa osnovnim parametrima: ponudeni saobraćaj, broj kanala (servera) u sistemu i gubici zahteva (GoS – *Grade of Service*). Na osnovu ovih, moguće je definisati i matematički

izraziti i druge parametre sistema. Pokazano je da rešenja modela, osim za eksponencijalnu raspodelu vremena opsluge (M), važe i za proizvoljnu raspodelu sa konačnom srednjom vrednošću (GI – *General Independent, renewal*). Pri beskonačnom broju kanala ovaj model se ponaša kao Poasonov.

Od modela sa čekanjem takođe prednjači Erlangov drugi model (M/M/s, M/M/s/∞, za  $s > y$ , što je uslov stabilnosti) i Erlangova C formula, koja izražava verovatnoću čekanja zahteva (gubitak po vremenu, verovatnoću blokiranja). U sistemu sa beskonačnim redom čekanja nema gubitaka zahteva, a osnovni parametri su kao u prvom modelu. Za proračune u samom redu čekanja često je potrebno poznavanje i intenziteta dolaznog toka zahteva ili pak intenziteta opsluge, što ne karakteriše sisteme bez čekanja.

Erlangov model sa čekanjem je izuzetno fleksibilan, jer se od njega mogu razviti na desetine modela, posebno na bazi selekcije korisnika iz reda za čekanje, u skladu sa odgovarajućom politikom, odnosno disciplinom pristupanja opsluzi. Odgovarajući model sa konačnim redom čekanja (M/M/s//L) je kompleksniji, ali takođe ima eksplicitno rešenje. L je broj mesta u redu ili se tretira zbirno sa kanalima, posebno kada je  $s = 1$ . Za konačni red čekanja, osim politike pristupa na opslugu, bitno je i pravilo napuštanja reda čekanja (*drop rule*).

Za sisteme sa čekanjem moguće je definisati veći broj parametara, poput srednjeg broja zahteva u redu i sistemu, srednjeg vremena čekanja ili boravka u sistemu, srednjeg vremena u redu za zahteve koji čekaju, raspodele vremena čekanja, verovatnoće čekanja većeg od nekog vremena i slično. Najprirodnije i najlakše za rešavanje je pravilo pristupanja opsluzi po redosledu dolaska u sistem (FCFS, *First Come First Served*), što u slučaju Erlangovog drugog modela rezultira eksplicitnim rešenjima, a već pri slučajnom izboru iz reda rešavanje modela po pitanju saobraćajnih parametara u samom redu se komplikuje.

Između Prve i Druge Erlangove formule (formule B i C) postoje skladne relacije

$$C(s, y) = \frac{sB(s, y)}{s - y(1 - B(s, y))} = \left[ \frac{1}{B(s, y)} - \frac{1}{B(s-1, y)} \right]^{-1}, \quad (1)$$

gde su:  $B(s, y)$  i  $C(s, y)$  – gubici po Prvoj, odnosno Drugoj Erlangovoj formuli,  $y$  – ponuđeni saobraćaj, a  $s$  – broj kanala u sistemu.

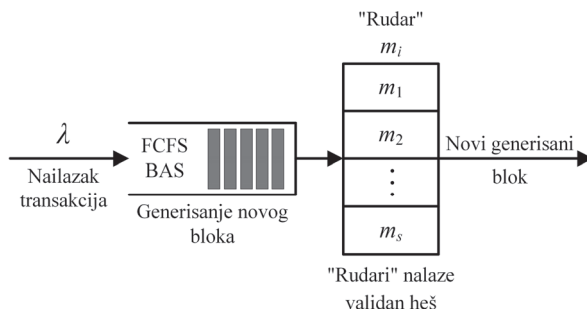
Vidi se da je gubitak po vremenu u Drugoj formuli veći od onog u Prvoj, a interesantno je da bi gubitak definisan po Poasonovoj raspodeli bio između prethodna dva gubitka, što je dugo korišćeno za tretman ponovljenih zahteva. Interesantan je i pokušaj da se naziv Erlangova A formula veže za Palmov osnovni model čekanja sa napuštanjem reda (nestrpljivi korisnici).

#### 4. Mogućnosti korišćenja osnovnih modela opsluge za *blockchain* sisteme

*Blockchain* sistemi su relativno neistraženi po pitanju teorijskog modelovanja, a postepeno se nameću modeli za simulaciju korišćenjem teorije sistema opsluge sa čekanjem. Osnovni modeli opsluge su jednofazni, sa jednodimenzionalnim grafom stanja za sisteme sa čekanjem (Markovljev *birth and death* proces), odnosno jednodimenzionalnim verovatnoćama stanja. Prirodno je da se za modelovanje *blockchain* sistema najpre koristio M/M/1 model opsluge.

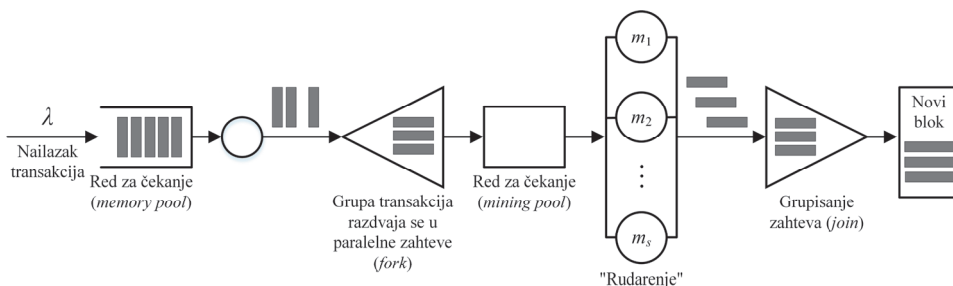


U radu [9] vršena je simulacija *blockchain* platforme preko JMT (*Java Modelling Tools*) alata namenjenog za analizu performansi sistema opsluge sa redom za čekanje. Na Slici 1. prikazan je red čekanja i *s* "rudara", odnosno M/M/s/L model opsluge. Kapacitet (dužina) reda čekanja odgovara srednjem broju transakcija po bloku ( $T_{XB}$ ), politika prihvatanja iz reda radi opsluge je FCFS, a pravilo napuštanja reda je BAS (*Block After Service*). Ovde se određeni broj transakcija smešta u memoriju čvorova "rudara", dok ostale transakcije, iako obrađene, ostaju u redu za čekanje (*mempool*-u).



Slika 1. M/M/s/L sistem opsluge "rudarenjem"

Nešto kompleksniji sistem realizovan je kombinacijom M/M/1 i M/M/s modela [10]. Prvi model poslužio je kao memorijski *pool*, dok je *fork-join* set omogućio *batch* generisanje, a drugi model predstavlja proces "rudarenja" (Slika 2). Predloženi sistem je jednostavno, ali zadovoljavajuće sredstvo za procenu i prikaz mnogih važnih indikatora, kao što su: (a) broj transakcija po bloku, (b) vreme "rudarenja" svakog bloka, (c) propusnost sistema izražena preko broja transakcija u jedinici vremena, (d) broj redova za čekanje, (e) vreme čekanja u redu, (f) broj nepotvrđenih transakcija u celom sistemu, (g) ukupan broj transakcija i (h) broj generisanih blokova.



Slika 2. Blok dijagram simulacije kombinacije M/M/1 i M/M/s modela

Predloženi model takođe je simuliran primenom JMT alata i korišćen je za procenu idealne jednodnevne statistike transakcije u *Bitcoin* platformi. Zatim je model iskorišćen za simulaciju dvomesečne stvarne statistike *Bitcoin* i *Ethereum* platformi. Iako se model koristio za procenu parametara od značaja za kriptovalute, mišljenje je samih autora da je u stanju da simulira i druge *blockchain* sisteme koji se ne zasnivaju na monetarnim transakcijama.

## 5. Dvofazni modeli *blockchain* sistema

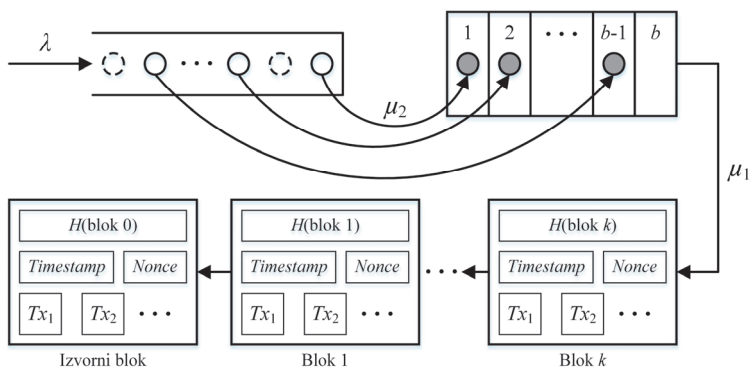
Za višefazne modele opsluge od posebnog interesa su raspodele faznog tipa, *PH*. Ove raspodele karakterišu se Markovljevim lancem sa kontinualnim vremenom, sa stanjima (fazama)  $1, \dots, k$  i tranzicionom matricom verovatnoća  $P$ . Vreme boravka u stanju  $i$  eksponencijalne je raspodele sa srednjom vrednošću  $1/\lambda_i$ , a Markovljev lanac je ušao u stanje  $i$  sa verovatnoćom  $p_i$ . Slučajna promenljiva predstavlja ukupno vreme koje je proteklo od ulaska u Markovljev lanac do izlaska iz njega, a njena je raspodela faznog tipa. Osnovne raspodele se sreću pod nazivima: Erlangova- $k$ , hipereksponecijalna, Koksova- $k$ , hipererlangova i pogodne su za fitovanje.

Za potrebe simuliranja dvofaznih modela *blockchain* sistema u dostupnoj literaturi korišćeni su sistemi opsluge Markovljevog tipa GI/M/1 i M/PH/1 [11, 12].

### 5.1. GI/M/1 model

Prihvatljivo je da se *blockchain* može opisati kao Markovljev *bach* (grupni) sistem opsluge sa dve različite faze. Rad [13] razmatra GI/M/1 model, pri čemu je vreme potrebno za potvrdu transakcije posmatrano kroz dve faze opsluživanja, od kojih se jedna odnosi na generisanje samog bloka, a druga na uvođenje bloka u lanac. Vremena opsluge su eksponencijalno raspodeljena. Model je jednostavniji u slučaju eksponencijalne raspodele vremena između zahteva, odnosno Poasonovskog nailaska zahteva.

Kada se koristi sistem opsluge za modelovanje *blockchain* platformi, to predstavlja rešenje za postavku procesa opsluge analizom tehnike "rudarenja", koja se odnosi na konsenzus mehanizam. Ovde se za vreme opsluge uzima transakciono – konfirmaciono vreme, koje je suma vremena generisanja bloka i formiranja *blockchain*-a, odnosno vreme opsluge je dvofazno. Prva faza se generiše procesom "rudarenja", dok druga nastaje zbog mrežnog kašnjenja (*latency*).



Slika 3. *Blockchain* dvofazni model opsluge

Slika 3. ilustruje Markovljev *batch* proces sa dve različite faze opsluge. Transakcije stižu u *blockchain* sistem u skladu sa Poasonovim procesom i sa intenzitetom dolaznog toka (*arrival rate*)  $\lambda$ . Svaka transakcija mora najpre da uđe u red (čekaonicu, memoriju) beskonačnog (dovoljnog) kapaciteta. U procesu opsluge čeka da bude uspešno "rudarena" u blok, što se smatra prvom fazom opsluge, odnosno generisanje bloka. U

prvoj fazi nanovo generisani blok je potvrđen rešavanjem proračunski zahtevnog problema pomoću kriptografskog heš algoritma ("rudarenje"), a određeni čvorovi, koji se nadmeću za nalaženje odgovora, smatraju se "rudarima". Pobedniku će biti dodeljena nagrada koja se sastoji od nekih fiksnih vrednosti i naknada transakcija uključenih u blok, koji i dalje ima pravo da veže novi blok u lanac. Druga faza podrazumeva isključivo vreme potrebno za dodavanje bloka u lanac.

Kako bi se prevazišli bezbednosni izazovi, maksimalna veličina bloka ( $b$ ) izražena u broju transakcija je unapred određena, što je odlika *batch* sistema opsluge. Uz ovu pretpostavku, za model GI/M/1 postoji uslov stabilnosti (pozitivne rekurentnosti)

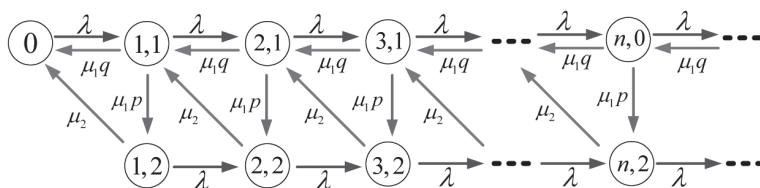
$$\frac{b\mu_1\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} > \lambda, \quad (2)$$

pri čemu je  $\mu_2$  intenzitet opsluge u prvoj fazi (i odgovara vremenu generisanja bloka), a  $\mu_1$  predstavlja intenzitet opsluge u drugoj fazi (i odgovara vremenu ulančavanja bloka). Podrazumevano je da su sve promenljive međusobno nezavisne. Primenom matrično-geometrijskog rešavanja sistema [14] preko vektora verovatnoća stanja, mogu se odrediti srednji broj transakcija u redu, srednji broj transakcija u bloku i srednje vreme potrebno za potvrdu transakcija.

## 5.2. Modeliranje PBFT konsenzus mehanizma

Protetkih nekoliko godina unapređenje mehanizama za postizanje konsenzusa sa aspekta bezbednosti predstavlja jedan od najvećih istraživačkih izazova. Kombinacija DPoS (*Delegated Proof of Stake*) i PBFT (*Practical Byzantine Fault Tolerant*) pristupa nametnula se kao ključni mehanizam za osiguravanje visoke bezbednosti *blockchain* sistema.

U skorašnjem radu [15] korišćen je M/PH/1 model opsluge radi analize performansi unapređenog PBFT mehanizma preko uslova stacionarnog stanja. Konsenzus se najčešće realizuje kroz tri faze. U prvoj fazi, primenom DPoS mehanizma, na osnovu performansi (npr. brzina generisanja bloka) i ostvarenog poverenja, delegiraju se čvorovi kandidati za ulogu "garanta" uspešnog generisanja bloka. U drugoj fazi, iz skupa delegiranih čvorova, određuje se grupa zadužena za generisanje bloka (primarna grupa) i grupa za verifikaciju blokova i identifikaciju malicioznih čvorova (alternativna grupa). Poslednja faza podrazumeva verifikaciju blokova PBFT konsenzusom u čvorovima alternativne grupe, pri čemu se degradiraju maliciozni čvorovi iz primarne grupe. Graf stanja i prelaza za M/PH/1 model opsluge



Slika. 4. Graf stanja i prelaza za M/PH/1 model opsluge

Vreme postizanja konsenzusa okarakterisano je eksponencijalnim raspodelama sa dva različita parametra, a prostorno stanje pripada dvodimenzionalnom Markovljevom procesu. Stoga se ovo vreme može predstaviti preko dvodimenzionalne PH raspodele.

Ovde se dokazuje da je sistem stabilan (pozitivno rekurentan) ako za saobraćajno opterećenje  $\rho$  važi

$$\rho = \frac{(\mu_1 p + \mu_2) \lambda}{\mu_1 \mu_2} < 1, \quad (3)$$

pri čemu je  $\lambda$  ( $\lambda > 0$ ) intenzitet dolazaka blokova koji sledi Poasonov proces,  $\mu_1$  ( $\mu_1 > 0$ ) je parametar eksponencijalne raspodele, koji odgovara vremenu delegiranja čvorova,  $p$  je verovatnoća prelaska verifikovanog bloka iz sistema u *blockchain*,  $\mu_2$  ( $\mu_2 > 0$ ) parametar eksponencijalne raspodele sekundarnog (ponovljenog) delegiranja. Od značaja je i verovatnoća prelaska bloka u proceduru ponovljenog delegiranja ( $q = 1 - p$ ).

## 6. Zaključna razmatranja

U radu je izvršen kraći pregled bitnijih i dostupnih radova usmerenih na razvoj teorije redova čekanja *blockchain* sistema. Radi se o relativno skorijim istraživanjima, koja su sledila posle prikupljanja solidnih i kvalitetnih statističkih podataka o saobraćajnim parametrima praćenim tokom korišćenja ove tehnologije. Svrha rada je upoznavanje sa specifičnostima ove tehnologije, prednostima i problemima koje ona donosi. Za saobraćajni aspekt na raspolaganju stoje osnovni modeli sa čekanjem, eksplicitno rešeni i oni koji zahtevaju odgovarajuće alate za simulaciono modeliranje. Višefazni, konkretno dvofazni modeli su od trenutnog interesa i najnoviji kvalitetniji radovi su na tu temu. Ideja je i namera da se dostigne napredniji teorijski nivo sagledavanja i načina rešavanja aktuelnih problema i afirmišu sopstvene pretpostavke koje bi dovele do daljeg približavanja matematičke interpretacije realnom stanju odvijanja *blockchain* saobraćaja.

## Literatura

- [1] P. Dutta, et al., "Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 142, Oct. 2020. DOI: 10.1016/j.tre.2020.102067
- [2] D. Cocîrlea, et al., "Blockchain in Intelligent Transportation Systems", *Electronics*, vol. 9, no. 10, Oct. 2020. DOI: 10.3390/electronics9101682
- [3] A. Tandon, et al., "Blockchain in healthcare: A systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda", *Computers in Industry*, vol. 122, Nov. 2020. DOI: 10.1016/j.compind.2020.103290
- [4] K. Christidis and M. Devetsikiotis, "Blockchains and smart contracts for the Internet of Things", *IEEE Access*, vol. 4, 2016, pp. 2292-2303. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2566339
- [5] C. V. N. U. B. Murthy, et al., "Blockchain based cloud computing: Architecture and research challenges", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 205190-205205, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3036812

- [6] G. Praveen, et al., "Blockchain for 5G: A prelude to future telecommunication", *IEEE Network*, vol. 34, no. 6, pp. 106-113, Nov./Dec. 2020. DOI: 10.1109/MNET.001.2000005
- [7] Z. Bojkovic, B. Bakmaz, "Blockchain-enabled network slicing", *Proc. 15th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS)*, Oct. 2021, pp. 203-208, DOI: 10.1109/TELSIKS52058.2021.9606300
- [8] D. Puthal, et al., "Everything you wanted to know about the Blockchain: Its promise, components, processes, and problems," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 7, no. 4, pp. 6-14, July 2018. DOI: 10.1109/MCE.2018.2816299
- [9] R. A. Memon, et al., "Modeling of blockchain based systems using queuing theory simulation", *Proc. 15th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)*, pp. 107-111, 2018. DOI: 10.1109/ICCWAMTIP.2018.8632560
- [10] R. A. Memon, P. L. Jian Ping Li, J. Ahmed, "Simulation model for blockchain systems using queuing theory", *Electronics*, vol. 8, no. 2, 234, 2019. DOI: 10.3390/electronics8020234
- [11] H. Akimaru, K. Kawashima, *Teletraffic: Theory and Application*, London, UK: Springer, 1993.
- [12] V. B. Iversen, *Teletraffic Engineering and Network Planning*, Department of Photonics Engineering, Technical University of Denmark, 2015.
- [13] Q-L. Li, J-Y. Ma, Y-X. Chang, "Blockchain queue theory", in X. Chen, et al., *Computational Data and Social Networks (CSoNet 2018), Lecture Notes in Computer Science*, vol. 11280, Cham, Germany: Springer, 2018, DOI: 10.1007/978-3-030-04648-4\_3
- [14] M. F. Neuts, *Matrix-Geometric Solutions in Stochastic Models: An Algorithmic Approach*, Johns Hopkins University Press, 1981.
- [15] F-Q. Ma, R-N. Fan, "Queuing theory of improved practical Byzantine fault tolerant consensus", *Mathematics*, vol. 10, no. 2, 182, 2022. DOI: 10.3390/math10020182

**Abstract:** *Blockchain technology has opened the door to new opportunities in the digital environment, including distributed data verification without an authorized entity, which is of great importance for asset exchange in a real life. Numerous papers in the open literature are dedicated to the application possibilities and performance improvement of consensus mechanisms. On the other hand, relatively limited attention has been devoted to the traffic models significant for the analyses and optimization of blockchain systems. In this paper, several traffic models, which can serve as a steady foundation to further research, are analyzed from the theoretical point of view. Relevant parameters for blockchain systems performance evaluation are emphasized, too.*

**Keywords:** *blockchain, queueing theory, teletraffic models.*

**TRAFFIC MODELS FOR BLOCKCHAIN SYSTEMS**  
Zoran Bojkovic, Bojan Bakmaz

## **ODREĐIVANJE INVERZNE VREDNOSTI ERLANG B FORMULE PRIMENOM VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA**

Zlatica Marinković, Dušan Marković, Biljana Stošić, Vera Marković  
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu, zlatica.marinkovic@elfak.ni.ac.rs,  
dusanmarkovic@elfak.rs, biljana.stosic@elfak.ni.ac.rs, vera.markovic@elfak.ni.ac.rs

**Rezime:** *Erlang B formula se koristi za određivanje verovatnoće blokiranja poziva u telekomunikacionim sistemima. Za rešavanje inverznog problema, odnosno određivanje intenziteta ponuđenog saobraćaja ili potrebnog broja kanala koji odgovaraju zadatoj verovatnoći blokiranja poziva, ne postoje izrazi u zatvorenom obliku. Veštačke neuronske mreže pružaju mogućnost razvoja modela zavisnosti između dva skupa podataka, pri čemu se ti modeli mogu predstaviti pomoću matematičkih izraza u zatvorenom obliku. Imajući ovo u vidu, veštačke neuronske mreže su u ovom radu primenjene za razvoj numeričkog modela za određivanje inverzne vrednosti Erlang B formule.*

**Ključne reči:** *Erlang B formula, telekomunikacioni saobraćaj, veštačke neuronske mreže*

### **1. Uvod**

Početkom dvadesetog veka, danski matematičar Agner Krarup Erlang postavio je osnove teorije saobraćaja, studijom koliki broj korisnika može biti opslužen u telefonskoj mreži na području lokalne centrale, koja je imala ograničeni broj operatera koji su radili na uspostavljanju veze [1]. Upravo po njemu je ime dobila jedinica za intenzitet saobraćaja – Erlang. Erlangova teorija se odnosi na sisteme sa blokiranjem (Erlang B formula) i sisteme sa čekanjem (Erlang C formula). U sistemima gde ne postoji čekanje korisniku se odmah dodeljuje slobodni kanal, a ukoliko nema slobodnih kanala poziv se odbija i korisnik može ponovo poslati zahtev za uspostavljanje veze. Kod sistema sa čekanjem, ukoliko nema slobodnih kanala, poziv se stavlja na čekanje. Erlang B formula daje verovatnoću blokiranja poziva za određenu vrednost ponuđenog saobraćaja za dati broj kanala, dok se pomoću Erlang C formule određuje verovatnoća da će u slučaju razmatrane vrednosti ponuđenog saobraćaja upućeni poziv biti na čekanju [2]. Erlangove formule su, od svoje osnovne primene u javnim telefonskim mrežama, tokom godina, primenjene u sistemima gde korisnici koriste ograničene resurse, poput mobilnih komunikacionih sistema, VoIP sistema, računarskih mreža, *call* centara, sistemima za napajanje električnih vozila, itd. [3]-[11]. Prilikom planiranja takvih sistema i procene njihovih performansi, pored određivanja verovatnoće blokiranja za određenu vrednost ponuđenog saobraćaja u sistemima bez čekanja, tj. verovatnoće da

će poziv čekati u sistemima sa čekanjem, na osnovu čega se dalje određuje kvalitet servisa, potrebno je i rešiti inverzni problem, tj. odrediti intenzitet saobraćaja ili broj potrebnih kanala (resursa) za zadatu verovatnoću koja odgovara željenoj vrednosti GOS (*Grade of Service*). Imajući u vidu prirodu Erlangovih formula, ne postoji inverzna funkcija ovih formula u zatvorenom obliku. Zbog toga se vrše istraživanja na pronalazenju rešenja (numeričkih modela ili aproksimacija) za određivanje inverzne vrednosti Erlangovih formula [12]-[17] ili se koriste *look-up* tabele, pogotovo u aplikacijama koje se odnose na *call centre*.

Zahvaljući sposobnosti učenja zavisnosti između dva skupa podataka, veštačke neuronske mreže su našle široku primenu u različitim oblastima, kao što su oblasti elektronike i telekomunikacija [18]-[29]. One su najčešće primenjene za razvoj modela u slučaju da ne postoje matematički izrazi ili modela koji povezuju ulazne i izlazne parametre. Kako se karakterišu brzim odzivom, pogodne su i za razvoj brzih i efikasnih modela koji bi bili alternativa modela koji su kompleksni i/ili vremenski neefikasni. Imajući u vidu pomenute prednosti modela baziranih na veštačkim neuronskim mrežama, u ovom radu se predlaže da se za rešavanje problema određivanja inverznih vrednosti Erlangovih formula, u konkretnom slučaju Erlang B formule, primene veštačke neuronske mreže.

Struktura rada je sledeća. Najpre je u sekciji 2 dat detaljniji opis Erlang B formule, a zatim je u sekciji 3 opisan predloženi model baziran na veštačkim neuronskim mrežama. Sekcija 4 sadrži numeričke rezultate dobijene predloženim modelom. U sekciji 5 izloženi su najvažniji zaključci.

## 2. Erlang B formula

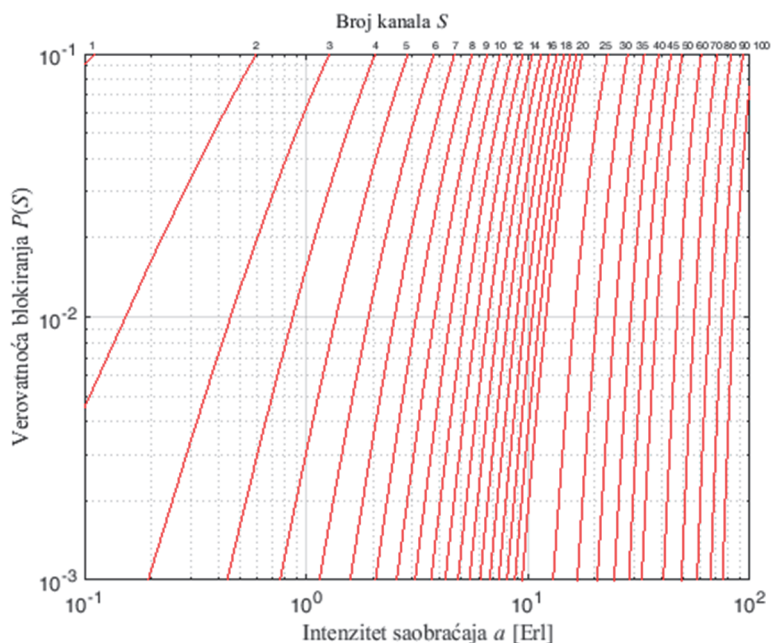
Erlang B formula daje verovatnoću da će poziv biti blokiran u sistemu sa blokiranjem poziva i ova verovatnoća određuje GOS u sistemu. Erlang B formula ima sledeći oblik:

$$P(S) = \frac{a^S}{\sum_{i=0}^S \frac{a^i}{i!}} = B(S, a) \quad (1)$$

gde  $S$  predstavlja broj kanala u sistemu, a  $a$  ponuđeni saobraćaj. Pretpostavlja se da tok nailazaka zahteva ima *Poisson*-ovu raspodelu. Takođe, pretpostavlja se beskonačno veliki broj korisnika, kao i sledeće: (a) svi korisnici, uključujući i one kojima su pozivi blokirani, mogu zahtevati poziv u bilo koje vreme; (b) verovatnoća trajanja zauzeća ima eksponencijalnu raspodelu, tako da su duži pozivi manje verovatni od kraćih poziva, i (c) postoji konačan broj raspoloživih kanala. Ovo je poznato kao M/M/m/m sistem opsluživanja, na osnovu koga je izvedena Erlang B formula (*blocked calls cleared* formula). Iako je moguće za sistem sa konačnim brojem korisnika primeniti Engsetovu formulu, koja je komplikovanija od Erlang B formule, ta dodatna kompleksnost ne utiče značajno na tačnost rezultata za slučaj da je broj korisnika za jedan red veličine veći od

broja kanala u sistemu. Takođe, rezultati za konačan broj korisnika daju manju verovatnoću blokiranja od Erlang B formule [2].

Na Slici 1 je dat grafički prikaz verovatnoće blokiranja u zavisnosti od ponuđenog saobraćaja, za sistem do 100 kanala. Često se vrednosti dobijene Erlang B formulom prikazuju tabelarno, a primer dela Erlang B tabele date u [30] (vrednosti saobraćaja  $a$  koje odgovaraju tabeliranim vrednostima broja kanala  $S$  i verovatnoće blokiranja  $P$ , izražene u %) prikazan je u Tabeli 1.



Slika 1. Verovatnoća blokiranja u zavisnosti od intenziteta saobraćaja, izračunata primenom Erlang B formule [2]

Tabela 1. Deo Erlang B tabele date u [30]

S/P(%)	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10
1	0.0001	0.0005	0.0010	0.0050	0.0101	0.0204	0.0526	0.1111
2	0.0142	0.0321	0.0458	0.1054	0.1526	0.2235	0.3813	0.5954
3	0.0868	0.1517	0.1938	0.3490	0.4555	0.6022	0.8994	1.271
4	0.2347	0.3624	0.4393	0.7012	0.8694	1.092	1.525	2.045
5	0.4520	0.6486	0.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881
6	0.7282	0.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666
8	1.422	1.830	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.597
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511



### 3. Predloženi model baziran na neuronskim mrežama

U zavisnosti od toga koju veličinu treba odrediti, opšti model za određivanje inverzne vrednosti Erlang B formule sastoji se od neuronske mreže koja je obučena za određivanje:

- vrednosti saobraćaja  $a$  koji odgovara zadatoj vrednosti verovatnoće blokiranja  $P$  u sistemu sa  $S$  kanala:  $a = f(P, S)$ , Slika 2(a) ili
- potrebnog broja kanala  $S$  da bi se opslužio ponuđeni saobraćaj  $a$  sa verovatnoćom blokiranja manjom ili jednakom  $P$ :  $S = f(P, a)$ , Slika 2(b).



Slika 2. Predloženi opšti model za određivanje inverzne vrednosti Erlang B formule:  
(a) određivanje vrednosti saobraćaja, (b) određivanje broja kanala

U ovom slučaju se koriste višeslojne neuronske mreže koje imaju po dva neurona u ulaznom sloju, koji odgovaraju ulaznim parametrima modela ( $S$  i  $P$  u slučaju određivanja saobraćaja ili  $P$  i  $a$  u slučaju određivanja broja kanala) i jedan neuron u izlaznom sloju koji odgovara parametru koji se modeluje (saobraćaj ili broj kanala). Mreže mogu imati jedan ili više slojeva skrivenih neurona. Broj skrivenih slojeva i broj neurona u njima nije unapred poznat i određuje se u toku obučavanja (treninga) mreža. Aktivacione funkcije skrivenih neurona su sigmoidne (log sigmoidna ili tangens hiperbolički), dok neuroni u ulaznom sloju imaju jediničnu aktivacionu funkciju, a neuroni u izlaznom sloju linearnu prenosnu funkciju. Za obučavanje mreža, kao trening skup (poznate kombinacije ulaz-izlaz), koriste se vrednosti verovatnoće za određeni broj kombinacija vrednosti broja kanala i ponuđenog saobraćaja dobijenih pomoću Erlang B formule.

Osnovna karakteristika ispravno obučених neuronskih mreža je da daju korektne odzive, ne samo za vrednosti koje su korišćene za trening, već i za ostale vrednosti iz opsega razmatranog ulazno-izlaznog prostora. Kako se prenosna funkcija veštačke neuronske mreže može izraziti pomoću matematičkih izraza koji opisuju mrežu, a koji se sastoje od osnovnih matematičkih operacija i ekponencijalne funkcije, razvijeni modeli se mogu implementirati u bilo koje softversko okruženje i koristiti za direktno određivanje inverznih vrednosti Erlangovih formula, bez korišćenja bilo kakvih dodatnih programskih struktura, rekurzivnih formula ili aproksimacija.

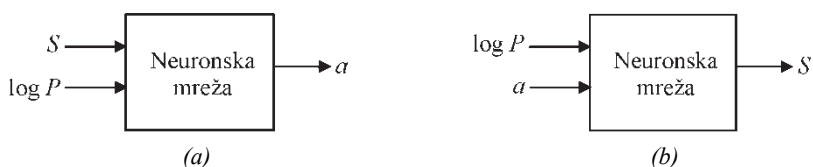
### 4. Numerički rezultati

Predloženi neuronski model razvijen je korišćenjem tabeliranih vrednosti Erlang B formule [30], koja se najčešće nalazi u literaturi, a koja se odnosi na sisteme čiji je broj kanala od jedan do 100 i sledeće vrednosti verovatnoće blokiranja: 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.5%, 1.0%, 2%, 5%, 10%, 15%, 20%, 30% i 40%. Imajući u vidu raspodelu vrednosti verovatnoće u okviru razmatranog opsega od 0.01% do 40%, u konkretnom slučaju ulazni parametar modela je verovatnoća izražena logaritamski, kao što je prikazano na

Slikama 3(a) i 3(b). Za oba modela nezavisno su obučavane mreže sa jednim i dva skrivena sloja i različitim brojem neurona u skrivenim slojevima korišćenjem Levenberg-Marquardt-ovog algoritma obuke i izvršeno je poređenje modela testiranjem postignute tačnosti kako na trening skupu, tako i na kontrolnom test skupu koji se odnosi na vrednosti verovatnoća koje nisu bile korišćene u trening skupu i to: 0.03%, 0.075%, 0.3%, 0.75%, 1.5%, 3.5%, 7.5%, 12.5%, 17.5%, 25% i 35%. Kao kriterijum za testiranje korišćeni su: srednja greška testiranja (*ATE – Average Test Error*), maksimalna greška testiranja (*WCE – Worst Case Error*) i *Pearson-Product Moment* korelacioni koeficijent  $r$  [20]. ATE i WCE predstavljaju usrednjenu i maksimalnu relativnu grešku u odnosu na razmatrani opseg izlazne veličine.

Kao finalni modeli izabrane su sledeće mreže:

- za određivanje saobraćaja mreža sa dva skrivena sloja koji imaju po 10 neurona sa log sigmoidnom aktivacionom funkcijom i
- za određivanje broja kanala mreža sa dva skrivena sloja koji imaju po 12 neurona sa log sigmoidnom aktivacionom funkcijom.



Slika 3. Predloženi model za određivanje inverzne vrednosti Erlang B formule sa logaritamski izraženom verovatnoćom na ulazu: (a) određivanje vrednosti intenziteta saobraćaja, (b) određivanje broja kanala

Tabela 2. Rezultati testiranja razvijenih neuronskih modela na trening i test skupu

	Određivanje intenziteta saobraćaja		Određivanje broja kanala	
	Trening skup	Test skup	Trening skup	Test skup
<i>ATE</i> [%]	0.38	0.44	0.28	0.33
<i>WCE</i> [%]	1.07	1.15	4.11	2.69
$r$	0.999958	0.999938	0.999887	0.999782

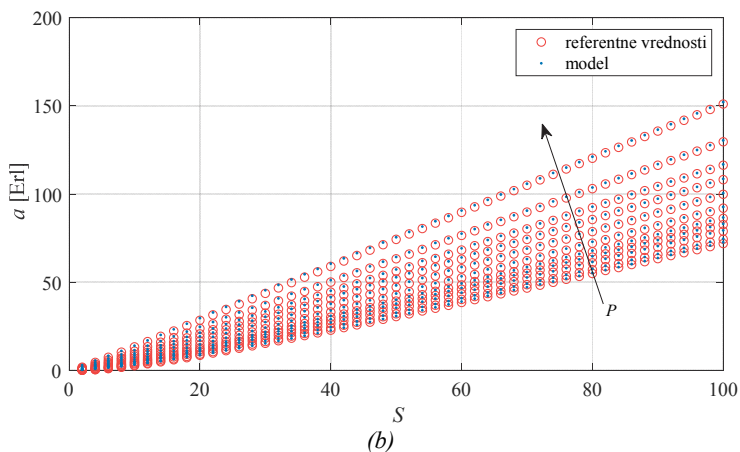
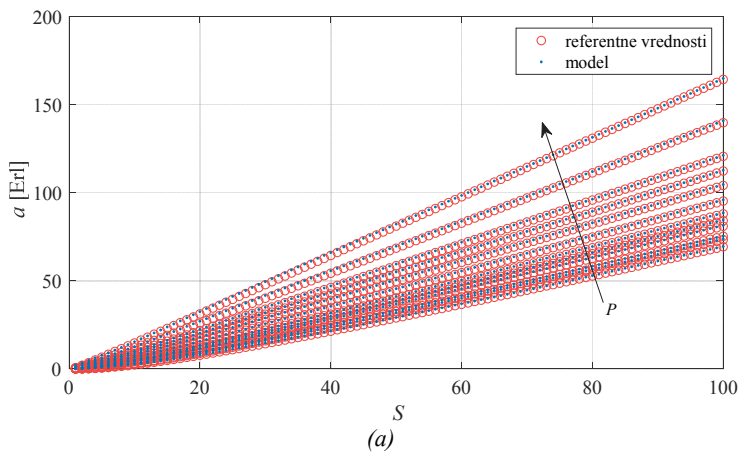
Statistika testiranja prikazana je u Tabeli 2. Male vrednosti srednje i maksimalne greške, kao i korelacioni koeficijent blizak jedinici pokazuju da je postignuta zadovoljavajuća tačnost modelovanja, kako na trening skupu, tako i na test skupu.

Kao dodatna ilustracija tačnosti razvijenih modela na Slici 4 prikazane su vrednosti intenziteta saobraćaja u funkciji broja kanala dobijenih pomoću neuronskog modela za određivanje intenziteta saobraćaja za trening skup (Slika 4(a)) i za test skup (Slika 4(b)) i upoređene sa referentnim vrednostima dobijenim pomoću Erlang B formule, odnosno Erlang B tabele. Uočava se da vrednosti određene neuronskim modelom veoma dobro prate referentne vrednosti.

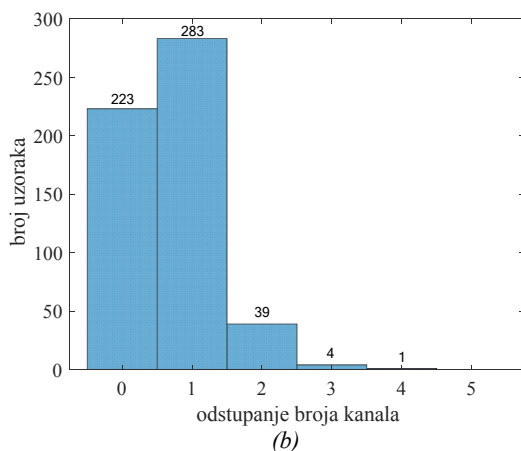
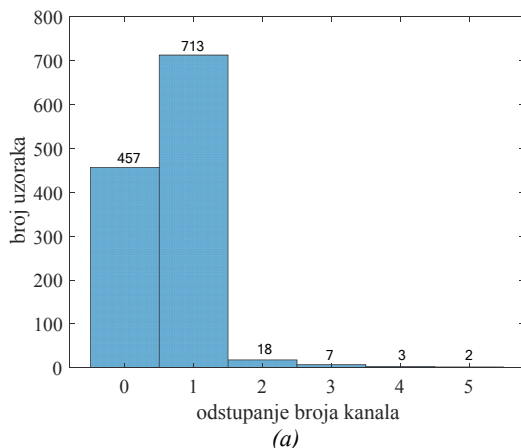
Vrednosti broja kanala koje su dobijene neuronskim modelom su u opštem slučaju realni brojevi, pa se zbog toga vrednost broja kanala određuje zaokruživanjem dobijene vrednosti na prvu veću celobrojnu vrednost. Raspodela vrednosti odstupanja broja kanala dobijenih predloženim modelom od referentnih vrednosti prikazana je na

Slikama 5(a) i 5(b), za trening i test skup, respektivno. Uočava se da za većinu testiranih vrednosti (97.5% ukupnog broja uzoraka u slučaju trening skupa i 92% ukupnog broja uzoraka u slučaju test skupa) nema odstupanja ili je odstupanje maksimalno za jedan kanal, što se može smatrati veoma dobrim rezultatom.

U slučaju oba modela, malo veća odstupanja su uglavnom u delu ulaznog prostora koji se odnosi na veoma mali broj kanala, uglavnom manji od 5, i za veoma male vrednosti verovatnoće blokiranja poziva, manje od 0.1%.



Slika 4. Vrednosti intenziteta saobraćaja koje odgovaraju zadatoj vrednosti verovatnoće u zavisnosti od broja kanala – poređenje vrednosti dobijenih neuronskim modelom i referentnih vrednosti: (a) trening skup, (b) test skup.



Slika 5. Raspodela vrednosti odstupanja broja kanala određenih pomoću predloženog modela od referentnih vrednosti broja kanala: (a) trening skup, (b) test skup.

## 5. Zaključak

Prikazani rezultati testiranja predloženih modela za određivanje inverznih vrednosti Erlang B formule potvrđuju pretpostavku da se veštačke neuronske mreže mogu uspešno iskoristiti u ovu svrhu, čime se daje efikasno rešenje koje predstavlja alternativu drugim numeričkim modelima razvijenim u ovu svrhu. Model ima dobru tačnost, daje odziv trenutno, a njegova implementacija u različita softverska okruženja je bazirana na primeni elementarnih matematičkih operacija i eksponencijalne funkcije. Ove osobine, posebno poslednja, čine model posebno pogodnim i za primenu i u softverskim okruženjima koja imaju skromne mogućnosti implementacije dodatnih programskih procedura. Treba napomenuti da je model validan u opsezima ulaznih veličina koji su određeni opsezima vrednosti ovih veličina korišćenih u trening skupu, odnosno izbor vrednosti trening podataka direktno određuje opseg validnosti modela. Dalja istraživanja

će biti posvećena poboljšanju tačnosti modela i primenljivosti predloženog pristupa za određivanje inverznih vrednosti Erlang C formule.

## Zahvalnica

Istraživanja prikazana u ovom radu podržana su od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja.

## Literatura

- [1] A. K. Erlang, "Solution of some problems in the theory of probabilities of significance in automatic telephone exchanges", *Post Office Electrical Engineer's Journal*, vol. 10, pp. 189-197, 1917.
- [2] T. S. Rappaport, *Wireless communications principles and practice*, Chapter 3, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J, USA: 2002.
- [3] L. Ding and J. S. Lehnert, "Calculation of Erlang capacity for cellular CDMA uplink systems", *2000 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Conference Record (Cat. No.00TH8540)*, vol. 1, pp. 338-342, 2000. DOI: 10.1109/WCNC.2000.904653
- [4] M. Kavacký, E. Chromý and J. Šuran, "Evaluation of Erlang models in IP network", *2011 9th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, pp. 109-113, 2011. DOI: 10.1109/ICETA.2011.6112596
- [5] M. Stasiak, M. Glabowski and S. Hanczewski, "The application of the Erlang's Ideal Grading for modelling of UMTS cells", *2012 8th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP)*, pp. 1-6, 2012. DOI: 10.1109/CSNDSP.2012.6292773
- [6] E. Saranova, "Dimensioning of telecommunication network based on quality of services demand and detailed behaviour of users", *International Journal Information Technologies and Knowledge*, vol. 1, pp. 103-113, 2007.
- [7] J. H. Klink and T. Uhl, "Quality-aware network dimensioning for the VoIP service", *2017 25th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, pp. 1-6, 2017. DOI: 10.23919/SOFTCOM.2017.8115576
- [8] P. Zou, O. Ozel and S. Subramaniam, "On the Benefits of Waiting in Status Update Systems", *IEEE INFOCOM 2019 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pp. 171-176, 2019. DOI: 10.1109/INFOCOMW.2019.8845135
- [9] H. A. Damanik and M. Anggraeni, "Optimization info rate using APSK modulation scheme for delivery GSM ABIS over satellite communications", *2019 6th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, pp. 305-310, 2019. DOI: 10.23919/EECSI48112.2019.8977020
- [10] T. R. Robbins, "Evaluating the performance of the Erlang models for call centers", *International Journal of Applied Science and Technology*, vol. 9, no. 1, March 2019. DOI: 10.30845/ijast.v9n1p1

- [11] M. Taruk, E. Budiman, R. Wardhana, H. J. Setyadi, G. M. Putra and E. Maria, "Network traffic WLAN monitoring based SNMP using MRTG with Erlang theory", *2021 3rd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT)*, pp. 391-394, 2021. DOI: 10.1109/EIConCIT50028.2021.9431898
- [12] R. Jovanovic, S. Bayhan and I. S. Bayram, "Capacity optimization of EV charging networks: A greedy algorithmic approach", *2022 3rd International Conference on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)*, pp. 1-6, 2022. DOI: 10.1109/SGRE53517.2022.9774066
- [13] S. S. Rappaport, "Calculation of some functions arising in problems of queueing and communications traffic", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 27, no. 1, pp. 249-251, January 1979. DOI: 10.1109/tcom.1979.1094249
- [14] R. F. Farmer and I. Kaufman, "On the numerical evaluation of some basic traffic formulae", *Networks*, vol. 8, no. 2, pp. 153-186, 1978. DOI: 10.1002/net.3230080207
- [15] S. Berezner, A. Krzesinski and P. Taylor, "On the inverse of Erlang's function", *Journal of Applied Probability*, vol. 35, no. 1, pp. 246-252, March 1998. DOI: 10.1239/jap/1032192569
- [16] J. S.H. Van Leeuwen and N. M. Temme, "Asymptotic inversion of the Erlang B formula", *SIAM Journal on Applied Mathematics*, vol. 70, no. 1, pp. 1-23, 2009. <http://www.jstor.org/stable/27798762>. Accessed 12 Oct. 2022.
- [17] V. Shakhov, "Simple approximation for Erlang B formula", *2010 IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering (SIBIRCON)*, pp. 220-222, 2010. DOI: 10.1109/SIBIRCON.2010.5555345
- [18] A. M. Alaa and M. Hazim Tawfik, "Novel teletraffic analysis of GSM/EDGE orthogonal sub channel (OSC) and application to spectrum re-farming", *Frequenz*, vol. 68, no. 3-4, pp. 137-150, 2014. DOI: 10.1515/freq-2013-0109
- [19] S. Haykin, *Neural Networks*, New York, USA, IEEE, 1994.
- [20] Q. J. Zhang and K. C. Gupta, *Neural networks for RF and microwave design*, Boston, MA: Artech House, 2000.
- [21] V. Đorđević, O. Pronić-Rančić, Z. Marinković, M. Milijić, V. Marković, U. Siart, C. Chwala and H. Kunstmann, "New method for detection of precipitation based on artificial neural networks", *Microwave Review*, vol. 19, no. 2, pp. 50-55, December 2013.
- [22] Z. Marinković, T. Kim, V. Marković, M. Milijić, O. Pronić-Rančić, T. Ćirić and L. Vietzorreck, "Artificial neural network based design of RF MEMS capacitive shunt switches", *The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)*, vol. 31, no. 7, pp. 756-764, July 2016.
- [23] S. Pattanayak and P. Das, "Artificial neural networks for intelligent communication systems: A study", *International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering (IJERCSE)*, vol 5, no. 2, pp. 186-189, February 2018.
- [24] C. Zhang, P. Patras and H. Haddadi, "Deep learning in mobile and wireless networking: A survey", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2224-2287, thirdquarter 2019. DOI: 10.1109/COMST.2019.2904897

- [25] M. Alam, M. D. Samad, L. Vidyaratne, A. Glandon and K. M. Iftekharuddin, "Survey on deep neural networks in speech and vision systems", *Neurocomputing*, vol. 417, pp. 302-321, December 2020. DOI: 10.1016/j.neucom.2020.07.053
- [26] Z. Marinković, G. Crupi, A. Caddemi, V. Marković and D. M.M.-P. Schreurs, "A review on the artificial neural network applications for small-signal modeling of microwave FETs", *International Journal of Numerical Modeling: Electronic Networks, Devices and Fields*, vol. 33, no. 3, e2668, May/June 2020. DOI: 10.1002/jnm.2668
- [27] J. Jin, F. Feng, W. C. Na, S. X. Yan, W. Y. Liu, L. Zhu and Q.-J. Zhang, "Recent advances in neural network-based inverse modeling techniques for microwave applications", *International Journal on Numerical Modeling*, vol. 33, no. 6, e2732, Nov/Dec 2020. DOI: 10.1002/jnm.2732
- [28] T.-V. Nguyen, T.-N. Tran, K. Shim, T. Huynh-The and B. An, "A deep-neural-network-based relay selection scheme in wireless-powered cognitive IoT networks", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 9, pp. 7423-7436, 2021. DOI: 10.1109/JIOT.2020.3038907
- [29] Z. Ž. Stanković, D. I. Olćan, N. S. Dončov and B. M. Kolundžija, "Consensus deep neural networks for antenna design and optimization", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 7, pp. 5015-5023, July 2022. DOI: 10.1109/TAP.2021.3138220
- [30] <https://sites.pitt.edu/~dtipper/2110/erlang-table.pdf>

**Abstract:** *The Erlang B formula is used to determine the probability of blocking in telecommunication systems. There are no closed-form expressions for solving the inverse problem, that is, determining the traffic intensity or the required number of channels corresponding to a given probability of blocking. Artificial neural networks provide the ability to develop models of dependencies between two sets of data, where these models can be represented using closed-form mathematical expressions. Having this in mind, artificial neural networks are applied in this paper to develop a numerical model for determining the inverse values of the Erlang B formula.*

**Keywords:** *Artificial neural networks, Erlang B formula, telecommunication traffic*

## **DETERMINATION OF THE ERLANG B FORMULA INVERSE VALUES USING THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

Zlatica Marinković, Dušan Marković, Biljana Stošić, Vera Marković

## **PRIMENA NEURALNIH MREŽA ZA KOMPENZACIJU NELINEARNE DISTORZIJE U MOBILNIM SISTEMIMA NOVE GENERACIJE**

Tamara Muškatirović-Zekić<sup>1,2</sup>, Nataša Nešković<sup>3</sup>, Đurađ Budimir<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, muskatirovic@gmail.com

<sup>2</sup>Regulatorna agencija za elektronske komunikacije i poštanske usluge,  
tamara.muskatirovic@ratel.rs

<sup>3</sup>Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, natasha@etf.rs

<sup>4</sup>University of Westminster – Wireless Communications Research Group,  
d.budimir@wmin.ac.uk

**Rezime:** *Kompensacija nelinearne distorzije u mobilnim sistemima nove generacije je od izuzetnog značaja, kako bi se ispunili novi zahtevi korisnika za sve bržim i pouzdanijim servisima i uslugama. Mašinski modeli učenja zasnovani na veštačkim neuralnim mrežama (ANN - Artificial Neural Network) imaju sve rasprostranjeniju primenu u svim oblastima savremenog života, posebno u obradi signala i bežičnim komunikacijama, a u poslednje vreme raste i njihova primena u modelima digitalne predistorzije (DPD) koji se koriste za kompenzaciju nelinearne distorzije signala u mobilnim sistemima. Stoga je u ovom radu izložen pregled postojećih DPD rešenja zasnovanih na primeni neuralnih mreža. Pored opisa samih modela, izvedena je i njihova komparativna analiza sa posebnim osvrtom na kompleksnost implementacije predloženih modela. Takođe su predloženi neki od mogućih problema pri primeni predloženih modela u budućim širokopojasnim mobilnim sistemima.*

**Ključne reči:** *neuralne mreže, pojačavači snage, digitalna predistorzija, MIMO, 5G*

### **1. Uvod**

U savremenom i modernom društvu, potreba za bežičnim povezivanjem pametnih uređaja, poput telefona, tableta, ali i različitih senzora i mašina, je u konstantnom porastu, što dovodi do ubrzanog razvoja mobilnih sistema nove generacije (5G i budući 6G). Osnovni ciljevi mobilnih sistema nove generacije su ultra brz širokopojasni prenos podataka (brzinama do 20 Gb/s), veoma pouzdana komunikacija sa ultra malim kašnjenjem (ispod 10 ms), masovna komunikacija, tj. povezivanje velikog broja uređaja, visoka pouzdanost i efikasna upotreba energije [1]. Kako bi se ispunili ovi zahtevi potrebno je povećati propusni opseg (*bandwidth*) i spektralnu efikasnost, što se postiže korišćenjem milimetarskih talasa (*mmWave*), širokopojasnih (*wideband*)



pojačavača (PA), mMIMO (*massive multiple-input multiple-output*) predajnika i usmeravanjem snopa (*beamforming*).

Pojačavač snage predstavlja glavni potrošač snage u mobilnim sistemima nove generacije i potrebno je da energetski bude što efikasniji [2]. Kako bi se postigla maksimalna energetska efikasnost pojačavači rade u oblasti blizu zasićenja, pri čemu dolazi do pojave nelinearne distorzije signala, kako unutar, tako i van opsega signala. Kako bi se izbeglo narušavanje ukupnih performansi sistema usled nelinearne distorzije, potrebno je što efikasnije linearizovati pojačavač koji radi u oblasti blizu zasićenja.

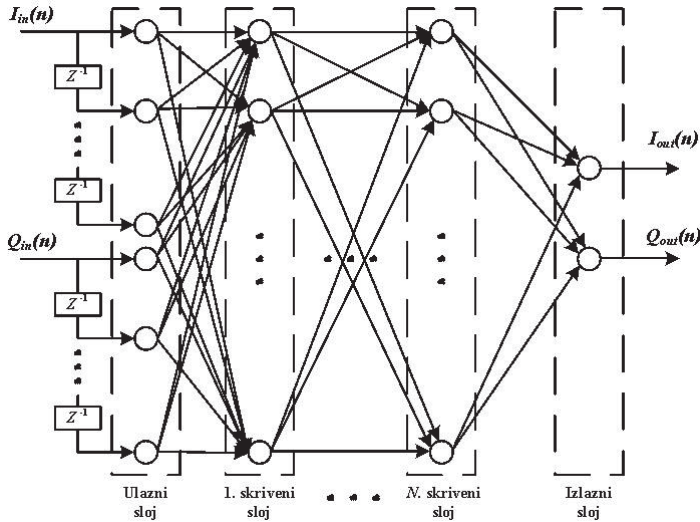
Jedno od mogućih rešenja problema nelinearne distorzije jeste primena digitalne predistorzije (DPD). Osnovni princip digitalne predistorzije je uvođenje dodatnog nelinearnog DPD bloka pre pojačavača, čija je funkcija prenosa inverzna funkciji prenosa pojačavača, tako da se množenjem nelinearne funkcije pojačavača i nelinearne funkcije DPD bloka dobija linearan izlaz. Iako je sam princip prilično jednostavan, razvijanje jeftinog i visoko efikasnog rešenja je kompleksan problem, kojim se bave mnogobrojni istraživački radovi u ovoj oblasti. Da bi se kompenzovala nelinearna distorzija usled širenja spektra, klasičan DPD treba da ima 5 puta veći propusni opseg od širine signala, što sa porastom širine signala na nekoliko GHz postaje skupo i energetski neisplativo rešenje, zbog potrebe za postojanjem konevrtora sa izuzetno velikim brzinama odabiranja. U literaturi su predložena izvesna rešenja za realizaciju širokopojasnog DPD sa ograničenom širinom propusnog opsega [3]. Drugi problem koji se javlja kod mMIMO predajnika jeste potreba za više DPD blokova, obično onoliko koliko ima i pojačavača u predajniku, čime se dodatno poskupljuje sistem. Određena istraživanja su odrađena i na ovom polju, i postoje izvesna rešenja koja efikasno linearizuju više pojačavača u nizu [4]. Međutim i dalje ostaje problem kompleksnosti postojećih rešenja.

Neuralne mreže veoma dobro aproksimiraju nelinearne funkcije, i stoga sve više privlače pažnju istraživača u oblasti linearizacije pojačavača. U poređenju sa konvencionalnim DPD modelima zasnovanim na polinomima, poput *memory polynomial* (MP), *parallel Hammerstein* (PH), *Volterra* i drugima, DPD modeli realizovani primenom neuralnih mreža, značajno poboljšavaju performanse modelovanja u smislu nelinearne procene izlaznog signala pojačavača. Osnovna podela neuralnih mreža je na "plitke" (*shallow neural network* - SNN) i "duboke" (*deep neural network* - DNN), u zavisnosti od broja skrivenih slojeva neuralne mreže.

Opisi predloženih modela neuralnih mreža dati su u drugom poglavlju, poređenje DPD modela zasnovanih na opisanim neuralnim mrežama dato je u trećem poglavlju, dok je u četvrtom poglavlju dat zaključak.

## 2. Neuralne mreže

Arhitektura tipične neuralne mreže sastoji se od više nivoa, jednog ulaznog sloja, jednog ili više skrivenih slojeva i jednog izlaznog sloja, kao što je prikazano na slici 1. U zavisnosti od broja skrivenih slojeva neuralne mreže delimo na „plitke“ neuralne mreže (SNN - *Shallow Neural Network*), koje imaju jedan ili dva skrivena sloja, i „duboke“ neuralne mreže (DNN - *Deep Neural Network*), koje imaju tri ili više skrivenih slojeva. U ovom radu su analizirane RVTDNN (*Real-Valued Time-Delay Neural Network*) i ARVTDNN (*Augmented Real-Valued Time-Delay Neural Network*), koje spadaju u SNN mreže, kao i LSTM (*Long Short-Term Memory*) i RVTDCNN (*Real-Valued Time-Delay Convolutional Neural Network*), koje spadaju u DNN mreže.



Slika 1. Arhitektura NN mreže.

Ovi modeli prate tzv. propagaciju unapred (*feedforward*), tj. podaci putuju od neurona nižeg sloja ka neuronima višeg sloja, pri čemu se ulazni podaci u  $(l+1)$ -i sloj računaju po sledećoj formuli [5]:

$$net_j^{l+1} = \sum_{i=1}^q \omega_{ji}^{l+1} \sigma_i^l + b_j^{l+1} \quad (1)$$

gde:  $b_j^{l+1}$  označava pomeraj  $j$ -tog neurona u  $(l+1)$ -om sloju,  $q$  označava ukupan broj neurona u prethodnom sloju,  $\omega_{ji}^{l+1}$  označava sinaptičku težinu između  $i$ -tog ulaza prethodnog sloja i  $j$ -tog neurona trenutnog sloja,  $\sigma_i^l$  označava izlaz  $j$ -tog neurona u  $(l+1)$ -om sloju i zavisi od aktivacione funkcije  $f$ , tj.  $\sigma_i^l = f(net_j^{l+1})$ . Najčešće korišćene aktivacione funkcije su tangens hiperbolički (*tanh*), sigmoid (*logsig*) i ispravljena linearna f-ja (*ReLU*), i date su sledećim matematičkim izrazima:

$$\tanh(x) = \frac{\exp(2x)-1}{\exp(2x)+1} \quad (2)$$

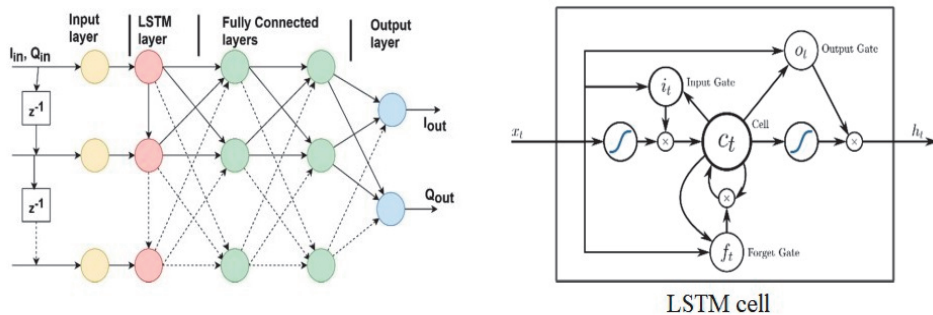
$$\log sig(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3)$$

$$ReLU = \max(0, x) \quad (4)$$

gde je  $x$  ulazni signal.

Ulazni signali u RVTDDN mrežu su  $I$  (*inphase*) i  $Q$  (*quadrature*) komponente ulaznog signala. Dok su ulazni signali u ARVTDDN mrežu, pored  $I$  i  $Q$  komponenti i  $|x(n)|$ ,  $|x(n)|^2$  i  $|x(n)|^3$ , gde je  $|x(n)|$  amplituda ulaznog signala [6].

LSTM neuralna mreža prikazana je na slici 2 [7]. Sastoji se od ulaznog sloja, LSTM sloja, više skrivenih slojeva i izlaznog sloja. Ulazne signale čine trenutni i zakašnjeni odbirci ulaznog signala. LSTM sloj sadrži ulaznu kapiju (*unput gate*), izlaznu kapiju (*output gate*) i tzv. kapiju „za zaborav“ (*forget gate*). Zahvaljujući ovakvoj svojoj konstrukciji LSTM mreže mogu da zapamte težinske koeficijente u toku dužeg vremenskog perioda, čime se postiže bolja predikcija vremenskog niza signala koji zavisi od prethodnih stanja, tj. u slučaju predikcije signala pojačavača koji ispoljavaju memorijske efekte.



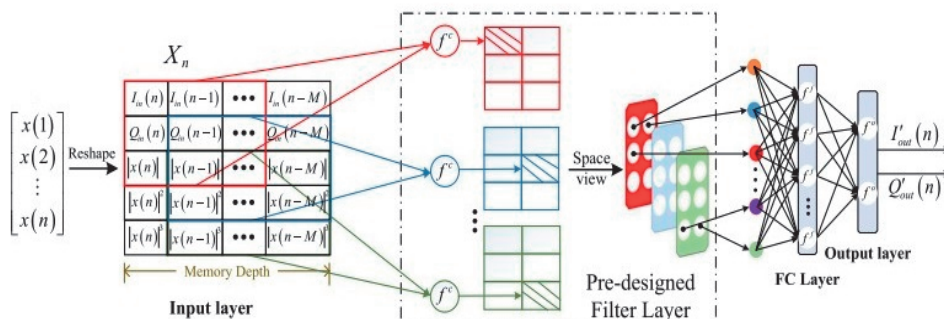
Slika 2. Arhitektura LSTM DNN mreže [7].

Na slici 3 prikazana je arhitektura RVTDCNN mreže [8]. Ovaj model se sastoji od četiri sloja: ulaznog sloja, predizajniranog filterskog sloja, potpuno povezanog skrivenog sloja i izlaznog sloja. Filterski sloj je konstruisan korišćenjem konvolucionih blokova, pomoću kojih se izdvajaju bitne karakteristike ulaznog signala. Dimenzije konvolucionog bloka se dizajniraju tako da se smanjuje računarska kompleksnost, dok se istovremeno zadržavaju dobre performanse predviđanja modela.

Treba napomenuti da su ulazni podaci u konvolucione mreže obično u 2D formatu, dok su podaci koji se koriste za modelovanje pojačavača i digitalnu predistorziju 1D, tj. zavise samo od vremena. Stoga je potrebno pažljivo mapirati ulazne 1D podatke u 2D podatke pogodne za konvolucionu obradu. U analiziranoj RVTDCNN mreži ulazni podaci koji odgovaraju susednim zakašnjenim signalima su raspoređeni jedan do drugog kako bi se obezbedilo da 2-D konvolucioni blok izdvaja unakrsne članove različito zakašnjenih signala, a mapiranje je izvršeno formiranjem 2D matrice, prema sledećoj formuli:

$$X_n = \begin{bmatrix} I_{in}(n), I_{in}(n-1), \dots, I_{in}(n-M); \\ Q_{in}(n), Q_{in}(n-1), \dots, Q_{in}(n-M); \\ |x(n)|, |x(n-1)|, \dots, |x(n-M)|; \\ |x(n)|^2, |x(n-1)|^2, \dots, |x(n-M)|^2; \\ |x(n)|^3, |x(n-1)|^3, \dots, |x(n-M)|^3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

gde:  $(n-i)$ ,  $i=1,2,\dots,M$ , označava  $i$ -ti zakašnjeni odbirak, a  $M$  dubinu memorije.



Slika 3. Arhitektura RVTDCNN mreže [8].

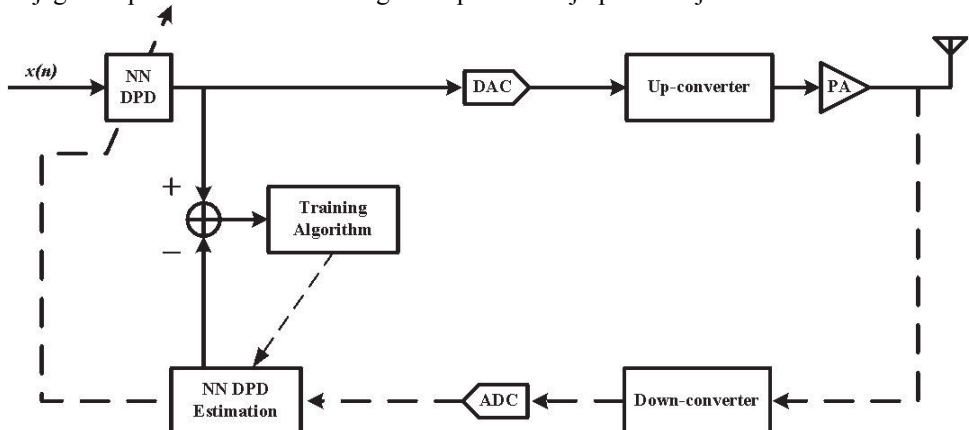
Struktura različitih modela neuralnih mreža predloženih u literaturi [6]- [10], data je u tabeli 1. Određivanje optimalnog broja neurona u skrivenom sloju, zatim broja neurona u LSTM sloju kod LSTM mreže, kao i veličine i broja konvolucionih blokova kod RVTDCNN mreže se vrši eksperimentalno u toku treniranja mreže, tako da se postignu najbolje moguće performanse same mreže. Tokom treniranja NN mreže koristi se postupak unakrsne validacije (*cross-validation*), koji se sastoji od tri faze: faze treniranja, faze validacije i faze testiranja. Prve dve faze, treniranje i validacija, vrše se korišćenjem različitih skupova izmerenih ulaznih i izlaznih signala, dok se za testiranje NN mreže koristi treći skup ulazno/izlaznih podataka, različit od prethodna dva. Faza testiranja se vrši u cilju proveravanja sposobnosti predloženog modela neuralne mreže da isprati izmerene podatke.

Tabela 1. Struktura različitih NN mreža

Tip NN mreže	Ulazni podaci	Broj neurona u skrivenom sloju	Aktivaciona funkcija
RVTDNN [9]	$I, Q$	35	$\tanh$
ARVTDNN [6]	$I, Q,  x(n) ,  x(n) ^2,  x(n) ^3$	17	$\tanh$
DNN [10]	$I, Q$	[17 17 17]	$\text{logsig}$
LSTM [7]	$I, Q$	10 u LSTM sloju [7 5] u skrivenim	$\text{ReLU}$
RVTDCNN [8]	$I, Q,  x(n) ,  x(n) ^2,  x(n) ^3$	6	$\tanh$

### 3. DPD modeli zasnovani na neuralnim mrežama

Za formiranje DPD modela zasnovanih na neuralnim mrežama (NN DPD modela) korišćena je arhitektura indirektnog učenja (ILA - *Indirect Learning Architecture*), kod koje se prvo određuju koeficijenti modela, tj. formira se i trenira neuralna mreža na osnovu ulaznih i izlaznih signala pojačavača. Zatim se tako formirana neuralna mreža koristi ispred pojačavača, kako bi se izvršila predistorzija signala. Dijagram opisane arhitekture za digitalnu predistorziju prikazan je na slici 4.



Slika 4. Dijagram DPD arhitekture primenom neuralne mreže.

Pri izboru tipa neuralne mreže za DPD, veoma bitan parametar je kompleksnost modela, koja se može uporediti na osnovu broja koeficijenata modela  $N_{coef}$ , kao i na osnovu broja FLOP-ova (*floating point operations*). Broj koeficijenata modela je jednak zbiru koeficijanata u svakom sloju NN modela, i može se izračunati korišćenjem sledeće formule:

$$N_{coef} = (N_i + 1)N_1 + \sum_{f=2}^F (N_{f-1} + 1)N_f + (N_F + 1) N_o \quad (6)$$

gde je:  $N_i$  broj neurona u ulaznom sloju,  $F$  broj skrivenih slojeva,  $N_f$  broj neurona u  $f$ -tom skrivenom sloju i  $N_o$  broj neurona u izlaznom sloju.

Broj FLOP-ova zavisi od korišćene aktivacione funkcije, tj. od broja i vrste korišćenih aritmetičkih operacija [11]. Za NN model koji koristi *tanh* aktivacionu funkciju, broj FLOP-ova se može izračunati korišćenjem sledeće formule:

$$FLOP = 2N_iN_1 + 2N_FN_o + 2 \sum_{f=2}^F N_{f-1}N_f + 15 \sum_{f=1}^F N_f \quad (7)$$

Za NN model koji koristi *logsig* aktivacionu funkciju, broj FLOP-ova se može izračunati korišćenjem sledeće formule:

$$FLOP = 2N_iN_1 + 2N_FN_o + 2 \sum_{f=2}^F N_{f-1}N_f + 13 \sum_{f=1}^F N_f \quad (8)$$

Za procenu performansi NN DPD modela može se koristiti normalizovana srednja kvadratna greška NMSE (*Normalized Mean-Squared Error*), koja se računa po sledećoj formuli:

$$NMSE = 10 \log_{10} \left( \frac{\sum_{n=1}^K |y_{meas}(n) - y_{est}(n)|^2}{\sum_{n=1}^K |y_{meas}(n)|^2} \right) \quad (9)$$

gde su:  $y_{meas}$  i  $y_{est}$  - izmereni i procenjeni talasni oblici izlaznog signala, respektivno.

U tabeli 2 je dat pregled uporednih karakteristika različitih analiziranih NN DPD modela. Date su izračunate vrednosti broja koeficijenata i broja FLOP-ova. Takođe su date i eksperimentalno dobijene vrednosti za NMSE iz [8], gde je izvršeno poređenje modela na LTE signalu širine 100 MHz. Korišćen je *Doherty* pojačavač snage saturacije 43 dBm, na centralnoj frekvenciji 2.14 GHz.

Tabela 2. Performanse i kompleksnost različitih NN DPD modela

Tip NN mreže	Broj koeficijenata	Broj FLOP-ova	NMSE [dB]
RVTDNN [9]	387	1155	-35.09
ARVTDNN [6]	393	1008	-36.47
DNN [10]	801	2306	-36.42
LSTM [7]	467	5034	-36.27
RVTDCNN [8]	158	876	-36.44

Može se primetiti da svi predloženi NN DPD modeli, veoma dobro kompenzuju nelinearnu distorziju pojačavača, dok se u pogledu kompleksnosti modela, na osnovu broja koeficijenata i FLOP-ova, izdvaja DPD model zasnovan na RVTDCNN mreži. Važno je napomenuti da sa povećanjem propusnog opsega signala, raste i dubina memorije, što rezultira potrebom za kompleksnijom mrežnom strukturom, koja će biti u stanju da isprati memorijske efekte pojačavača.

#### 4. Zaključak

Na osnovu izloženog, može se zaključiti da se neuralne mreže mogu efikasno primeniti za kompenzaciju nelinearne distorzije u mobilnim sistemima nove generacije. Njihova osnovna prednost u odnosu na klasične modele za digitalni predistorziju zasnovane na polinomima, jeste u smanjenoj kompleksnosti, kao i u njihovoj adaptibilnosti, tj. mogućnosti za lakim i brzim ponovnim treniranjem mreže u slučaju bilo kakvih promena okruženja. Doprinos ovog rada je u kompaktnom prikazu i analizi postojećih modela za digitalnu predistorziju signala zasnovanih na neuralnim mrežama. Budući rad ide u pravcu ispitivanja mogućnosti optimizacije postojećih NN DPD modela, kao i mogućnosti primene neke druge neuralne mreže za kompenzaciju nelinearne distorzije u mobilnim sistemima nove generacije.

#### Literatura

- [1] Harri Holma, Antti Toskala, Takehiro Nakamura, *5G Technology: 3GPP New Radio*, JohnWiley & Sons Ltd. 2020.
- [2] L. Guan and A. Zhu, "Green Communications: Digital Predistortion for Wideband RF Power Amplifiers," in *IEEE Microwave Magazine*, vol. 15, no. 7, pp. 84-99, November-December 2014, DOI: 10.1109/MMM.2014.2356037
- [3] T. Muškatirović-Zekić, M. Čabarkapa, N. Nešković, Đ. Budimir, „Pregled postojećih DPD modela sa ograničenom širinom propusnog opsega”, 65. Konferencija za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku ETRAN 2021, pp. 604-609.
- [4] T. Muškatirović-Zekić, M. Čabarkapa, N. Nešković, Đ. Budimir, „An Overview of Digital Predistortion Solutions for Hybrid Beamforming Mimo Transmitters”, 29th Telecommunications Forum (TELFOR), 2021, pp. 1-4, DOI: 10.1109/TELFOR52709.2021.9653422
- [5] P. Jaraut, M. Helaloui, W. Chen, M. Rawat, N. Boulejfen and F. M. Ghannouchi, "Review of the Neural Network based Digital Predistortion Linearization of Multi-Band/MIMO Transmitters," 2021 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS), 2021, pp. 1-3, DOI: 10.1109/IWS52775.2021.9499466.
- [6] D. Wang, M. Aziz, M. Helaloui and F. M. Ghannouchi, "Augmented Real-Valued Time-Delay Neural Network for Compensation of Distortions and Impairments in Wireless Transmitters," in *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 30, no. 1, pp. 242-254, Jan. 2019, DOI: 10.1109/TNNLS.2018.2838039.
- [7] D. Phartiyal and M. Rawat, "LSTM-Deep Neural Networks based Predistortion Linearizer for High Power Amplifiers," 2019 National Conference on Communications (NCC), 2019, pp. 1-5, DOI: 10.1109/NCC.2019.8732178.
- [8] X. Hu et al., "Convolutional Neural Network for Behavioral Modeling and Predistortion of Wideband Power Amplifiers," in *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 33, no. 8, pp. 3923-3937, August 2022, DOI: 10.1109/TNNLS.2021.3054867.
- [9] Taijun Liu, S. Boumaiza and F. M. Ghannouchi, "Dynamic behavioral modeling of 3G power amplifiers using real-valued time-delay neural networks," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 52, no. 3, pp. 1025-1033, March 2004, DOI: 10.1109/TMTT.2004.823583.

- [10] R. Hongyo, Y. Egashira, T. M. Hone and K. Yamaguchi, "Deep Neural Network-Based Digital Predistorter for Doherty Power Amplifiers," in *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 29, no. 2, pp. 146-148, Februar 2019, DOI: 10.1109/LMWC.2018.2888955.
- [11] A.S. Tehrani, C. Haiying, S. Afsardoost, T. Eriksson, M. Isaksson and C. Fager, "A comparative analysis of the complexity/accuracy tradeoff in power amplifier behavioral models," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 58, no. 6, pp. 1510-1520, June 2010, DOI: 10.1109/TMTT.2010.2047920.

**Abstract:** *The compensation of nonlinear distortion in mobile systems of the new generation is extremely important, in order to meet the new demands of users for faster and more reliable services. Machine learning models based on artificial neural networks (ANN - Artificial Neural Network) are increasingly used in all areas of modern life, especially in signal processing and wireless communications, and recently their application in digital predistortion (DPD) models that are used for compensation of nonlinear signal distortion in mobile systems is growing. Therefore, this paper presents an overview of existing DPD solutions based on the application of neural networks. In addition to the description of the models themselves, their comparative analysis is performed with special attention to the complexity of the implementation of the proposed models. Also, some of the possible problems when applying the proposed models in future broadband mobile systems are pointed out.*

**Keywords:** *neural networks, power amplifiers, digital predistortion, MIMO, 5G*

## **APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR COMPENSATION OF NONLINEAR DISTORTION IN NEW GENERATION MOBILE SYSTEMS**

Tamara Muškatirović-Zekić, Nataša Nešković, Đurađ Budimir

## **PREDIKCIJA ODLIVA KORISNIKA TELEKOMUNIKACIONIH OPERATORA PRIMENOM MAŠINSKOG UČENJA**

Slađana Janković<sup>1</sup>, Snežana Mladenović<sup>2</sup>, Ivana Stefanović<sup>3</sup>, Ana Uzelac<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, s.jankovic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, snezanam@sf.bg.ac.rs

<sup>3</sup>Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd – Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, ivanas@viser.edu.rs

<sup>4</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, ana.uzelac@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Kako bi prevenirao odliv korisnika, za telekomunikacionog operatora bilo bi korisno da sazna koji su to parametri koji najviše utiču na odlazak korisnika. Rad se bavi problemom predikcije budućeg odliva korisnika na osnovu istorijskih podataka u programskom jeziku Python. U cilju rešavanja ovog problema pronađen je odgovarajući, otvoreni skup podataka i izvršena istraživačka analiza podataka, kako bi se utvrdio stepen zavisnosti između svake nezavisne i zavisne varijable. Nezavisne varijable opisuju korisnika i servise koje je koristio, dok zavisna varijabla daje odgovor na pitanje: da li je korisnik do tog trenutka napustio operatora? Zatim su kreirani različiti klasifikacioni modeli mašinskog učenja korišćenjem nekih od algoritama implementiranih u Scikit-Learn biblioteci programskog jezika Python. Tačnost najboljih modela iznosila je preko 95%, što je za 10% više od tačnosti null modela, pa se može zaključiti da se predikcija odliva korisnika može uspešno vršiti korišćenjem mašinskog učenja, u programskom jeziku Python.*

**Ključne reči:** *mašinsko učenje, odliv korisnika, predikcija, klasifikacija, Python*

### **1. Uvod**

Telekomunikacioni operatori ulažu velike napore kako bi privukli što veći broj novih korisnika i kako bi što duže zadržali postojeće korisnike na visoko konkurentnom tržištu. Trošak zadržavanja postojećih korisnika je obično niži u poređenju sa troškom privlačenja novih korisnika [1]. Upravo iz ovog razloga, razvijen je veliki broj različitih modela koji omogućavaju predikciju budućeg odliva korisnika u cilju preveniranja istog. U ovom istraživanju, na osnovu istorijskih podataka o odlivu korisnika, u programskom jeziku *Python*, obučeni su i verifikovani modeli mašinskog učenja, uz pomoć kojih se sa visokom tačnošću može predvideti za koje korisnike se očekuje da će napustiti telekomunikacionog operatora.

U drugoj sekciji rada opisana je metodologija ovog istraživanja, tj. sve faze procesa mašinskog učenja, realizovanog u cilju predikcije odliva korisnika telekomunikacionih operatora. U trećoj sekciji rada prezentovani su rezultati prediktivne



analize sprovedene na raspoloživom skupu podataka i dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima sličnih istraživanja. Četvrta sekcija sadrži najznačajnije zaključke koji su proistekli iz ovog istraživanja.

## 2. Metodologija

Ovo istraživanje obuhvata primenu metode nadgledanog mašinskog učenja, u rešavanju problema binarne klasifikacije korisnika telekomunikacionog operatora. Korisnici se klasifikuju prema tome da li su do tog trenutka napustili posmatranog operatora ili nisu. Istraživačka analiza i vizuelizacija podataka, priprema skupa podataka za proces mašinskog učenja, kao i izgradnja i primena modela mašinskog učenja urađeni su u programskom jeziku *Python*, na *Jupyter Notebook web* platformi.

### 2.1. Skup podataka

U istraživanju je korišćen otvoreni skup podataka kompanije *Orange* [1]. Skup podataka opisuje profile korisnika nepoznatog operatora mobilne telefonije iz Sjedinjenih Američkih Država (SAD). Skup podataka sastoji se od 3333 zapisa, pri čemu svaki zapis opisuje jednog korisnika. Ukupan broj atributa u skupu podataka je 21. Originalni skup podataka je na engleskom jeziku [2], ali je za potrebe ovog istraživanja preveden na srpski jezik. Prevođenjem tekstualnih vrednosti na srpski jezik nisu promenjeni originalni tipovi podataka atributa. U Tabelama 1, 2, 3 i 4 prikazano je prvih pet instanci skupa podataka koji je korišćen za predikciju u ovom istraživanju. Poslednja kolona – odliv korisnika, je ciljna varijabla, dok su ostale kolone nezavisni atributi. Ciljna varijabla ima vrednost *TRUE* ukoliko je posmatrani korisnik otkazao pretplatu, tj. napustio ovog operatora, odnosno vrednost *FALSE*, ukoliko nije. Samo vrednosti ciljane varijable nisu prevedene na srpski jezik, kako bi i ova varijabla ostala istog tipa podataka kao u originalnom skupu podataka, tj. logičkog tipa (tip *bool*). Skup podataka dobijen prevođenjem na srpski jezik smatraće se u nastavku istraživanja izvornim skupom podataka.

Tabela 1. Prvih pet instanci izvornog skupa podataka – prvi deo

država u SAD	trajanje računa u danima	pozivni broj	broj telefona	plan međunarodnih poziva
KS	128	415	382-4657	ne
OH	107	415	371-7191	ne
NJ	137	415	358-1921	ne
OH	84	408	375-9999	da
OK	75	415	330-6626	da

Tabela 2. Prvih pet instanci izvornog skupa podataka – drugi deo

moгуćnost glasovne pošte	broj glasovnih poruka	ukupan broj minuta dnevno	ukupan broj poziva dnevno	ukupna cena dnevnih poziva
da	25	265.1	110	45.07
da	26	161.6	123	27.47
ne	0	243.4	114	41.38
ne	0	299.4	71	50.90
ne	0	166.7	113	28.34

Tabela 3. Prvih pet instanci izvornog skupa podataka – treći deo

ukupan broj večernjih minuta	ukupan broj večernjih poziva	ukupna cena večernjih poziva	ukupan broj noćnih minuta	ukupan broj noćnih poziva
197.4	99	16.78	244.7	91
195.5	103	16.62	254.4	103
121.2	110	10.30	162.6	104
61.9	88	5.26	196.9	89
148.3	122	12.61	186.9	121

Tabela 4. Prvih pet instanci izvornog skupa podataka – četvrti deo

ukupna cena noćnih poziva	ukupan broj međunarodnih minuta	ukupan broj međunarodnih poziva	ukupna cena međunarodnih poziva	broj poziva korisničkog servisa	odliv korisnika
11.01	10.0	3	2.70	1	FALSE
11.45	13.7	3	3.70	1	FALSE
7.32	12.2	5	3.29	0	FALSE
8.86	6.6	7	1.78	2	FALSE
8.41	10.1	3	2.73	3	FALSE

## 2.2. Istraživačka analiza i priprema podataka

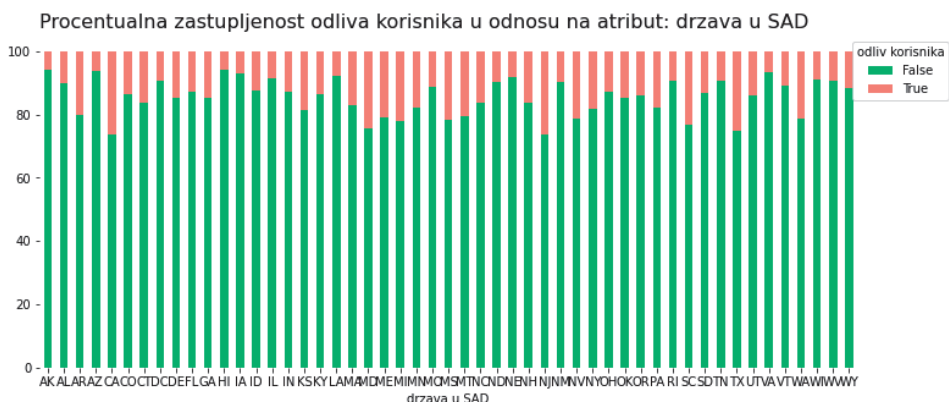
Istraživačka analiza podataka (engl. *Exploratory Data Analysis*) radi se iz više razloga: da bi se utvrdile osnovne osobine atributa, kao što su tipovi podataka, nedostajuće vrednosti i jedinstvene vrednosti, da bi se utvrdio značaj svakog nezavisnog atributa, tj. stepen u kojem vrednost ciljne varijable zavisi od njegove vrednosti i na kraju, da bi se izvorni skup podataka na pravi način pripremio za proces mašinskog učenja.

Skup podataka skladišten je u `.csv` datoteci `odliv_korisnika_u_telekomunikacijama.csv`, koja je postavljena na *Jupyter Notebook* platformu. Podaci iz ove datoteke pročitani su i smešteni u *pandas* okvir podataka (engl. *Data Frame*) `df_telekomunikacije_odliv_korisnika`. *pandas* je softverska biblioteka pisana za programski jezik *Python*, namenjena za manipulisanje i analizu podataka u formi sekvenca podataka i u formi tabela podataka. Okvir podataka predstavlja dvodimenzionalnu (tabelarnu) strukturu podataka. Upoznavanje sa izvornim skupom podataka je veoma važno u primeni metode mašinskog učenja, jer je preduslov za odgovarajuću pripremu raspoloživog skupa podataka za kreiranje modela mašinskog učenja. Naredbom `df_telekomunikacije_odliv_korisnika.info()` dobijen je izveštaj o osnovnim karakteristikama skupa podataka, koji će u nastavku biti korišćen za predikciju. Iz izveštaja se moglo videti da u izvornom skupu podataka nije bilo *null* vrednosti, pa nije bilo potrebe za procenom i imputiranjem nedostajućih vrednosti, isključivanjem atributa koji ih sadrže ili eliminisanjem nepotpunih instanci. Za pripremu skupa podataka za prediktivnu analizu, kao i za vizuelizaciju podataka, veoma je važan uvid u tipove podataka nezavisnih promenljivih, kao i ciljne (zavisne) promenljive. U pomenutom

izveštaju mogu se videti i *pandas* tipovi podataka promenljivih: jedna promenljiva, i to ciljna, je tipa *bool* (logička), osam promenljivih su tipa *float64* (numeričke realne), osam promenljivih su tipa *int64* (numeričke celobrojne) i četiri promenljive su tipa *object* (mogu biti tekstualne ili mešovite - tekstualne i numeričke).

Naredbom `df_telekomunikacije_odliv_korisnika.nunique()` određen je i prikazan broj jedinstvenih vrednosti u svakoj koloni skupa podataka, odnosno okvira podataka. Za atribut *broj telefona* prikazano je da ima 3333 jedinstvenih vrednosti, tj. onoliko vrednosti koliko ukupno ima zapisa. To znači da ovaj atribut nema nikakav uticaj na vrednost ciljne promenljive, pa je iz tog razloga on i obrisan iz okvira podataka, sledećom naredbom: `df_telekomunikacije_odliv_korisnika.drop(columns=['broj telefona'], inplace=True)`.

Korišćenjem odgovarajućih funkcija i metoda *Python* biblioteka i modula, kao što su: *numpy*, *math*, *matplotlib* i *plotly*, iscrtani su dijagrami prikazani na Slikama 1 i 2. Na Slici 1 prikazana je procentualna raspodela odliva korisnika za svaku državu SAD. Ovaj grafikon pokazuje da odliv korisnika po državama SAD varira približno između 5% i 25%, što ukazuje na to da *drzava u SAD*, kao atribut, ne utiče značajno na vrednost ciljne varijable. Iz tog razloga je i ovaj atribut isključen, tj. obrisan iz okvira podataka.

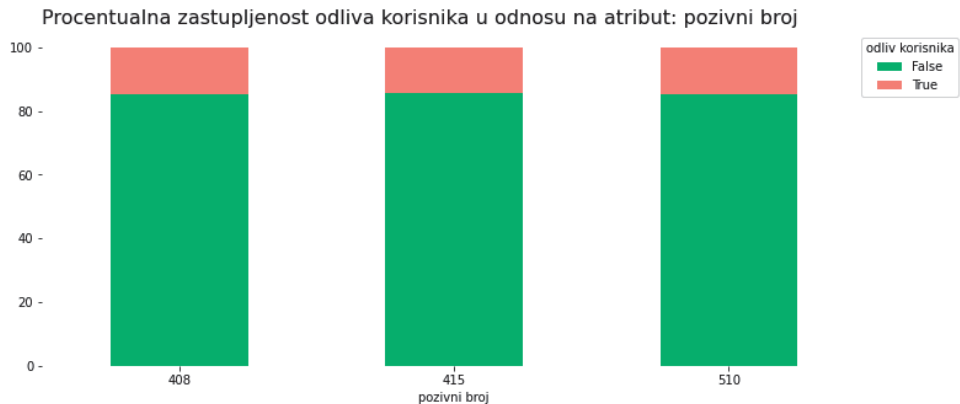


Slika 1. Procentualna raspodela odliva korisnika po državama SAD

Na Slici 2 prikazana je procentualna raspodela odliva korisnika za svaki od tri pozivna broja, koji su pronađeni u skupu podataka. Ovaj grafikon pokazuje da je odliv korisnika po pozivnim brojevima veoma ujednačen i iznosi približno oko 15%. Udeo korisnika koji su napustili operatora u čitavom skupu podataka je 14.5%. Ovo ukazuje na to da *pozivni broj*, kao atribut, nema uticaja na vrednost ciljne varijable. Iz tog razloga je i ovaj atribut isključen, tj. obrisan iz okvira podataka.

Budući da mnogi algoritmi mašinskog učenja ne mogu da rade sa kategoričkim varijablama, već isključivo sa numeričkim, priprema skupa podataka često podrazumeva i kodiranje kategoričkih varijabli. Postoje dve vrste kodiranja kategoričkih varijabli: *Label Encoding* i *One-Hot Encoding*. *Label Encoding* podrazumeva zamenu kategoričkih vrednosti brojevima. *One-Hot Encoding* podrazumeva kreiranje nove binarne varijable za svaku moguću vrednost kategoričke varijable. Sada je jasno zašto upoznavanje sa skupom podataka obavezno treba da sadrži utvrđivanje broja prisutnih jedinstvenih vrednosti za svaku varijablu, a posebno za kategoričke. U izvornom skupu podataka

korišćenom u ovom istraživanju, nakon što su izbačene promenljive *broj telefona* i *drzava u SAD*, preostale su samo tri kategoričke varijable: *plan medjunarodnih poziva*, *mogucnost glasovne pošte* i ciljna varijabla *odliv korisnika*. Prve dve varijable uzimaju vrednosti *da* ili *ne* dok ciljna varijabla uzima vrednosti *TRUE* ili *FALSE*. Vrednosti *da* i *TRUE* kodirane su brojem 1, dok su vrednosti *ne* i *FALSE* kodirane brojem 0.



Slika 2. Procentualna raspodela odliva korisnika prema pozivnim brojevima

Zatim su od okvira podataka *df\_telekomunikacije\_odliv\_korisnika\_transformisan* kreirane *Python* promenljive *X* i *y*. Promenljiva *X* predstavlja dvodimenzionalnu kolekciju podataka koja sadrži vrednosti svih nezavisnih varijabli, dok promenljiva *y* predstavlja jednodimenzionalnu kolekciju podataka koja sadrži vrednosti zavisne varijable.

Skaliranje podataka je uobičajena praksa kod primene tehnike mašinskog učenja, a sastoji se od transformacije vrednosti iz numeričkih kolona u vrednosti na zajedničkoj skali. U mašinskom učenju, vrednosti nekih numeričkih atributa mogu biti više puta veće od vrednosti drugih atributa. Atributi koji imaju veće vrednosti će dominirati procesom učenja, iako to ne mora da znači da su te promenljive važnije u predviđanju vrednosti ciljne varijable. Normalizacija podataka je jedna od metoda koja transformiše podatke iz različitih skala u podatke na jednoj zajedničkoj skali. Nakon normalizacije, sve promenljive imaju sličan uticaj na model, što doprinosi poboljšanju stabilnosti i performansi modela mašinskog učenja. Postoji više tehnika normalizacije u statistici. U ovom istraživanju korišćena je min-max metoda normalizacije, koja sve numeričke vrednosti transformiše u vrednosti u fiksnom intervalu od 0 do 1. Ova transformacija se vrši tako što se od posmatrane vrednosti atributa oduzima minimalna vrednost tog atributa, a onda se ta razlika deli rasponom vrednosti tog atributa (maksimalna vrednost atributa – minimalna vrednost atributa). Veliki broj istraživača, koji koriste tehniku nadgledanog mašinskog učenja, preporučuju da se skaliranje vrednosti numeričkih varijabli radi nakon podele skupa podataka na skupove za trening i testiranje, odnosno na svakom od ovih skupova podataka odvojeno. Takođe, preporučuje se da se parametri normalizacije (minimalna i maksimalna vrednost svake numeričke varijable) odrede na skupu podataka za trening, a da se koriste u normalizaciji promenljivih oba skupa podataka (i za trening i za testiranje). Ovo istraživanje urađeno je u skladu sa pomenutim preporukama.

Pre nego što je izvršena normalizacija numeričkih varijabli, poslednja verzija skupa podataka, smeštena u promenljivim  $X$  i  $y$ , podeljena je na skup podataka za trening (75% instanci) i skup podataka za verifikaciju (testiranje) modela (25% instanci). Nakon toga, odvojeno je urađena normalizacija skupa podataka za trening i skupa podataka za testiranje.

### 2.3. Izgradnja modela mašinskog učenja

Nakon odgovarajuće pripreme skupova podataka za treniranje i testiranje modela mašinskog učenja, sproveden je proces mašinskog učenja, po sledeći fazama:

1. obučavanje različitih modela mašinskog učenja, na skupu podataka za trening,
2. validacija, tj. ocena obučanih modela,
3. izbor najboljeg modela za predikciju,
4. podešavanje vrednosti hiperparametara najboljeg modela,
5. verifikacija izabranog modela na skupu podataka za testiranje.

Na skupu podataka za trening obučeni su modeli bazirani na sledećim *Scikit-Learn* (*Sklearn*) klasifikatorima: *DummyClassifier*, *LogisticRegression*, *DecisionTreeClassifier*, *KNeighborsClassifier*, *LinearDiscriminantAnalysis*, *GaussianNB*, *SVC* i *RandomForestClassifier*. *Scikit-Learn* je najznačajnija *Python* biblioteka za mašinsko učenje. Prilikom obučavanja modela korišćene su podrazumevane vrednosti njihovih hiperparametara. *DummyClassifier* kreira predikcije ne uzimajući u obzir vrednosti nezavisnih atributa, već samo frekvencije pojavljivanja različitih vrednosti ciljne varijable u skupu podataka koji se koristi za obučavanje. Ovaj klasifikator je korišćen za obučavanje tzv. nultog modela, sa kojim će se porediti ostali obučeni modeli.

Za ocenu i poređenje obučanih modela izabrana je mera performansi koja se naziva tačnost modela (*Accuracy*). S obzirom na to da je izvorni skup podataka relativno mali (3333 instance), za validaciju modela, tj. izračunavanje performansi modela, korišćena je tehnika *K-fold cross-validation*, i to za  $K=10$ . Kod ove tehnike, skup podataka za trening deli se  $K$  puta na  $K$  podskupova. U svakoj od  $K$  iteracija jedan od  $K$  podskupova koristi se za izračunavanje tačnosti modela, a ostalih  $K-1$  za obučavanje modela. Konačne tačnosti modela izračunavaju se kao aritmetičke sredine  $K$  dobijenih tačnosti, u  $K$  iteracija. Budući da je za validaciju modela u ovom istraživanju korišćena tehnika *10-fold cross-validation*, tačnost modela izračunata je korišćenjem funkcije *cross\_val\_score()* iz *Python sklearn.model\_selection* modula.

Od osam obučanih modela, kao najbolji, izabran je onaj model koji je imao najveću tačnost. Tačnost najboljeg modela bila je značajno veća od tačnosti nultog modela, što je predstavljalo potvrdu da se predikcija odliva korisnika može raditi korišćenjem tehnike nadgledanog mašinskog učenja. Nakon toga, u cilju eventualnog poboljšanja tačnosti izabranog modela, izvršeno je podešavanje hiperparametara izabranog modela, korišćenjem tehnike *RandomizedSearchCV*.

U poslednjoj fazi izvršena je verifikacija najboljeg modela na skupu podataka za testiranje. Ova faza podrazumeva generisanje matrice konfuzije (*confusion matrix*) i izračunavanje različitih mera performansi modela, kao što su: tačnost, osetljivost, specifičnost i preciznost. Matrica konfuzije generiše se uz pomoć funkcije *confusion\_matrix()* implementirane u *Python sklearn.metrics* modulu. Za problem

binarne klasifikacije sa nejednako zastupljenim klasama, ređe zastupljena klasa često nosi naziv pozitivna klasa, a zastupljenija klasa nosi naziv negativna klasa. U skupu podataka korišćenom u ovom istraživanju zastupljenija je klasa koja predstavlja korisnike koji nisu napustili operatora. Dakle, pozitivna klasa je ona klasa kod koje ciljna varijabla ima vrednost 1, a negativna je ona klasa kod koje ciljna varijabla ima vrednost 0 (Slika 3).

Ako matricu konfuzije za posmatrani problem binarne klasifikacije označimo sa  $C_{2 \times 2}$ , tada će njeni elementi  $c_{i,j}$  predstavljati broj instanci koje pripadaju klasi  $i$  a predikcijom su raspoređene u klasu  $j$ . Na taj način dobijamo sledeća značenja elemenata matrice konfuzije:  $c_{0,0}$  – broj stvarno negativnih instanci (*true negative*,  $TN$ ),  $c_{0,1}$  – broj lažno pozitivnih instanci (*false positive*,  $FP$ ),  $c_{1,0}$  – broj lažno negativnih instanci (*false negative*,  $FN$ ) i  $c_{1,1}$  – broj stvarno pozitivnih instanci (*true positive*,  $TP$ ).

		predviđene vrednosti ciljne varijable	
		0	1
stvarne vrednosti ciljne varijable	0	$TN$	$FP$
	1	$FN$	$TP$

Slika 3. Matrica konfuzije za rešavani problem binarne klasifikacije

Mere performansi klasifikacionih modela u ovom istraživanju izračunate su korišćenjem elemenata matrice konfuzije kao operanada u odgovarajućim izrazima. Tačnost (*Accuracy*) i osetljivost (*Sensitivity*) su izračunate prema (1), specifičnost (*Specificity*) i preciznost (*Precision*) prema (2), *F1 Score* prema (3):

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \quad (1)$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \quad Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$F1\ Score = \frac{2*Precision*Sensitivity}{Precision+Sensitivity} \quad (3)$$

### 3. Rezultati i analiza rezultata

Na skupu podataka za trening obučeno je osam modela, baziranih na različitim algoritmima mašinskog učenja. U Tabeli 5 prikazane su tačnosti svih obučanih modela. Lako se uočava da model *RandomForestClassifier* ima značajno veću tačnost od ostalih modela. Budući da nulti model (*DummyClassifier*) ima tačnost 0.850341, a najbolji model 0.950381, može se konstatovati da najbolji model ima značajno veću tačnost od nultog modela, i da ima smisla nastaviti proces mašinskog učenja korišćenjem ovog modela.

Tabela 5. Rezultati unakrsne validacije modela na skupu podataka za trening

Model mašinskog učenja	Tačnost modela ( <i>Accuracy</i> )
<i>DummyClassifier</i>	0.850341
<i>LogisticRegression</i>	0.856347
<i>LinearDiscriminantAnalysis</i>	0.849949
<i>KNeighborsClassifier</i>	0.897952
<i>DecisionTreeClassifier</i>	0.908369
<i>GaussianNB</i>	0.861944
<i>SVC</i>	0.850341
<i>RandomForestClassifier</i>	0.950381

Nakon podešavanja hiperparametara najboljeg modela, izvršena je verifikacija ovog modela, tj. izračunavanje različitih mera njegovih performansi, na skupu podataka za testiranje. Matrica konfuzije najboljeg modela prikazana je na Slici 4, dok su u Tabeli 6 prikazane izračunate mere performansi ovog modela.

$$\begin{bmatrix} 722 & 3 \\ 30 & 79 \end{bmatrix}$$

Slika 4. Matrica konfuzije najboljeg modela na skupu podataka za testiranje

Iz matrice konfuzije može se lako izračunati, da je od ukupno 834 instance skupa podataka za testiranje, njih 33 pogrešno klasifikovano. Za 3 korisnika koji nisu napustili svog operatora, model je predvideo da će to učiniti, a za 30 korisnika koji jesu napustili operatora, model je predvideo da to neće učiniti. Model je tačno predvideo ponašanje za 722 korisnika koji nisu napustili operatora i za 79 korisnika koji su napustili operatora.

Tabela 6. Mere performansi najboljeg modela na skupu podataka za testiranje

Mera performansi	<i>Accuracy</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>Specificity</i>	<i>Precision</i>	<i>F1 Score</i>
<b>Vrednost mere</b>	0.96	0.72	0.99	0.96	0.83

Tačnost modela na skupu podataka za testiranje se malo povećala u odnosu na tačnost izmerenu na skupu podataka za trening (sa 0.95 na 0.96), što znači da nije došlo do problema prevelikog podudaranja (engl. *Overfitting*). Tačnost modela je zadovoljavajuća, kao i vrednosti ostalih mera performansi, pa se može zaključiti da se model mašinskog učenja baziran na algoritmu *RandomForest*, kreiran u programskom jeziku *Python*, može uspešno koristiti u predikciji odliva korisnika telekomunikacionih operatora.

U literaturi su opisana brojna istraživanja koja su rezultovala modelima za predikciju odliva korisnika telekomunikacionih operatora. Kreirani modeli se međusobno razlikuju po tačnosti i korišćenom skupu podataka. Npr. u radu [4] korišćen je skup podataka koji sadrži zapise o 7032 korisnika, pri čemu je broj atributa u skupu podataka 21. Pored podataka o servisima koje su korisnici koristili, ovaj skup podataka sadrži i demografske podatke o korisnicima, poput pola i godišta. Tačnost najboljeg modela u ovom slučaju iznosi oko 82%. Prema [5] isti skup podataka korišćen je u velikom broju drugih radova poput [6, 7, 8], pri čemu se tačnost modela kreće u opsegu od 68% do

85%. Dostupnost podataka, koji su neophodni za kreiranje modela za predikciju odliva korisnika, je ograničena zbog poverljivosti i privatnosti podataka između telekomunikacionih operatera i njihovih korisnika [4]. Ovo predstavlja dodatnu prepreku prilikom kreiranja modela. Upravo iz tog razloga, u ovom istraživanju korišćen je otvoreni skup podataka. Tačnost najboljeg modela razvijenog u ovom istraživanju iznosila je preko 95%, što je za oko 10% više od tačnosti najboljih modela opisanih u pomenutim radovima.

#### 4. Zaključak

Odliv korisnika direktno se odražava na uspešnost poslovanja telekomunikacionih operatera. Smanjenje odliva korisnika, pored povećanja profita i smanjenja troškova, može imati i pozitivan uticaj na privlačenje novih korisnika. Telekomunikacioni operateri sa manjom stopom odliva korisnika imaju zadovoljnije i lojalnije korisnike, što predstavlja veliku prednost na konkurentnom tržištu.

Prediktivni model kreiran u ovom istraživanju ima za oko 10% veću tačnost od sličnih modela koje su razvijali drugi istraživači, sa istim ciljem. Zbog visoke tačnosti, model razvijen u ovom istraživanju pogodan je za praktičnu implementaciju od strane telekomunikacionih operatera u cilju smanjenja odliva korisnika i povećanja profita. Osim toga, prediktivni model je obučen i testiran na skupu podataka koji ne sadrži osetljive kategorije podataka o korisnicima, kao što su ime i prezime, broj telefona, adresa i sl. Time je ispunjen još jedan važan preduslov za primenu ovog modela u praksi.

#### Zahvalnica

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

#### Literatura

- [1] N. N. Nguyen, and A. T. Duong, "Comparison of Two Main Approaches for Handling Imbalanced Data in Churn Prediction Problem", *Journal of advances in information technology*, vol. 12, no.1, pp. 29-35, February 2021. DOI: 10.12720/jait.12.1.29-35
- [2] Orange. Available at: <https://orangedatamining.com/>
- [3] Telecom\_churn skup podataka. Available at: <https://www.kaggle.com/datasets/keyush06/telecom-churncsv>
- [4] B. Yogesh, and R. T. Fokone, "Hybrid approach using machine learning algorithms for customers' churn prediction in the telecommunications industry", *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 34, no. 3, September 2021. DOI: 10.1002/cpe.6627
- [5] F. S. Wael, S. Subramanian, and M. A. Khder, "Customer Churn Prediction in Telecommunication Industry Using Deep Learning", *Information Sciences Letters*, vol. 11, no. 1, pp. 185 – 198, January 2022. DOI: 10.18576/isl/110120
- [6] S. Momin, T. Bohra, and P. Raut, "Prediction of Customer Churn Using Machine Learning", *Proceedings of the EAI International Conference on Big Data Innovation*



*for Sustainable Cognitive Computing*, pp. 203–212, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-19562-5\_20

- [7] N. I. Mohammad, S. A. Ismail, M. N. Kama, O. M. Yusop, and A. Azmi, “Customer Churn Prediction in Telecommunication Industry Using Machine Learning Classifiers”, *Proceedings of the 3rd International Conference on Vision, Image and Signal Processing (ICVISP 2019)*, pp. 1–7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1145/3387168.3387219>
- [8] J. Pamina, J. Beschi Raja, S. Sathya Bama, S. Soundarya, M. S. Sruthi, S. Kiruthika, V. J. Aiswaryadevi, and G. Priyanka, “An effective classifier for predicting churn in telecommunication”, *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, vol. 11, no. 1, pp. 221-229, June 2019.

**Abstract:** *In order to prevent customer churn, it would be useful for the telecommunications operator to find out which parameters have the greatest influence on the users' churn. The paper deals with the problem of predicting future user churn, based on historical data, in the Python programming language. In order to solve this problem, a suitable, open data set was found and an exploratory data analysis was performed, in order to determine the degree of dependence between each independent and dependent variable. The independent variables describe the user and the services he/she used, while the dependent variable answers the question: has the user left the operator by that time? After that, different machine-learning classification models were created using some of the algorithms implemented in the Scikit-Learn library available in the Python programming language. The accuracy of the best models was over 95%, which is 10% more than the accuracy of the null model, so it can be concluded that the prediction of user churn can be successfully performed using machine learning, in the Python programming language.*

**Keywords:** *machine learning, churn, prediction, classification, Python*

**PREDICTION OF CUSTOMER CHURN IN  
TELECOMMUNICATIONS USING MACHINE LEARNING**  
Slađana Janković, Snežana Mladenović, Ivana Stefanović, Ana Uzelac

## **IOT EKOSISTEM TELEKOM SRBIJA**

Vladan Nešić<sup>1</sup>, Ljubomir Mrđenović<sup>1</sup>, Ivan Petrović<sup>1</sup>, Mirjana Stojanović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Telekom Srbija a.d.

vladann@telekom.rs, ljubomirmr@telekom.rs, ivanpetr@telekom.rs

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet

m.stojanovic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Telekom Srbija a.d. je prva kompanija u regionu koja je uspostavila svoju IoT (Internet of Things) platformu, koja zapravo predstavlja ekosistem, s obzirom na činjenice da je u pitanju elastična, višekorisnička i prenosiva (cloud-agnostic) arhitektura. Na taj način je partnerima obezbedila okruženje u kojem nesmetano mogu da realizuju različite studije slučaja. Prva studija slučaja koja je realizovana na ovom ekosistemu je sistem zaštite telekomunikacione infrastrukture preduzeća.*

**Ključne reči:** *Aplikacioni programski interfejs, bezbednost, ekosistem, IoT, LoRaWAN*

### **1. Uvod**

Razvojem informacionih i komunikacionih tehnologija (*Information and Communication Technology*, ICT) smanjile su se granice između tradicionalnih industrijskih sektora, što je omogućilo pokretanje četvrte industrijske revolucije i implementaciju širokog spektra novih tehničko-tehnoloških rešenja. Nove tehnologije predstavljaju podstrek telekomunikacionim kompanijama, koje se brzo prilagođavaju promenama, za ulazak u nove oblasti poslovanja, u smislu ICT servisa i rešenja, digitalnih multimedijalnih servisa, finansijskih usluga i dr. Internet stvari (*Internet of Things*, IoT) definiše se kao „globalna infrastruktura informatičkog društva koja omogućava napredne servise, fizičkim i virtuelnim umrežavanjem stvari, a zasniva se na postojećim i interoperabilnim informacionim i komunikacionim tehnologijama u razvoju“ [1].

Telekom Srbija a.d. kao lider na polju ICT u Srbiji je prvi operator koji je inicirao primenu novih tehnologija zasnovanih na korišćenju M2M (*Machine-to-Machine*) rešenja 2017. godine i pokrenuo niz radionica u cilju realizacije prvog projekta zasnovanog na IoT koji danas ima značajnu praktičnu primenu. Uspešna realizacija prvog IoT projekta je u prvi plan istakla saradnju sa novoosnovanim (*start-up*) privrednim društvima, koja su nakon toga nastavila uspešne poduhvate poslovanja na novim studijama slučaja.

U ovom radu je predstavljen inicijalni IoT sistem Telekoma Srbija, koji se svakodnevno primenjuje i neprestano razvija i širi. Ova inicijativa je otvorila riznicu ideja, koje mogu biti realizovane u okruženju IoT platforme Telekoma Srbija.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju opisane su osnovne karakteristike, primena i ekspanzija IoT sistema. U trećem poglavlju prikazana je

arhitektura IoT ekosistema Telekom Srbija. U četvrtom poglavlju predstavljena je studija slučaja, koja se odnosi na primenu IoT ekosistema za potrebe zaštite telekomunikacione infrastrukture preduzeća Telekom Srbija. Peto poglavlje obuhvata zaključna razmatranja.

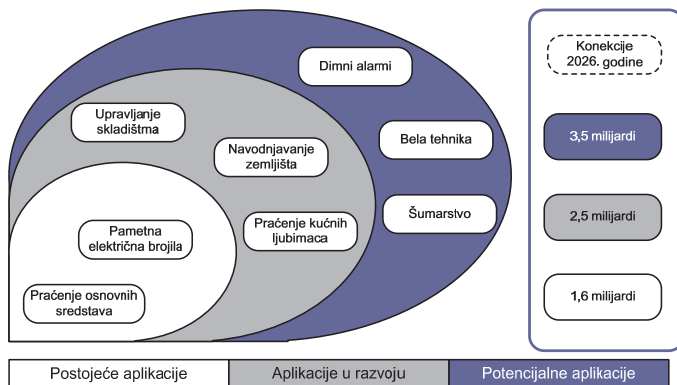
## 2. Osnovne karakteristike, primena i ekspanzija IoT sistema

Referentni model IoT sistema još nije standardizovan, iako postoji nekoliko predloga za slojevite arhitekture sistema, kao što su troslojna arhitektura, petoslojna arhitektura, arhitektura zasnovana na računarstvu u oblaku (*cloud-based*) i arhitektura zasnovana na računarstvu u magli (*fog-based*) [2], [3]. Komunikacione tehnologije i protokoli imaju značajnu ulogu u IoT sistemima u cilju efikasne i pouzdane razmene podataka u mreži. Protokoli definišu formate razmene podataka, adresne mehanizme, kodovanje, kontrolu protoka, kontrolu grešaka u prenosu i rutiranje paketa. Različite „stvari“ u IoT sistemu mogu imati različite zahteve za kvalitet servisa, bezbednost i pouzdanost, a tipično je potrebno da funkcionišu sa što manjim utroškom energije u vrlo različitim i/ili promenljivim radnim uslovima. Glavni IoT standardi su RFID (*Radio Frequency IDentification*), NFC (*Near-Field Communication*), Wi-Fi (*Wireless Fidelity*, IEEE 802.11), *Bluetooth* (IEEE 802.15.1), *ZigBee* (IEEE 802.15.4) i 6LoWPAN (*IPv6 for Low power Wireless Personal Area Networks*). Navedene tehnologije namenjene su za komunikacije kratkog dometa (*short-range*).

Za komunikacije dugog dometa (*long-range*) u IoT sistemima dizajnirane su bežične mreže širokog područja za razmenu kratkih poruka – LPWAN (*Low Power Wide Area Network*), sa sledećim osnovnim karakteristikama:

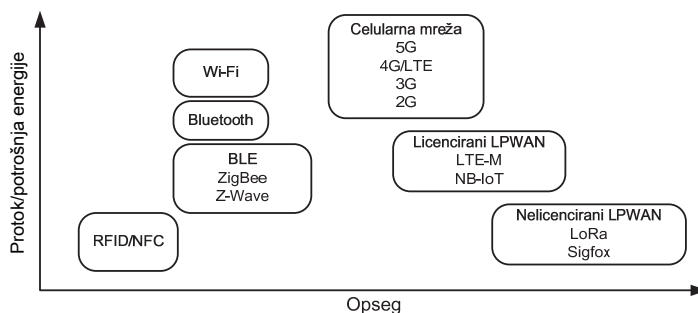
- Mala potrošnja energije IoT uređaja, što je posebno bitno za opremu koja nema spoljni izvor napajanja, jer se znatno produžava vek trajanja baterija;
- Velika pokrivenost (usmerena ili neusmerena);
- Ekonomičnost i dostupnost širokom spektru korisnika.

Prognoza rasta broja IoT konekcija za različite aplikacije koje koriste LPWAN prikazana je na slici 1.



Slika 1. Rast broja konekcija primenom LPWAN

Pozicija LPWAN u bežičnim sistemima prenosa prikazana je na slici 2.

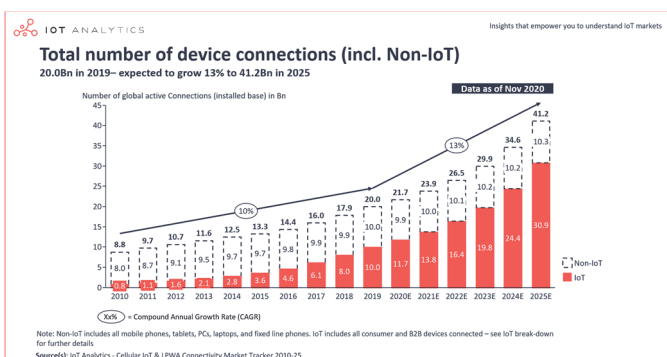


Slika 2. Pozicija LPWAN u svetu bežičnih sistema prenosa [4]

Uvođenje LPWAN tehnologije rezultovalo je novim industrijskim standardom – LoRaWAN (*Long Range WAN*), koji je predviđen da funkcioniše u nelicenciranom delu spektra (*Industrial, Scientific and Medical, ISM*) i pokazuje odlične performanse i najveću otvorenost sistema, čime se ostvaruju preduslovi za ekonomičnu realizaciju IoT sistema. Bitne karakteristike su: topologija zvezde, veliki domet (višestruko veći od celularne mreže) i odlično pokrivanje unutar objekata. Krajnji IoT uređaji imaju znatno produžen životni vek baterija (od 10 do 20 godina, zavisno od intenziteta saobraćaja i optimizacije potrošnje). LoRaWAN mreže su ekonomične, jer je cena infrastrukture značajno niža u odnosu na prethodna rešenja i povoljna je cena krajnje opreme, koja tako postaje dostupna većem broju korisnika. Detaljnija razmatranja o LoRaWAN tehnologiji mogu se pronaći u literaturi [5].

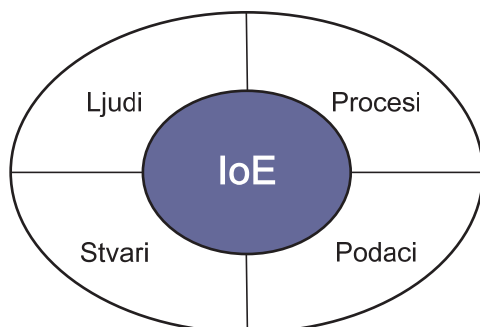
Dosadašnja eksploatacija ukazuje na zaključke da IoT tehnologija omogućava: kreiranje poslovne vrednosti kroz smanjenje operativnih troškova, bolje upravljanje rizicima i razvoj novih izvora prihoda kroz digitalne poslovne modele i nastupajuće tehnologije.

Gartner je predviđao da će do 2020. godine IoT tehnologija biti deo 90% novih računarskih *compute-enabled* proizvoda, u različitim oblastima, kao što su: kućna automatizacija, upravljanje industrijskim postrojenjima, saobraćaj i transport i dr [6]. Na slici 3 prikazana je prognoza rasta broja povezanih IoT uređaja do 2025. godine [7].



Slika 3. Rast broja povezanih IoT uređaja [7]

IoT, pored senzora i aplikacija, povezuje različite entitete, kao što su mobilni uređaji, računari i sve vrste objekata koji mogu da se povežu na Internet i međusobno intereaguju pod automatskom kontrolom ili kontrolom korisnika. Koncept IoT evoluirao u nekoliko pravaca, kao što su industrijski IoT, Internet energije, Internet nano-stvari, kao paradigmi međusobno povezanih ljudi, podataka, procesa i stvari, koja je poznata pod nazivom “Internet svega” (*Internet of Everything*, IoE) i ilustrovana na slici 4 [8].



Slika 4. Koncept IoE

### 3. Prikaz IoT ekosistema Telekoma Srbije

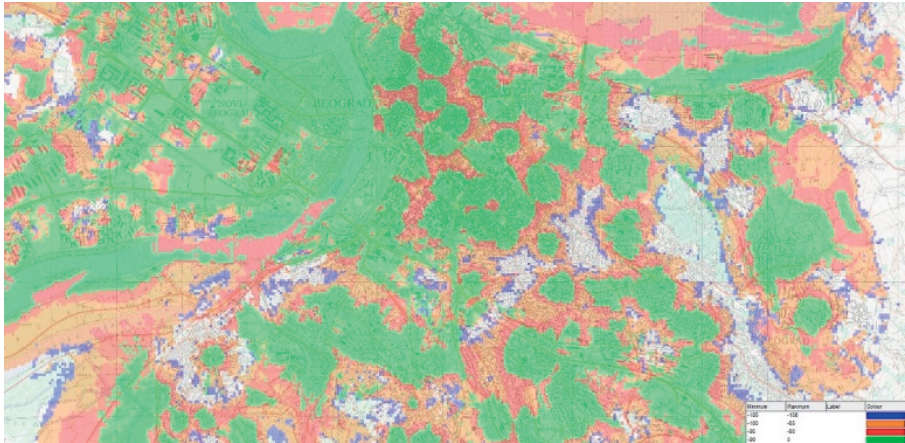
Telekom Srbija je uvek motivisan za implementaciju inovativnih standarda, posebno kada inovacija omogućava razvoj partnerskog ekosistema i specifičnih rešenja – realizaciju studija slučaja uz optimizaciju/kombinaciju upotrebe tehnoloških modula različitih proizvođača. Telekom Srbija je prvi operator u regionu sa:

- konfigurisanom višekorisničkom (*multitenant*) IoT platformom;
- novom vrstom mrežne konektivnosti – LoRaWAN;
- tehnologijom dokazanom kroz realizaciju industrijskih studija slučaja sa značajnim brojem senzorskih uređaja i pratećim aplikativnim rešenjem;
- platformom i aplikacionim programskim interfejsima (*Application Programming Interface*, API) za brzu implementaciju i integraciju novih komercijalnih studija slučaja i
- velikim kapacitetom za brzo širenje mreže.

Ovakva otvorenost ka partnerima u pronalaženju i razvoju novih studija slučaja i novih korisnika je omogućena time što su dostupne sve komponente IoT, pri čemu treba imati u vidu da je korisnička platforma najsloženija komponenta, jer iziskuje najveći razvojni posao. U tu svrhu je dostupna višekorisnička platforma [9], koju odlikuju sledeće osobine:

- Platforma je modularnog tipa – *Actility*, za neograničen broj studija slučaja;
- Veliki kapacitet konektovanih uređaja i korisnika;
- Otvoreni interfejsi preko različitih veb servisa, pre svega REST (*Representational State Transfer*) API;
- Korisnički orijentisano okruženje – GUI (*Graphical User Interface*), što omogućava jednostavnu realizaciju budućih komercijalnih studija slučaja;

- Agnostik platforma, koja omogućava različite vrste konekcija i pridruženih protokola;
- Vlasništvo nad LoRa mrežom (koja pokriva osim većih gradova, veliki deo komunikacionih linija na teritoriji zemlje). Na slici 5 prikazana je karta pokrivanja Beograda LoRa radio signalom.



Slika 5. Karta pokrivanja Beograda LoRa radio signalom

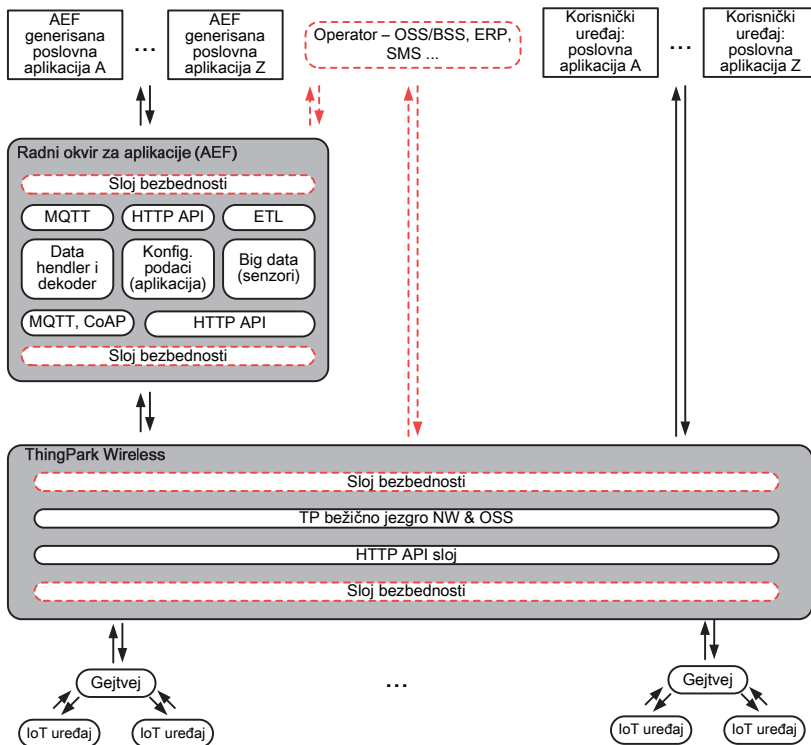
Osnovni elementi sistema su:

1. Senzori klase A, B ili C sa vekom trajanja baterije od 10 do 20 godina i povezivanjem tipa OTAA (*Over The Air Authentication*) ili ABP (*Activation by Personalization*);
2. LoRa mreža koju čine bazne omni stanice i gejtveji, sa dometom 2-3 km u gusto naseljenim sredinama i 15-20 km u ruralnim sredinama;
3. IoT platforma za nadzor i upravljanje sistemom, kao i razvoj jednostavnijih aplikacija;
4. Aplikacije za nadzor i upravljanje uređajima.

IoT platforma Telekoma Srbija ima dva osnovna sloja: (1) upravljački deo na mrežnom sloju (*ThingPark Wireless*) i (2) radni okvir za upravljanje i izradu aplikacija i analitiku (*Application Enabled Framework, AEF*), kao što je predstavljeno na slici 6.

Softverska platforma nalazi se u oblaku (*cloud*) kompanije Telekom Srbija i poseduje standardizovana rešenja za sajber bezbednost. Sistem je elastičan, odnosno prilagodljiv promenama radnog opterećenja dinamičkim pružanjem potrebnih resursa na autonoman način.

Otvoreni servisi drugih podsistema i platformi mogu da obogate pojedinačne studije slučaja u smislu sistema naplate, podrške prodaji i dr. Korišćenje API upravljačke platforme omogućuje standardizovan način razvoja i pružanja servisa. Na taj način je obezbeđena brza implementacija i integracija sa drugim novim internim ili eksternim platformama.



Slika 6. IoT platforma Telekom Srbija

#### 4. Studija slučaja: sistem za zaštitu telekomunikacione infrastrukture

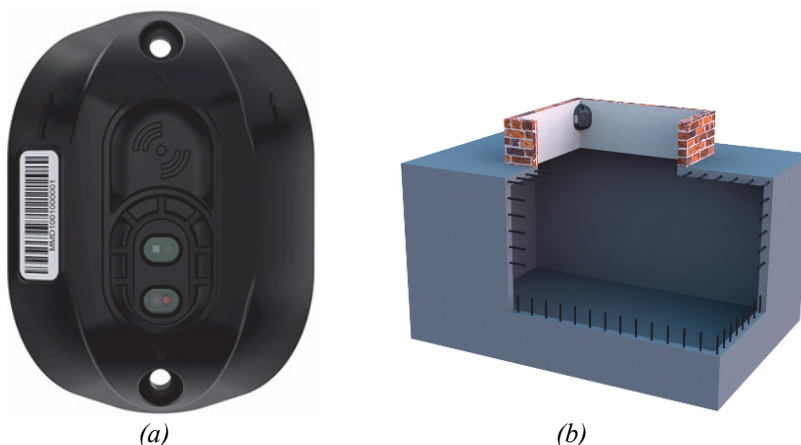
Cilj projekta Telekom Srbija bio je rešavanje problema kao što su: dugogodišnja krađa bakarnih kablova, višemilionska šteta, narušavanje reputacije, posredna šteta od gubitka saobraćaja i nezadovoljstvo korisnika zbog prekida saobraćaja. Poseban akcenat je na gubitku saobraćaja poslovnih korisnika. Treba istaći da je pitanje zaštite telekomunikacione kablovske infrastrukture ranije više puta bezuspešno rešavano, jer je glavni problem bio tehničke prirode. Nedostajalo je napajanje, a autonomija uređaja koji su radili u starim sistemima prenosa je bila maksimalno godinu dana.

Projektom zadatkom [10] postavljeni su sledeći zahtevi:

- Pozicija kablovskog okna, kao elementa kablovske kanalizacije, je ispod zemlje, gde je radio signal teško dostupan, što je zahtevalo „gušću“ mrežu.
- Ulaz u okno je dimenzija 60 cm x 60 cm, te se zahtevalo da IoT uređaj bude što manjih dimenzija, a pozicija uređaja u uglu okna.
- Mesto postavljanja uređaja je često izloženo nepovoljnim atmosferskim uslovima, kao što su vlaga, veliki temperaturni opseg, blato, led i dr. IoT uređaj mora da bude hermetički zatvoren, sa nezavisnim napajanjem, hlađenjem i grejanjem.
- Neophodna je brza i laka montaža, s obzirom veliki broj uređaja.
- Garantovani vek baterije treba da bude više od 10 godina.
- Neophodni su bezbednosni mehanizmi za sprečavanje krađe, oštećenja ili onesposobljavanja opreme, kao i pouzdana detekcija ulazaka.

- Zahtevan je slojeviti pristup upravljanju celokupnim sistemom, sa sistemom izveštavanja koji obezbeđuje kratkoročnu i dugoročnu analitiku, pri čemu se upravljanje aplikacijom realizuje kroz više nivoa pristupa (administrator, *read-only*, kontrolni centar, nadzorni centar, održavanje, bezbednosna agencija).
- Neophodno je definisanje procesnog i proceduralnog mehanizma reakcije različitih celina u sistemu (procedure za regularan ulazak, neregularan ulazak, održavanje i dr).

Kao rezultat projektovanja, a u saradnji sa tadašnjim *start-up* privrednim društvom *Bitgear*, nastao je jedinstveni u svetu višesenzorski IoT uređaj atraktivnog izgleda, koji je prikazan na slici 7 (a). Mesto postavljanja uređaja u kablovskom oknu prikazano je na slici 7 (b).



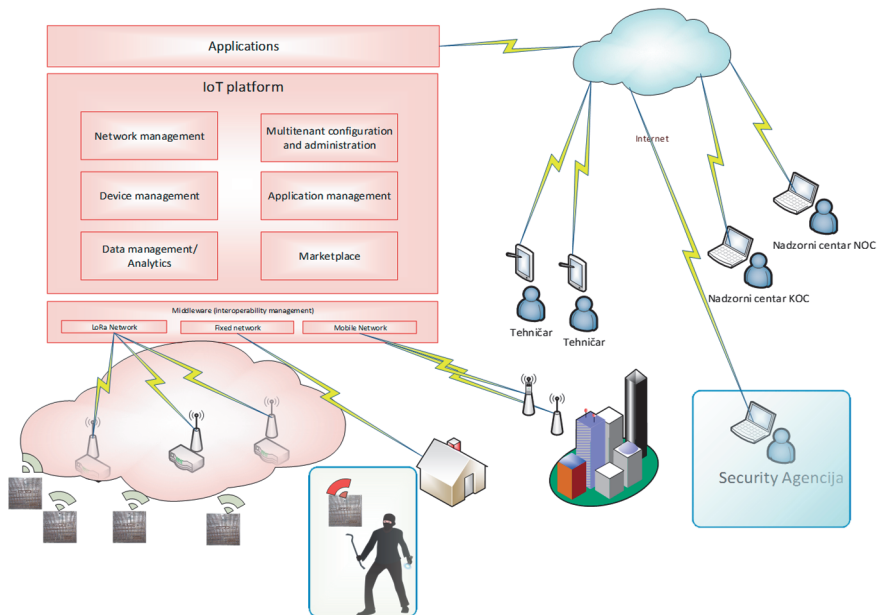
Slika 7. Višesenzorski IoT uređaj za zaštitu telekomunikacione infrastrukture:  
(a) izgled uređaja; (b) mesto postavljanja uređaja u kablovskom oknu

Osnovne karakteristike višesenzorskog IoT uređaja za zaštitu telekomunikacione infrastrukture su:

- *Ambient Light* (minimalni prag osetljivosti 0,045 luksa) omogućava detekciju otvaranja poklopca okna, čak i u mračnoj komori;
- *Proximity* – detektuje prisustvo prepreke i aktivira se prilikom ulaska u okno;
- Magnetometar detektuje promenu magnetnog polja i aktivira se ukoliko se poremeti magnetno polje iznad okna;
- Senzor maskiranja detektuje pokušaj maskiranja, tj. ako neko zloupotrebi aplikativno dozvoljen ulazak u okno, i u tom periodu pokuša da onespособi senzor;
- Akcelerometar detektuje pomeraj po tri ose, a aktivira se usled vibracija, na primer otvaranje poklopca, bušenje rupe, itd;
- Temperaturni senzor registruje povećanje temperature, ukoliko se, na primer, desi požar u blizini mesta koje se obezbeđuje;
- Senzor vlažnosti javlja da je objekat poplavljen;
- Uređaj je otporan na udarce (IK10+ standard);
- Uređaj je otporan na vlagu (IP67 standard).

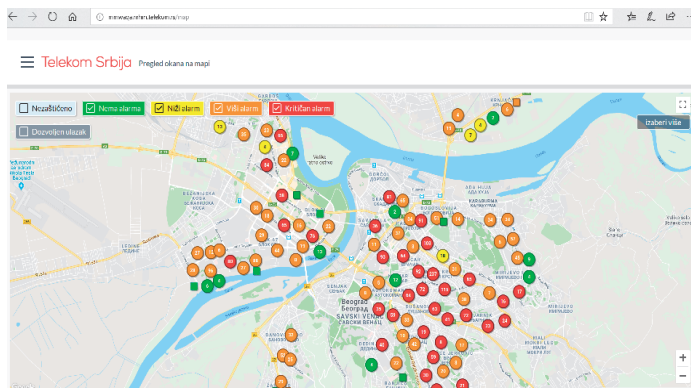


Funkcionalna arhitektura sistema za nadzor i upravljanje prikazana je na slici 8. Posle prijema alarmne poruke, aktivira se, po unapred utvrđenoj proceduri, više organizacionih delova zaduženih za bezbednost, među kojima je i bezbednosna agencija koja izlazi na teren, pomoću navigacije sa svim relevantnim podacima o tipu alarma.

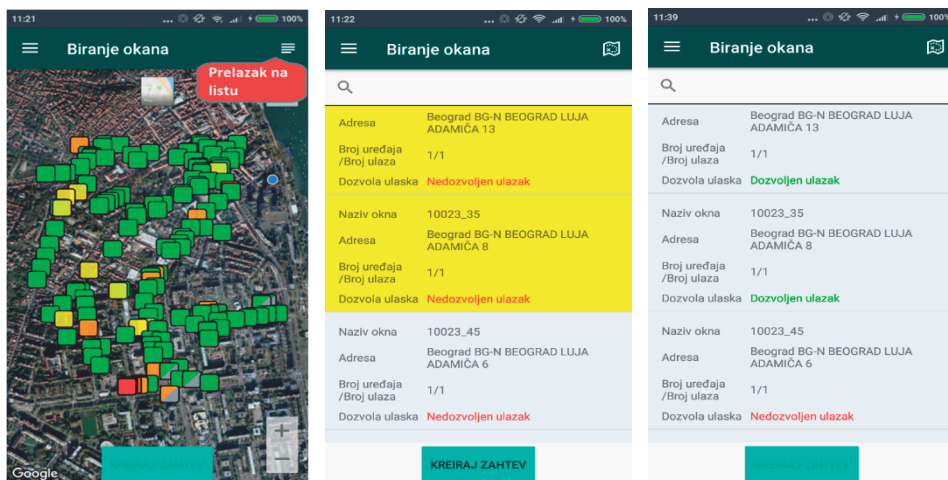


Slika 8. Funkcionalna arhitektura sistema za nadzor i upravljanje

Aplikativni deo sistema je korisnički orijentisan, integrisan sa lokalnim GIS (*Geographic Information System*) radi lakše preglednosti. Za rad na terenu, razvijena je aplikacija za mobilne uređaje. Izgledi desktop aplikacije i mobilne aplikacije za nadzor telekomunikacione infrastrukture prikazani su na slikama 9 i 10, respektivno.



Slika 9. Desktop aplikacija za nadzor telekomunikacione infrastrukture



Slika 10. Mobilna aplikacija za nadzor telekomunikacione infrastrukture

## 5. Zaključak

IoT tržište se intenzivno razvija poslednjih godina i donosi niz prednosti u smislu unapređenja kvaliteta u različitim oblastima ljudske delatnosti. U ovom radu je prikazana IoT platforma Telekoma Srbija i prva studija slučaja realizovana preko te platforme u cilju zaštite telekomunikacione infrastrukture preduzeća. Ovaj pionirski poduhvat pokazao je da se veliki projekti uspešno realizuju kooperacijom telekomunikacionog operatora i privrednih preduzeća. Projekat takođe predstavlja podstrek i pruža tehnološki osnov za realizaciju drugih IoT sistema, kao što su pametne kuće, pametni gradovi, industrijski IoT i dr.

## Literatura

- [1] *Internet of Things Global Standards Initiative*, ITU-T. [Online]. Available at: <https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>.
- [2] S. S. Sabry, N. A. Qarabash, and H. S. Obaid, "The Road to the Internet of Things: A survey", *Proc. of the 9th Annual Information Technology, Electromechanical Engineering and Microelectronics Conference (IEMECON)*, 2019, pp. 290-296, DOI: 10.1109/IEMECONX.2019.8876989.
- [3] K. O. M. Salih, T. A. Rashid, D. Radovanovic, and N. Bacanin, "A comprehensive survey on the Internet of Things with the industrial marketplace", *Sensors*, vol. 22, no. 3:730, 2022. DOI: 10.3390/s22030730.
- [4] H. Rajab, M. Ebrahim, and T. Cinkler, "Reducing power requirement of LPWA networks via machine learning", *Pollack Periodica – An International Journal for Engineering and Information Sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 86-91, June 2021. DOI:10.1556/606.2020.00263.
- [5] J. Haxhibeqiri, E. De Poorter, I. Moerman, and J. Hoebeke, "A survey of LoRaWAN for IoT: From technology to application", *Sensors*, vol. 16, no.18:3995, 2018. DOI: 10.3390/s18113995.

- [6] *Internet of Things: Unlocking True Digital Business Potential*, Gartner. [Online]. Available at: <https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/internet-of-things>.
- [7] *Market Insights for the Internet of Things*, IoT Analytics. [Online]. Available at: <https://iot-analytics.com>.
- [8] M. H. Miraz, M. Ali, P. S. Excell, and R. Picking, "Internet of Nano-Things, Things and Everything: Future growth trends", *Future Internet*, vol. 10, no. 8, article 68, 2018. DOI:10.3390/fi10080068.
- [9] "IoT ekosistem preduzeća Telekom Srbija a.d.", interna tehnička dokumentacija, Telekom Srbija a.d, 2020.
- [10] "Sistem zaštite podzemne IT infrastrukture", interna tehnička dokumentacija, Telekom Srbija a.d, 2021.

**Abstract:** *Telekom Srbija a.d. is the first company in the region with its own IoT (Internet of Things) platform which represents an ecosystem, regarding elastic, multitenant and cloud-agnostic architecture. On that way, business partners are provided with a powerful environment for implementation of different case studies. The first case study based on this ecosystem refers to the protection system of the company's telecommunication infrastructure.*

**Keywords:** *Application programming interface, Ecosystem, IoT, LoRaWAN, Security*

#### **IOT ECOSYSTEM OF TELEKOM SRBIJA**

Vladan Nešić, Ljubomir Mrdenović, Ivan Petrović, Mirjana Stojanović

## **IOT VIŠENAMENSKI LABORATORIJSKI SISTEM KORIŠĆENJEM RASPBERRY PI 3 I ESP32**

Amela Zeković, Milutin Nešić  
Akademija tehničko-umetnički strukovnih studija u Beogradu –  
Visoka škola elektrotehnike i računarstva,  
amela.zekovic@viser.edu.rs, nesic@viser.edu.rs

**Rezime:** *Internet stvari (Internet of Things, IoT) predstavlja jednu od najmodernijih tehnologija čije proširenje i unapređenje u različitim sferama života tek dolazi. Iz ugla obrazovanja, IoT obezbeđuje posebnost koja se ogleda u kombinovanju različitih inženjerskih oblasti – elektronike, telekomunikacija i računarske tehnike. Ova osobina, razvijeni IoT sistem za laboratorijske vežbe čini značajnim u nastavi različitih studijskih programa, sa različitim usmerenjima i vezama sa privredom. Na Visokoj školi elektrotehnike i računarstva (VIŠER), razvili smo IoT sistem za laboratorijske vežbe niske cene i male potrošnje korišćenjem Raspberry Pi 3 i ESP32 kao elemente okosnice. Sa jedne strane, sistemu je omogućeno povezivanje i upravljanje radom sa različitim sensorima, a sa druge ima komunikaciju sa ostatkom sveta kroz povezivanje na server ili oblak i slanje elektronske pošte ili SMS poruke. Na ovaj način sistemu je omogućeno i dalje unapređenje u smislu udaljene kontrole i upravljanja i korišćenja alata za analizu podataka i mašinsko učenje.*

**Ključne reči:** *IoT, Raspberry Pi 3, ESP32, višenamenski laboratorijski sistem*

### **1. Uvod**

Internet stvari (*Internet of Things*, IoT) predstavlja mrežu fizičkih objekata koji nisu nužno u relaciji sa Internetom, [1-2]. U ove objekte između ostalih spadaju uređaji, vozila, prostorije i/ili zgrade, kao i drugi objekti sa ugrađenim potrebnim električnim hardverom, odgovarajućom softverskom podrškom, sensorima i/ili aktuatorima i mrežnim interfejsima. Dalje, u okviru Interneta stvari može da bude omogućeno sakupljanje i čuvanje, razmena i obrada podataka i drugi načini njihovog korišćenja.

Različiti aspekti Interneta stvari su povezani sa različitim inženjerskim oblastima – elektronikom, telekomunikacijama i računarskom tehnikom. Ovo oblast Interneta stvari čini jedinstvenom, posebno ako se velika pažnja posveti svakoj od pojedinačnih celina.

U okviru ovog rada biće izložen razvijeni IoT višenamenski laboratorijski sistem koji uzima u obzir svaku od nabrojanih celina. Pažljivo je izvršen izbor hardverskih komponenti i urađeno njihovo povezivanje. Zatim, realizovano je upravljanje samim uređajima pisanjem odgovarajućih kodova u programskim jezicima. Na kraju, pored

direktne komunikacije između elemenata u sistemu, omogućena je i komunikacija sa ostatkom sveta preko Interneta.

Zbog niske cene i male potrošnje energije *Raspberry Pi* računari i ESP (*Espressif modules*) familija mikrokontrolera se u kombinaciji sa različitim sensorima, aktuatorima i kamerama sve češće koristi za razvoj IoT aplikacija i višenamenskih laboratorijskih sistema. Ovi sistemi se najčešće implementiraju radi praćenja temperature, vlažnosti i zagađenosti kao i za nadzorne i sigurnosne sisteme. Zbog zaštite životne sredine i bolje energetske efikasnosti, *Raspberry Pi* i ESP32 se takođe sve češće koriste i za kontrolu potrošnje električne energije.

U radu [3] korišćeni su senzori koji omogućavaju merenje zagađenosti, temperature i vlažnosti dok ESP32 omogućava povezivanje na server i praćenje očitavanja putem mobilne aplikacije. ESP32 korišćen je i u [4] za razvoj sistema niske cene koji omogućava praćenje temperature i vlažnosti u laboratorijama politehničkog univerziteta u Bukureštu.

Razvijen je i veliki broj sigurnosnih sistema, kako za kućnu tako i za komercijalnu upotrebu, baziranih na upotrebi *Raspberry Pi* i različitih ESP32 modula. Pored *Raspberry Pi* i različitih ESP32 modula ovi sistema koriste različite senzore kretanja i video kamere. U [5] je prikazan sistem baziran na upotrebi ESP32 modula i senzora kretanja koji omogućava kontrolu i nadzor ulaznih vrata. Senzori kretanja omogućavaju detekciju otvaranja i zatvaranja vrata i o tome obaveštavaju korisnika. *Raspberry Pi*, video kamere i senzori kretanja korišćeni su u [6] za razvoj pametnog nadzornog sistema koji omogućava slanje slika i videa korisnicima.

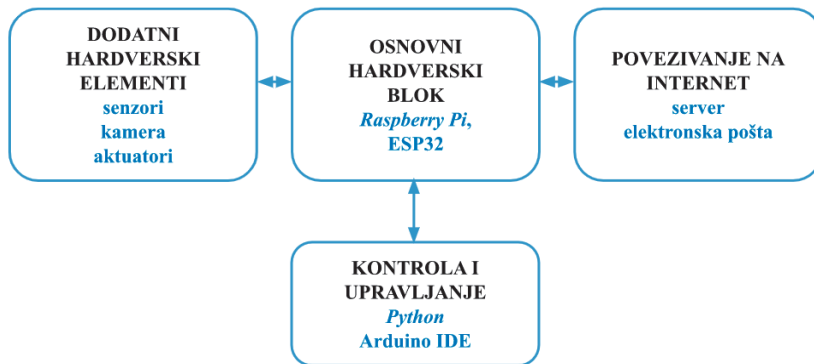
Poslednjih nekoliko godina, pod uticajem pandemije, u ubrzanom razvoju su i udaljene (*remote*) laboratorije koje se najviše koriste za istraživanje i edukaciju. Kao osnova za razvoj ovakvih laboratorija često se koriste IoT laboratorijski sistemi, posebno u slučajevima kada je krajnji cilj mogućnost realizacije pametne laboratorije. *Raspberry Pi 3* i ESP8266, iz iste familije, korišćeni su u [7] za razvoj pametnog višenamenskog laboratorijskog sistema za Koimbatore koledž u Indiji. Osnovni cilj sistema je kontrola i monitoring uređaja u laboratoriji radi smanjenja potrošnje električne energije. Sličan pristup korišćen je i u [8] gde je pametni laboratorijski sistem razvijen pomoću *Raspberry Pi* i različitih senzora za detekciju pokreta, koji omogućavaju detekciju ljudi u laboratoriji. Dobri primeri udaljenih laboratorija zasnovanih na korišćenju IoT sistema su i [9-10] gde je akcenat stavljen na razvoj aplikacija za praćenje stanja u laboratoriji i [11-13] gde su dati predlozi opštih rešenja za IoT podržane udaljene laboratorije.

Pored opštih i edukativnih rešenja za laboratorijske sisteme zasnovne na IoT, rađene su i realizacije laboratorijskih sistema u specijalizovanim laboratorijama, [14-16].

Realizovani IoT višenamenski laboratorijski sistem je kreiran po principu manjih blokova formiranih oko ključnih hardverskih komponenti, *Raspberry Pi* računara i ESP32 modula (Sekcija 2). Ovo znači da osnovna postavka može da se proširuje i smanjuje u hardverskom smislu korišćenjem različitih dodatnih uređaja, kao što su senzori, aktuatori i kamere, tako što se dodatni elementi koriste u manjim ili većim grupama (Sekcija 3). Na kraju, poslednji blok, koji je u različitim oblicima dodat na realizovani sistem, je komunikacija sa Internetom (Sekcija 4).

## 2. Osnovni hardverski blok sistema

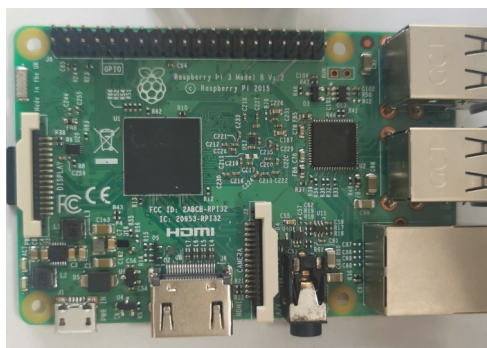
Blok šema razvijenog sistema data je na Slici 1.



Slika 1. Blok šema razvijenog IoT višenamenskog laboratorijskog sistema

## 2.1. Raspberry Pi računar

Jedan od izabranih ključnih elemenata višenamenskog IoT laboratorijskog sistema je *Raspberry Pi* računar, [17]. Razlozi za ovakav izbor leže u više različitih segmenata, posmatrano iz ugla edukacije, iz ugla istraživanja i iz ugla saradnje i pripreme studenata za privredu. Edukativni značaj *Raspberry Pi* računara ogleda se u direktnom upoznavanju i savladavanju arhitekture računara i operativnim sistemima i u ovakvom kompaktnom smislu. Istraživanje pomoću *Raspberry Pi* nudi velike mogućnosti, posebno u pogledu senzorskih mreža male cene i velike potrošnje, koji omogućavaju i povezivanje na Internet, u pogledu kreiranja udaljenih laboratorija i praćenja i kontrole uslova u prostorijama i laboratorija. Drugi, nama posebno interesantan istraživački element za *Raspberry Pi* su njegove mogućnosti u pogledu oblasti analitike podataka, analize podataka i mašinskog učenja. U pogledu saradnje sa privredom i pripreme studenata za rad u privredi, *Raspberry Pi* omogućava pristupačan sistem za rad i od kuće, uz mogućnosti povezivanja na druge uređaje i njihovo upravljanje programiranjem, što u velikoj meri prati i osnovne principe rada drugih složenijih sistema.



Slika 2. Raspberry Pi 3 model B

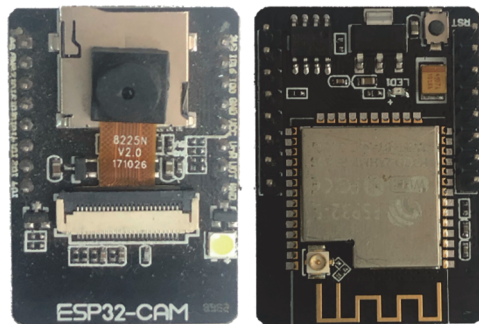
*Raspberry Pi* predstavlja računar na samo jednoj ploči, odnosno *Single Board Computer* (SBC), kreiran od strane *Raspberry Pi* fondacije 2012. godine. Veličina

*Raspberry Pi*-a odgovara veličini platne kartice, iako uređaj sadrži raznovrstan sadržaj u pogledu hardverskih komponenti i interfejsa za povezivanje i komunikaciju. U smislu hardverskih komponenti glavni element predstavlja *System on Board* (SoB) čip sa odgovarajućim procesorom, grafičkom procesorskom jedinicom i RAM memorijom. Za naš sistem korišćen je *Raspberry Pi 3* model B.

Pored imponantnih hardverskih karakteristika za tako male dimenzije, *Raspberry Pi* ima i velike mogućnosti u pogledu povezivanja sa drugim uređajima i komponentama. Neki od interfejsa za povezivanje i komunikaciju, za korišćeni *Raspberry Pi 3* model B su: USB 2.0, 15-o pinski interfejs za povezivanje kamere, HDMI, RCA povezivanje za video, MIPI interfejs za ekran, audio ulazi i izlazi, *MicroSDHC* za memorijsku karticu, *Ethernet* 10/100 Mbit/s, WiFi IEEE 802.11 b/g/n 2.4 GHz, *Bluetooth* (standardni i sa malom potrošnjom) i opštenamenske ulazno/izlazne pinove (*General Purpose Input Output*, GPIO).

## 2.2. ESP32 mikrokontroler

Prilikom odlučivanja za koji mikrokontroler se opredeliti za potrebe realizovanog laboratorijskog sistema razmatrani su dostupnost (komponenta koja je rasprostranjena na domaćem i svetskom tržištu i lako dostupna u nabavci), cena i periferije (u smislu integrisanih komponenti u okviru samog mikrokontrolera koje povećavaju raznovrsnost mogućnosti korišćenja).



Slika 3. ESP32 mikrokontroler

Analizom tržišta, utvrđeno je da trenutno, najbolji odnos parametara poseduje integrisano kolo bazirano na *Espressif*-ovoj familiji kola ESP32. ESP32 je familija energetske efikasne SoC (*System on a Chip*) integrisanih kola baziranih na mikrokontroleru sa integrisanim WiFi i *Bluetooth* komponentama za komunikaciju. Ovo integrisano kolo je namenjeno za primenu u mobilnim uređajima i za IoT aplikacije. Potrošnja energije se može kontrolisati izborom različitih modova rada, kontrolom takta i dinamičkom kontrolom snage. Moduli sa kontrolerom ESP32 se izrađuju u više različitih varijanti, a mi smo se odlučili za ESP32-CAM modul koji dolazi sa podrškom za kameru.

Izabrani modul sa mikrokontrolerom ima veliku upotrebnu vrednost u oblasti IoT. Na ovaj modul je moguće povezati veliki broj aktuatora, samim tim vrlo jednostavno se može približiti studentima proces akvizicije i prikupljanja podataka iz okoline. Na samom kontroleru je moguće raditi obradu prikupljenih podataka i na osnovu rezultata obrade

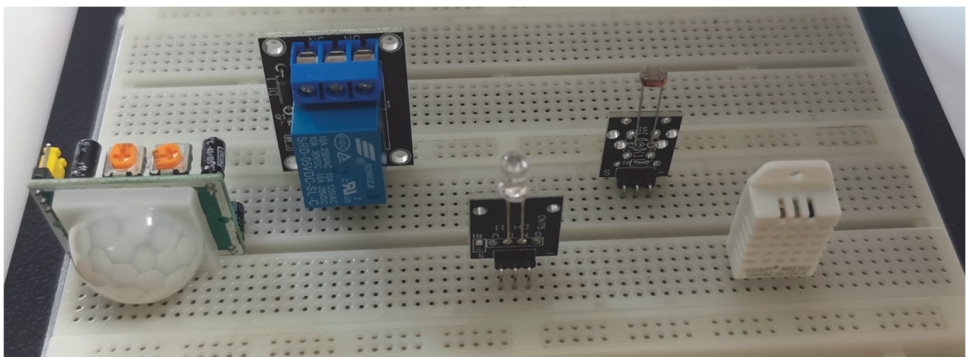


aktivirati pojedine aktuatora i/ili indikatore. Zahvaljujući periferijama za povezivanje i komunikaciju, moguće je ostvariti konekciju sa udaljenim uređajima i/ili serverima ka kojima se može vršiti dalja dvosmerna komunikacija. Na osnovu navedenih karakteristika i mogućnosti, a zajedno sa podrškom za kameru, navedeni modul otvara prostor za primenu u okviru polja veštačke inteligencije, kao i u senzorskim mrežama. Iz navedenog se može zaključiti da je izbor komponente za potrebe laboratorijskog sistema dobar, pre svega i iz razloga jednostavne implementacije i široko rasprostranjenog *Arduino* razvojnog okruženja (*Arduino Integrated Development Environment* ili *Arduino Software (IDE)*).

### 3. Povezivanje, kontrola i upravljanje dodatnim hardverom

#### 3.1. Opšti principi

Kada je izabrana okosnica IoT laboratorijskog sistema u vidu *Raspberry Pi* računara i EPS32 mikrokontrolera, moguće je proširenje sistema dodatnim hardverom u vidu različitih senzora, kamere i aktuatora. Realizovani sistem je modularan, odnosno dodatne hardverske komponente mogu da se koriste u užem sistemu direktno sa jednim od upravljačkih elemenata ili da se rade kombinovanjem više dodatnih elemenata.



Slika 4. Primeri korišćenih dodatnih uređaja (sa levo na desno, senzor kretanja, rele, LED dioda, fotootpornik, senzor temperature i vlažnosti)

Radi preglednosti, u okviru ove sekcije biće izloženi primeri pojedinačnih dodatnih elemenata različitih tipova i u kontekstu povezivanja sa jednim od upravljačkih elemenata na *Raspberry Pi* računaru ili EPS32 mikrokontroler.

#### 3.2. Senzor kretanja povezan na Raspberry Pi

Opštenamenski ulazi/izlazi (*General Purpose Input Output*, GPIO) za *Raspberry Pi* su standardni interfejs na mikrokontrolerima i SBCs (*Single Board Computers*) koji omogućavaju digitalni ulaz i izlaz. Na ovaj način mikrokontroleri i SBCs mogu da kontrolišu eksterne komponente, kao što su motori ili predajnici (*output*) ili da primaju podatke, na primer sa senzorskih modula i prekidača (*input*). GPIO omogućava *Raspberry Pi*-u da kontroliše, prati i dobija povratne informacije od elemenata sa kojima se povezuje, bilo da su to jednostavna električna kola koja sadrže otpornike i diode, ili složeniji projekti za meteorološku stanicu, video sigurnost ili *selfdriving* robote.



U okviru laboratorijskog sistema koristi se *Raspberry Pi* 3 model B, koji sadrži 40 GPIO pinova za povezivanje. GPIO pinovi imaju različitu namenu i mogu da se grupišu u pinove opšte namene, pinove za napajanje, uzemljenje i pinove specijalne namene. Prilikom korišćenja pinova kao izlaznih, vrednosti napona na pinovima se postavljaju na HIGH i vrednost LOW. Slično važi i za korišćenje pinova kao ulaznih.

Među nabrojanim različitim tipovima spoljašnjih elemenata koji mogu da se povezuju na ovaj način, posebno su važni senzorski moduli. Cena ovih modula varira, ali često mogu da budu i veoma pristupačni, što ih čini više dostupnim u različitim uslovima. Kroz povezivanje različitih modula sa *Raspberry Pi* računarom, studenti savladavaju osnove rada električnih kola.

Zbog raznovrsnosti primena, a sa druge strane zbog načina povezivanja koji je sličan sa većim brojem drugih senzora, jedan od značajnih senzora koji je korišćen u razvijenom IoT sistemu je senzor kretanja. Korišćen je PIR (*Passive Infrared*) senzor kretanja čije hardversko povezivanje podrazumeva da se senzor poveže na napajanje i masu od strane odgovarajućih *Raspberry Pi* GPIO pinova, a izlaz senzora na pin *Raspberry Pi* GPIO koji je konfigurisan kao ulazni. Napravljeni sistem sakuplja podatke dobijene od senzora i u slučaju detektovanog kretanja, ima nekoliko različitih potencijalnih događaja (uključenje diode, uključanje zvučnog oglašavanja, uključanje kamere, slanje elektronske pošte i slično).

Za upravljanje i kontrolu rada povezanog sistema korišćen je programski jezik *Python*, [18-20]. Ovaj jezik je izabran zbog njegove široke primene i velikog broja dostupnih biblioteka za razne oblasti, kao i zbog velike podrške i dostupnih materijala koju programski jezik ima. *Raspberry Pi* je i zamišljen da prevashodno za upravljanje koristi programski jezik *Python*.

Za rad sa GPIO interfejsom u *Python*-u korišćen je RPi.GPIO modul, uvezen kao GPIO. Prvi korak u radu sa GPIO u *Python*-u podrazumeva izbor željenog tipa numeracije pinova (GPIO.BOARD ili GPIO.BCM). Nakon ovoga je moguće podešavanje pojedinačnih pinova u željeni način rada, kao izlazni pin kome se vrednost može postavljati po potrebi na nižu ili višu (GPIO.LOW, GPIO.HIGH) ili kao ulazni pin čija vrednost može da se očita i zavisi od događaja u okruženju. Podešavanje pinova na ulazne i izlazne može da uključi i korišćenje *pull-up* ili *pull-down* otpornika.

Ponekad je u kodu potrebno napraviti vremenski razmak između izvršenja susednih linija koda. Na primer, da bi hardverske komponente imale vremena da se prilagode novim postavkama ili da bi se određeno stanje zadržalo neko vreme. U ove svrhe može da se koristi *Python* modul *time*.

### 3.3. Senzor temperature i vlažnosti vazduha povezan na ESP32 mikrokontroler

Korišćeni senzor je zahtevao kompatibilnost sa izabranim upravljačkim uređajima, a ujedno i mogućnost testiranja u zatvorenim, laboratorijskim uslovima. Analizom dostupnih senzora sa zadatim kriterijumima, izbor se sveo na senzor DHT11/22. Ovo je senzor temperature i vlažnosti vazduha koji je široko rasprostranjen u sistemima za kontrolu kvaliteta vazduha. Ovi senzori sadrže integrisano kolo koje radi analogno/digitalnu konverziju i prosleđuje digitalni signal sa podatkom o temperaturi i vlažnosti, [21].

DHT22 senzor ima bolju rezoluciju i širi raspon merenja temperature i vlažnosti, a čitanje može da se zahteva u razmaku od 2 sekunde i više. DHT11 ima manji opseg i

manju tačnost. Međutim, možemo zahtevati očitavanje senzora svake sekunde. Uprkos svojim razlikama, oni rade na sličan način i može se koristiti isti kod u *Arduino* razvojnom okruženju za očitavanje temperature i vlažnosti, [22].

Odabir navedenih senzora pokazao se kao dosta dobar jer pored upotrebne vrednosti za potrebe laboratorijskog sistema, vežbe bazirane sa ovim sensorima motivisale su studente na samostalan rad i razvoj sopstvenih aplikacija.

### 3.4. Kamera povezana na Raspberry Pi

Među različitim povezivanjem koje je moguće ostvariti sa *Raspberry Pi* nalazi se i poseban namenski interfejs za povezivanje na kameru (*Raspberry Pi* kamera modul, *Raspberry Pi* kamera za noćno snimanje ili *Raspberry Pi* kamera za Ultra HD snimanje sa promeњljivim sočivima). U okviru razvijenog sistema korišćena je standardna *Raspberry Pi* kamera. Pored fizičkog povezivanja kamere, potrebno je i u okviru operativnog sistema *Raspberry Pi* računara uključivanjem omogućiti korišćenje kamere.

Kada je povezivanje i uključivanje završeno, moguće je kreiranje slike ili videa u željenom kompresionom formatu i rezoluciji bilo direktno iz komandnog terminala operativnog sistema bilo iz *Python* koda. Kroz razvijeni softvrski deo sistema napravljeni su i mehanizmi za podešavanje dodatnih atributa kamere, kao što su rotacija slike, podešavanje alfa parametra, dodavanja tekstualne oznake, podešavanje osvetljenosti i kontrasta, dodavanje efekata za sliku i video i druge.

Napravljeni sistem omogućava automatsko davanje imena i čuvanje kreiranih slika i video sadržaja. Za rad sa kamerom u *Python*-u korišćena je biblioteka *picamera*, dok je za upravljanje kreiranjem foldera i dokumenata u okviru operativnog sistema za *Raspberry Pi* korišćena biblioteka *os*.

Sistem *Raspberry Pi* i kamere može da se koristi i u kombinaciji sa drugim sensorima. Na primer, u realizovanom sistemu, jedna od varijanti korišćenja kamere je u sistemu koji sadrži i PIR senzor, pa je aktiviranje kamere uslovljeno vrednostima koje stižu sa PIR senzora.

### 3.5. Aktuatori

Za potrebe akcije u okviru sistema koriste se aktuatori. Aktuatori u najvećem broju slučajeva su zapravo ili upravljački elementi, koji upravljaju većim potrošačima (*driver*-i, releji), ili indikatori (ekrani, LED). Za potrebe laboratorijskog sistema, odlučeno je da to budu LED diode. Odluka je bazirana na tome, da je bitno pokazati (indikovati) promenu stanja na izlazu uređaja. U uređaju namenjenom konkretnoj primeni, lako je zameniti LED diodu upravljačkom komponentom (*driver*, rele, elektromotor). Prilikom izbora konkretne diode vođeno je računa da to bude *low-current* dioda zbog energetske efikasnosti.

## 4. Povezivanje na korisničke računarske uređaje i komunikacija

### 4.1. Povezivanje na elektronsku poštu

Jedna od omogućenih povezivanja realizovanog laboratorijskog sistema sa ostatkom sveta je korišćenje elektronske pošte. Realizovano je automatsko slanje

elektronske pošte od strane *Raspberry Pi* uređaja na izabrane određene adrese elektronske pošte pod izabranim uslovima.

Realizacija je napravljena korišćenjem programskog jezika *Python* i biblioteke *yagmail*. Za elektronsku poštu izabran je *Google mail* nalog, kao jedan od najzastupljenije vrste naloga za elektronsku poštu. Da bi bilo moguće slanje elektronske pošte od strane uređaja, kreira se njegov *Python* objekat zadužen za slanje pošte pomoću funkcije *yagmail.smtp()*, čiji su parametri definisani nalogom elektronske pošte. Ovaj objekat dalje može da koristi svoj metod *objekat-mejla.send()* čiji su parametri definisani mejlom koji se šalje. U ove parametre spadaju elektronska adresa primaoca, naslov i sadržaj mejla, kao i prilozi mejla.

U okviru razvijenog sistema, napravljena je funkcija zadužena za slanje elektronske pošte. Ova funkcija može da se koristi kada je to potrebno. Na primer, za slanje slike ili videa sa kamere, za slanje log dokumenta sa događajima ili vrednostima sa senzora. Dodatno, može da se kombinuje i sa vremenskim parametrima i intervalima između događaja ili tipom događaja.

## 4.2. Povezivanje na server

Aplikacije koje su razvijene za potrebe IoT laboratorijskog sistema su web server i server za umrežavanje uređaja.

Web server je realizovan direktno na kontroleru ESP32. Ovom web serveru može da se pristupa preko lokalne mreže uz pomoć internet pretraživača. Primer jednog korišćenja ovog realizovanog web servera je za daljinsko upravljanje aktuatorima. Jednostavnom modifikacijom navedenog primera, mogu se razviti napredni sistemi za monitoring i upravljanje različitih procesa i uređaja. Kreirani web server na ESP32 modulu primenjen je i u sistemu sa korišćenjem kamere kada je korišćen za prepoznavanje oblika, lica i teksta, kao i donošenje odluka kroz mašinsko učenje i sprovođenje adekvatne reakcije kroz aktiviranje/deaktiviranje određenog aktuatora.

Laboratorijski sistem podržava i umrežavanje više modula baziranih na modulu ESP32 sa sakupljanjem podataka koje je realizovano sa *Raspberry Pi* računarnom. Ovom konfiguracijom se može realizovati kompleksna senzorska mreža koja ima veliku potrebnu vrednost kako u obrazovanju, tako i u privredi.

## 5. Zaključak

Razvijeni IoT laboratorijski sistem predstavlja modularni sistem sa promenljivom funkcionalnošću, karakteristikama i namenama. Sistem koristi aktuelna hardverska rešenja u pogledu upravljačkih hardverskih komponenti (*Raspberry Pi* računar i ESP32 mikrokontroler), dodatnih hardverskih komponenti (različite vrste senzora, kamera, aktuatori) i mogućnost povezivanja na ostatak Interneta kroz namenski postavljeni server ili korišćenjem standardne elektronske pošte. Iz ugla softvera i korišćenih programskih jezika, sistem se oslanja na rad u široko rasprostranjenom programskom jeziku *Python* (za *Raspberry Pi* računar) i na rad u okviru *Arduino* razvojnog okruženja (za ESP32 mikrokontroler).

Neke od glavnih prednosti u odnosu na prisutne razvijene IoT laboratorijske sisteme su modularnost blokova sistema i prilaženje i analiza sistema iz ugla sva tri aspekta

IoT elektronike, telekomunikacija i računarske tehnike. Dobre strane sistema su i korišćenje komponenti i uređaja koje karakteriše niska cena i mala potrošnja.

U budućnosti, planiramo da dopunimo sistem i novim elementima, ali i novim funkcijama, konkretno za analizu podataka i veštačku inteligenciju.

## Literatura

- [1] J. Holler, V. Tsiatsis, C. Mulligan, S. Avesand, S. Karnouskos, and D. Boyle, *From Machine-to-Machine to the Internet of Things: Introduction to a New Age of Intelligence*. USA: Academic Press, Inc., 2014.
- [2] D. Dragic, *Uvod u IoT (Internet of Things)*. Akademska misao, 2018.
- [3] M. V. Moise, A. M. Niculescu, D. M. Pavel and M. Oțoiu, "IoT Environmental Monitoring and Control System in a Research Centre", *2022 45th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, IEEE, 11-15 May 2022, Vienna, Austria. DOI: 10.1109/ISSE54558.2022.9812808
- [4] B. S. Sarjerao and A. Prakasarao, "A low cost smart pollution measurement system using REST API and ESP32", *2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, IEEE, 06-08 April 2018, Pune, India. DOI: 10.1109/I2CT.2018.8529500
- [5] C. R. Aldawira, C. Revelivan, et al. "Door security system for home monitoring based on ESP32", *Procedia Computer Science*, vol. 157, pp. 673-682, September 2019. DOI: 10.1016/j.procs.2019.08.218
- [6] P. Dash and M. Nayak, "Smart surveillance monitoring system using Raspberry Pi and PIR sensor", *Statistics*, 2014.
- [7] M. Poongothai, P. M. Subramanian and A. Rajeswari, "Design and implementation of IoT based smart laboratory", *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, IEEE, 26-28 April 2018, Singapore. DOI: 10.1109/IEA.2018.8387090
- [8] D. Adhav, R. Pagar, R. Sonawane, and S. Tawade, "Smart Laboratory", *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, vol. 3, pp. 504-509, April 2019.
- [9] S. Khriji, D. El Houssaini, R. Barioul, T. Rehman, and O. Kanoun, "Smart-Lab: Design and Implementation of an IoT-based Laboratory Platform," *2020 IEEE 6th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2020, pp. 1-5, DOI: 10.1109/WF-IoT48130.2020.9221143.
- [10] M. J. C. Samonte, F. A. G. Mendoza, R. Pablo, and S. M. P. Villa, "Internet-of-Things Based Smart Laboratory Environment Monitoring System," *2021 IEEE 8th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, 2021, pp. 497-502, DOI: 10.1109/ICIEA52957.2021.9436758.
- [11] A. Azad, Design and Development of Remote Laboratories with Internet of Things Setting. *Advances in Internet of Things*, 11, 95-112. DOI: 10.4236/ait.2021.113007.
- [12] R. Bhadoriya, M. K. Chattopadhyay, and P. W. Dandekar, "Low cost IoT for laboratory environment," 2016 Symposium on Colossal Data Analysis and Networking (CDAN), 2016, pp. 1-4, DOI: 10.1109/CDAN.2016.7570939.
- [13] B. Letowski, C. Lavayssière, B. Larroque, M. Schröder, and F. Luthon, "A Fully Open Source Remote Laboratory for Practical Learning," *Electronics*, vol. 9, no. 11, p. 1832, Nov. 2020, DOI: 10.3390/electronics9111832.

- [14] J. Kustija, N. D. Jayanto, IoT Implementation for Development of Remote Laboratory (Case Study on Microscope Practice). *Reka elektronik: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 2022, 3.1: 20-29.
- [15] T. S. El-Hasan, "Internet of Thing (IoT) Based Remote Labs in Engineering," 2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), 2019, pp. 976-982, doi: 10.1109/CoDIT.2019.8820591.
- [16] R. Srujan. K.Y. Manoj, M. Pallavi, M .S. Archana, C. K. Nagendra Guptha, and M. R. Shailesh, "Design and Fabrication of IoT enabled Temperature Sensor Calibration Experimental Setup for Metrology Lab," *2018 3rd International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS)*, 2018, pp. 333-336, DOI: 10.1109/CSITSS.2018.8768547.
- [17] Raspberry Pi Foundation. <https://www.raspberrypi.org/>
- [18] T. Cox, Raspberry Pi Cookbook for Python Programmers. Packt Publishings, 2014.
- [19] D. Ibrahim, Raspberry Pi 3: Basic to Advanced Projects. Elektor International Media B.V., 2018.
- [20] A. Pratt, Python 3: Programming and GUIs for Electronic Engineers. Elektor Verlag, 2017.
- [21] J. Fraden, Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. Springer International Publishing, 2015.
- [22] ESP-IDF Programming Guide. <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/index.html>

**Abstract:** *The Internet of Things (IoT) represents one of the state of the art technologies, whose expansion and improvement in various aspects of life is yet to come. For education, IoT provides a uniqueness that is reflected in the combination of different engineering fields - electronics, telecommunications and computer engineering. This makes the developed IoT system for laboratory exercises significant in teaching on different study programmes, with different directions and connections with the economy. At the School of Electrical and Computer Engineering (VISER), we developed a low-cost low-power IoT system for laboratory exercises using Raspberry Pi 3 and ESP32 as backbone elements. On the one hand, the system is able to connect and control work with various sensors, and on the other hand, it has communication with the rest of the world through connection to a web server or cloud and sending e-mails or SMS messages. In this way, the system is enabled to further improve in terms of remote control and the use of tools for data analysis and machine learning.*

**Keywords:** *IoT, Raspberry Pi 3, ESP32, multi-purpose lab system*

**IOT MULTI-PURPOSE LAB SYSTEM USING RASPBERRY PI 3 AND ESP32**  
Amela Zeković, Milutin Nešić

## **APPLICATION OF THE INTERNET OF THINGS CONCEPT TO INFORM PEOPLE WITH DOWN SYNDROME**

Dragan Peraković, Marko Periša, Ivan Cvitić, Petra Zorić  
University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences,  
dragan.perakovic@fpz.unizg.hr, marko.perisa@fpz.unizg.hr,  
ivan.cvitic@fpz.unizg.hr, petra.zoric@fpz.unizg.hr

**Abstract:** *Assistive technology promotes greater independence for people with disabilities by enabling them to perform everyday tasks while providing improvements or changing the methods of interacting with the technology required to perform such tasks. The cognitive and physical characteristics of people with Down syndrome are usually characterized by some form of difficulty in communication and learning and unique physical characteristics, which makes performing daily activities challenging and often require the help of an assistant. For this paper, the authors conducted a survey, and the collected data served as a basis for understanding the development of people with Down syndrome, movement in traffic and the environment, and the frequency and knowledge of information and communication technologies. The paper aims to propose CAT assistive technology model and conceptual system architecture for delivering information services based on the Internet of Things concept to increase the independence and mobility of people with Down syndrome.*

**Key words:** *Assistive Technology, Traffic Network, Persons with Developmental Disabilities*

### **1. Introduction**

Developmental disabilities are any mental or physical condition that limits a person's cognition and activity, and can be divided into those that occur at birth or later in life, or can be cyclical. According to [1], developmental disabilities include communication disorders, autism, neurological impairments, and visual and hearing impairments. The difficulties are mostly biological in nature.

Down syndrome (DS) is a genetic disorder caused by a copy of chromosome 21. On average, one in 650 newborns is born with this syndrome [2]. It affects the developmental abilities of affected individuals and often leads to impaired cognitive and physical functioning. The cognitive and physical characteristics of DS can vary widely. However, in most cases, they are characterized by some form of communication and learning difficulties, as well as specific physical characteristics. Learning disabilities can be caused by the linguistic, cognitive, and executive effects of DS and enriched by the

effects of sensory and motor skills. Because of the above symptoms, performing activities of daily living (such as navigating the traffic network, cooking, and cleaning) can be challenging and often requires the assistance of a caregiver. Planning, self-management, maintaining task flow, and memory are some of the most common problems for people with DS [3].

Assistive technologies include devices, services, and systems that help promote, maintain, or improve the functional abilities of people with disabilities [4]. The research [5] focused on the use of assistive technologies in teaching students with DS in inclusive schools and rehabilitation centers. The main findings of the research show that, according to the teachers, the main problems of people with DS are lack of concentration and comprehension, difficulties in speech and language, and communication with others. On the other hand, families of people with DS cite a lack of focus as one of the biggest problems. The biggest challenges and barriers teachers face in implementing assistive technology are the high cost of such devices and applying the appropriate assistive technology in the appropriate situation.

Technology enables people with DS, to enjoy themselves and participate in various recreational activities that do not require the assistance of a caregiver. People with DS can use various devices to watch movies, play music, view photos, and listen to music. 78% of people with DS use technology at school for about two hours and twenty minutes per day, while 95% of people with DS use technology in the home environment for about three and a half hours per day [6]. Research [7] confirms that mobile technology, as an example of assistive technology, can help people with DS perform daily activities. The outcome of the research is to identify barriers and user requirements in order to develop solutions for independent travel applications. Several innovative technological solutions for people with DS have been developed as part of pilot research funded by the European Commission [8], and the research has been conducted in three countries. The subject of the research is the use of virtual and computer technologies in stimulating children with DS [9]. The contribution of technology is visible in teaching children with DS through electronic games. However, there is a lack of research and investment in games and applications that can stimulate the neurological, psychomotor, and cognitive development of children with DS.

The research to date provides insight into the daily functioning of individuals with DS and the adoption of technologies they encounter. It is also evident that research on assistive technologies for people with DS is current. One of the biggest challenges in using assistive technologies for people with DS is the price, complexity, and lack of customization of the solution. This has motivated the authors of this paper to propose a conceptual system architecture for providing information services to people with DS, based on the concept of the Internet of Things (IoT), that provides accurate, real-time information as they move through the traffic network. Along with the system conceptual architecture proposal, the CAT (Comprehensive Assistive Technology) model of assistive technology is proposed.

## **2. Methodology**

The proposal for the conceptual architecture of the system for providing information services to people with DS is based on a survey conducted, the aim of which

is to collect information about the needs and limitations of people with DS. It also defines the functionality of mobile applications for providing information services that meet the needs of people with DS. The needs refer to functioning in everyday activities and availability and knowledge of new solutions and services based on modern information and communication technologies. Data on their health and social life will be considered, as well as information on moving around the traffic network and their daily needs. Based on the results obtained through surveys, the functionality of mobile applications that should be used to provide information services to end users (people with DS and their caregivers) is proposed.

## 2.1. Analysis of user requirements

The survey was conducted in 2022 in various associations supporting people with developmental disabilities in the Zagreb region, and 38 people with DS participated. No minors participated in the survey, and all age groups from 21 to 66 years were represented (the largest percentage of respondents was 29 years old, 10.5%). Most of the respondents live in the city of Zagreb, where public transportation is a part of everyday life and where there are different types of roads.

Respondents were asked about the type of difficulties. 100% of respondents have intellectual difficulties, 44.7% have language difficulties and 36.8% have motor difficulties. 44.7% of the respondents use a smartphone on a daily basis. Half of the respondents use the call service on the smartphone, and 33.3% of the respondents use the ability to write text-type messages on the smartphone by themselves. Respondents reported being familiar with Google Maps, which can help them navigate daily traffic. 20.6% of respondents know how to use Google Maps.

Regarding determining the time needed to get to the desired location, 60.5% of respondents cannot independently determine the time needed. Most of the respondents reach the desired place with the help of someone, and 26.3% of the respondents answered that they travel with the help of one of the smartphone applications. When they go to places they have never been before, the largest percentage (92.1%) of respondents are accompanied by a caregiver. Figure 1 shows the respondents' mode of transportation, which shows that most respondents walk and drive to get around the transportation network, while very few use the tram as a means of transportation.

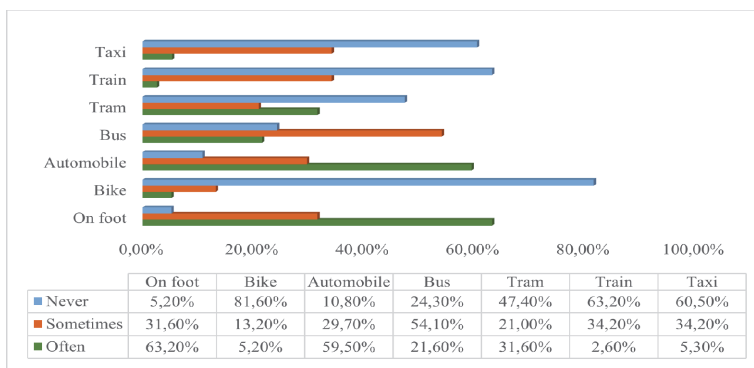


Figure 1. Way of travel of respondents



The survey examined respondents' ability to navigate traffic. The results show that 65.8% of respondents do not know what to do if something unexpected happens in traffic (e.g., a tram breaks down, a car crashes, or the respondent gets lost). In addition, respondents indicated that their most frequent means of payment is cash (36.8%). However, the number of those who use a combination of cash and bank card (13.2%) is also not negligible. The opinion of respondents regarding the use of a mobile application that can help them move around the traffic network is positive, as 39.5% of respondents believe that this type of service would be helpful, while 23.7% are undecided.

## 2.2. Defining the functionalities of information service

Based on the results of the questionnaire, challenges were identified in the form of difficulties in moving around the traffic network for people with DS, which require specific treatment of the problem. From the processed data of the questionnaire, user requirements were defined, which serve as a basis for defining the functionality of mobile applications that provide information services for people with DS and their caregivers.

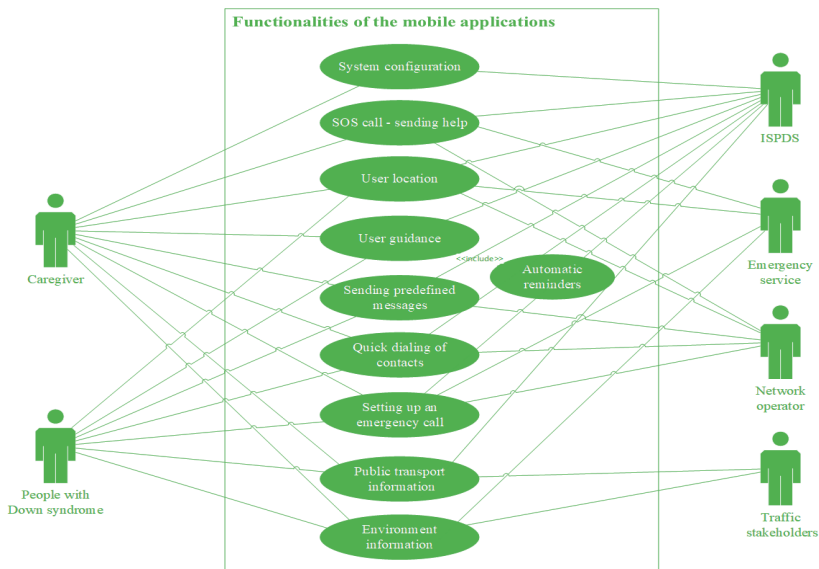


Figure 2. Functionalities of the mobile applications that provide information service

Functionalities aimed at efficient delivery of information to end users are illustrated in the use case diagram in Figure 2, which shows the interaction of a person with DS and a caregiver (assistant) with the stakeholders involved in the delivery of the information service. The functionalities differ depending on whether the user of the information service is a person with DS or a caregiver. For this reason, the caregiver mobile application has two more functionalities than the mobile application of a person with DS: *system configuration* and *SOS call-sending help*. The first functionality allows caregivers, among other things, to register users and select information that is important

for a person with DS, because the survey shows that a large number of people with DS have intellectual difficulties, so it is possible that such actions are complicated for them. If a person with DS suffers some kind of accident while moving through the traffic network and is in a state of shock and does not know what to do, the caregiver has the option of *SOS call - sending help*, i.e., call directly and send help to the person with DS. Other functionalities of mobile applications for providing information services to people with DS include locating the user, user guidance with automatic reminder function, environmental information, public transportation information, setting up an emergency call, quick dialing of contacts, and sending predefined messages.

*Table 1. Explained the defined functionalities of mobile applications for the caregiver and for the person with DS*

<b>Functionality</b>	<b>Description of the functionality for the people with DS</b>	<b>Description of the functionality for the caregiver</b>
User location	Know your location at all times for easier navigation	Know the location of the people with Down syndrome at all times
User guidance	Routing with automatic reminders to keep the people with DS focused on the destination location	Ability to create automatic reminders using your own voice or personalized messages
Environment information	Street names, possibilities of redirections, traffic intersection configuration	Street names, possibilities of redirections, traffic intersection configuration
Public transport information	Line number, vehicle arrival, vehicle direction, stop configuration	Line number, vehicle arrival, vehicle direction, stop configuration
Setting up an emergency call	Use in case of danger, accident, or fear	Providing notification when functionality is used by people with DS
Quick dialing of contacts	Pre-saved contact numbers such as caregivers or friends	Saving and managing important contacts for display in the mobile application of people with DS
Sending predefined messages	Messages such as "I have arrived at my destination" sent by the user to caregivers (assistants)	Designing, writing, and receiving predefined messages
SOS call – sending help	-	If a person with DS is in danger, the caregiver can request and send help himself
System configuration	-	The caregiver adjusts the system configuration (information that is important to display) for the person with DS

Table 1 explains the individual functions of mobile applications for providing information services depending on the end user (person with DS or caregiver). From the table, it can be seen that although the person with DS and the caregiver have the same functionalities, their mobile applications are used differently for providing information depending on the request. At the same time, some of the information obtained by performing one functionality is logically related to another. For example, information about the user's location is necessary to make an emergency call if the user is in an

accident, to guide the user in navigating the traffic network using automatic reminder functionality, and to obtain information about the surrounding area if there is a possibility of rerouting the user.

### 3. Solution proposal

When designing a system of assistive technologies, it is necessary to know the basic modeling frameworks of assistive technologies, namely HAAT (Human Activity Assistive Technology) and CAT models [10]. They simplify the representation of the connection of the four main elements and position the assistive technology in relation to them. In this research, the authors used the CAT model for a more understandable and detailed representation of assistive technology design, as shown in Figure 3. The structure of the model is in the form of a tree with a limited number of variables on its branches. The top level consists of four components that define the assistive technology system: the user (the center of the system), the context (the environment in which the assistive technology is used), the activities (performed using the assistive technology), and the assistive technology (an open framework for the delivery of information service).

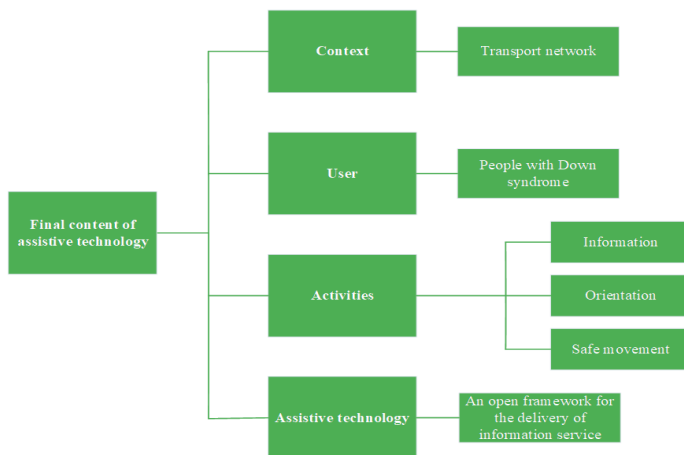


Figure 3. Presentation of the CAT model

Based on the results of the survey proposing the functionalities of the mobile applications for the caregiver and the person with DS, the elements of the conceptual architecture (Figure 4) of the system were defined. The elements of the conceptual architecture based on IoT communication technology are smartphones of caregivers and people with DS with associated application solutions, databases (user data and system data), sensors, and stakeholders (service provider (ISPDS), emergency service, network operator, and traffic stakeholders - *Croatian Automobile Club (HAK)*, the *City of Zagreb (Center for Automatic Traffic Control - AUP* and the *Zagreb Municipal Transit System - ZET)* and *Croatian Railway Infrastructure (HŽI)*). To provide the information service, the end user uses their smartphone and the proposed application solution. Appropriate means for informing users include audio, text, and visual information. Table 2 lists all

elements of the proposed information service delivery system and compares the use of mobile application functionality according to each element.

*Table 2. Display of system elements that use certain functionality of mobile applications that deliver information service*

System element	Functionalities of the mobile applications that provide information service								
	User location	User guidance	Environment information	Public transport information	Setting up an emergency call	Quick dialing of contacts	Sending predefined messages	SOS call – sending help	System configuration
User phone	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑		
Caregiver phone	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Sensors		☑	☑						
Users database	☑	☑			☑	☑	☑	☑	☑
System database			☑	☑					
Emergency service	☑				☑				
Network operator	☑				☑	☑	☑	☑	
Traffic stakeholders			☑	☑					
ISPDS	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑

The solution proposed in this research is based on the SaaS (Software as a Service) model of Cloud Computing (CC). The access to the information service consists of two basic levels: User and Data Provider. The user level is associated with the end users (person with DS and caregiver). The user level provides access to the functionality of the service through the application solution. The data provider level is further divided by stakeholder, depending on the needs and requirements of each stakeholder. For example, the stakeholder ISPDS has a data provider level with administrative powers and has the role of an information service provider in this research.

Sensor in this research proposal means beacon BLE (Bluetooth Low Energy), camera sensor and sound sensor. They are installed at traffic intersections, bus and tram stops, and train stations. Traffic stakeholders are responsible for their installation, maintenance and the data collected with them. The city of Zagreb is responsible for sensors at bus and tram stops, and traffic intersections, while HŽI is responsible for sensors at train stations. The detection of the mentioned places leads to an improvement of the accessibility of passenger transport and ensures the development of a transport system that meets the needs of its users, as well as the social integration of all users of the transport system. In addition, the installation of sensors at the mentioned locations will lead to an increase in the quality and reliability of the services currently offered by the mentioned traffic stakeholders, thereby fulfilling certain objectives of the Transport Development Strategy of the Republic of Croatia (2017 - 2030) [11]. The beacon sensor

is used to detect traffic stops so that a person with DS could receive dynamic information about their movement. This sensor was chosen because there is a possibility that the GPS, which is built into the smartphone and is responsible for locating the user, is not always completely accurate. In this case, the user would not receive completely accurate information about his location. The camera sensor is located at bus and tram stops and train stations and is used to detect the arrival of vehicles at the stop (e.g., reading the line number). The sound sensor is located at all of the above locations and uses a characteristic sound to maintain the attention of individuals with DS as they move through the traffic network. As shown in Figure 4, additional sensors could be added depending on the user's needs and requirements. The sensors are connected via appropriate technologies, such as Zigbee, Sigfox, Bluetooth, and Wi-Fi. The data collected from the sensors are transmitted through the appropriate hub to the CC environment, where are customized, validated, and merged, and the data are stored and transmitted to the end user.

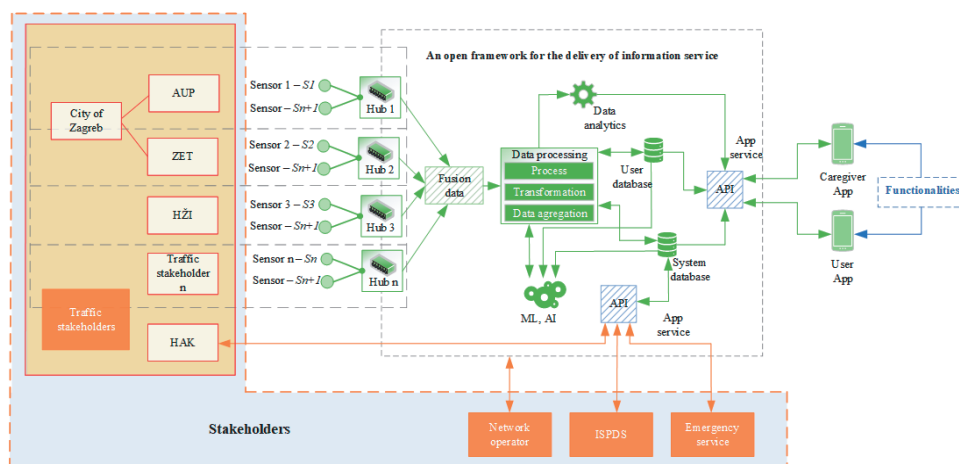


Figure 4. Conceptual system architecture for providing information to people with Down syndrome

Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) in the proposed open framework facilitate the analysis of the collected sensor data. They can be used to identify the behavioral patterns of people with DS as they move through the transportation network and offer them alternative routes based on the data obtained and processed. The data is made available to the end user through the user database. API (Application Programming Interface) is used to provide specific data to the end user based on their needs and to the specific stakeholder. Depending on their role in the environment, the stakeholders provide specific information to the system database, and the data analytics analyzes the data received from the sensors and stakeholders. Functionalities are reflected in the mobile applications of people with DS and caregivers who access the system via 4G, 5G/6G, and Wi-Fi communication technologies to provide information services. Mobile application design should consider elements of universal design, such as availability of information, flexibility of use, visibility of information, and low physical effort to use.

In addition to user requirements, some specific user characteristics were considered when creating a proposal for the system's conceptual architecture, namely:

- Delayed responses - may occur if a person with DS experiences a drop in concentration while travelling to the desired destination. For this reason, a notification system was developed in the user's mobile application to keep the person's attention on the road.
- Recklessness - depending on the person's cognitive abilities, a person with DS may make a reckless movement while moving through the traffic network (e.g., running a red light at a crosswalk when the person is in a hurry). Such situations can be controlled with the possibility of monitoring by a responsible person who keeps track of the person's current location with DS.
- Fear of the unknown - as the survey results showed, people with DS go to places they have never been before, so a particular fear may arise. To reduce the fear as much as possible, the application solution introduced a system of instructions when moving and the possibility of an emergency call.

#### **4. Conclusion**

In this research, in addition to proposing the conceptual architecture of the system for providing information services to people with DS, the functionalities of mobile applications for end users were also proposed. The planning and presentation of routes in the proposed system are specially designed and maximally simplified for the needs of these people. The solution also supports text or sound notifications to inform the user of the current location and draw attention to a specific target, which is a new design approach than is currently offered by standard commercial mobile applications.

The models, tests, and tools used to evaluate assistive technologies are not standardized, and the evaluation and selection of the most appropriate solution is often based on subjective opinions. The selection of the assessment model for assistive technologies should be based on research, best practices, or the experience of experts in the field. It is necessary to draw attention to the need for standardized tools to ensure effective delivery of information and communication services. In the case of the proposed solution from this work, there is a possibility to introduce additional personalization of the solution in the future, as the needs of people with DS are often very different.

#### **Literature**

- [1] Croatian Parliament, Zakon o predškolskom odgoju i obrazovanju. 2022. Accessed: Oct. 01, 2022. [Online]. Available: <https://www.zakon.hr/z/492/Zakon-odpred%C5%A1kolskom-odgoju-i-obrazovanju>
- [2] Hrvatska zajednica za Down sindrom, "O sindromu Down." <https://www.zajednica-down.hr/index.php/sindrom-down> (accessed Oct. 01, 2022).
- [3] E. LoPresti, C. Bodine, and C. Lewis, "Assistive technology for cognition [Understanding the Needs of Persons with Disabilities]," *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 27, no. 2, pp. 29–39, Mar. 2008, doi: 10.1109/EMB.2007.907396.

- [4] M. Periša, D. Peraković, and P. Zorić, "Challenges of assistive technologies implementation into Industry 4.0: A review," in The seventh international conference transport and logistics, 2019, pp. 5–10.
- [5] J. Alammery, F. Al-Haiki, and K. Al-Muqahwi, "The Impact of Assistive Technology on Down Syndrome Students in Kingdom of Bahrain," TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology, vol. 16, no. 4, 2017.
- [6] M. Fritz, "The Impact of Technology on Individuals with Down Syndrome and Their Families.," 2017. [Online]. Available: <https://scholarworks.uark.edu/rhrcuht/49>
- [7] A. M. Khan, D. M. D. Dunlop, D. M. Lennon, and D. M. Dubiel, "Towards Designing Mobile Apps for Independent Travel," ACM Trans Access Comput, vol. 14, no. 3, pp. 1–40, Sep. 2021, doi: 10.1145/3460943.
- [8] E. Schulze and ; A Engler, "POSEIDON-Personalized Smart Environments to Increase Inclusion of People with Down's Syndrome-Results of the First and the Extended Pilot Study," 2016, doi: 10.3233/978-1-61499-690-3-405.
- [9] E. Boato, G. Melo, M. Filho, E. Moresi, C. Lourenço, and R. Tristão, "The Use of Virtual and Computational Technologies in the Psychomotor and Cognitive Development of Children with Down Syndrome: A Systematic Literature Review," Int J Environ Res Public Health, vol. 19, no. 5, p. 2955, Mar. 2022, doi: 10.3390/ijerph19052955.
- [10] D. Peraković, M. Periša, and A. Bilić Prcić, "Possibilities of Applying ICT to Improve Safe Movement of Blind and Visually Impaired Persons," in Cutting Edge Research in Technologies, InTech, 2015. doi: 10.5772/61080.
- [11] Ministry of the sea transport and infrastructure, *Transport Development Strategy of the Republic of Croatia (2017 - 2030)*. 2017.

**Sadržaj:** *Asistivna tehnologija promovise veću nezavisnost za osobe sa invaliditetom na način da im omogućuje izvršavanje svakodnevnih zadataka, istovremeno pružajući poboljšanja ili menjajući metode interakcije s tehnologijom potrebnom za izvršenje takvih zadataka. Kognitivne i fizičke karakteristike osoba sa Daunovim sindromom obično se odlikuju nekim oblikom poteškoća u komunikaciji i učenju i specifičnim fizičkim karakteristikama, zbog čega obavljanje svakodnevnih aktivnosti može biti izazovno i često zahteva pomoć asistenta. Za potrebe ovog rada autori su sproveli anketno istraživanje, a prikupljeni podaci poslužili su kao temelj za razumevanje razvoja osoba sa Daunovim sindromom, načina na koji obavljaju svoje svakodnevne aktivnosti, kretanje u saobraćaju i okruženju, učestanosti i poznavanju informaciono-komunikacionih tehnologija. Cilj rada je da predloži CAT model asistivne tehnologije i konceptualne arhitekture sistema za pružanje usluga informisanja bazirane na konceptu Interneta stvari u svrhu povećanja samostalnosti i mobilnosti osoba sa Daunovim sindromom.*

**Ključne reči:** *Asistivna tehnologija, saobraćajna mreža, osobe sa poteškoćama u razvoju*

## **PRIMENA KONCEPTA INTERNET STVARI U SVRHU INFORMISANJA OSOBA SA DAUNOVIM SINDROMOM**

Dragan Peraković, Marko Periša, Ivan Cvitić, Petra Zorić

## **UNAPREĐENJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U CLOUD OKRUŽENJU PRIMENOM KONSOLIDACIJE VIRTUELNIH MAŠINA**

Branka Mikavica<sup>1</sup>, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević<sup>2</sup>, Nevena Simović<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, b.mikavica@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, a.kostic@sf.bg.ac.rsž

<sup>3</sup>A1 Srbija, nevena.simovic@hotmail.com

**Rezime:** *Pojava Cloud Computing-a uvela je značajne promene u Internet okruženju jer predstavlja paradigmu za obezbeđivanje pristupa skalabilnom i elastičnom skupu deljivih, fizičkih ili virtuelnih resursa sa mogućnošću obezbeđivanja servisa i njihovo administriranje na zahtev. Razvoj servisa i aplikacija u pogledu kvaliteta servisa, troškova, bezbednosti i potrošnje energije zahteva primenu tehnologija koje treba da zadovolje sve strože zahteve. Virtuelizacija je ključna za Cloud Computing, jer je to tehnologija koja stvara inteligentni sloj apstrakcije koji omogućava različitim virtuelnim mašinama da dele isti hardver. U radu je detaljno definisana virtuelizacija i alokacija resursa u cloud okruženju. Takođe, prikazan je značaj smanjenja potrošnje energije. Na kraju, cilj rada je analiza mogućnosti postizanja energetske efikasnosti primenom konsolidacije virtuelnih mašina u cloud okruženju.*

**Ključne reči:** *virtuelizacija, data centar, migracija, virtuelna mašina, energetska efikasnost*

### **1. Uvod**

U poslednjih nekoliko decenija, društvo je doživelo drastične promene u načinu pristupa informacijama, njihovom skladištenju, prenošenju i obradi. Internet je učinio informacije dostupnim sa bilo kog uređaja koji je povezan na globalnu mrežu. Nove tehnologije su u potpunosti izmenile komunikacione navike korisnika i postale su neophodne u svakodnevnom životu čoveka, a njihov uticaj će u budućnosti postati još veći. Napredak tehnologije i inkorporacija mreža, skladištenja i procesorske snage doveli su do nove ere računarstva, koja se naziva *Cloud Computing* ili opšte poznato kao *Cloud*. Nacionalni institut za standarde i tehnologiju (NIST- *National Institute of Standards and Technology*) definiše *Cloud Computing* kao model za obezbeđivanje odgovarajućeg, potpunog pristupa skupu deljenih, konfigurabilnih resursa (mreža, servera, skladišnih kapaciteta, aplikacija i servisa) na zahtev, pri čemu se obezbeđivanje tih resursa vrši uz minimalno angažovanje i minimalnu interakciju sa provajderom [1]. *Cloud Computing* se



zasniva na virtualizaciji mreža, servera, prostora za skladištenje i servisa i predstavlja skup velikog broja povezanih računara sa pripadajućim procesorima, diskovima, memorijom i drugim hardverskim resursima koji se, zahvaljujući inteligentnom upravljačkom softveru, vide kao jedan virtuelni računar. Sa brzim rastom potražnje za pristupom ovim servisima, potrebe za skladištenjem podataka i protoka velike količine podataka, kompanije proširuju svoje *data centre*.

*Data centri* se koriste za *host*-ovanje aplikacija koje obično troše ogromne količine resursa, a samim tim i električnu energiju, što dovodi do rasta operativnih troškova i emisije ugljen dioksida. Da bi uslovi Ugovora o nivou servisa, SLA (*Service Level Agreement*) bili zadovoljeni, *data centri* moraju neprekidno da se snabdevaju strujom, što koristi ogromnu količinu energije i posledično povećava troškove ulaganja. Ranije su visoke performanse bile primarni cilj u *data* centrima bez obraćanja pažnje na količinu potrošene energije. Međutim, poslednjih godina ključni izazov je uspostavljanje balansa između performansi sistema i potrošnje energije. Utvrđeno je da se ogromna količina energije troši zbog neaktivnih i preopterećenih servera u *data* centru zbog čega je uloženo mnogo napora da se poboljša energetska efikasnost virtuelizovanih *data* centara. Virtuelizacija je jedna od tehnologija koje omogućavaju smanjenje potrošnje energije *data* centara odvajanjem virtuelnih mašina od osnovnih fizičkih mašina.

Ovaj rad je koncipiran na sledeći način. Nakon uvoda, u drugom delu rada opisana je tehnologija virtuelizacije, koncept virtuelnih mašina i način na koji se vrši izbor i konsolidacija virtuelne mašine. U četvrtom delu rada prikazan je uticaj potrošnje energije i značaj energetske efikasnosti. Konsolidacija virtuelnih mašina za postizanje energetske efikasnosti razmatrana je u petom delu. Zaključna razmatranja *data* su na kraju rada.

## 2. Virtuelizacija *Cloud* resursa

Virtuelizacija je ključna za *Cloud Computing*, jer je to tehnologija koja stvara inteligentni sloj apstrakcije koji sakriva složenost hardvera ili softvera. Omogućuje različitim operativnim sistemima (OS) ili virtuelnim mašinama (VM) da dele isti hardver i olakšava premeštanje OS između različitih fizičkih čvorova, sve dok aplikacije pokreću i koriste tehnike *live* migracije [2]. Virtuelizacija zahteva softver koji je u stanju da pruži izgled hardverske platforme gostujućim OS. To znači da je u stanju da vidi sve interakcije, uključujući i pristup memoriji. OS i korisnici tog OS vide apstraktni uređaj sa skupom hardvera koji nema nikakve veze sa osnovnim hardverom glavnog sistema. [3].

Softverski sloj koji omogućava virtuelizaciju naziva se hipervizor, poznat i kao monitor virtuelne mašine VMM (*Virtual Machine Monitor*). Odgovoran je za stvaranje virtuelnog okruženja na kojem VM rade, kao i za dodeljivanje resursa računarskog sistema jednoj ili više VM. VMM nadzire gostujuće sisteme i osigurava da se resursi dodeljuju po potrebi [2]. Takođe, omogućava da nekoliko OS radi istovremeno na jednoj hardverskoj platformi i nameće izolaciju između ovih sistema, čime se povećava bezbednost. VMM kontroliše kako gostujući OS koristi hardverske resurse i istovremeno omogućava:

1. Više usluga za deljenje iste platforme
2. Premeštanje servera sa jedne platforme na drugu, takozvanu *live* migraciju
3. Modifikaciju sistema uz zadržavanje kompatibilnosti sa originalnim sistemom.

Virtuelizacija apstrahuje osnovne resurse i pojednostavljuje njihovu upotrebu, izoluje korisnike jedne od drugih i podržava replikaciju, što zauzvrat povećava elastičnost sistema. Istovremeno, virtuelizacija je kritičan aspekt *Cloud Computing*-a, podjednako važan za *cloud* korisnike i provajdere, i igra važnu ulogu za:

1. Bezbednost sistema, jer dozvoljava izolaciju servisa koji rade na istom hardveru
2. Performanse i pouzdanost, jer dozvoljava aplikacijama da migriraju sa jedne platforme na drugu
3. Razvoj i upravljanje servisima koje nudi provajder
4. Izolaciju performansi.

Podržavanjem virtuelizacije omogućena je dinamička migracija VM sa jednog *host*-a na drugi *host* u skladu sa zahtevima performansi. *Host*-ovi u stanju mirovanja su podešeni na režim za uštedu energije za efikasno korišćenje energije od strane *data* centra. Alokacija *cloud* resursa se ne koncentriše na dodelu VM radi smanjenja potrošnje energije, iako je cilj alokacije resursa *data* centra da se obezbede visoke performanse uz ispunjavanje zahtevanih SLA [4]. Za upravljanje performansama i efikasnom potrošnjom energije moraju se rešiti tri suštinska pitanja. Prvo, treba otkriti preopterećene *host*-ove, koji ugrožavaju performanse VM i SLA. Drugo, neophodno je identifikovati VM na preopterećenim *host*-ovima i migrirati na efikasne *host*-ove. Treće, dinamička priroda *cloud data* centra je kritična iz perspektive kvaliteta servisa, QoS (*Quality of Service*). Nekoliko VM možda neće dobiti potrebne resurse pod vršnim opterećenjem i neće ispuniti uslove SLA imajući u vidu varijabilnost radnog opterećenja i agresivnu konsolidaciju. Zbog toga se neaktivni *host*-ovi moraju prebaciti u režim za uštedu energije. Sva ova pitanja zahtevaju efikasne politike i algoritme koji mogu da smanje potrošnju energije uz ispunjavanje zahteva SLA. Na osnovu pregleda literature, neki od tih algoritama biće objašnjeni u nastavku rada.

## 2.1. Virtuelna mašina i izbor virtuelne mašine

Virtuelna mašina je izolovano okruženje koje predstavlja ceo računar, ali zapravo ima samo pristup delu računarskih resursa. Razlikuju se dve vrste VM: procesna i sistemska VM. Procesna VM je virtuelna platforma koja je stvorena za individualni proces i koja se prekida nakon što se proces završi. Sistemska VM podržava OS zajedno sa mnogim korisničkim procesima [5]. Sistemska virtuelna mašina obezbeđuje kompletan sistem; svaka VM može da pokreće sopstveni OS, koji zauzvrat može da pokreće više aplikacija.

Fizička mašina, PM (*Physical Machine*), može biti domaćin skupa VM. Kada je PM preopterećena, jedna ili više VM moraju da migriraju da bi se smanjilo radno opterećenje PM i promenilo njeno stanje u normalno. Shodno tome, uslovi SLA će biti ispunjeni. Trenutno postoje tri glavna pristupa za izbor virtuelnih mašina [6]:

1. Politika minimalnog vremena migracije koja bira VM kojima će biti potrebno najmanje vremena da se premeste
2. Politika nasumične selekcije koja migrira virtuelne mašine nasumično bez ikakvih ograničenja
3. Politika maksimalne korelacije koja migrira VM koja ima maksimalni koeficijent korelacije u poređenju sa drugim VM na istoj PM.

## 2.2. Konsolidacija virtuelne mašine

Karakteristike problema konsolidacije VM, u većini slučajeva, se mogu kategorisati kao sledeće [7]:

1. VM se dodeljuju dostupnim fizičkim mašinama koje zadovoljavaju zahteve VM
2. Broj VM se menja tokom vremena u zavisnosti od zahteva korisnika
3. Zahtevi za resurse za VM mogu varirati tokom vremena
4. Potrošnja energije PM se može izračunati tokom rada
5. Migracija se koristi za prenos VM između fizičkih *host*-ova
6. Kršenja SLA (SLAV) opisuju degradacije performansi zbog preopterećenja fizičkih mašina kao i onih uzrokovanih migracijama VM
7. Konsolidacija VM se može izvršiti na mreži ili van mreže.

U zavisnosti od početnog stanja *data* centra postoje dve kategorije VM konsolidacije: *Offline* i *Online* konsolidacija VM [7]. *Offline* ili statička VM konsolidacija ima za cilj da smanji potrošnju energije optimizacijom postojećeg položaja. U tom slučaju, definišu se VM sa specifičnim zahtevima koje treba dodeliti skupu potpuno praznih PM. U statičkoj konsolidaciji, broj VM je unapred poznat. Dakle, ne uzimaju se u obzir novi zahtevi za raspoređivanje VM jer korisnici u *cloud*-u mogu zahtevati bilo koji broj VM prema potrebi. Takve tehnike su korisne u situacijama poput migracije skupa VM sa jednog servera na drugi: na primer, u slučaju reakcije na neplanirane situacije. Međutim, tehnike statičke konsolidacije nameću dodatno opterećenje u *data* centru. Premeštanje postojeće VM korišćenjem migracije zahteva vreme, stvara prekomerne troškove, troši dodatnu količinu propusnog opsega, što potencijalno utiče na odziv u Internet okruženju i može imati negativan uticaj na željeni nivo QoS-a.

*Online* ili dinamička konsolidacija, suprotno statičkoj, zahteva odluke o smeštanju koje se mogu izvesti u dve različite faze: inicijalno postavljanje i pokretanje *runtime*-a. Inicijalno postavljanje se vrši u trenutku primene, i to na sledeći način: VM instance se dodeljuju fizičkim *host*-ovima koji su zasnivaju na njihovim zahtevima i ugovoru SLA između korisnika i provajdera. Faza *runtime* je proces mapiranja VM koja je već pokrenuta na drugoj PM. *Live* migracija je neophodna za konsolidaciju VM tako što omogućava prenos pokrenute VM jednog *host*-a na drugi. Međutim, troškovi migracije se ne mogu zanemariti, a nivoi servisa pokrenutih aplikacija će verovatno biti negativno pogođeni tokom same migracije VM, što će dovesti do negativnog uticaja na SLA. Zbog toga je važno minimizirati broj *live* migracija.

Zbog ovih tehnika virtuelizacije potrošnja energije se povećava. Ako se uzme u obzir *cloud*, to bi imalo petu najveću potrošnju električne energije na svetu. Tačnije, potrošnja energije linearno zavisi od broja pokrenutih fizičkih mašina. Čak i ako su serveri u praznom hodu, i dalje troše više od polovine svoje vršne snage. Jedna od opcija za smanjenje potrošnje energije jeste da se smanji broj uključenih servera konsolidacijom VM u minimalni broj *host*-ova i prebaci na režim niske snage. Ova strategija, koja se naziva konsolidacija VM, međutim, može prouzrokovati neke probleme koji mogu uticati na obezbeđeni nivo QoS. Zapravo, konsolidacija VM se postiže migracijom VM. Kapacitet odredišnog *host*-a trebalo bi da bude dovoljan da zadovolji potrebe resursa svih

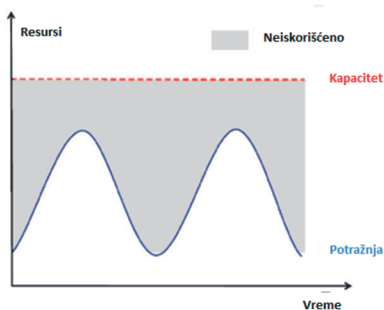
VM koji se pokreću na njemu. U suprotnom, *host* će biti preopterećen, što rezultuje degradacijom performansi svojih VM i kršenjem SLA.

### 3. Potrošnja energije i energetska efikasnost *Cloud* sistema

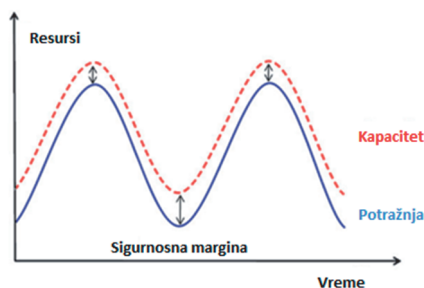
Sve veći obim podataka koji se svakodnevno obrađuje, skladišti i kome se pristupa putem savremene Internet infrastrukture dovodi do toga da potražnja za energijom u *data* centrima raste sve brže i brže. Iz tog razloga, energetske orijentisani *data* centri se istražuju kako bi se smanjio njihov ekološki i ekonomski uticaj. Da bi se *data* centri mogli smatrati *cloud* resursima, važno je da oni obezbeđuju skalabilnost i elastičnost, pristup bilo kada i bilo gde; obezbeđuju servise na zahtev uz mogućnost merenja i mogućnost korišćenja od strane više korisnika.

Potrošnja energije u *data* centrima, kao i njen ekonomski i ekološki uticaj mogu se razmatrati kroz analizu koncepta energetske proporcionalnih sistema. Ovo je veoma važan koncept jer je strategija za upravljanje resursima *cloud*-a koncentrisana na podskup servera i prebacivanje ostalih servera u režim pripravnosti kad god je to moguće. Ova strategija ima za cilj smanjenje potrošnje energije i troškova pružanja računarskih i skladišnih resursa.

U idealnom slučaju, energija koju troši sistem u stanju mirovanja treba da bude približno jednaka nuli i linearno treba da raste sa opterećenjem sistema. Po definiciji, idealan sistem proporcionalan energiji uvek radi na 100% efikasnosti [8]. U stvarnosti, koriste više od polovine snage u praznom hodu nego što koriste pri punom opterećenju. Teoretska dnevna varijacija radnog opterećenja za tipičan *data* centar prikazana je na Slici 1. Na grafiku se može primetiti da, iako opterećenje/potražnja prati pseudosinusoidalni trend, potrošena snaga ostaje skoro konstantna tokom visokog i niskog perioda opterećenja. Ovo je posledica uticaja računarskih resursa koji se uvek održavaju i rade i kada se nedovoljno koriste ili se uopšte ne koriste, pa se tako troši velika količina energije tokom perioda niskog opterećenja. Osnovna ideja jeste da *data* centri postanu „svesni” energije uvođenjem elastičnosti čime se prilagođava promena kapaciteta *data* centra tako da prati trenutnu potražnju/opterećenje, kao što je prikazano na Slici 2. To se može postići dinamičkim upravljanjem na nivou raspoređivanja resursa što podrazumeva da se vrši raspoređivanje zadataka na dostupne servere, a neiskorišćeni se stavljaju u režim mirovanja [9].



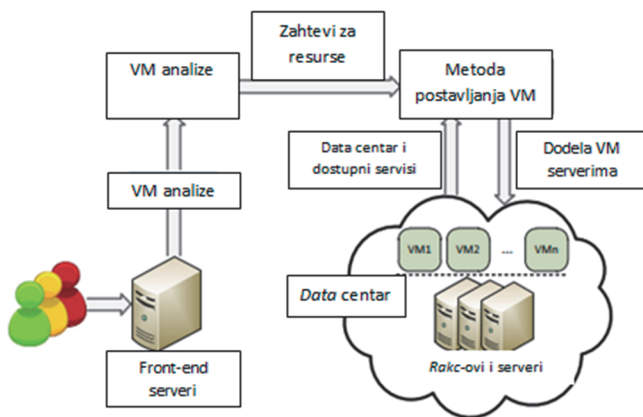
Slika 1. Opterećenje i energetska potrošnja u *data* centrima



Slika 2. Koncept elastičnog obezbeđenja resursa u data centrima

#### 4. Konsolidacija VM za unapređenje energetske efikasnosti

Algoritmi koji se primenjuju za energetske efikasno postavljanje VM koriste prednosti strukture *data* centra i karakteristika VM, uključujući računarske sposobnosti svake VM u smislu MIPS-a (*Mega Instructions Per Second*) i potrebne memorije. Operativni tok okvira je prikazan na Slici 3. i sastoji se od dva osnovna modula: (a) analiza VM i (b) metoda postavljanja VM. Analiza VM određuje zahtevani MIPS i memoriju svake VM. Metoda postavljanja VM uzima dva parametra kao ulaz: (a) zahteve za resursima izračunate analizom VM i (b) trenutni status (uključeno/isključeno) opreme *data* centra i raspoloživih resursa svakog uključenog servera. Metoda postavljanja VM pokušava da pronađe minimalni broj servera i *rack*-ova potrebnih za ispunjavanje zahteva VM za resurse i pokušava da upravlja napajanjem na minimalnom broju *switch*-eva i uređaja za hlađenje. Ostatak resursa koje čine *switch*-evi za neaktivne mreže, rashladni sistemi i serveri, mogu se isključiti da bi se postigla veća energetska efikasnost [10].



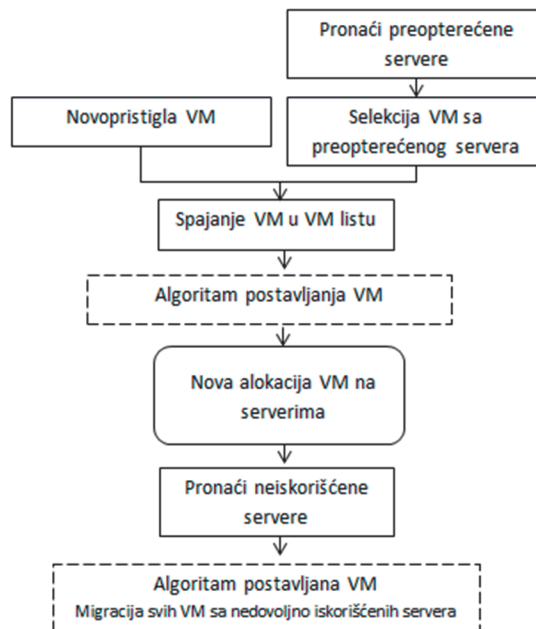
Slika 3. Pregled okvira za energetske efikasnost u virtuelizovanom data centru [9]

U nastavku je opisan problem konsolidacije VM na mreži, gde u unapred određenim vremenskim intervalima, odnosno, fazama, mogu nailaziti novi zahtevi za uspostavljanje VM, promene u korišćenju CPU (*Central Processing Unit*) postojećih VM

i povlačenje nekih drugih VM. Takođe, razmatra se stanje konsolidacije VM uzimajući u obzir strukturne karakteristike *data* centra gde je *cloud* implementiran.

Problem se može opisati na sledeći način. Na početku svake faze, analizira se lista novopristiglih VM, trenutno iskorišćenje CPU od strane postojećih VM i VM isključenih u prethodnoj fazi, struktura *cloud data* centra uključujući lokaciju servera u *rack*-ovima i mrežu koja povezuje servere i *rack*-ove, kao i mehanizam koji se koristi za njihovo hlađenje. Na osnovu toga se VM dodeljuju fizičkim mašinama, u nekim slučajevima koristeći mehanizam *live* migracije, tako da je ukupna potrošnja energije u *cloud data* centru svedena na minimum.

Ukupni dijagram optimizacije je prikazan na Slici 4. Ovde se koristi heuristika kako bi se smanjila složenost problema i kako bi se obezbedila odgovarajuća rešenja za postavljanje VM za *online* upotrebu. Prvo se posmatraju samo novopristigle VM i VM na preopterećenim serverima, i nakon što se postave na fizičke mašine, premeštaju se VM sa nedovoljno iskorišćenih fizičkih mašina da bi se isključile. Kao što pokazuje gornji deo Slike 4, u svakoj fazi se biraju odgovarajuće VM sa preopterećenih servera i spajaju se sa novopristiglim VM kao ulaz za blok algoritma postavljanja VM u prvom koraku. Nakon postavljanja ovih VM na servere, sve VM sa nedovoljno iskorišćenih servera se migriraju na odgovarajuće servere koristeći algoritme za postavljanje VM, kao što je prikazano u donjem delu Slike 4. Ova činjenica dovodi do prebacivanja servera u režim mirovanja kako bi se smanjila ukupna potrošnja energije *data* centra. Shodno tome, primećuje se da se algoritam za postavljanje VM pokreće dva puta da bi se završilo postavljanje po fazi.



Slika 4. Algoritam za postavljanje VM [10]

Za migraciju VM, razmatraju se dva praga koji sadrže donju i gornju granicu iskorišćenja CPU za servere, tako da se iskorišćenost CPU održava između ovih pragova

[10]. Ako iskorišćenost CPU padne ispod donjeg praga, server se naziva nedovoljno iskorišćenim i sve VM moraju da se migriraju sa ovog *host*-a. Shodno tome, *host* se prebacuje u režim mirovanja kako bi se eliminisala potrošnja energije. Ako iskorišćenost CPU premašuje gornji prag, server se naziva preopterećenim i neke VM moraju da migriraju sa *host*-a da bi se smanjilo opterećenje. Ovaj poslednji potez omogućava da se privremeni skokovi u iskorišćenju CPU-a za VM mogu prilagoditi bez kršenja SLA. Za izbor najbolje VM za migraciju sa preopterećenog *host*-a, uzimaju se u obzir dva uslova: prvo, biraju se VM koji imaju iskorišćenost veću od razlike između iskorišćenja *host*-a i gornjeg praga; drugo, ako VM treba da se migrira sa *host*-a, bira se VM koja ostvaruje najveću iskorišćenost (iako je ispod gornjeg praga) na *host* serveru. Algoritam se nastavlja sve dok iskorišćenost *host*-a ne postane manja od gornjeg praga iskorišćenja. Ova politika vodi do minimalnog broja migracija VM kako bi se smanjili troškovi migracije [10].

## 5. Neki predloženi algoritmi za energetska efikasnu alokaciju resursa

Algoritmi za energetska efikasnu alokaciju resursa mogu se klasifikovati na: HVRAA (*Heuristics Virtual Resource Allocation Algorithm*), MP-VRSA (*Multidimensional Power-aware based Virtual Resources Scheduling Algorithm*) i VROA (*Virtual Resource Optimization algorithm*) [8].

### 5.1. HVRAA algoritam

Glavni cilj HVRAA algoritma je da dodeli sve VM koje zahtevaju korisnici, minimalnom broju PM. Osnovna ideja HVRAA je sledeća: izaberu se sve VM koje mogu da odgovaraju *host*-u i na kraju, ako ne postoji nijedan koji odgovara trenutnom *host*-u, onda se pokreće novi *host* dok sve VM ne budu dodeljene *host*-ovima. U retkim situacijama, u kojima postoji mnogo slobodnih *host*-ova dostupnih za dodatne VM, a odnos PM i VM je visok, primenjuje se algoritam optimizacije za migraciju VM sa nedovoljno iskorišćenih *host*-ova na druge *host*-ove i isključivanje *host*-ova, čime se smanjuje potrošnja energije. U tu svrhu koristi se niži prag tako da VM na *host*-u ispod donjeg praga migriraju na druge *host*-ove, a zatim se *host* gasi.

### 5.2. MP-VRSA algoritam

Osnovni cilj MP-VRSA algoritma je dalje smanjenje potrošnje energije identifikacijom i otkrivanjem preopterećenih *host*-ova. MP-VRSA se sastoji od četiri koraka:

1. Otkrivanje preopterećenih *host*-ova
2. Odabir vm koje treba da migriraju sa preopterećenih *host*-ova
3. Izbor novih *host*-ova za vm koje će biti migrirane
4. Primena operacije migracije za sve preopterećene *host*-ove.

Prvi korak u MP-VRSA je otkrivanje preopterećenih *host*-ova gde se koristi strategija otkrivanja preopterećenih *host*-ova da bi se utvrdilo da li VM treba migrirati. Koraci u nastavku su neophodni za otkrivanje preopterećenih *host*-ova i postavljanje praga za iskorišćenost kapaciteta. Ako iskorišćenost CPU *host*-a premašuje prag, takav

*host* se može otkriti i neke VM treba migrirati. Nakon prvog koraka u MP-VRSA se primenjuje strategija izbora VM maksimalne korelacije. Ideja strategije izbora VM maksimalne korelacije je sledeća: što je veća korelacija između opterećenja VM koje rade na *host*-u, veća je verovatnoća preopterećenja *host*-a. Dakle, prema ovoj ideji, biraju se VM za migraciju koje imaju najveću korelaciju u iskorišćenosti CPU-a sa drugim VM. Treći korak u MP-VRSA je strategija postavljanja VM, gde je glavni zadatak ove strategije da izabere odgovarajući *host* za VM koje su migrirane. Međutim, kada se VM ponovo lociraju na druge *host*-ove, to će povećati iskorišćenost CPU-a. Dakle, strategija povećanja minimalne snage (MPIS - *Minimum Power Increasing Strategy*) je dizajnirana da brzo postavi VM u *host*-ove i smanji potrošnju energije.

### 5.3. VROA algoritam

Algoritam za optimizaciju virtuelnih resursa (VROA) migrira VM sa *host*-ova sa najmanjim korišćenjem resursa na druge PM i prebacuje originalni *host* u režim mirovanja. Zbog toga može smanjiti potrošnju energije *data* centara. VROA se sastoji od tri glavna koraka: nakon što je korak planiranja virtuelnih resursa završen, VROA će izabrati PM sa najnižim iskorišćenjem CPU-a i pokušati da migrira VM na druge *host*-ove. Zatim će sistem postaviti *host* sa najmanjim iskorišćenjem CPU u režim mirovanja nakon uspešne migracije VM na druge *host*-ove. Ako bilo koja od VM na *host*-u sa najmanjim iskorišćenjem CPU ne može da se migrira, onda *host* ostaje aktivan i sve migracije VM se otkazuju [8].

## 6. Zaključak

Virtuelizacija, kao jedna od najznačajnijih karakteristika *Cloud Computing*-a, dovela je do transformacije konvencionalnih *data* centara u fleksibilnu *cloud* infrastrukturu. Upravljanje potrošnjom energije primenom konsolidacije VM je kritična tehnika kada se razmatra kvalitet servisa.

U ovom radu je dat pregled energetske efikasnosti algoritama za konsolidaciju VM u *cloud data* centrima. Cilj je da se smanji potrošnja energije tako da bude u skladu sa zahtevima SLA. Glavna ideja je da se minimizira potrošnja energije s obzirom na iskorišćenost *host*-ova. Zbog brzog rasta kapaciteta *data* centara, smanjenje potrošnje energije postalo je glavna briga u odnosu na njenu cenu i uticaj na životnu sredinu. Većina pristupa fokusirana je na korišćenje *live* migracija da bi se rasteretili nedovoljno iskorišćeni *host*-ovi i na taj način prešli u stanje niske potrošnje, rešavajući na taj način problem energetske efikasnosti. Postoji niz algoritama za konsolidaciju VM koji imaju za cilj smanjenje potrošnje energije *data* centara uzimajući u obzir strukturne karakteristike, kao što su *rack*-ovi i mrežna topologija *data* centra koji leži u osnovi *cloud*-a. Na osnovu pregleda literature, pokazano je da je energetska efikasnost u *cloud* okruženju sve aktuelnija tema. U budućnosti se očekuje da će joj biti posvećena još veća pažnja za rešavanje izazova u smislu balansiranja između potrošnje energije i performansi sistema.

## Zahvalnica

Rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.



## Literatura

- [1] The NIST Definition of Cloud Computing - Recommendations of the National Institute of Standards and Technology, 2011.
- [2] R. Yadav, O. Kaiwartya, W. Zhang, P. Singh, "Adaptive Energy-Aware Algorithms for Minimizing Energy Consumption and SLA Violation in Cloud Computing", *IEEE Access*, 6, 2018, pp. 55923-55936.
- [3] M.F. Bari, "Data Center Network Virtualization: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(2), 2013, pp. 909-928.
- [4] R. Messier, *Collaboration with Cloud Computing: Security, Social Media, and Unified Communications*, Syngress, 2014.
- [5] D. Marinescu, *Cloud Computing: Theory and Practice*, Elsevier Science, 2013.
- [6] Y. Saadi, S. El Kafhali, "Energy-Efficient Strategy for Virtual Machine Consolidation in Cloud Environment," *Soft Computing*, 24, 2020, pp. 14845-14859.
- [7] N. Hamdi i W. Chainbi "A Survey on Energy Aware VM Consolidation Strategies," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 23, 2019, pp. 80–87.
- [8] M. Deiab, D. El-Menshawy, S. El-Abd, A. Mostafa, "Energy Efficiency in Cloud Computing", *International Journal of Machine Learning and Computing*, 9(1), 2019, pp. 98-102.
- [9] S. Ricciardi, F. Palmieri, J. Torres-Vinals, B. Di Martino, G. Santos-Boada, J. Sole-Pareta, "Green Data Center Infrastructures in the Cloud Computing Era," in *Handbook of Green Information and Communication Systems*, Elsevier
- [10] A. Pahlavan, M. Goudarzi, "Structure-Aware Online Virtual Machine Consolidation for Datacenter Energy Improvement in Cloud Computing", *Computers & Electrical Engineering*, 42, 2015, pp. 74-89.

**Abstract:** *The development of Cloud Computing introduced significant changes in the Internet environment since it represents the paradigm for enabling network access to a scalable and elastic pool of shareable physical or virtual resources with self-service provisioning and administration on-demand. The development of Cloud Computing in terms of quality of service, costs, security and energy consumption requires technology that can satisfy strict requirements. Virtualization is crucial in Cloud Computing, representing an enabling technology that creates an intelligent abstraction layer which allows different virtual machines to share the same hardware. This paper describes the virtualization and allocation of cloud resources in detail. The importance of reduced energy consumption is presented, as well. Finally, the aim of the paper is to analyze the possibility of achieving energy efficiency by consolidating virtual machines in the cloud environment.*

**Keywords:** *virtualization, data center, migration, virtual machine, energy efficiency*

## IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN THE CLOUD ENVIRONMENT BY THE VIRTUAL MACHINES CONSOLIDATION

Branka Mikavica, Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Nevena Simović

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.031>

## **ANALIZA OBJEKTIVNIH PROCENA KVALITETA KOMPRIMOVANIH VIDEO SEKVENCI IZ VIDLJIVOG I INFRACRVENOG DELA ELEKTROMAGNETNOG SPEKTRA**

Boban Pavlović, Milica Uzelac, Boban Bondžulić  
Univerzitet odbrane u Beogradu – Vojna akademija  
bobanpav@yahoo.com, milica.uzelac80@gmail.com, bondzulici@yahoo.com

**Rezime:** *U radu su analizirane objektivne procene kvaliteta test sekvenci iz vidljivog i infracrvenog dela elektromagnetnog spektra. Test sekvence su dobijene primenom H.264 i H.265 tipova kompresije, pri čemu je korišćeno po osam izvornih sekvenci iz oba spektralna opsega, trajanja po 20 s. Analiza kvaliteta je sprovedena u funkciji faktora kvaliteta i bitskih protoka. U objektivnoj proceni kvaliteta kao kvantitativni pokazatelji korišćeni su vršni odnos signal/šum i indeks strukturne sličnosti. Primenom objektivnih mera pokazano je da je prednost u kvalitetu na strani H.265 kompresije bez obzira na spektralni opseg iz koga potiču izvorne sekvence. Značajan doprinos rada predstavlja analiza kvaliteta sekvenci iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra jer je veoma mali broj istraživanja posvećen uticaju kompresije na njihov kvalitet. Kako bi se potvrdili rezultati objektivnih mera u daljem radu će se sprovesti subjektivne evaluacije kvaliteta.*

**Ključne reči:** *H.264 i H.265 kompresija, indeks strukturne sličnosti (SSIM), vršni odnos signal/šum (PSNR), vidljivi i infracrveni deo elektromagnetnog spektra*

### **1. Uvod**

Kompresijom slika i video signala se smanjuju zahtevi po pitanju kapaciteta kanala za prenos, smanjuje se vreme prenosa, a smanjuju se i zahtevi za memorijske resurse neophodne za arhiviranje komprimovanog sadržaja. Zahtevi krajnjih korisnika (posmatrača) po pitanju kvaliteta vizuelnih sadržaja su uvek visoki, te je iz tog razloga potrebno naći kompromis između zadovoljavajućeg kvaliteta i stepena kompresije [1].

Primena kamera koje rade u infracrvenom (engl. *Infrared*, IR) delu elektromagnetnog spektra je nekada bila rezervisana za vojne i medicinske svrhe. Pad cena ovih sistema doveo je do toga da je danas opseg aplikacija značajno proširen. Danas se IR kamere koriste u inspekciji i održavanju zgrada i energetskih sistema, operacijama traganja i spašavanja, praćenju života divljih životinja, detekciji defekata u materijalima, u borbi sa požarima, detekciji i prepoznavanju lica i sl. [2].

Iako je sadržaj IR slika i slika iz vidljivog opsega talasnih dužina iste scene korelisan kroz oblike objekata i njihove granice, između njih postoje značajne razlike u kontrastu i teksturi. Razlike između slika dolaze zbog korišćenja senzora koji imaju različite principe rada, ali i zbog korišćenja različitih talasnih opsega – vidljivi opseg je od

380 do 780 nm, dok je IR opseg od 0.75 do 15  $\mu\text{m}$ . U poređenju sa slikama iz vidljivog opsega talasnih dužina mogu se naglasiti sledeće karakteristike IR slika: niska rezolucija, slab kontrast, nejasne ivice, slaba oštrina slike, uočljiv šum zbog matrice detektora, kolor paleta ili reprezentacija sivog se razlikuju od onoga što vidi ljudsko oko [3].

Prostorna rezolucija IR senzora je niža od rezolucije senzora koji rade u vidljivom opsegu talasnih dužina, ali iz godine u godinu se njihova rezolucija povećava, a povećava se i broj bita za reprezentaciju jednog piksela (sa 8 na 14 ili 16 bita), tako da je i kod IR sistema bitna kompresija izlaznih slika i videa. Radovi u kojima se analizira kvalitet slika iz IR dela elektromagnetnog spektra su u najvećem broju slučajeva razmatrali potiskivanje šuma, korekciju neuniformnosti, poboljšanje kvaliteta, mapiranje tonaliteta, a veoma mali broj istraživanja je posvećen uticaju kompresije na kvalitet IR slika i videa.

U radu [4] je analizirana kompresija IR slika sa tri kodeka – JPEG 2000, JPEG-XT i H.265/HEVC. Primenom objektivnih mera zaključeno je da JPEG 2000 i H.265 daju bolje rezultate nego JPEG-XT. Pri tome JPEG 2000 daje bolje rezultate za reprezentacije piksela niže od 1.4 bpp, dok H.265 ima bolje performanse za opseg od 1.4 do 6.5 bpp.

Uticaj H.264 kompresije na kvalitet IR video sekvenci je u radu [5] analiziran primenom objektivnih mera procene kvaliteta. U radu je predložena mera bez referenciranja za predikciju objektivnih skorova mera sa potpunim referenciranjem.

U [6] se mogu naći informacije o H.264 i JPEG 2000 sistemima kodovanja IR slika, kao i preporuke o njihovim profilima i konfiguracijama za potrebe daljinskog osmatranja. Po pravilu H.264 je davao bolje rezultate kod kompresije standardnih formata pokretnih slika kao u difuziji, dok su performanse JPEG 2000 formata bile bolje kod kodovanja slika visoke rezolucije i/ili veće dubine. Takođe, autori su sugerisali da se prate preporuke i standardi tela *Motion Imagery Standards Boards* (MISB), a koje je objavilo izveštaje o kompresiji slika i videa 2014. i 2019. godine [7, 8]. Kao održivi standardi kompresije preporučeni su H.265/HEVC, H.264/AVC i H.262/MPEG-2. Predloženo je da H.265/HEVC tehnika kompresije zameni H.264/AVC zbog približno dva puta bolje efikasnosti kodovanja. Pod tim se misli na redukciju količine podataka od 50% za zahtevani kvalitet slike ili bolji kvalitet za istu količinu podataka.

Kvalitet IR slika kroz subjektivne testove je razmatran za različite potrebe (identifikacija požara, nedestruktivno testiranje, poboljšanje kvaliteta, rekonstrukcija, inspekcija rada energetskih sistema, ...), pri čemu je u svega nekoliko radova razmatran kvalitet IR slika sa kompresijom [9, 10]. Rezultati subjektivnih testova iz [9] nisu dostupni, dok su rezultati subjektivnih testova procene kvaliteta JPEG i JPEG 2000 komprimovanih IR slika iz [10] javno dostupni. Umesto subjektivnih procena kvaliteta, na raspolaganju su brojne objektivne mere, kojima se evaluacija kvaliteta može sprovesti u realnom vremenu, bez posmatrača i vremenski dugih i skupih subjektivnih testova [11].

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnog dela, u drugom delu rada opisan je način formiranja baze komprimovanih video sekvenci. U trećem delu rada analizirani su rezultati procene kvaliteta dobijenih sekvenci primenom objektivnih mera. U poslednjem delu rada sumirani su rezultati istraživanja i dati pravci budućeg rada.

## 2. Opis korišćenih sekvenci

U analizi je korišćeno 16 video sekvenci, od čega je osam iz vidljivog, a osam iz IR dela elektromagnetnog spektra. Trajanje svih sekvenci je po 20 s, a kadrovi unutar

sekvenci su rezolucije 480x640 piksela. Tempo sekvenci iz vidljivog dela spektra je 30 fps, a iz IR 25 fps. Na slici 1 su prikazani odabrani kadrovi svih video sekvenci. Sekvence koje su korišćene prikazuju iste scene snimljene sa kamerama iz vidljivog i IR opsega, pri čemu korišćene sekvence nisu vremenski i prostorno registrovane.



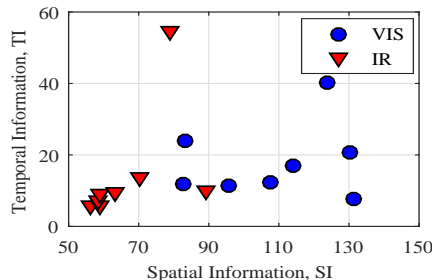
Slika 1. Prikaz odabranih kadrova korišćenih sekvenci

Za analizu kompleksnosti i varijeteta izvornih video sekvenci često se koriste parametri koji su poznati kao prostorna (eng. *Spatial Information*, SI) i vremenska informacija ili aktivnost (engl. *Temporal Information*, TI), a koji se određuju kao:

$$SI = \max_{u \text{ vremenu}} \left\{ std_{u \text{ prostoru}} \left[ Sobel \left( F_n(i, j) \right) \right] \right\} \quad (1)$$

$$TI = \max_{u \text{ vremenu}} \left\{ std_{u \text{ prostoru}} \left[ M_n(i, j) \right] \right\} \quad (2)$$

gde  $F_n$  predstavlja komponentu osvetljaja video sekvence u trenutku  $n$ ,  $(i, j)$  su prostorne koordinate,  $std$  predstavlja standardnu devijaciju, a  $\max$  je maksimalna vrednost. Sa  $M_n$  je označena razlika između dva susedna kadra ( $F_n - F_{n+1}$ ) [12]. Prilikom određivanja prostorne informacije koristi se Sobel prostorna maska dimenzija 3x3 piksela. Na slici 2 su prikazane vrednosti SI i TI svih 16 izvornih sekvenci, gde se može zaključiti da su kod većine IR sekvenci vrednosti ovih parametara niže od vrednosti sekvenci iz vidljivog dela spektra.

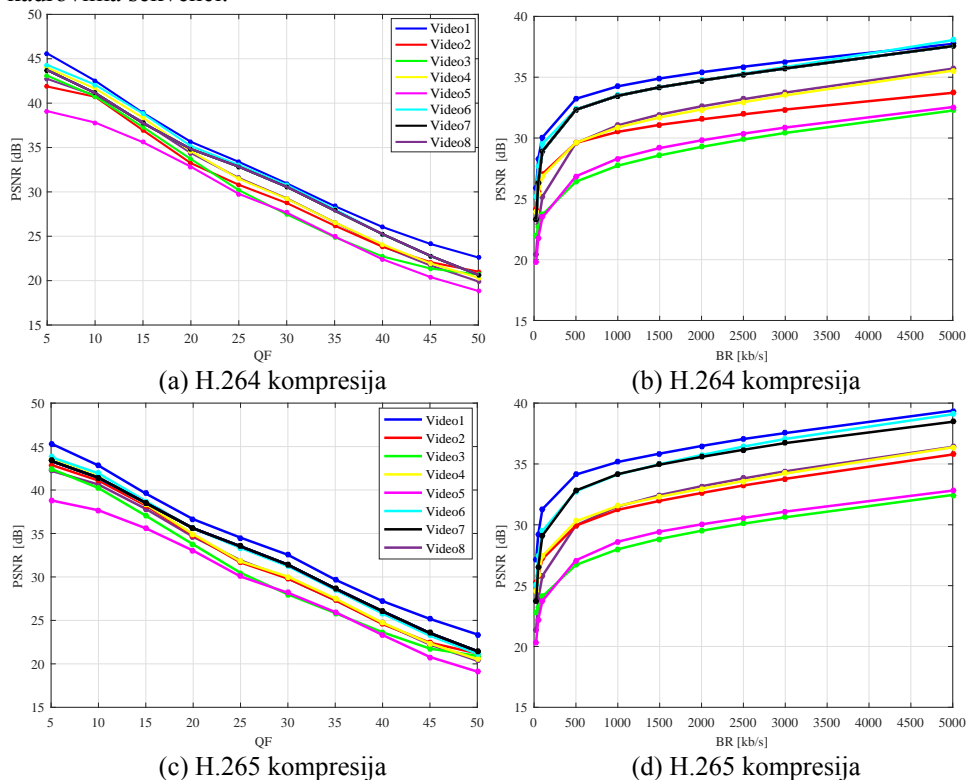


Slika 2. Prostorne i vremenske informacije izvornih video sekvenci

Kompresija izvornih sekvenci sprovedena je korišćenjem softverskog alata *HandBrake* [13], za oba standarda kompresije – H.264/AVC i H.265/HEVC. U prvom ciklusu izvršena je kompresija izvornih sadržaja za različite faktore kvaliteta (engl. *Quality Factor*, QF), gde su usvojene vrednosti QF od 5 do 50, sa korakom od 5. U drugom ciklusu izvršena je kompresija izborom bitskog protoka (eng. *Bit Rate*, BR), za koji su izabrane vrednosti 25, 50, 100, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 i 5000 kb/s. Na ovaj način formirana je baza koja sadrži 640 komprimovanih video sekvenci.

### 3. Analiza objektivnih procena kvaliteta komprimovanih video sekvenci

Jedna od najčešće korišćenih objektivnih mera je vršni odnos signal/šum (engl. *Peak Signal-to-Noise Ratio*, PSNR) [11]. Na slici 3 je prikazana zavisnost PSNR od faktora kvaliteta i bitskog protoka po oba standarda kompresije za osam sekvenci iz vidljivog dela spektra. Krajnja vrednost PSNR dobijena je usrednjavanjem po svim kadrovima sekvenci.

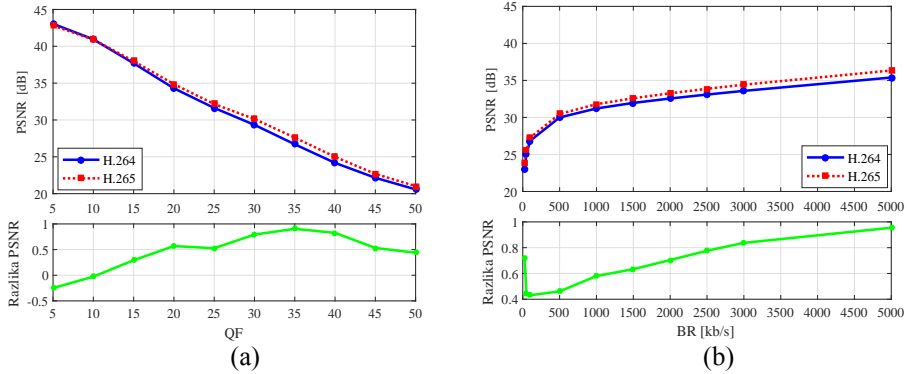


Slika 3. Prikaz zavisnosti PSNR od faktora kvaliteta i bitskog protoka za osam sekvenci iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra

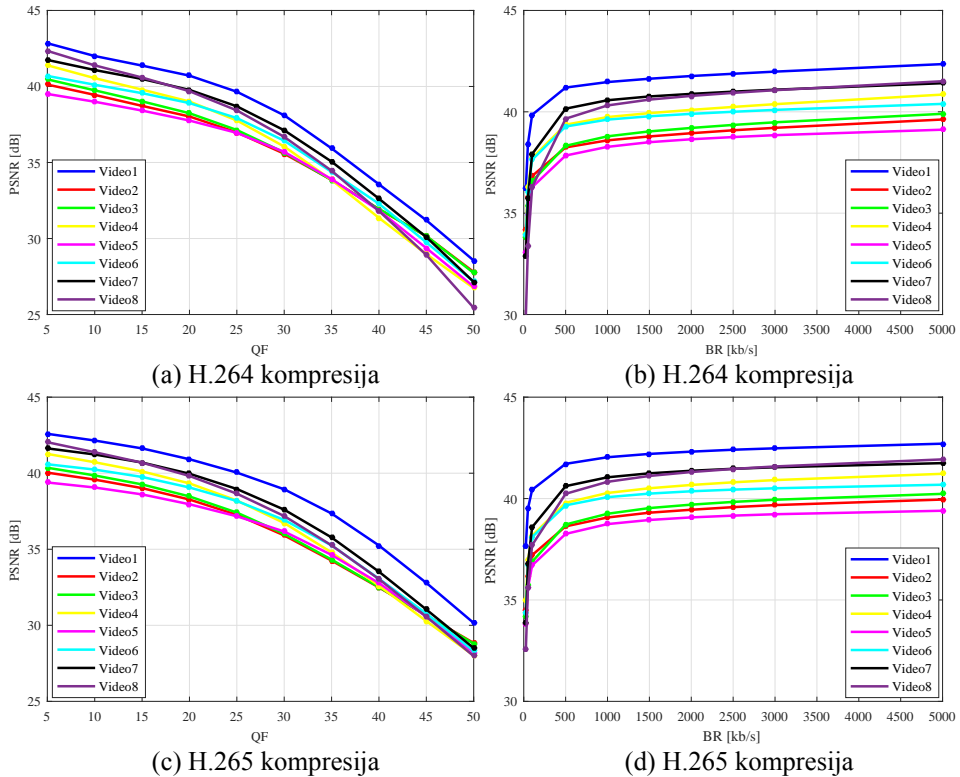
Sa slika 3a i 3c se može uočiti da sa povećanjem faktora kvaliteta dolazi do linearnog pada vrednosti PSNR po oba standarda kompresije. Takođe, sa slika 3b i 3d se može uočiti da sa povećanjem bitskog protoka dolazi do porasta vrednosti PSNR, sa sličnim trendovima po oba standarda kompresije. U ovom slučaju se može uočiti da

promena vrednosti PSNR ima jedan trend do 1000 kb/s, a nakon toga se može govoriti o linearnom porastu PSNR sa povećanjem bitskog protoka.

Na slici 4 je dat uporedni prikaz srednjih vrednosti PSNR za svih osam sekvenci iz vidljivog dela spektra za oba standarda kompresije, u zavisnosti od QF i BR.



Slika 4. Prikaz zavisnosti srednjih vrednosti PSNR za svih osam sekvenci iz vidljivog dela spektra za oba standarda kompresije od: (a) faktora kvaliteta i (b) bitskog protoka

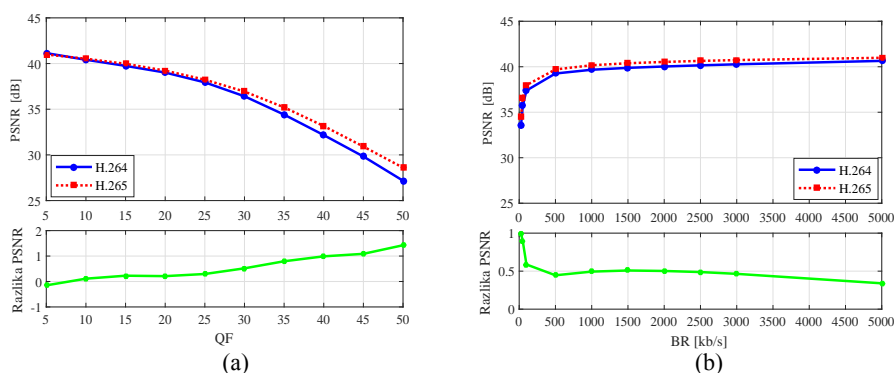


Slika 5. Prikaz zavisnosti PSNR od faktora kvaliteta i bitskog protoka za osam sekvenci iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra

Sa slike 4 se može uočiti prednost u PSNR objektivnom kvalitetu H.265 nad H.264 kompresijom (jedini izuzetak je slučaj za QF=5, što odgovara izuzetno visokom kvalitetu sa PSNR oko 43 dB). Za izabrane vrednosti QF i bitskog protoka razlika u vrednostima PSNR je do 1 dB. Ako se na slici 4b kao ciljna vrednost PSNR usvoji 32 dB, može se zaključiti da se ona dostiže primenom H.265 kompresije uz bitski protok od 1000 kb/s, odnosno primenom H.264 kompresije uz bitski protok od 1500 kb/s.

Ista analiza vrednosti PSNR urađena je i za osam video sekvenci iz IR dela spektra. Na slici 5 je prikazana zavisnost PSNR od faktora kvaliteta i bitskog protoka po oba standarda kompresije za osam izabranih sekvenci. Sa slike 5 se mogu uočiti slični trendovi zavisnosti PSNR od faktora kvaliteta i bitskog protoka po oba standarda kompresije. Za razliku od slika iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra (slike 3a i 3c), zavisnost PSNR od faktora kvaliteta kod IC slika nije linearna (slike 5a i 5c).

Na slici 6 je dat uporedni prikaz srednjih vrednosti PSNR za svih osam sekvenci iz IR dela spektra za oba standarda kompresije, u zavisnosti od QF i BR.

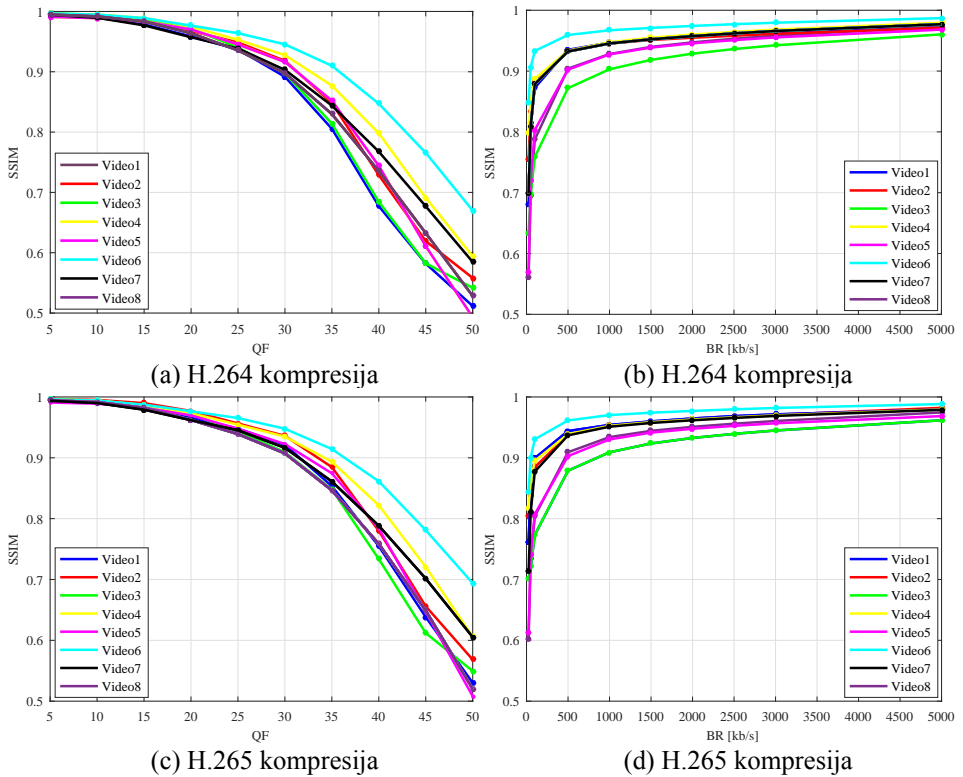


Slika 6. Prikaz zavisnosti srednjih vrednosti PSNR za svih osam sekvenci iz infracrvenog dela spektra za oba standarda kompresije od: (a) faktora kvaliteta i (b) bitskog protoka

Sa slike 6 se može uočiti prednost u PSNR objektivnom kvalitetu H.265 nad H.264 kompresijom i kod sekvenci iz infracrvenog dela spektra. Za izabrane vrednosti QF i BR razlika u vrednostima PSNR je do 1.5 dB. Ako se na slici 6b kao ciljna vrednost PSNR usvoji 40 dB, može se zaključiti da se ona dostiže primenom H.265 kompresije uz bitski protok od 800 kb/s, odnosno primenom H.264 kompresije uz bitski protok od 2000 kb/s. Poređenjem zavisnosti PSNR od bitskih protoka sa slika 4b i 6b može se zaključiti da se za isti protok dobijaju sekvence boljeg objektivnog kvaliteta iz IR opsega (sekvence iz vidljivog opsega su u boji, dok su IR sekvence monohromatske).

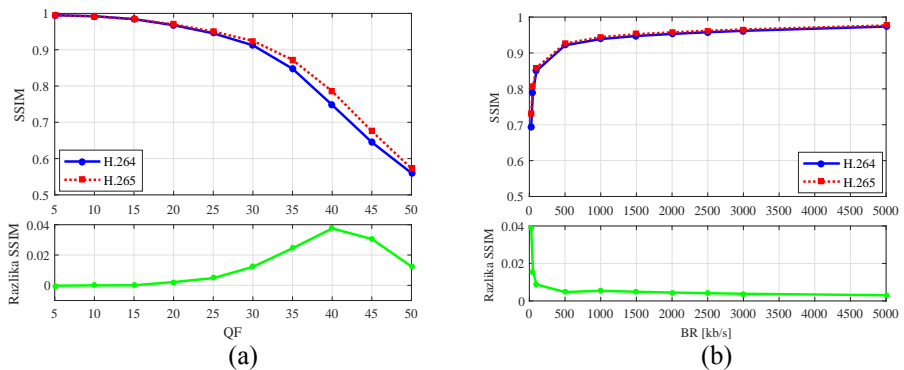
Na slici 7 je prikazana zavisnost indeksa strukturne sličnosti (engl. *Structural Similarity Index*, SSIM) [14] od faktora kvaliteta i bitskog protoka po oba standarda kompresije za osam sekvenci iz vidljivog dela spektra. Sa slike 7 se može uočiti da sa povećanjem faktora kvaliteta dolazi do pada vrednosti PSNR, sa sličnim trendovima po oba standarda kompresije. Takođe se može uočiti da sa povećanjem bitskog protoka dolazi do porasta vrednosti PSNR, sa sličnim trendovima po oba standarda kompresije. U ovom slučaju se može uočiti da promena vrednosti PSNR ima jedan trend do 1000 kb/s, a nakon toga se može govoriti o linearnom porastu PSNR sa povećanjem bitskog protoka. Dodatno se može uočiti da su razlike u objektivnom SSIM kvalitetu između sekvenci

manje ukoliko se kompresija sprovodi sa nižim vrednostima QF, odnosno ukoliko se koriste veće vrednosti bitskog protoka (što odgovara boljem vizuelnom kvalitetu).



Slika 7. Prikaz zavisnosti SSIM od faktora kvaliteta i bitskog protoka za osam sekvenci iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra

Na slici 8 je dat uporedni prikaz srednjih vrednosti SSIM za svih osam sekvenci iz vidljivog dela spektra za oba standarda kompresije, u zavisnosti od QF i BR.

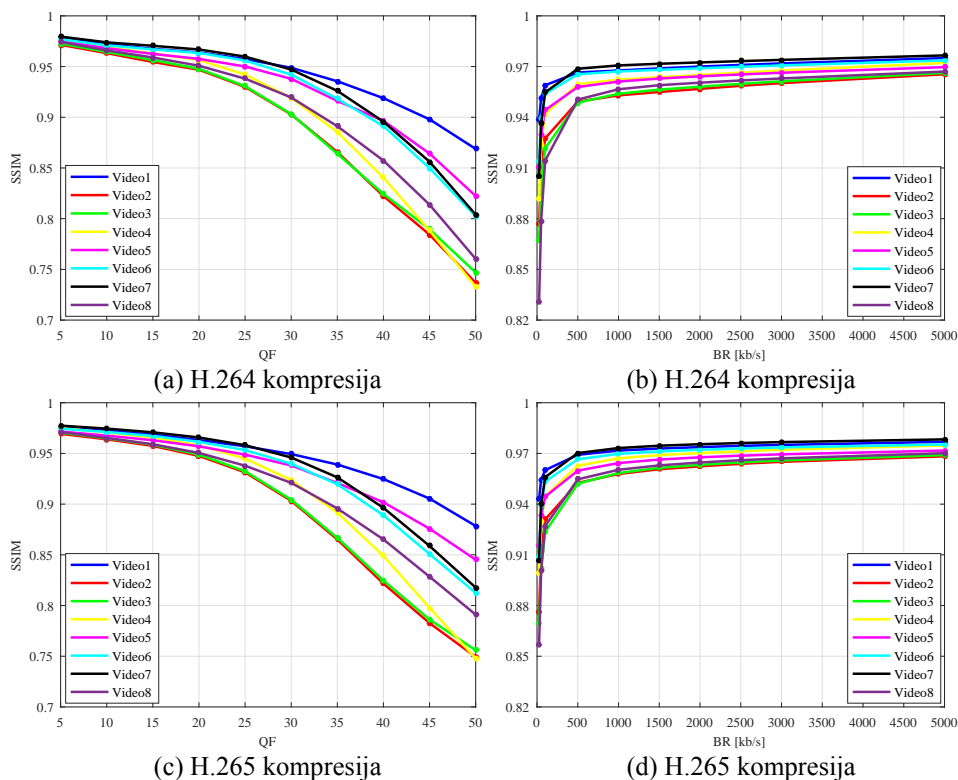


Slika 8. Prikaz zavisnosti srednjih vrednosti SSIM za svih osam sekvenci iz vidljivog dela spektra za oba standarda kompresije od: (a) faktora kvaliteta i (b) bitskog protoka



Sa slike 8 se može uočiti prednost u SSIM objektivnom kvalitetu H.265 nad H.264 kompresijom. Razlika je manja ukoliko je stepen kompresije manji (niže vrednosti QF i veće vrednosti bitskog protoka).

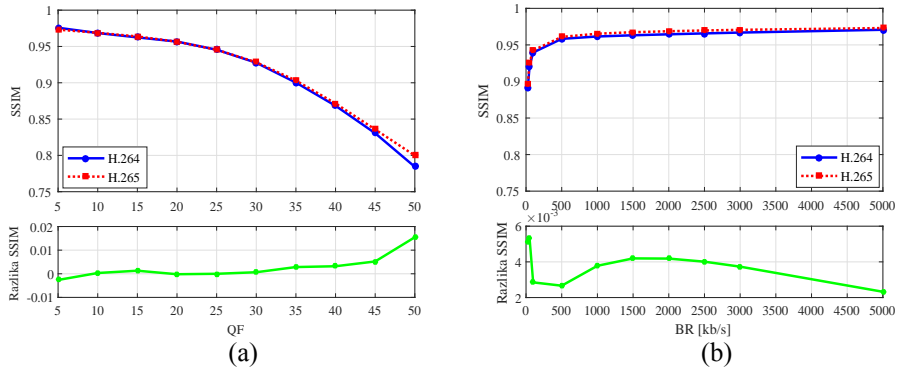
Ista analiza vrednosti SSIM urađena je i za osam video sekvenci iz infracrvenog dela spektra. Na slici 9 je prikazana zavisnost SSIM od faktora kvaliteta i bitskog protoka po oba standarda kompresije za osam izabranih sekvenci.



Slika 9. Prikaz zavisnosti SSIM od faktora kvaliteta i bitskog protoka za osam sekvenci iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra

Sa slike 9 se mogu uočiti slični trendovi zavisnosti SSIM od faktora kvaliteta i bitskog protoka po oba standarda kompresije. Takođe se može uočiti da su manje razlike SSIM vrednosti između različitih sekvenci za manji stepen kompresije (niže vrednosti faktora kvaliteta i veće vrednosti bitskog protoka).

Na slici 10 je dat uporedni prikaz srednjih vrednosti SSIM za svih osam sekvenci iz IR dela spektra za oba standarda kompresije, u zavisnosti od QF i BR. Sa slike 10 se može uočiti prednost u SSIM objektivnom kvalitetu H.265 nad H.264 kompresijom i kod sekvenci iz infracrvenog dela spektra. Poređenjem slika 8b i 10b može se zaključiti da se SSIM vrednost kvaliteta od 0.96 dostiže sa bitskim protokom od 500 kb/s kod IR sekvenci, odnosno sa bitskim protokom od 2500 kb/s kod sekvenci iz vidljivog dela spektra. Za maksimalni bitski protok SSIM objektivni kvalitet je oko 0.97.



Slika 10. Prikaz zavisnosti srednjih vrednosti SSIM za svih osam sekvenci iz infracrvenog dela spektra za oba standarda kompresije od: (a) faktora kvaliteta i (b) bitskog protoka

#### 4. Zaključak

U radu je analiziran kvalitet H.264 i H.265 komprimovanih video sekvenci primenom dve objektivne mere procene kvaliteta. Komprimovane sekvence su dobijene polazeći od osam izvornih sekvenci iz vidljivog i osam izvornih sekvenci iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra. Analiza kvaliteta je sprovedena u funkciji faktora kvaliteta i bitskih protoka. Analizom rezultata objektivnih mera pokazano je da je prednost u kvalitetu na strani H.265 kompresije bez obzira na spektralni opseg iz koga potiču izvorne sekvence. Razlika u kvalitetu zavisi od faktora kvaliteta i bitskog protoka. Za izabrane vrednosti faktora kvaliteta i bitskih protoka maksimalna razlika je iznosila 1 dB kod komprimovanih sekvenci iz vidljivog, odnosno 1.5 dB kod komprimovanih sekvenci iz infracrvenog dela spektra.

Analizi uticaja kompresije na kvalitetet sekvenci iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra posvećen je veoma mali broj istraživanja. Zbog toga će se u daljem radu sprovesti subjektivne i objektivne evaluacije kvaliteta komprimovanih sadržaja, uz proširenje tehnika kompresije sa H.266/VVC.

#### Literatura

- [1] G. Lu, X. Zhang, W. Ouyang, L. Chen, Z. Gao, and G. Xu, "An end-to-end learning framework for video compression", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 43, no. 10, pp. 3292-3308, 2021. DOI: 10.1109/TPAMI.2020.2988453
- [2] R. Gade, and T. B. Moeslund, "Thermal cameras and applications: a survey", *Mach. Vis. Appl.*, vol. 25, pp. 245–262, 2014. DOI: 10.1007/s00138-013-0570-5
- [3] R. Dulski, P. Powalisz, M. Kastek, and P. Trzaskawka, "Enhancing image quality produced by IR cameras", in *Proc. SPIE 7834, Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications VII*, article No. 783415, 2010. DOI: 10.1117/12.864979
- [4] C. Mantel, and S. Forchhammer, "Compression of infrared images", *Visual Information Processing and Communication VIII*, vol. 6, pp. 21-26, 2017. DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2017.2.VIPC-401
- [5] K. Hossain, C. Mantel, and S. Forchhammer, "No-reference prediction of quality metrics for H.264-compressed infrared sequences for unmanned aerial vehicle

- applications”, *Journal of Electronic Imaging*, vol. 28, no. 4, article No. 043012, Jul/Aug 2019. DOI: 10.1117/1.JEI.28.4.043012
- [6] *Digital Motion Imagery Compression Best Practices Guide – A Motion Imagery Standards Profile (MISP) Compliant Architecture*, Published by Secretariat, Range Commanders Council, U.S. Army White Sands Missile Range, June 2012.
- [7] *Compression for infrared motion imagery*, Motion Imagery Standards Board, MISB ST 0404.1, February 2014.
- [8] *Motion imagery standards profile*, Motion Imagery Standards Board, MISP-2020.1, October 2019.
- [9] H. Chen, J. M. Irvine, Z. Wang, G. Chen, E. Blasch, and J. Nagy, “Predicting interpretability loss in thermal IR imagery due to compression”, in *Proc. IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR)*, pp. 1-6, 2018. DOI: 10.1109/AIPR.2018.8707416
- [10] O. Zelmati, B. Bondžulić, B. Pavlović, I. Tot, and S. Merrouche, “Study of subjective and objective quality assessment of infrared compressed images”, *Journal of Electrical Engineering*, vol. 73, no. 2, pp. 73-87, 2022. DOI: 10.2478/jee-2022-0011
- [11] N. Tošić, N. Stojković, A. Samčović, S. Mladenović, S. Janković, “Komparativna analiza video kompresije MPEG-4, H.264/AVC i H.265/HEVC standarda”, *XVI međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2017*, Zbornik radova, str. 603-608, mart 2017.
- [12] *Methodologies for the subjective assessment of the quality of television images*, Recommendation ITU-R BT.500-14, 10/2019.
- [13] HandBrake: The open source video transcoder, Available at: <https://handbrake.fr/>
- [14] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, “Image quality assessment: from error visibility to structural similarity”, *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, 2004. DOI: 10.1109/TIP.2003.819861

**Abstract:** *The paper analyzed objective quality assessments of test sequences from the visible and infrared parts of the electromagnetic spectrum. The test sequences were obtained using H.264 and H.265 compression types, where eight source sequences from both spectral ranges of 20 s duration were used. The quality analysis was carried out in terms of quality factors and bit rates. In the objective assessment of quality, the peak signal-to-noise ratio and the structural similarity index were used as quantitative indicators. Using objective measures, it was shown that the advantage in quality is on the side of H.265 compression, regardless of the spectral range from which the source sequences originate. A significant contribution of the paper is the analysis of the quality of sequences from the infrared part of the electromagnetic spectrum, because very little research is devoted to the impact of compression on their quality. In order to confirm the results of objective measures, subjective quality evaluations will be carried out in further work.*

**Keywords:** *H.264 and H.265 compression, structural similarity index, peak signal-to-noise ratio, visible and infrared parts of the electromagnetic spectrum*

## ANALYSIS OF OBJECTIVE ASSESSMENTS OF THE QUALITY OF COMPRESSED VIDEO SEQUENCES FROM THE VISIBLE AND INFRARED PARTS OF THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

Boban Pavlović, Milica Uzelac, Boban Bondžulić

## **DIGITALNI VODENI ŽIG SAR SLIKA KORIŠĆENJEM BPSK MODULACIJE I PROŠIRENOG SPEKTRA**

Andreja Samčović<sup>1</sup>, Ana Gavrovska<sup>2</sup>, Aleksandar Luković<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, andrej@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, anaga777@etf.rs

<sup>3</sup>a.lukovic26@gmail.com

**Rezime:** Tehnika digitalnog vodenog žiga (*watermarking*) za sliku našla je svoje mesto kao bitan element savremenih multimedijalnih komunikacionih sistema, prvenstveno zbog uloge u zaštiti autorskih prava nad originalnim sadržajem. Cilj ovog rada je razvoj softverskog rešenja za kreiranje digitalnog vodenog žiga pomoću metoda BPSK modulacije i FHSS proširenog spektra upotrebom programskog jezika JavaScript. Korisnik odabira proizvoljnu sliku sa računara i dobija osnovne informacije o njoj. Pri tome su uključeni: izdvajanje prvih 512 piksela ulazne slike, pretvaranje u niz sa povratkom na nulu (RZ) i niz bez povratka na nulu (NRZ), kao i formiranje signala nosilaca (kao pripreme za BPSK modulaciju), respektivno. Nad datim (BPSK) modulisanim signalom je obavljeno proširenje spektra FHSS metodom. Dobijeni rezultati su verifikovani na SAR slikama proračunom objektivnih parametara za procenu kvaliteta slike, kao što su PSNR i SSIM.

**Ključne reči:** BPSK modulacija, FHSS prošireni spektar, JavaScript, multimedija, vodeni žig

### **1. Uvod**

Digitalizacija signala izazvala je revoluciju u telekomunikacijama, omogućivši između ostalog prenos signala koji je otporniji u odnosu na analogni. Na taj način ostvarena je znatno efikasnija komunikacija između predajne i prijemne strane. Međutim, time se došlo i do izvesnih poteškoća. Multimedijalni sadržaji se mogu preuzimati i neovlašćeno kopirati bez ikakvih gubitaka skoro neograničeni broj puta. Da bi se to svelo na što je moguće manju moguću meru pribegava se kriptografskim metodama kojima se originalan sadržaj šifrira tako da bude nerazumljiv bez korišćenja odgovarajućeg ključa, kao i, generalno, metodama skrivanja podataka. Skrivanje podataka, sa druge strane, može biti u vidu steganografije ili u vidu vodenog žiga.

Tehnike digitalnog vodenog žiga (*watermarking* tehnike) su danas sve zastupljenije u obradi signala, razmeni slika, videa i uopšteno multimedije. Osnovni cilj tehnike vodenog žiga je da osigura bezbednost uz očuvanje autorskih prava nad

originalnim slikama [1]. Vodeni žig u stvari predstavlja signal koji je utisnut u original prilikom prenosa određenog multimedijalnog sadržaja. Na taj način, korisnik ili kreator vodenog žiga koristeći odgovarajuće softversko rešenje (program sa korisničkim interfejsom, veb/desktop aplikaciju) može primeniti opcije dodavanja i izdvajanja žiga. Krajnji korisnik će videti sliku sa dodatim žigom bez znanja da je on dodat na originalnu sliku. Slika će vizuelno izgledati vrlo slično krajnjem korisniku kao i original, iako je žig dodat na samu sliku [2]. Po uzoru na telekomunikacioni model, ovaj algoritam se takođe sastoji iz tri dela: predajnika (može biti softver koji vrši dodavanje žiga), kanala (koji bi se koristio za prenos i napade) i prijemnika (detektora, koji takođe može biti softver) za izdvajanje vodenog žiga [3].

U ovom radu je fokus istraživanja na specifičnoj klasi slika, tzv. SAR slikama [4]. SAR (*Synthetic Aperture Radar*) predstavlja radar koji se koristi na satelitima za kreiranje slike Zemljine površine. SAR sistem koristi kretanje radarske antene preko ciljanog regiona kako bi se obezbedila što je moguće finija rezolucija slike u poređenju sa konvencionalnim radarskim sistemima. Moderni satelitski radarski sistemi imaju rezoluciju od oko 1m.

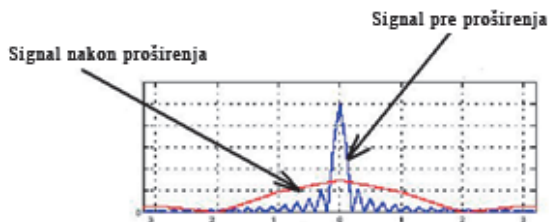
Intenziteti rasejanih radarskih impulsa se reflektuju od Zemljine površine i podaci se memorišu u SAR slikama u vidu piksela. Vrednosti piksela su relativno niske ukoliko je u pitanju ravno tlo. Međutim, njihov intenzitet se povećava zbog povratnog rasejanja od metala i kamenih objekata. Zbog toga pikseli slike imaju visok dinamički opseg nivoa osvetljenosti, koji se kreće od 0 do 65.535. Može se reći da SAR slike pripadaju široj klasi slika sa visokim dinamičkim opsegom HDR (*High Dynamic Range*). Nedostatak SAR slika je što ne mogu da budu prikazane bez odgovarajućeg kontrasta svih detalja, što je nemoguće ostvariti na još uvek tradicionalnim monitorima niskog dinamičkog opsega.

Imajući u vidu da se SAR slike primenjuju, pre svega, u vojnim aplikacijama, neophodno je omogućiti skrivanje podataka iz tih, veoma zahtevnih slika. U ovom radu je predstavljeno jedno moguće rešenje za skrivanje tih podataka u SAR slici koristeći metodu digitalnog vodenog žiga. Prema nama dostupnim informacijama iz literature, postoji malo istraživanja na tu temu.

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnog dela, u drugom delu rada opisane su kako teorijske osnove, tako i algoritam predloženog rešenja. U nastavku je prikazano to rešenje koristeći odgovarajuću platformu i postupke modulacije. Zatim su analizirani rezultati procene kvaliteta dobijenih slika primenom objektivnih mera. U poslednjem delu rada sumirani su rezultati istraživanja i dati pravci budućeg rada.

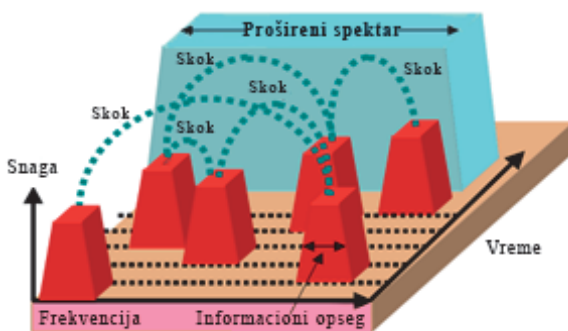
## **2. Teorijske osnove i algoritam predloženog softverskog rešenja**

U radu smo se opredelili za primenu tehnike proširenog spektra SS (*Spread Spectrum*). Prošireni spektar je zasnovan na proširenju propusnog opsega kako bi se obavio prenos signala. Neke od prednosti ove tehnike se odnose na otpornost na uskopojasnu interferenciju, zatim na otežano radio-izviđanje i prislušivanje, kao i to što je omogućen višestruki pristup na bazi kodnog multipleksa. Imajući to u vidu, signal proširenog spektra se može prenositi u opsezima na kojima je već aktivan neki drugi sistem tako što je interferencija između dva signala minimalna. Izgled signala pre i posle proširenja opsega dat je na Slici 1.



Slika 1. Signal pre i posle proširenja

Jedan od nekoliko načina proširenja spektra jeste frekvencijsko skakanje FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) [5]. FHSS predstavlja modulacionu tehniku kod koje se frekvencijski skokovi definišu na određenom frekvencijskom opsegu. Predajnik u definisanom vremenskom intervalu šalje podatke na određenoj frekvenciji, a zatim nastavlja slanje podataka na drugoj frekvenciji. Ovaj postupak se ponavlja sve dok predajnik ne završi sa emitovanjem signala, što je prikazano na Slici 2.



Slika 2. FHSS postupak proširenja spektra signala

Predajnik i prijemnik moraju da budu sinhronizovani. Sinhronizacija omogućava održavanje logičkog kanala. Tokom sesije ako se prekine logički kanal poslani podaci se gube. Pojavljivanje interferencije na određenoj frekvenciji uzrokuje da predajnik napusti posmatranu frekvenciju pre predviđenog vremena. Prijemnik šalje iste podatke na drugoj frekvenciji. Prednost FHSS tehnike je da je otporna na preslušavanje, čime se postiže zadovoljavajući nivo bezbednosti prenosa signala. FHSS omogućava rad više različitih bežičnih mreža na istom frekvencijskom području, bez pojave interferencije. FHSS najčešće koristi BPSK (*Binary Phase-shift Keying*) modulaciju signala, zahvaljujući kojoj se ostvaruje smanjenje uskopojasnih smetnji i povećanje kapaciteta kanala [6].

Centralni motiv ovog rada je razvoj softverskog rešenja sa grafičkim korisničkim interfejsom (*Graphical User Interface, GUI*) za primenu *watermarking* tehnike/a (upotrebom programskog jezika *JavaScript*). Pri tome je algoritam testiran na SAR slikama primenom tehnike proširenog spektra FHSS i BPSK modulacije.

Softversko rešenje je moguće pokrenuti na računaru ili mobilnom uređaju, preko veba, i dostupno je na platformi otvorenog koda *GitHub*, pod nazivom *proJS-w* [7]. Pre prikaza samog softverskog rešenja, opisaće se odgovarajući algoritam, koji se sastoji od 11 koraka:

1. korisnik odabira proizvoljnu SAR sliku sa računara;
2. učitavaju se vrednosti svih piksela slike i izdvajaju prvih 512;
3. dati pikseli se pretvaraju u niz sa povratkom na nulu (*Return-to-Zero*, RZ) pri čemu se vrednosti piksela koje su veće od nule pretvaraju u jedinicu (1), a vrednosti sa nulom (0) zadržavaju datu vrednost (0);
4. sada se dati RZ niz pretvara u niz bez povratka na nulu (*Non-Return-to-Zero*, NRZ), tj. NRZ niz kod koga se vrednosti sa jedinicom (1) zadržavaju, a vrednosti sa nulom dobijaju vrednost minus jedinice (-1);
5. sledi proces generisanja signala nosioca sa zadatim parametrima (vreme, period, frekvencija) u vidu kosinusnog signala (gledano iz ugla definisanja programskog koda, signal nosilac je trigonometrijska/kosinusna funkcija i zavisi od navedenih parametara);
6. množenjem NRZ signala (iz koraka 4) i signala nosioca (iz koraka 5) nastaje signal modulisan digitalnom binarnom faznom modulacijom, tj. BPSK modulisani signal;
7. generisanje signala za širenje FHSS sa četiri različita frekvencijska opsega u određenim intervalima;
8. nastanak proširenog BPSK signala uz FHSS kôd, gde dati kôd (signal) nastaje množenjem BPSK signala (iz koraka 6) sa FHSS signalom (iz koraka 7);
9. signal nastao u koraku 8 sadrži 512 vrednosti i svaka njegova vrednost se oduzima od vrednosti prvih 512 piksela originalne slike (iz koraka 2), gde se ove vrednosti piksela dodaju novoj slici, zaokružuju na ceo broj i tako nastaje vodeni žig;
10. proces izdvajanja vodenog žiga;
11. proračun parametara vršni odnos signal-šum (*Peak Signal-to-Noise Ratio*, PSNR) i indeksa strukturalne sličnosti (*Structural Similarity Index Measure*, SSIM).

### 3. Grafički korisnički interfejs i modulacioni postupci kod softverskog rešenja

U okviru testiranja tehnike vodenog žiga, u ovom radu korišćene su četiri SAR slike različitih rezolucija [8], prikazane na Slici 3.



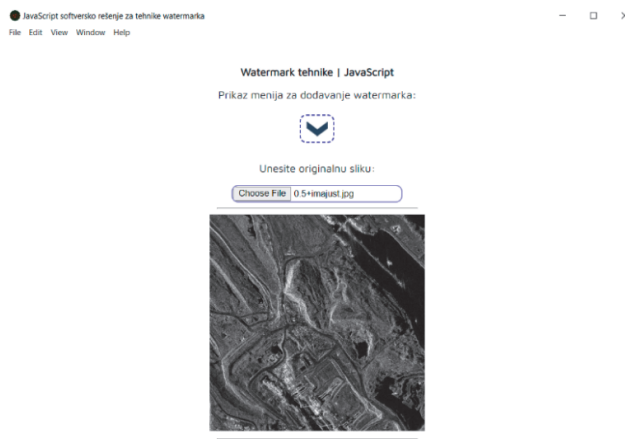
Slika 3. Primer četiri SAR slike

Rezultati objektivne procene kvaliteta datih ulaznih slika dobijeni su pomoću metrika PSNR i SSIM. Ove metrike, odnosno parametri se koriste za određivanje



kvaliteta procesa ugrađivanja vodenog žiga i uopšteno obrade slike. PSNR predstavlja logaritamski odnos signala sa maksimalnom snagom (u ovom slučaju piksela sa najvišom vrednošću od 255) i šuma koji degradira kvalitet signala (slike) [9]. Za proračun šuma se koristi vrednost srednje kvadratne geške (*Mean Square Error*, MSE). PSNR se izražava u decibelima [dB]. SSIM parametar određuje koliko je slika sa vodenim žigom slična originalnoj slici. Vrednosti ovog parametra se kreću u opsegu od 0 (potpuno različita) do 1 (potpuno slična).

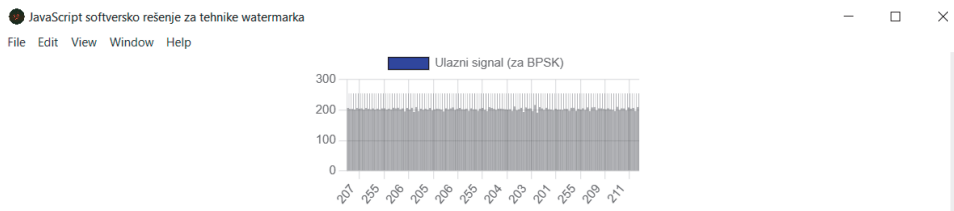
Početni korisnički interfejs softverskog rešenja je vidljiv na Slici 4. Korisnik ima mogućnost odabira proizvoljne slike sa računara. U primeru ovog rada je uzeta prva SAR slika sa Slike 3.



Slika 4. Odabir proizvoljne slike i prikaz u okviru softverskog rešenja

Nakon odabira slike, prikazuju se njeni osnovni podaci, koji se odnose na rezoluciju slike, ukupni broj piksela i njihove vrednosti. Primena tehnike proširenog spektra uslovlila je korelaciju između definisane originalne slike i vodenog žiga. Frekvencije originalne slike posmatrane su kao kanali na kojima se izvršava prenos FHSS signala. Inače, signal predstavlja binarnu sekvencu koju definiše vodeni žig.

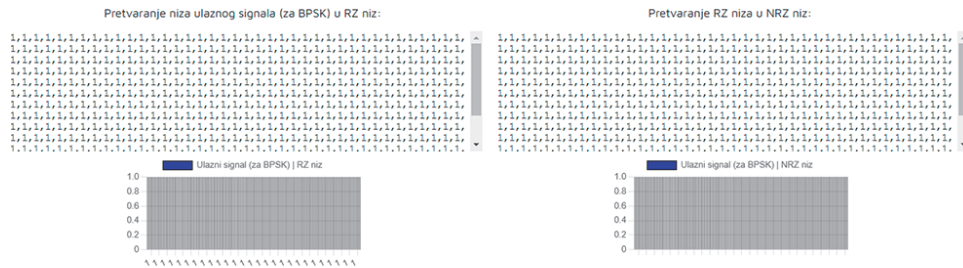
Za realizaciju tehnike vodenog žiga u okviru ovog rada biće potrebno prvih 512 piksela ulazne slike. Date vrednosti su ulaz za proces BPSK modulacije, a grafički prikaz vrednosti (ovih piksela) se može videti na Slici 5.



Slika 1. Grafički prikaz vrednosti signala za BPSK modulaciju

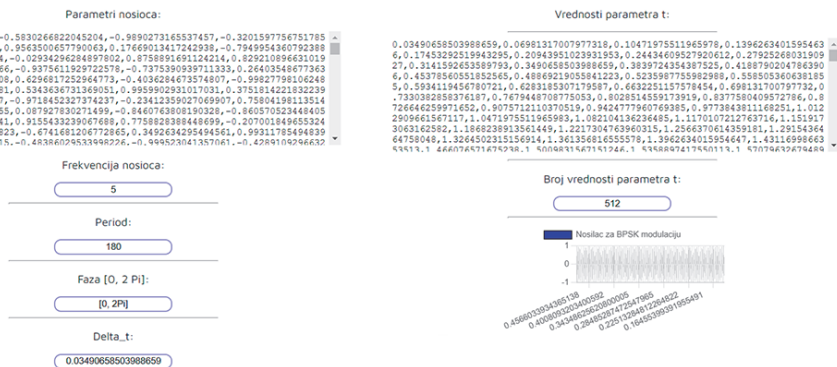


Sada sledi proces pretvaranja ulaznog signala za BPSK u niz sa povratkom na nulu, (RZ niz). Naredni korak je pretvaranje RZ niza u NRZ niz, uz prikaz numeričkih i grafičkih vrednosti, kao na Slici 6.



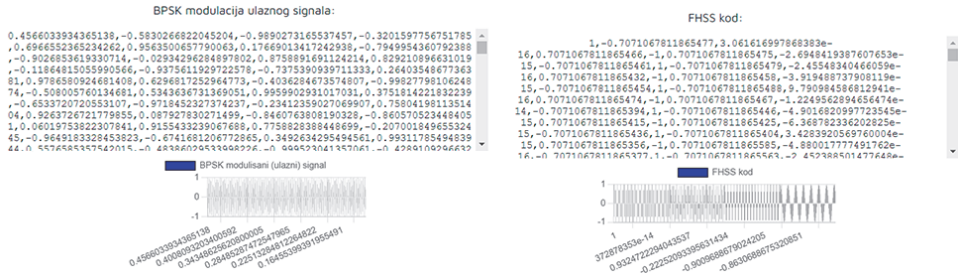
Slika 2. (a) Pretvaranje vrednosti piksela slike u RZ niz; (b) pretvaranje RZ niza u NRZ niz

Sledeći korak je generisanje signala nosioca. Generisane vrednosti signala nosioca, uz prapratne parametare (frekvencija nosioca, period, faza i vrednosti  $\Delta t$ ), kao i prikaz talasnog oblika signala vidljivi su na Slici 7. Može se primetiti da je signal nosilac zadobio oblik sinusoidalne funkcije slučajne promenjive.



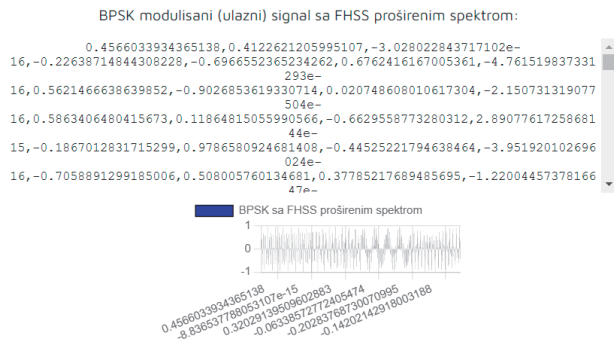
Slika 3. (a) Generisanje signala nosioca uz definisane parametre; (b) grafički prikaz vrednosti signala nosioca

Nakon generisanog signala nosioca sledi proces BPSK modulacije. Numeričke i talasne vrednosti BPSK modulisanog, ulaznog signala su vidljive na Slici 8(a). Numeričke i talasne vrednosti FHSS koda širenja su vidljive na Slici 8(b). U novonastalom signalu se mogu uočiti četiri (pomenuta) različita frekvencijska opsega.



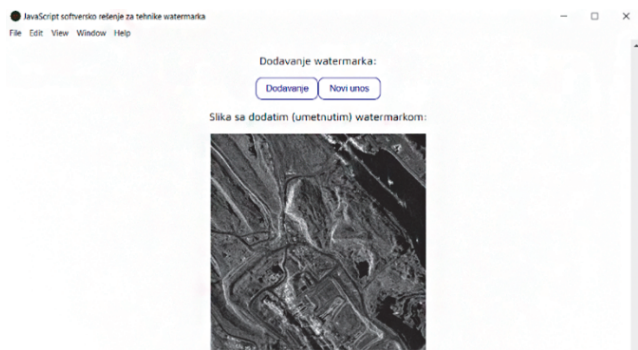
Slika 4 (a) Numeričke i grafičke vrednosti BPSK modulisanog signala; (b) numeričke i grafičke vrednosti FHSS koda širenja

Kao završni rezultat svih prethodno pomenutih metoda nastaje BPSK modulisani signal sa FHSS proširenim spektrom, čije se numeričke i talasne vrednosti mogu videti na Slici 9.



Slika 5. Numeričke i grafičke vrednosti BPSK modulisanog signala sa FHSS kodom

Ove vrednosti se oduzimaju od svake pojedinačne vrednosti ulazne sekvence 512 piksela originalne slike. Tako nastaje niz od 512 piksela koji su dodati novoj slici, (uz prethodno zaokruživanje na ceo broj) i to predstavlja vodeni žig. Nakon njegovog kreiranja, nova slika sa vodenim žigom se prikazuje u okviru interfejsa programa, kao na Slici 10.



Slika 6. Slika sa dodatim vodenim žigom

Dodati vodeni žig se može izdvojiti iz dobijene slike, uz prikazivanje njegovih numeričkih vrednosti. Kako bi se procenili efekti predloženog algoritma, na kraju se vrši poređenje dobijenih rezultata i proračun parametara PSNR i SSIM. Da bi se to obavilo, potrebni su propratni, pomoćni izrazi koje je potrebno primeniti pre dobijanja samih parametara. Neki od tih izraza se odnose na srednju kvadratnu grešku, proračun osvetljenja i kontrasta slike uz procenu standardne devijacije. Na Slici 11 su uočljive krajnje vrednosti PSNR i SSIM parametara.



Slika 71. Krajnje vrednosti PSNR i SSIM parametara

#### 4. Evaluacija dobijenih rezultata

U prethodna dva poglavlja je dat prikaz unosa SAR slika, dodavanja/izdvajanja vodenog žiga, dobijanja informacija o samoj slici, uz proračun parametara PSNR i SSIM. Prilikom ponavljanja datog postupka na veći broj slika, dobijaju se ohrabrujući rezultati. U ovom poglavlju su tabelarno predstavljene vrednosti parametara PSNR i SSIM nad uzorkom od četiri SAR slike različitih rezolucija. Slike su \*.jpeg i \*.png tipa. Treća i četvrta vrednost u Tabeli 1 se odnose na jednu sliku, koja je iz \*.jpg formata pretvorena u \*.png format. Može se uočiti da su rezolucija (izražena u pikselima - px), kao i vrednosti parametara PSNR i SSIM ostale iste.

Tabela 1. Tabelarni prikaz rezultata obrade nekoliko ulaznih SAR slika

Format slike	Rezolucija (px)	Tip slike	PSNR [dB]	SSIM
*.jpg	832x837	SAR	85,48	0.999999998326913
*.jpg	835x831	SAR	85,47	0.999999998331689
*.jpg	1221x820	SAR	87,06	0.999999998863758
*.png	1221x820	SAR	87,06	0.999999998862067
*.jpg	2739x1779	SAR	93,93	0.999999999741797
$\Sigma/n$	<b>1370x1017</b>		<b>87,80</b>	<b>0,99999999883</b>

Iz navedene tabele se može zaključiti da se sa povećanjem rezolucije slike povećava vrednost PSNR parametra, kao i SSIM. Dobijene vrednosti ovih parametara, na osnovu testiranih (ulaznih) slika su iznad 85 dB za PSNR, i 0,999999 za SSIM gde je broj piksela svake slike veći od  $10^5$  piksela dobijen jednostavnim množenjem širine i visine slike (npr.  $832 \times 837 \text{ px} = 696384 \text{ px}$ ). Originalna slika će se razlikovati od novonastale slike sa vodenim žigom za 512 piksela, o čemu i govore visoke vrednosti vršnog odnosa-signal šum (mala srednja kvadratna greška), kao i visok indeks strukturalne sličnosti slike (SSIM – približno jednak jedinici).

## 5. Zaključak

Na osnovu rezultata ovog rada, zaključak bi bio da je moguće razviti funkcionalno softversko rešenje za tehnike ugrađivanja vodenog žiga sa GUI interfejsom uz pomoć programskog jezika *JavaScript*. Program bi odlikovao korisnički interfejs koji nije komplikovan za korišćenje, uz izvršavanje svih operacija i zadataka, bez prevelike aktivnosti krajnjeg korisnika. Trenutno program dobro funkcioniše sa \*.jpg i \*.png slikama, dok je za rad sa npr. \*.tif/\*.tiff formatom slika potrebna prethodna konverzija što se odnosilo i na slučaj u testiranju ovog algoritma u neki od dva navedena formata (upotrebom drugih metoda, npr. na vebu).

Brzina obrade i učitavanja slike zavisi od performansi uređaja (računara/telefona) na kome se obavlja, ali je svakako izazov u optimizaciji softverskog rešenja i postizanju još boljih rezultata, koji su trenutno dobri za testirane rezolucije slike.

Kreirani vodeni žig u ovom radu sadrži 512 piksela i daje visoke vrednosti parametara PSNR i SSIM. Takođe jedan od bitnijih izazova bi bio kreiranje žiga većeg kapaciteta uz postizanje brze obrade i visokih performansi parametara PSNR i SSIM. Za budući rad je značajno testiranje i kombinacija nekih drugih modulacionih tehnika sa tehnikama proširenog spektra, uz definisanje pogodnog programskog koda.

## Literatura

- [1] A. Rashid, "Digital Watermarking Application and Techniques: A Brief Review", *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, vol. 5, issue 3, pp. 147-150, 2016.
- [2] B.K. Singh, T. Dua, "Image Authentication Using Digital Watermarking", *International Journal of Computational Engineering Research (IJCER)*, vol. 5, issue 4, pp. 2250-3005, April 2015.
- [3] T. Nguyen-Thanh, T. Le-Tien, "Study on Improved Cooperative Spread Spectrum Based on Robust Blind Image Watermarking", *Journal of Advances in Information Tehnology*, Vol. 11, No. 3, August 2020.
- [4] A. Gavrovska, I. Reljin, A. Samčović, M. Miliwojević, G. Zajić, V. Starovoitov, "On luminance reduction in high dynamic range synthetic aperture radar images", 25. Telecommunication Forum TELFOR 2017, Belgrade, Serbia, pp. 605-608, 21-22 November 2017.
- [5] G. Boquet, et al., "LR-FHSS: Overview and performance analysis", *IEEE Communications Magazine*, vol. 59, no. 3, pp. 30-36, 2021.
- [6] I. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", *IEEE Transactions on Image Processing*, December 1997.
- [7] JavaScript softversko rešenje za tehnike watermark-a – proJS-w, dostupno na: <https://github.com/alukovic/proJS-w>
- [8] R.A. Alagu Raja, K. Vaiyammal, "Change Detection on SAR Images", *International Journal of Engineering & Technology (IJERT)*, vol. 5, issue 17, 2017.
- [9] U. Sara, M. Akter, M. S. Uddin, "Image Quality Assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR - A Comparative Study", *Journal of Computer and Communications*, pp. 8-18, March 2019. doi:10.4236/jcc.2019.73002

**Abstract:** *Digital image watermarking technique has found its place as an essential element of modern multimedia communication systems, primarily due to the protection of the copyright of the original image. The idea of this paper is to create a software solution for the application of digital watermarking technique with BPSK modulation and FHSS spread-spectrum methods, using the JavaScript programming language. A user selects an arbitrary image from the computer and receives basic information about the image. The corresponding steps include: extracting the first 512 pixels of the input image, converting them into a return-to-zero (RZ) sequence and a non-return-to-zero (NRZ) sequence, and forming five carrier signals (as preparation for BPSK modulation), respectively. The given (BPSK) modulated signal is now spread by the FHSS method. Final results are verified on SAR images by PSNR and SSIM, as important objective parameters for image quality assessment.*

**Keywords:** *BPSK modulation, FHSS spread-spectrum, JavaScript, multimedia, watermarking*

**DIGITAL WATERMARKING OF SAR IMAGES USING  
BPSK MODULATION AND SPREAD SPECTRUM**

Andreja Samčović, Ana Gavrovska, Aleksandar Luković

## **A NOVEL POWER ALLOCATION ALGORITHM FOR UPLINK NOMA OVER FISHER-SNEDECOR F FADING CHANNEL**

Aleksandra Panajotović, Jelena Anastasov, Dejan Milić, Daniela Milović  
University of Niš – Faculty of Electronic Engineering,  
aleksandra.panajotovic@elfak.ni.ac.rs

**Abstract:** *The growing demands for massive connectivity and data-hungry applications and services in wireless systems, stand out the non-orthogonal multiple access (NOMA) as a promising technique for 5G and beyond against orthogonal multiple access (OMA). Therefore, in this paper, we propose a novel power allocation algorithm based on the sum data rate for a power-domain two-user NOMA uplink system. Namely, the closed-form expression for the sum data rate is derived, for the system under consideration, over a composite Fisher-Snedecor (F) fading channel. Based on the proposed analytical presentation of the sum data rate, numerical results are also provided. The impact of the interplay of different fading/shadowing channel conditions and various users' positions on the performance metric is examined. Presented results have a high level of generality since F fading model provides accurate characterization of the multipath/shadowing conditions in numerous communication scenarios of interest.*

**Key words:** *composite fading channels, non-orthogonal multiple access, sum data rate, uplink communication*

### **1. Introduction**

The 5G networks face challenges in terms of supporting large-scale heterogeneous data traffic due to the ubiquity of modern multimedia applications such as ultra-high-definition video, virtual reality, as well as numerous use of Internet of things (IoT) and machine-to-machine (M2M) in different aspects of life [1]. Besides increasing demands of data traffic, all of these technologies require significant high spectral efficiency, massive connectivity, and capacity providing, at the same time, fairness among the users/devices. Unfortunately, the conventional orthogonal multiple access (OMA) techniques, such as time division multiple access (TDMA), frequency division multiple access (FDMA), and code division multiple access (CDMA), which have a limited number of available orthogonal resources, can not answer to those challenges. Additional problem is that despite using orthogonal domain resources, the channel induced impairments almost inevitably destroy their orthogonality. This definitely degrades theoretical performance of OMA systems.

The concept of non-orthogonal multiple access (NOMA) has been proposed to support more users than the number of available domain resources, at the ultimate cost of increased receiver complexity caused by separating the non-orthogonal signals. The superiority of NOMA over conventional OMA is not seen only through massive

connectivity, but also through higher sum rate, better fairness, less transmission latency, and relaxed channel feedback [2, 3]. In addition, state of the art research on 6G integrates NOMA with the new emerging technologies that may be used in 6G. For instance, NOMA has been integrated with reconfigurable intelligent surfaces (RIS), unmanned aerial vehicle (UAV), terahertz, ambient backscatter communication (AmBC), simultaneous wireless information and power transfer (SWIPT), and cell-free massive multi-input multiple-output (MIMO) [4].

NOMA techniques can be divided into two major categories: power-domain NOMA and code-domain NOMA. For the first one, different power levels are allocated to different users in accordance to their channel conditions with the aim to achieve better system performance. In code-domain NOMA, different users are allocated with different codes and multiplexed over the same time-frequency resources, such as multiuser shared access (MUSA), sparse code multiple access (SCMA), and low-density spreading (LDS) [5]. The code-domain NOMA can enhance spectral efficiency, but it requires high transmission bandwidth and it is not easily applicable in the current systems. Opposite, the implementation of the power-domain NOMA does not require considerable changes in the existing networks, and also improves spectral efficiency without using additional bandwidth [6]. Therefore, our attention in this paper is focused on the power-domain NOMA. The process of power allocation plays a critical role in the design and strongly affects the performance of the power-domain NOMA. It can be classified as fixed power allocation and dynamic power allocation. Fixed power allocation model assigns the same power level to each user, while in the case of the dynamic power allocation model the power level for each user can be changed depending on the instantaneous channel state information (CSI). In the mobile environment, the dynamic power allocation model is shown as more effective than the other one.

There is a difference in work principle between downlink and uplink power-domain NOMA system. In downlink power-domain NOMA, multiple users share the same resource domains, but different power levels are allocated to them at the base station (BS)/transmitter. Due to the concept of NOMA system, demultiplexing of the transmitted signals should be done at receivers applying successive interference cancelation (SIC). In uplink power-domain NOMA, users also share the same resources, but they transmit signals to a common receiver/BS, simultaneously. Thus, the received signal is the superposed signal comprising of signals transmitted from all users. The SIC is employed at BS to decode the information transmitted from multiple users [7].

Fading is often caused by the interaction of signal components, formed by multipath and shadowed signal propagation mechanisms. Therefore, the characterization of this composite fading in the propagation channel is important for improving system performance. In general, the composite fading model is composed of a superposition of lognormal shadowing and a fading distribution (Rayleigh, Rice, Nakagami- $m$ , and Hoyt). The main drawback of the lognormal distribution is its analytical intractability. The gamma distribution is proposed as an alternative to the lognormal distribution. It is more mathematical tractable and leads to new composite fading models ( $K$  model, generalized  $K$  model) [8,9]. The Fisher-Snedecor,  $F$ , distribution is alternative to the composite generalized  $K$  distribution, and also it is proposed as better fit for the experimental data.

There are several studies dealing with various performance metrics for the uplink power-domain NOMA systems with perfect SIC. In [10], one can find a detailed overview of analyzed performance metrics of uplink NOMA systems over different fading channels.

Bearing in mind, the importance and actuality of  $F$  fading model, the outage performance of the uplink power-domain NOMA system over  $F$  composite fading channels has been already analyzed in our previous work. Since the applied power allocation algorithm influences the system performance, in this paper we propose a novel power allocation algorithm. Namely, relying on the analytical expressions for outage probabilities of users operating in the NOMA system, the new power algorithm is proposed to achieve the maximal sum data rate of uplink NOMA transmission [11].

## 2. System and channel model

In the system under consideration,  $2K$  cellular users are uniformly-distributed within a cell and grouped in clusters composed of two users. Grouping a large number of users in the NOMA cluster is not recommended because of the performance degradation due to residual interference, increased complexity, and power consumption. In addition, a high capacity gain can be achieved if users in the cluster have a significant disparity in channel gain, which can not be realized with a large number of users in clusters [11]. Each group consists of a cell-center, i.e. near user,  $U_{C-C}$ , a cell-edge, i.e. far user,  $U_{C-E}$ , and BS located at the center of the cell. Both users simultaneously transmit their information symbols,  $s_i$  ( $i = 1$  for  $U_{C-C}$  and  $i = 2$  for  $U_{C-E}$ ) to the BS over the same resource. One resource block (RB) is allocated to every cluster and all users are equipped with a single antenna (Fig. 1).

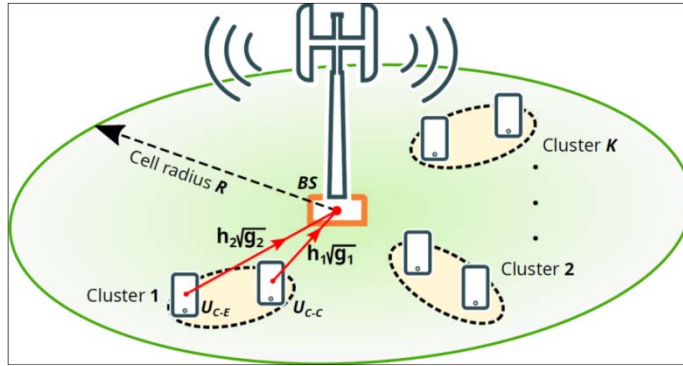


Figure 1. The system model of considered uplink NOMA

In the uplink NOMA system under consideration, the signal received at the BS is expressed as the linear combinations of two transmitted signals

$$y = \sum_{i=1}^2 \sqrt{g_i P_i} h_i s_i + n, \quad (1)$$

where  $h_i$  is the channel coefficient and  $P_i$  is the transmit power of the  $i$ -th user, with  $P$  representing the total power per RB. A distance-based path gain between the BS and the  $i$ -th user can be defined as  $g_i = g_0 / [H^2 + (x_i^2 + y_i^2)]^{\beta/2}$  [10], where  $g_0$  is the reference gain at the reference distance,  $\beta$  is the path-loss exponent,  $x_i$  and  $y_i$  are coordinates that define



the position of the  $i$ -th user in the cell, and  $H$  is the BS antenna height. It is satisfied that  $E\{|s_i|^2\} = 1$ , while  $n$  denotes additive white Gaussian noise (AWGN) with zero-mean and variance  $\sigma^2$ .

In uplink NOMA, the index of users follows the order of decreasing channel gains. Therefore, stronger channel user is decoded at the BS experiencing interference from all other users in the cluster with weaker channels. In other words, the transmission of the highest channel gain user encounter interferences from all users in the cluster, while the transmission of the lowest channel gain user experiences zero interference. Thus, we can write  $g_1|h_1|^2 > g_2|h_2|^2$ . Therefore, after decoding the signal sent by the first user, in our case by cell-center user,  $s_1$ , the BS subtracts  $\sqrt{g_1 P_1} h_1 s_1$  from the received signal  $y$ . Then the signal corresponding to the second user,  $s_2$ , is decoded. The received signal-to-interference-noise ratio (SINR) associated with the signal transmitted by the  $i$ -th user is

$$\gamma_{i,NOMA} = \begin{cases} \frac{g_1 P_1 |h_1|^2}{g_2 P_2 |h_2|^2 + \sigma^2}, & i = 1 \\ \frac{g_2 P_2 |h_2|^2}{\sigma^2}, & i = 2 \end{cases}. \quad (2)$$

The transmit power of the near and far users are  $P_1$  and  $P_2$ , respectively. They can be defined as  $P_1 = a_1 P, P_2 = a_2 P, a_1 > a_2$ , and  $0 < a_1 < 1$ , where  $a_1 + a_2 = 1$ .

The outage performance of the considered uplink NOMA system has been already analyzed in our previous work. Following that analysis, the outage probability of cell-center,  $U_{C-C}$ , and cell-edge,  $U_{C-E}$ , users are determined as

$$P_{out,1}(\gamma_{th,1}) = \frac{1}{\Gamma(m_1)\Gamma(k_1)\Gamma(m_2)\Gamma(k_2)} \sum_{r=0}^{+\infty} \frac{(-1)^r g_1^r k_1^r \bar{\gamma}_1^{-r}}{m_1^r \gamma_{th,1}^r r!} \\ \times G_{4,4}^{3,3} \left( \frac{m_2 g_1 k_1 \bar{\gamma}_1}{m_1 g_2 k_2 \gamma_{th,1}} \middle| \begin{matrix} 1, 1-k_2, r-m_1+1, r+1 \\ m_2, r+k_1, r, r+1 \end{matrix} \right) \quad (3)$$

and

$$P_{out,2}(\gamma_{th,2}) = 1 - [1 - P_{out,1}(\gamma_{th,1})] \left[ 1 - G_{2,2}^{1,2} \left( \frac{m_2 \gamma_{th,2}}{g_2 k_2 \bar{\gamma}_2} \middle| \begin{matrix} 1-k_2, 1 \\ m_2, 0 \end{matrix} \right) \right], \quad (4)$$

where  $\gamma_{th,i}$  and  $R_{c,i}(\gamma_{th,i} = 2^{R_{c,i}} - 1)$  are threshold rate and the target rate, respectively,  $m_i$  is the fading severity parameter,  $k_i$  is the shadowing factor, and  $\bar{\gamma}_i$  is the average SNR corresponding to the  $i$ -th user. The  $G_{p,q}^{m,n} \left( z \middle| \begin{matrix} - \\ - \end{matrix} \right)$  is Meijer's G function and  $\Gamma(\cdot)$  is Gamma function.

### 3. Power allocation algorithm

The performance of the NOMA system depends on user clustering, power allocation, and SIC. When we analyse the power allocation issue, the important parameters for the design of the algorithm are CSI availability, channel conditions, quality of service (QoS) requirements, total power constraints, etc. Some of the performance metrics that can be taken into consideration in determining of the power allocation algorithm are the sum rate, fairness, energy efficiency, number of admissible users, etc. Retrospective of some well-known power allocation algorithms can be found in [12].

In this paper, we propose a novel power allocation algorithm based on the achievable sum data rate of two-user NOMA transmission. Namely, the powers levels allocated to two users are determined to maximize the sum data rate, in the following way

$$\begin{aligned} \max R_{sum} = \max \{ & R_{c,1} [1 - P_{out,1}(P_1)] + R_{c,2} [1 - P_{out,2}(P_2)] \}, \\ & P_1 + P_2 = P. \end{aligned} \quad (5)$$

### 4. Numerical results

In this section, we analyze the previously determined power allocation algorithm. In the simulation setup, it is assumed that two users are uniformly distributed within a circle with radius of 200 m. BS is located in the center of the circle, mounted at height of 100 m. So, using notation  $(x, y, H)$ , the position of BS can be marked as  $(0, 0, 100)$ . Therefore, the position of cell-center and cell-edge users are marked as  $(x_1, y_1, 0)$  and  $(x_2, y_2, 0)$ , respectively. The additional used parameters are  $g_0 = 50dB$  and  $\beta = 3$ .

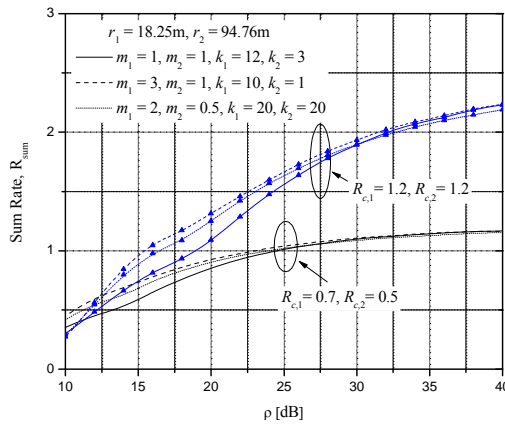


Figure 2. Sum data rate versus  $\rho$

Figure 2 presents the achievable sum data rate as a function of the signal-to-noise ratio (SNR),  $\rho = P/\sigma^2$ , for different channel conditions and different target data rates. It is evident that the increase in transmit power leads to growth in data sum rate. Moreover, data sum rate curve saturation, i.e. data sum rate maximum, is reached for high SNR

regime. This can be justified by the fact that the appropriate power allocation algorithm is applied. Otherwise, this upper limit value would not be achieved. In addition, in high SNR regime, the influence of channel parameters on the rate performance is insignificant. The parameter  $k$  defines the sharpness of the shadowing phenomenon, while the parameter  $m$  defines fading severity. Better channel conditions, i.e. higher values of parameters  $k$  and  $m$  (light shadowing and less severe fading conditions) ensure that system can offer higher data rate to users for small and moderate SNR values. In addition, results presented in Fig. 2 show that the channel conditions of stronger channel gain user play more important role in realization of upper value of data rate than the channel conditions of weaker channel gain user.

Figure 3 depicts the power level allocated to cell-center user,  $P_1 = a_1 P$ , to achieve the sum data rate shown in Fig. 2. The presented value of the power coefficient  $a_1$  is determined by Eq. (5). Power coefficient increment used in the numerical analysis

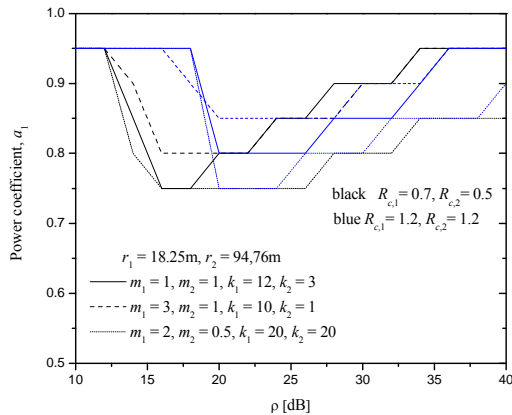


Figure 3. Power coefficient  $a_1$  versus  $\rho$

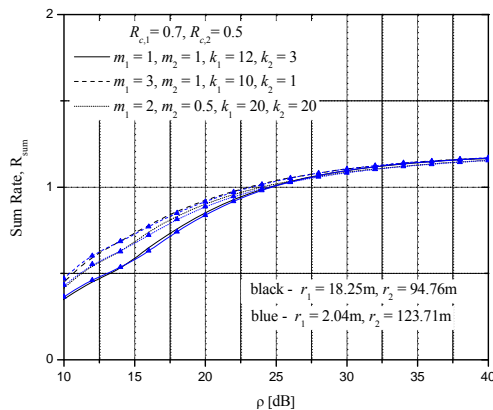


Figure 4. Sum data rate versus  $\rho$

is  $\alpha_1 = 0.05$ . Large fluctuations in the channel and system parameters do not provoke large fluctuations in allocated power since the value of the power coefficient  $\alpha_1$  is in the range  $[0.75, 0.95]$ .

In Fig. 4 the sum data rate versus SNR is also presented again. Namely, the achieved sum data rate of two-user NOMA system is analyzed when two different user positions in the cluster exist. Above all, the determined results show the main advantage of the proposed power allocation algorithm. More specifically, it provides the highest sum data rate as possible regardless of user positions.

At the end of this section, it should be discussed about the convergence of Eq. (3), since it is expressed in an infinite sum. Through the numerical analysis, it is confirmed that only a few terms ( $<10$ ) are required to achieve accuracy at the fourth significant digit.

## 5. Conclusions

In this study, a new power allocation algorithm for an uplink two-user NOMA system has been proposed. It is designed to enable maximum possible data rate that can be provided to users in NOMA. It is given in the form of infinite sum which is characterized by rapid convergence. Presented results have shown that user position relative to BS does not influence on effectiveness of the proposed algorithm. That presents its main advantage.

## Acknowledgements

This work has been supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

## References

- [1] Z. Liu, Y. Qin, M. ElKashlan, Y. Ding, A. Nallanathan, and L. Hanzo, "Non-orthogonal multiple access for 5G and beyond", *Proceedings of the IEEE*, vol. 105, no. 12, pp. 2347-2381, December 2017. DOI: 10.1109/JPROC.2017.2768666.
- [2] L. Dai, B. Wang, Z. Ding, Z. Wang, S. Chen, and L. Hanzo, "A survey non-orthogonal multiple access for 5G", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 2294-2323, May 2018. DOI: 10.1109/COMST.2018.2835558.
- [3] Z. Chen, Z. Ding, X. Dai, and R. Zhang, "An optimization perspective of superiority of NOMA compared to conventional OMA", *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 65, no. 19, pp. 5191-5202, October 2017. DOI: 10.1109/TSP.2017.2725223.
- [4] M. Mounir, M. B. El Mashade and A. M. Aboshosha, "On the selection of power allocation strategy in power domain non-orthogonal multiple access (PD-NOMA) for 6G and beyond", *Emerging Telecommunications Technologies*, May 2022. DOI: 10.1002/ett.4289.
- [5] M. Aldababsa, M. Toka, S. Göçkeli, G. K. Kurt, and O. Kucur, "A tutorial on nonorthogonal multiple access for 5G and beyond", *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018. DOI: 10.1155/2018/9713450.
- [6] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, and Z. Wang, "Nonorthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities and future research trends", *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 9, pp. 74-81, September 2015. DOI: 10.1109/MCOM.2015.7263349.

- [7] A. Agarwali, R. Chaurasiya, S. Rai, and A. K. Jagannatham, "Outage probability analysis for NOMA downlink and uplink communication system with generalized fading channel", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 220461 - 220481, December 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3042993
- [8] P. R. Espinosa and F. J. L. Martínez, "Composite fading models based on inverse gamma shadowing: theory and validation", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 20, no. 8, pp. 5034-5045, August 2021. DOI: 10.1109/TWC.2021.3065141
- [9] D. K. Yoo, P. C. Sofotasios, M. Valkama, and G. K. Karagiannidis, "The Fisher-Snedecor  $F$  distribution: a simple and accurate composite fading model", *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 7, pp. 1661-1664, July 2017. DOI: 10.1109/LCOMM.2017.2687438
- [10] N. P. Lee, L. C. Trab, X. Huang, J. Choi, E. Dutkiewicz, S. L. Phung, and A. Bouzerdoum, "Performance analysis of uplink NOMA systems with hardware impairments and delay constraints over composite fading channels", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 70, no. 7, pp. 6881-6897, July 2021. DOI: 10.1109/TVT.2021.3086045
- [11] Z. Zhang, H. Sun, and R. Q. Hu, "Downlink and uplink non-orthogonal multiple access in a dense wireless network", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, no. 2, pp. 2771-2784, July 2017. DOI: 10.1109/JSAC.2017.2724646
- [12] T. Sanjan and M. N. Suma, "Investigation of power allocation schemes in NOMA", *International Journal of Electronics*, 2021. DOI: 10.1080/00207217.2021.1939434

**Rezime:** *Masovna konekcija i sve veći broj zahteva za aplikacije i servise sa velikim protokom podataka, istakle su NOMA kao obećavajuću tehniku za 5G i buduće mreže u odnosu na OMA. Zbog toga smo u ovom radu predstavili novi algoritam za dodelu snage korisnicima, na osnovu agregatne bitske brzine u NOMA sistemu sa uzlaznim linkom i dva korisnika u klasteru. Naime, izveden je izraz u zatvorenom obliku za izračunavanje agregatne bitske brzine za dati sistem u kanalu sa Fisher-Snedecor ( $F$ ) fadingom. Koristeći izvedeni analitički izraz, prikazani su i numerički rezultati. Razmatran je međusobni uticaj fedinga i efekta senke u kanalu i pozicije korisnika u ćeliji na performanse sistema. Prikazani rezultati imaju veliki stepen generalnosti obzirom da  $F$  model fedinga obezbeđuje tačan opis uslova u kanalu sa fedingom i efektom senke za mnoge značajne komunikacione scenarije.*

**Ključne reči:** *kanal sa kompozitnim fedingom, NOMA, agregatna bitska brzina, uzlazni link*

**NOVI ALGORITAM ZA RASPODELU SNAGE ZA UZLAZNI  
NOMA LINK SA FIŠER-ŠNEDEKOROVIM  $F$  FEDINGOM**  
Aleksandra Panajotović, Jelena Anastasov, Dejan Milić, Daniela Milović

## UPRAVLJANJE PODACIMA U PAMETNIM GRADOVIMA

Vesna Radonjić Đogatović<sup>1</sup>, Marta Ivanović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, v.radonjic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup>Roaming Networks, marta.ivanovic@roamingnetworks.rs

**Rezime:** *Upravljanje podacima predstavlja skup procesa i veština koji su neophodni za organizaciju, čuvanje i deljenje podataka dobijenih tokom istraživačkog procesa. Upravljanje velikom količinom podataka od fundamentalnog je značaja za realizaciju pametnih gradova. Jedinstveni okvir za upravljanje podacima je kritičan za pametan grad i sve njegove aplikacije. U ovom radu razmatrani su ključni zahtevi za procese prikupljanja, obrade i distribucije podataka u pametnim gradovima, a posebna pažnja je posvećena zahtevima vezanim za privatnost i unapređenje bezbednog upravljanja podacima.*

**Ključne reči:** *Bezbednost, Internet stvari, Pametan grad, Privatnost, Upravljanje podacima*

### 1. Uvod

Od pametnog grada se očekuje korišćenje računarskih i komunikacionih resursa, integracija, kao i upravljanje i analiza ogromnih količina podataka da bi se omogućilo poboljšanje bezbednosti, efikasnosti i produktivnosti svih segmenata pametnog grada, a time i kvaliteta života građana [1].

Jedna od karakteristika savremenog, tzv. digitalnog doba je velika količina podataka u elektronskom obliku koja iz godine u godinu postaje sve veća, pogotovo u kompleksnim mega-korporacijama i visoko rizičnim radnim okruženjima. Pretraživanje, korišćenje i pravilno upravljanje podacima u svakom privrednom okruženju danas predstavlja izazov, kao i bezbednost i adekvatno skladištenje podataka [2]. Zbog toga, upravljanju podacima treba posvetiti posebnu pažnju.

Pametni gradovi predstavljaju urbana područja u kojima se podaci prikupljaju korišćenjem različitih metoda i uređaja. Integracija različitih ugrađenih uređaja i sistema u okviru pametnog grada omogućava funkcionisanje Interneta stvari (IoT, *Internet of things*) u pametnim gradovima. IoT generiše ogromnu količinu podataka koji se mogu iskoristiti za poboljšanje bezbednosti i efikasnosti, kao i omogućavanje novih servisa za stanovnike grada [3].

Proces upravljanja podacima sastoji se od tri faze:

- prikupljanja,
- obrade i
- deljenja, tj. distribucije podataka.

Prikupljanje podataka podrazumeva primenu standarda koji obezbeđuju doslednost kada se koriste različite tehnike prikupljanja podataka. Na primer, podaci dobijeni sa senzora u bežičnim senzorskim mrežama (WSN, *Wireless Sensor Network*) i mobilnim *ad hoc* mrežama (MANET, *Mobile Ad hoc Network*) moraju biti istog tipa i formata da bi se omogućila integracija podataka zajedno sa efikasnom obradom [1].

Obrada podataka može uključivati različite operacije kao što su brisanje, klasifikacija, pretraživanje, itd. Obim baza podataka, kao i potreba za obradom i procenom ogromnih količina podataka u poslovne svrhe u stalnom je porastu [3].

Osim prikupljanja i obrade podataka, neophodni su različiti obrasci pristupa podacima i alati za analizu podataka kako bi se nadgledale i poboljšale performanse aplikacija i servisa za efikasnu distribuciju podataka u okviru pametnog grada. Mere kvaliteta podataka će uspostaviti ravnotežu između efikasnosti i troškova na osnovu ciljeva pametnih gradova. Korišćenje podataka obezbeđuje ponovnu upotrebu prikupljenih podataka identifikacijom aplikacija i servisa koji zahtevaju isti skup podataka. Ovi aspekti su usko povezani i zahtevaju kritičku analizu tačnosti i efikasnosti u odnosu na troškove.

Pametni grad se sastoji od različitih kategorija krajnjih korisnika, kao što su građani, državne agencije, industrijski partneri, itd. Svaki krajnji korisnik ima svoj skup zahteva za aplikacije i servise pametnog grada, kao i za kvalitet servisa [2]. Na primer, građanima u pametnoj kući je prvenstveno potrebna dobra povezanost sa društvenim mrežama i video striming visoke rezolucije, dok javne zdravstvene ustanove mogu zahtevati bezbedne veze sa serverima na *cloud*-u za čuvanje i preuzimanje osetljivih informacija o zdravstvenoj zaštiti pacijenata. Stoga je upravljanje podacima značajno za diferenciranu distribuciju podataka i dodeljivanje prioriteta na osnovu različitih kategorija krajnjih korisnika, servisa i aplikacija u pametnom gradu.

Ovaj rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnog dela, u drugom poglavlju razmatrani su najznačajniji koncepti za upravljanje podacima, pristup i arhitektura održivog sistema upravljanja podacima u pametnim gradovima. Aspekti bezbednosti i privatnosti podataka razmatrani su u trećem poglavlju, sa posebnim osvrtom na upravljanje energijom i saobraćajem i transportom u pametnim gradovima. U četvrtom poglavlju data su zaključna razmatranja.

## 2. Značaj upravljanja podacima u pametnim gradovima

Odgovarajuće upravljanje podacima je osnova za pametne gradove. Suštinski, pametan grad povezuje informacione i komunikacione tehnologije radi distribucije podataka. Podaci iz IoT aplikacija, senzora i postojećih gradskih partnerskih sistema koriste se za analitiku kako bi podstakli ispunjavanje novih ciljeva razvoja grada. Ovo uključuje *open-source* podatke, *crowd-source* podatke, kao i podatke sa drugih povezanih uređaja ili izvora [4].

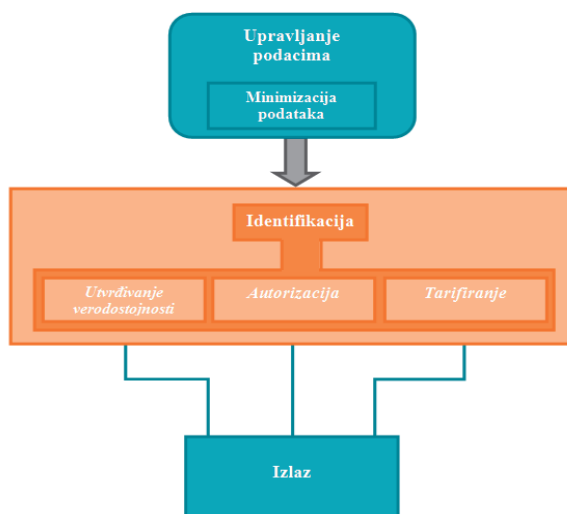
Za upravljanje podacima od velikog značaja su sledeći koncepti:

1. *Big data* predstavlja koncept koji definiše podatke pomoću karakteristika:
  - veliki obim podataka,
  - podaci se ne mogu prethodno rasporediti u tabele baze podataka i
  - podaci se kreiraju velikom brzinom i moraju se brzo prikupiti i obraditi.
2. Minimizacija podataka predstavlja značajan problem zbog prikupljanja i obrade velike količine ličnih podataka u bazama podataka različitih

institucija [3]. Cilj je da se ograniči prikupljanje i skladištenje privatnih podataka od strane velikih organizacija koje mogu zlorabiti ove podatke. Minimiziranje skupa podataka i vremena skladištenja može pomoći u zaštiti privatnosti pojedinca, koja može biti narušena od strane države ili drugih velikih organizacija.

3. *Data mining* može pomoći u donošenju odluka u mnogim oblastima kao što su maloprodaja, razvoj, telekomunikacije, zdravstvo, osiguranje i poštanske usluge. Koristi se za određivanje novih trendova kupovine, identifikaciju nezakonitih radnji i prevara korišćenjem kreditnih kartica, itd.
4. AAA (*Authentication, Authorization, and Accounting*) arhitektura obuhvata utvrđivanje verodostojnosti, autorizaciju i tarifiranje i ima značajnu ulogu u današnjim mrežnim tehnologijama. Bežičnim pristupnim tačkama je potreban AAA za zaštitu, takođe se AAA može koristiti za pristup mreži udaljenih korisnika [3]. AAA obuhvata sledeće elemente:
  - Klijent: Klijent je korisnik koji treba da pristupi mreži.
  - *Inline Security Getaway* (Autentifikator): Odgovoran je za utvrđivanje uslova pristupa korisnika.
  - Server baze podataka: Služi za skladištenje podataka koji će pomoći da se donese odluka o pristupu i potvrđuje kredencijale korisnika za pristup mreži.
  - AAA server: Preuzima zahtev klijenta od autentifikatora. Donosi konačnu odluku o finaliziranju pristupa mreži za klijenta.
  - Obračunski sistem: Prati proces korisnikovog pristupa mreži. Ovaj sistem je kontrolisan i u stanju je da prikupi informacije o korisnikovom pristupu mreži u određenom vremenskom periodu [3].

Na slici 1 prikazana je arhitektura održivog sistema upravljanja podacima.



Slika 1. Arhitektura održivog sistema upravljanja podacima

Pametni gradovi moraju integrisati podatke iz svih dostupnih izvora. Ovo prevazilazi uobičajeni problem nemogućnosti deljenja podataka zbog njihove



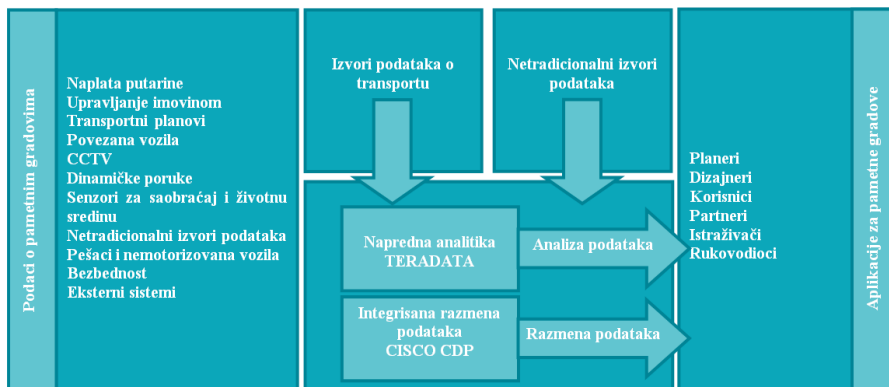
raspoređenosti u različite klase. Da bi se objedinili svi podaci i omogućila analiza koja prevazilazi pojedinačne klase ili organizacije, predlaže se pristup koji podrazumeva ukidanje klasa podataka [4]. Ovo rešenje za upravljanje pametnim gradom, u kombinaciji sa analizom, pruža različite mogućnosti za pametne gradove. Sa porastom potrebe za pametnim upravljanjem podacima, dolazi i do povraćaja investicija ili smanjenja troškova u gradu. Tim sredstvima se zatim mogu finansirati drugi projekti pametnih gradova.

Jedan primer prednosti unapređenja raspoloživosti podataka je mogućnost da se podaci iz povezanih i autonomnih vozila, zajedno sa analitikom kretanja građana dobijenih sa pametnih telefona, koriste za formiranje realne slike o ponudi i tražnji za gradskim prevozom. Na taj način, koriste se podaci o transportu, koji beleže gde ljudi žive i rade, kako bi urbanisti poboljšali prelazna rešenja i primenili inovativna transportna rešenja. Ovo su vitalne komponente analitičkog ekosistema sposobne da se integrišu, analiziraju i dele ogromne količine podataka u realnom vremenu. Ekosistem uključuje skladište podataka i analitičku platformu. To omogućava pametnom gradu da optimizuje resurse, poboljša infrastrukturu, kvalitet života stanovnika i omogući održivi ekonomski razvoj.

Pristup pametnom upravljanju podacima podrazumeva uspostavljanje, razvoj i povezivanje mogućnosti upravljanja podacima širom pametnog grada. Dakle, pametno upravljanje podacima omogućava:

- integraciju podataka sa senzora, drugih automatizovanih izvora i dodatnih podataka o gradu u jedinstvenu platformu kao koherentan tok podataka,
- automatsko korišćenje više izvora podataka u centralizovanom skladištu koje omogućava deljenje i analizu podataka i
- deljenje podataka, pri čemu način upravljanja kontroliše pristup podacima za svakog korisnika [4].

Na slici 2 prikazan je prethodno opisani pristup pametnom upravljanju podacima.

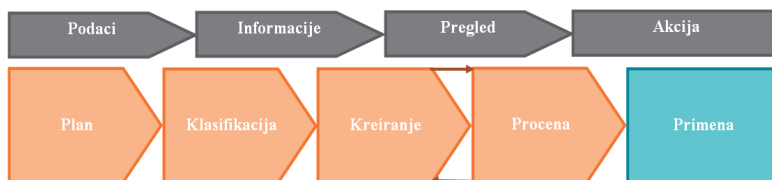


Slika 2. Pristup pametnom upravljanju podacima [4]

Pristup prikazan na slici 2 definiše dva kriterijuma:

- podaci su odmah dostupni i spremni za upotrebu i
- pravilna upotreba podataka donosi značajne koristi za grad.

Na slici 3 prikazana je jedna mogućnost sprovođenja pametnog upravljanja podacima u pametnim gradovima.

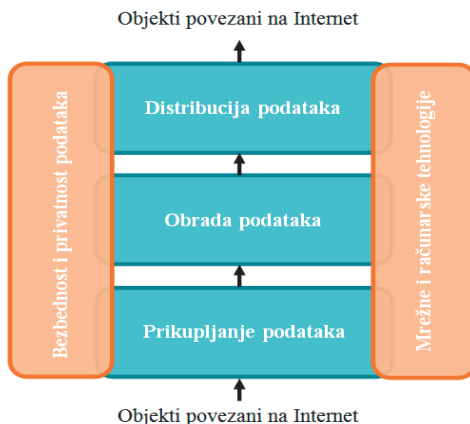


*Slika 3. Faze implementacije pametnog upravljanja podacima*

Pametno upravljanje podacima treba da podrži sve elemente pametnog grada. Ovaj pristup pomaže gradovima da evoluiraju od samostalnih ili usko fokusiranih projekata pametnih gradova do visoko integrisanih, poslovnih okruženja. Fokusirajući se na pametno upravljanje podacima, projektima pametnih gradova je zagarantovan uspeh kroz prikupljanje podataka, njihovu obradu i distribuciju do krajnjih korisnika.

### 3. Bezbednost i privatnost podataka

Realizacija pametnih gradova zavisi od interoperabilnog integrisanog pristupa. Značajan izazov u realizaciji pametnih gradova je upravljanje bezbednošću i privatnošću podataka, što je važno ne samo zbog sprečavanja potencijalnih nefunkcionalnosti aplikacija i servisa, već i da bi se sprečila paralizacija celog grada [5]. Da bi se omogućilo efikasno upravljanje podacima i eliminisale pretnje po bezbednost i privatnost koriste se mrežne i računarske tehnologije (Slika 4).



*Slika 4. Pregled životnog ciklusa podataka*

Kao što je ilustrovano na slici 4, posmatra se tok podataka kroz pametni grad počevši od različitih tehnologija za prikupljanje podataka, obradu i distribuciju. Ovo uključuje izazove u pogledu bezbednosti i privatnosti podataka, kao i softverske i tehnike virtualizacije koje omogućavaju različite mrežne i računarske tehnologije za jednostavnije funkcionisanje pametnih gradova.

Analiziranje izazova bezbednosti i privatnosti u pametnim gradovima nije jednostavno zbog složenosti sistema i uključenosti brojnih učesnika. Osim tehnoloških i socio-ekonomskih faktora, odluke gradskih vlasti takođe utiču na bezbednost i privatnost.

Pametni gradovi predstavljaju novu eru Interneta i komunikacije, a sa njom dolazi i novi skup pretnji sajber bezbednosti. U pametnim gradovima, milijarde uređaja prikupljaju, čuvaju i obrađuju podatke koristeći hardver ugrađen u okruženje. Zahvaljujući heterogenosti tehnologija u pametnim gradovima, bezbednost i privatnost predstavljaju višedimenzionalni problem, za koji tradicionalna rešenja možda neće biti dovoljna.

Još jedan aspekt ranjivosti je fizički distribuirana priroda pametnih gradskih mreža, koje bi mogle da sadrže ogroman broj malih uređaja i senzora, a predstavljaju izazov u pogledu bezbednosti i privatnosti. Fizički distribuirane mreže otežavaju pružanje fizičke bezbednosti i povećavaju površinu napada. Isto tako, upotreba jeftinih uređaja i senzora najavljuje nove pretnje za bezbednost i privatnost. Na primer, provalnici mogu da koriste snimke kamere, podatke sa senzora pokreta, mikrofone ugrađene u pametne televizore i slično, da otkriju kada u kući nema nikoga [5]. Takve pretnje bezbednosti i privatnosti dodatno se povećavaju upotrebom malih i jeftinih IoT uređaja koji možda nemaju mogućnosti da podrže kriptografska rešenja neophodna za protivmere uobičajenih pretnji bezbednosti i privatnosti.

Pametne kuće su još jedna komponenta pametnih gradova koja će predstavljati ogromne pretnje za bezbednost i privatnost. Kućni aparati postaju pametniji svakim danom i građani bi uskoro mogli da kontrolišu sve aspekte svojih domova, kako lokalno, tako i daljinski putem sistema pametnih kuća. *Google Home* i *Amazon Echo* su dva najnovija uređaja koji omogućavaju svojim vlasnicima da kontrolišu delove svojih domova. Pametni televizori opremljeni mikrofonom i kamerama, sigurnosne kamere sa sensorima pokreta, pametni termostati, pametna svetla, pametni frižideri, pametne brave na vratima, pametna brojila i pametne roletne već su prisutni u mnogim domovima. Iako su takvi sistemi značajni i mogu pomoći da ljudi bolje upravljaju svojim domovima, problemi upravljanja njihovom bezbednošću i privatnošću i dalje nisu dobro proučeni.

Na primer, zlonamerni korisnici mogu zloupotrebiti prikupljene podatke sa ličnih uređaja koji se koriste u domovima. Prikupljeni podaci se mogu koristiti za profilisanje i praćenje korisnika ili za pokretanje drugih vrsta napada [5]. Najupečatljivija razlika između tradicionalne računarske bezbednosti, napada na privatnost i napada na pametne kuće je broj različitih načina na koje zlonamerni korisnici mogu da dobiju pristup. Provalnici mogu da odrede gde i kada da opljačkaju ciljane kuće na osnovu signala sigurnosnih kamera, senzora pokreta, obrazaca korišćenja energije i mogu da dobiju pristup ciljnim domovima korišćenjem slabosti pametne brave. Takvi napadi ne mogu samo da prouzrokuju finansijsku štetu, već predstavljaju i ozbiljnu pretnju privatnosti.

### 3.1. Pretnje po bezbednost i privatnost

Platforma koja nadgleda i kontroliše gradsku infrastrukturu u pametnom gradu uvodi nekoliko novih pretnji po bezbednost i privatnost građana. Osnovni principi bezbednosti informacija su poverljivost, integritet i raspoloživost. Ovi principi važe i za druge aspekte pametnog grada. Poverljivost je potrebna da bi se zaštitila privatnost građana i važne informacije ostalih učesnika u upravljanju gradom. Integritet štiti podatke od modifikacija koje mogu dovesti do odluka štetnih po grad i njegove građane. U zahtevima za aktiviranje se potvrđuje autentičnost zahteva za izbegavanje neovlašćenih promena u fizičkoj infrastrukturi grada. Raspoloživost podataka je od suštinskog značaja

za upravljanje gradom. To je posebno potrebno u teškim situacijama i napadima, kada je potrebno koordinirati, na primer, spasilačke operacije za javnu bezbednost [6].

Kritična gradska infrastruktura mora biti zaštićena od zlonamernih napada bezbednosnim mehanizmima na platformi zasnovanoj na IoT. Štaviše, platforma mora da kontroliše pristup privatnim informacijama korisnika i podsistema. Generalno, napadi mogu ciljati IoT infrastrukturu u bilo kom trenutku, od uređaja na terenu, do komunikacionih kanala ili servera. Napad može pokušati da sabotira ili kompromituje podsisteme, preuzimajući kontrolu nad određenim aspektima grada. Drugi cilj su informativni podaci na IoT platformi, što ugrožava privatnost građana.

Osnovna klasifikacija pretnji obuhvata eksterne i interne pretnje.

Pošto platforma za pametne gradove omogućava pristup kritičnoj infrastrukturi i poverljivim podacima, može predstavljati metu eksternih napada. Informaciona platforma pametnog grada moraće da bude otporna na eksterne napadače. Eksterni napadači mogu napasti uređaje ili komunikacione kanale. Posebno treba uzeti u obzir sledeća pitanja:

- Neovlašćeni pristup podacima: Napadači mogu pokušati da pristupe privatnim podacima korisnika, komponentama ili podsystemu IoT okruženja. Na primer, potrošnja energije u gradskim područjima ili čak kućama je potencijalno interesantna za slučajeve neželjene komercijalne upotrebe. Platforma čuva informacije koje šalju senzori, tako da postoji rizik da napadač pokuša da pristupi ili izmeni privatne podatke.
- Neovlašćena kontrola uređaja: Odnosi se na uređaje integrisane u okruženje pametnog grada koji se kontrolišu automatski ili putem daljinskog upravljanja. To mogu biti displeji, semafori, sistemi grejanja ili čak protivpožarni izlaz. Platforma pod svim okolnostima mora sprečiti pogrešnu primenu ovih uređaja od strane eksternih napadača.
- Hakovanje i sabotaza: Postoji nekoliko mogućih scenarija gde eksterni napadači sabotiraju funkcionisanje gradske infrastrukture. Platforma mora da ponudi odgovarajuće mehanizme za sprečavanje upada i šifrovanje podataka kako bi se sprečio otkaz podsistema izazvanog neovlašćenim upadima. Kada napadač kompromituje delove sistema, on može da koristi ovaj kompromitovani podsystem da napadne kompletnu infrastrukturu pametnog grada, i tada bi delovao kao interni napadač.

Usled složenosti komponenti unutar pametnog grada, postoji nekoliko internih pretnji po bezbednost koje se moraju razmotriti. Interni napadači su posebno opasni. Oni dobro poznaju infrastrukturu, mogu direktno pristupiti ili kontrolisati sistem, pomoću gradske infrastrukture ili IoT platforme. Interni napadači mogu biti: korisnici ili administratori podsistema i hakeri koji su već kompromitovali delove sistema [6].

Jednom kada je deo sistema kompromitovan, hakeri mogu delovati kao interni napadači na ostatak infrastrukture. Mora se poštovati princip odbrane kako bi se izbeglo da kompromitovanje podsistema izazove napad na celokupnu infrastrukturu. Princip odbrane nalaže da se u sistem postavi više slojeva bezbednosne kontrole, tako da prevazilaženje jednog sloja bezbednosne kontrole i dalje ne kompromituje ceo sistem. U tom smislu se razmatra:

- Neovlašćeni interni pristup podacima: Interni napadači mogu imati mogućnost da zaobiđu određene mehanizme kontrole pristupa i tako pristupe podacima. Ako su podaci zaštićeni kriptografskim sredstvima, pristup važnim dokumentima je i dalje težak zadatak za interne napadače.

- **Narušavanje integriteta podataka i uređaja:** Integracija nekoliko podsistema u jednu platformu ugrožava integritet podataka komponenti sa neočekivanim sporednim efektima od drugih komponenti. Greške u softveru ili hardverski otkazi ne bi trebalo da utiču na podatke ili komunikaciju drugih komponenti.

### 3.2. Bezbedno upravljanje podacima u pametnim gradovima

Podaci prikupljeni u okviru pametnog grada moraju biti zaštićeni kako bi se smanjio rizik od krađe podataka koja može dovesti do krađe identiteta i finansijskih gubitaka. Neophodan je distribuirani okvir za IoT aplikacije koje prikupljaju, obrađuju i dele velike količine heterogenih podataka da bi se ostvarila bezbednost s kraja na kraj (E2E, *End-to-End*) i tačne informacije za potrebe donošenja odluka u skladu sa zahtevima privatnosti vlasnika podataka [6].

Zbog sve veće količine podataka u pametnim gradovima, koji su dostupni zahvaljujući ICT-u, predviđa se da će rizik i uticaj pretnji po bezbednost i privatnost biti sve veći i da može imati ozbiljne posledice po zajednicu. Stoga su istraživanja o rešenjima koja pružaju bezbedne operacije i omogućavaju zaštitu podataka i informacija od suštinskog značaja. Potrebno je realizovati bezbednu platformu za zaštitu senzora i uređaja, koja omogućava kontrolu pristupa resursima i bezbedno skladištenje i obradu podataka.

Podaci na platformu za podatke stižu sa različitih senzora, a aktuatori primaju komande za aktiviranje sa ove platforme. Platforma treba da nudi interfejs za različite vrste servisa, kao što su merenje i kontrola potrošnje energije ili saobraćajnih tokova. U nastavku su prikazane moguće upotrebe platforme za podatke u pametnom gradu.

#### 3.2.1 Upravljanje energijom

Očekuje se da će do 2050. godine preko šest milijardi ljudi živeti u gradovima i okolnim regionima [6]. Shodno tome, autonomno i pametno funkcionisanje gradova biće kritičan zahtev u bliskoj budućnosti. Izazovi koji se odnose na sposobnost gradske infrastrukture da zadovolji potrebe svakog građanina u pogledu vodosnabdevanja, transporta, zdravstvene zaštite, obrazovanja, bezbednosti i korišćenja energije, moraju se rešiti kako bi se očuvali i unapredili ekonomski, društveni i ekološki uslovi za blagostanje građana. U tom smislu je potrebno obezbediti referentni sistem sposoban da inteligentno upravlja korišćenjem energije u okviru pametnog grada, koji će istovremeno omogućiti potpunu kontrolu nad pristupom podacima.

Postizanje energetske efikasnosti u zgradama zahteva interakciju između brojnih subjekata koji obezbeđuju praćenje potrošnje energije i povratne informacije o potrošnji, koristeći sisteme automatizacije i senzore, i sprovode ekonomske strategije za uštedu energije. Da bi se ispunili takvi zahtevi na nivou grada, neophodno je obezbediti zajedničku platformu koja informiše korisnike o potrošnji energije, kao i da korisniku daje mogućnost interakcije sa sistemom kako bi definisao specifične strategije za uštedu energije ili kontrolisao sopstvene uređaje integrisane u platformu. Platforma koja uključuje uređaje i podatke zahteva da budu ispunjeni bezbednosni zahtevi da bi se obezbedila privatnost korisnika, pouzdani izvori podataka, poverljivost i bezbedna komunikacija [6].

### 3.2.2 Pametan saobraćaj i transport

Jedan od glavnih budućih izazova u pametnim gradovima biće upravljanje stalno rastućom količinom gradskog saobraćaja, što je posebno izraženo u svetskim metropolama. U skoro svakom većem gradu na svetu, saobraćajne gužve koje pogađaju velike delove užeg gradskog jezgra predstavljaju svakodnevnu pojavu. Ovo nije problematično samo zbog veće količine buke i zagađenja uzrokovanih saobraćajem, već takođe uzrokuje veće troškove transporta i značajno smanjuje bezbednost građana u saobraćaju.

Postojeća saobraćajno-transportna infrastruktura u gradu mora biti kombinovana sa platformom koja nudi rešenja za poboljšanje načina funkcionisanja, nivoa informisanosti učesnika i njihove bezbednosti u saobraćaju i transportu. Ovo će omogućiti integraciju različitih izvora podataka o saobraćaju i transportu. Primena odgovarajuće platforme za podatke imaće veliki značaj u upravljanju gradskim saobraćajem i transportom, posebno kada su u pitanju vanredne situacije. Najvažniji cilj platforme u ovom kontekstu primene predstavlja povezivanje različitih nezavisnih sistema, kako bi se izbegle vanredne situacije ili njihovo brzo rešavanje u slučaju da se dogode.

Da bi se efikasno implementirali Inteligentni transportni sistemi (ITS, *Intelligent Transportation Systems*), potrebno je obezbediti bežični pristup sa malim kašnjenjem i visoko pouzdanim prenosom u realnom vremenu, što omogućava arhitektura 5G bežične komunikacione mreže. Neophodno je da se podaci prikupljaju sa različitih senzora koji se nalaze na vozilima i putevima i da se automatski prikupljeni podaci analiziraju u realnom vremenu [7].

Očekuje se da vozila imaju percepciju u sopstvenom okruženju. Kao rezultat toga, savremeno vozilo je postalo senzorska platforma koja prenosi i prima podatke iz svog okruženja. Takvi podaci se mogu koristiti za podršku naprednim bezbednosnim aplikacijama koje se koriste sa ciljem redukcije broja saobraćajnih nezgoda, povećanja efikasnosti saobraćaja i poboljšanja pristupa vozilima hitnih službi. Međutim, ove aplikacije zahtevaju koordinisan okvir, sa funkcijama koje podržavaju veoma nisko kašnjenje za signale upozorenja, veće brzine prenosa senzorskih podataka između vozila i infrastrukture, visoku mobilnost, pouzdanost i skalabilnost.

## 4. Zaključak

Iako mnogi gradovi već primenjuju neke funkcionalnosti pametnih gradova, većina se zadovoljava samo malim delom čitavog spektra mogućnosti koje pametan grad može da ponudi. Jedan od razloga je nedovoljan stepen integracije i analize dostupnih podataka. Najbolji rezultati od monetizacije podataka postižu se kada se primenjuje ceo proces od prikupljanja podataka do konverzije u informacije, sve do konačnog definisanja akcija i strategija delovanja. Prema tome, prikupljanje, skladištenje, korišćenje podataka, a zatim i delovanje na osnovu podataka je izuzetno dragoceno za pametne gradove, kako za njihov dalji razvoj, tako i za njihovu ekonomsku stabilnost.

Pametni gradovi zahtevaju pametno upravljanje podacima kako bi korisnici dobijali relevantne informacije, a programerima aplikacija omogućili da kreiraju nove usluge i koriste analitiku za kontinuirano poboljšanje sistema pametnog grada. Imperativ je postići konvergenciju različitih uređaja i sistema sa jedinstvenim okvirom za

upravljanje podacima kroz njihov životni ciklus. Krajnji cilj je poboljšanje kvaliteta života građana, smanjenje troškova života i postizanje održive životne sredine.

U ovom radu su identifikovana ograničenja i predstavljeni istraživački izazovi za upravljanje podacima, bezbednost i privatnost podataka. Istaknuto je da je neophodan razvoj platforme podataka koja omogućava obradu i distribuciju podataka uz zaštitu bezbednosti i privatnosti. Neophodno je usvojiti niz inovacija i poboljšanja kako bi se odgovorilo na izazove koje nameće sve brži razvoj pametnih gradova i zahteve za konstantnim poboljšanjima svih aspekata funkcionisanja pametnog grada.

## Literatura

- [1] A. Kirimtat, O. Krejcar, A. Kertesz, M. F. Tasgetiren, "Future Trends and Current State of Smart City Concepts: A Survey," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 86448-86467, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2992441.
- [2] A. K. M. B. Haque, B. Bhushan, G. Dhiman, "Conceptualizing smart city applications: Requirements, architecture, security issues, and emerging trends", *Expert Systems*, Wiley, vol. 39, 2022, doi: 10.1111/exsy.12753
- [3] W. Burange, H. D. Misalkar, "Review of Internet of Things in Development of Smart Cities with Data Management & Privacy", *International Conference on Advances in Computer Engineering and Application (ICACEA)*, IMS Engineering College, Gazijabad, Indija, 2015, str. 189-195.
- [4] Teradata, "Smart Data Management is the Blueprint for Smart Cities", 2018, dostupno na: <https://cutt.ly/xYctO2O>
- [5] A. Gharaibeh, S. J. Hussini, M. Guizani, "Smart Cities: A Survey on Data Management, Security, and Enabling Technologies", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2017, vol. 19, br. 4, str. 2456-2501, doi: 10.1109/COMST.2017.2736886.
- [6] J. M. Bohli, A. Skarmeta, M. V. Moreno, D. García, P. Langendörfer, "SMARTIE Project: Secure IoT Data Management for Smart Cities", *International Conference on Recent Advances in Internet of Things (RIoT)*, str. 1-6, Singapur, 2015.
- [7] L. Guevara, F. Auat Cheein, "The Role of 5G Technologies: Challenges in Smart Cities and Intelligent Transportation Systems", *Sustainability*, 2020; vol. 12, br. 16: 6469, doi: 10.3390/su12166469

**Abstract:** *Data management is a set of processes and skills necessary to organize, store and share data obtained during the research process. Managing a large amount of data is of fundamental importance for the realization of smart cities. A unified data management framework is critical for a smart city and all its applications. This paper discusses the key requirements for the processes of data collection, processing and distribution in smart cities, and special attention is paid to the requirements related to privacy and the improvement of data management security.*

**Keywords:** *Security, Internet of Things, Smart City, Privacy, Data Management*

## DATA MANAGEMENT IN SMART CITIES

Vesna Radonjić Đogatović, Marta Ivanović

## **METODOLOGIJA ZA OCENU NIVOA PRIMENE ITS-a**

Dušan Mladenović<sup>1</sup>, Stefan Zdravković<sup>2</sup>, Đorđe Stanisavljević<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, d.mladenovic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, s.zdravkovic@sf.bg.ac.rs

<sup>3</sup>AMSS – Centar za motorna vozila, djordje.stanisavljevic@cmv.rs

**Rezime:** *Ubrzani razvoj drumskog saobraćaja u 21. veku prati primena novih, složenih rešenja iz oblasti inteligentnih transportnih sistema (ITS) koja imaju za cilj da unaprede efikasnost, efektivnost i bezbednost saobraćaja. Savremeni ITS primenjuju se u svim oblastima saobraćaja. U radu je predstavljen model za ocenu nivoa implementacije ITS-a koji se može koristiti i na nacionalnom i na lokalnom nivou. Cilj prikazanog modela je da omogući sagledavanje nivoa implementacije ITS-a na nekom području kao i poređenje istog sa drugim područjima (nacionalnim ili lokalnim). Razvijeni model se zasniva na tehnikama benčmarkinga, a za uspešnu primenu modela definisani su indikatori kojima se ocenjuje stepen implementacije ITS-a, kao i njihovi ponderi i način evaluacije. Ova metodologija može da predstavlja dragocen alat jer omogućuje ocenu i uporednu analizu nivoa implementacije ITS-a po deset definisanih kriterijuma.*

**Ključne reči:** *ITS, benčmarking, model ocene*

### **1. Uvod**

Sa ograničenim ekonomskim i prostornim resursima, nije izvodljivo kontinuirano širiti saobraćajnu infrastrukturu kako bi se adekvatno podržao ubrzani porast njenog korišćenja. Proširenje putne infrastrukture ne može da ide u korak sa povećanjem broja vozila, što dovodi do zastoja u saobraćaju. Pored težnje ka izgradnji novih puteva, neophodno je razviti nove inteligentne sisteme upravljanja i koordinacije transporta [1].

Značajan doprinos bezbednijem, efikasnijem i ekološki prihvatljivijem transportnom sistemu može pružiti upotreba savremenih tehnoloških rešenja iz oblasti inteligentnih transportnih sistema (ITS). Napredne informaciono-komunikacione tehnologije mogu u velikoj meri doprineti efikasnijem korišćenju raspoloživih infrastrukturnih kapaciteta, upravljanju saobraćajem i voznim parkom, olakšanom praćenju pošiljki i robe, efikasnijem povezivanju preduzeća i administracija i sl. ITS mogu igrati važnu ulogu u rešavanju ekoloških problema u urbanim sredinama i pružiti značajan doprinos razvoju održive urbane mobilnosti [2,3].



Osnovni razlozi za uvođenje ITS-a slični su svuda u svetu. Ovi sistemi pružaju prednosti širom društva, uključujući smanjenje smrtnih slučajeva i povreda u saobraćaju, smanjenje ukupnog nivoa zagušenja i smanjenje emisije štetnih gasova. Dakle, tri osnovna razloga za uvođenje ITS-a su unapređenje bezbednosti, efikasnosti i smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu. Prednosti implementacije ITS-a mogu biti:

- povećanje mobilnosti ljudi i tereta,
- smanjenje gužvi u saobraćaju,
- efikasnije upravljanje transportnom infrastrukturom u cilju boljeg korišćenja raspoloživih kapaciteta,
- smanjenje negativnog uticaja transporta na životnu sredinu,
- smanjenje broja i težine posledica saobraćajnih nezgoda.

Kumulativni uticaj niske stope iskorišćenosti dostupne infrastrukture, niske efikasnosti konverzije i neoptimalnog korišćenja resursa, doveli su do nekonkurentnih troškova transporta i transportnih interkonekcija, nedovoljnih da podrže slobodan protok robe i ljudi. Da bi transportni sektor bio efikasan, uvođenje ITS-a mora biti koherentno i pravilno koordinisano u svim oblastima. Postoje neki preduslovi za uspešno uvođenje i implementaciju ITS-a, uključujući postojanje određenih zakonskih, institucionalnih i tehnoloških kapaciteta. Uspešno uvođenje i primena ovih sistema se može vršiti selektivno, korak po korak, kako resursi dozvoljavaju. Postepena integracija tehnologije u infrastrukturu može doprineti značajnim uštedama iz ekološke i socio-ekonomske perspektive [1].

U radu je predstavljen model koji se može koristiti za ocenu razvoja ITS-a na nekom području. Cilj razvijenog modela je pored poređenja stanja razvijenosti ITS-a na istorodnim područjima, na nivou država ili gradova, da omogući i identifikaciju oblasti ITS-a koje su na pojedinim područjima slabije razvijene i kojima je potrebno posvetiti dodatnu pažnju prilikom planiranja budućeg razvoja. Razvijeni model se zasniva na tehnikama benčmarkinga, a za potrebe modela definisani su indikatori, pod-indikatori i ekspertska pitanja.

## **2. Indikatori za ocenu razvijenosti ITS-a**

Model za ocenu razvoja ITS-a zasnovan je na tehnikama benčmarkinga i može se primenjivati za ocenu i poređenje nivoa razvoja ITS-a na istorodnim područjima, između država ili gradova. Model se zasniva na više nivoa procene, a za svaki nivo, definisani su indikatori kojima se meri nivo razvoja ITS-a.

Prvi, najviši nivo, sadrži deset indikatora koji prema razvijenom modelu predstavljaju ključne oblasti ITS-a. Drugi nivo sadrži pod-indikatore koji su definisani za svaki od deset indikatora. Indikatori su hijerarhijski superiorniji u odnosu na pod-indikatore. Definisani pod-indikatori bliže opisuju indikatore i predstavljaju ciljeve koje je potrebno dostići u razvoju ITS-a u svakoj od 10 ključnih oblasti. Pod-indikatori se koriste u cilju detaljnijeg sagledavanja postojećeg stanja i dobijanja šire slike o nivou razvoja ITS-a, a samim tim i bolje identifikacije problema i potencijalnih oblasti kojima je potrebno posvetiti više pažnje. Treći nivo procene čine ekspertska pitanja koja su definisana za sve pod-indikatore. Na ekspertska pitanja odgovore pružaju predstavnici relevantnih institucija i organizacija na nacionalnom ili lokalnom nivou, ili eksperti koji koriste model ukoliko imaju sve potrebne podatke.

Indikatori prvog nivoa, odnosno definisanih deset ključnih oblasti razvoja ITS-a su:

- 1) **Pravni okvir ITS-a** – prepoznavanje razvoja i upotrebe ITS-a u zakonodavstvu i strateškim dokumentima koji predstavljaju osnovnu tačku za razvoj ITS-a i primenu u povećanju efikasnosti transporta, bezbednosti na putevima i smanjenju uticaja na životnu sredinu.
- 2) **Informisanje putnika** – usluge koje pomažu putniku u donošenju odluka pre i tokom putovanja: koji način putovanja koristiti, vreme početka putovanja, specifična rutu itd.
- 3) **Upravljanje saobraćajem** – upravljanje saobraćajem na putnoj mreži (priprema za upravljanje, nadzor saobraćaja, kontrola saobraćaja, sprovođenje regulacije saobraćaja itd.).
- 4) **Upravljanje potražnjom** – usluge za smanjenje saobraćajne potražnje na putevima i zagušenja u gradskim centrima naplaćivanjem korišćenja puteva i promovisanjem korišćenja drugih načina putovanja (smanjenje potražnje naplatom i korišćenje javnog prevoza).
- 5) **Upravljanje putnom mrežom** – održavanje puteva i opreme puta, uključujući popravke, čišćenje snega, upravljanje imovinom, reagovanje na loše vremenske uslove i sl.
- 6) **Napredni sistemi za pomoć pri vožnji** – automatizovani sistemi u vozilima za poboljšanje performansi vozila i pomoć vozaču u cilju bezbednije vožnje.
- 7) **Elektronske finansijske transakcije** – usluge koje omogućavaju automatsko elektronsko plaćanje putarina i naknada, prvenstveno na putevima i mostovima, kao i plaćanje parkinga i sl.
- 8) **Upravljanje komercijalnim vozilima** – usluge za podršku upravljanju voznim parkom i teretnim transportom.
- 9) **Upravljanje javnim prevozom** – usluge za poboljšanje efikasnosti i performansi javnog prevoza, kao što su upravljanje redom vožnje i mehanizmi plaćanja usluge javnog prevoza.
- 10) **Reagovanje na incidente i opasnost** – usluge za reagovanje na nastanak nezgoda i u drugim hitnim slučajevima, koje obuhvataju slanje vozila hitnih službi.

Pod-indikatori, definisani za svaki indikator, kao i njihovi težinski koeficijenti prikazani su u tabeli 1. U tabeli 2 prikazan je primer ekspertskih pitanja koja su definisana za pod-indikatore koji pripadaju hijerarhijski superiornom indikatoru Upravljanje saobraćajem.

*Tabela 1. Indikatori i njihovi pod-indikatori*

Indikatori	Težinski koeficijent indikatora	Pod-indikatori	Težinski koeficijent pod-indikatora
Pravni okvir ITS-a	10	Zakonski okvir ITS-a	50
		Strateški okvir ITS-a	50

<b>Informisanje putnika</b>	10	Pružanje informacija na ličnim uređajima (mobilni telefoni, računari i sl.)	15
		Pružanje informacija u vozilima putem komunikacionih uređaja opšte namene	10
		Pružanje informacija putem DSRC-a	15
		Pružanje informacija putem saobraćajnih znakova sa izmenljivim sadržajem	15
		Pružanje informacija putem reklamnih panela	15
		Usluge pretplate	15
		Personalizovane usluge	15
<b>Upravljanje saobraćajem</b>	10	Centar za kontrolu saobraćaja	15
		Prikupljanje podataka o saobraćaju putem fiksnih uređaja	10
		Prikupljanje podataka o saobraćaju putem mobilnih uređaja na vozilima	10
		Znakovi sa izmenljivim sadržajem	15
		Semafori sa fiksnim vremenskim intervalima	10
		Semafori sa automatski promenljivim vremenskim intervalima u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja	15
		Znakovi upozorenja na prekoračenje brzine	10
		Sistemi prinude (kamere za brzinu, prolazak na crveno svetlo i sl.)	15
<b>Upravljanje potražnjom</b>	10	Park & Ride	50
		Naplata ulaska u centralne gradske zone	50
<b>Upravljanje putnom mrežom</b>	10	Upravljanje putnom mrežom na osnovu digitalizovanih podataka o putevima i saobraćaju	50
		Automatska reakcija na sneg/led na kolovozu	50
<b>Napredni sistemi pomoć pri vožnji</b>	10	Prosečna starost vozila u voznom parku	50
		Subvencije za kupovinu vozila opremljenih savremenim sistemima aktivne bezbednosti	50
<b>Elektronske finansijske transakcije</b>	10	Elektronska naplata putarine	50
		Elektronsko plaćanje parkinga	50
<b>Upravljanje komercijalnim vozilima</b>	10	Elektronski administrativni procesi	35
		Nadzor i praćenje vozila	35
		Automatizovana provera saobraznosti vozila prilikom tehničkog pregleda	30

<b>Upravljanje javnim prevozom</b>	10	Elektronsko plaćanje usluga	20
		Praćenje lokacije vozila	20
		Prednost vozilima javnog prevoza u raskrsnicama	20
		Fleksibilna ponuda usluga javnog prevoza u zavisnosti od potražnje	20
		Elektronsko praćenje parametara funkcionisanja Sistema javnog prevoza	20
<b>Reagovanje na incidente i opasnost</b>	10	Obaveštenje o saobraćajnoj nezgodi	30
		Upravljanje incidentnim situacijama	35
		Reagovanje u slučaju nezgoda sa vozilima za prevoz opasnih materija	35

*Tabela 2. Ekspertska pitanja za pod-indikatore koji pripadaju hijerarhijski superiornom indikatoru Upravljanje saobraćajem*

<b>Pod-indikator</b>	<b>Ekspertska pitanje</b>	<b>Koeficijent <i>k</i></b>
<b>Centar za kontrolu saobraćaja</b>	Uspostavljen i potpuno opremljen i funkcionalan centar za kontrolu saobraćaja	1
	Uspostavljen i delimično opremljen centar za kontrolu saobraćaja	0,5
	Nema centra za kontrolu saobraćaja	0
<b>Prikupljanje podataka o saobraćaju putem fiksnih uređaja</b>	Sistem prikupljanja podataka putem fiksnih uređaja instaliran na većem delu putne mreže	1
	Sistem prikupljanja podataka putem fiksnih uređaja instaliran na pojedinim tačkama putne mreže	0,5
	Ne postoji sistem za prikupljanje podataka putem fiksnih uređaja	0
<b>Prikupljanje podataka o saobraćaju putem mobilnih uređaja na vozilima</b>	Prikupljanje podataka o putnoj mreži sa više vozila	1
	Prikupljanje podataka o putnoj mreži sa jednim vozilom	0,5
	Nema vozila za prikupljanje podataka o putnoj mreži	0
<b>Znakovi sa izmenljivim sadržajem (VMS)</b>	VMS koji u realnom vremenu prenosi informacije o zagušenjima, ograničenjima, kao i slobodnim parking mesta na svakom važnom delu putne mreže	1
	VMS koji prenosi informacije u realnom vremenu o zagušenjima, ograničenjima, kao i slobodnim parking mestima na nekim delovima putne mreže	0,5
	Samo VMS koji u realnom vremenu prenosi informacije o slobodnim parking mestima	0,3
	Nema VMS-a	0

<b>Semafori sa fiksnim vremenskim intervalima</b>	Sve semaforizovane raskrsnice su sa fiksnim vremenskim signalima koji menjaju fazu u fiksnim intervalima	1
	Nekoliko semaforizovanih raskrsnica je sa fiksnim vremenskim signalima koji menjaju fazu saobraćajnog u fiksnim intervalima	0,5
	Nema semaforizovanih raskrsnica	0
<b>Semafori sa automatski promenljivim vremenskim intervalima u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja</b>	Sve semaforizovane raskrsnice su sa fleksibilnim vremenskim signalima koji automatski menjaju fazu u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja	1
	Nekoliko semaforizovanih raskrsnica su sa fleksibilnim vremenskim signalima koji automatski menjaju fazu u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja	0,5
	Nema semaforizovanih raskrsnica koje automatski menjaju fazu u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja	0
<b>Znakovi upozorenja na prekoračenje brzine</b>	ITS uređaj za automatska upozorenja o prekoračenju brzine na delovima putne mreže sa visokim rizikom prekoračenja brzine i u zonama škola	1
	ITS uređaj za automatska upozorenja o prekoračenju brzine samo u zonama škola	0,5
	Nema ITS uređaja za automatsko upozorenje o prekoračenju brzine	0
<b>Sistemi prinude (kamere za brzinu, prolazak na crveno svetlo i sl.)</b>	ITS uređaj za automatsku detekciju prekoračenja brzine, prolaska na crvenom svetlu, kretanje vozila žutom trakom i detektovanje drugih prekršaja	1
	ITS uređaji za automatsku detekciju prekoračenja brzine	0,3
	ITS uređaji za automatsku detekciju prolaska na crvenom svetlu	0,3
	ITS uređaji za automatsku detekciju kretanje vozila žutim trakama	0,3
	Nema ITS uređaja za automatsku detekciju prekršaja u saobraćaju	0

### 3. Metodologija za ocenu razvijenosti ITS-a

Svim indikatorima i pod-indikatorima dodeljeni su težinski koeficijenti na osnovu ekspertske procene. Težinski koeficijenti indikatora i pod-indikatora prikazani su u tabeli 2. Dodeljivanje težinskih koeficijenata izvršeno je na način da suma težinskih koeficijenata svih indikatora iznosi 100. Kod pod-indikatora, suma svih težinskih koeficijenata pod-indikatora koji pripadaju jednom hijerarhijski superiornom indikatoru iznosi 100.

Evaluacija vrednosti se vrši na dva nivoa. U prvom nivou ocenjivanja pod-indikatorima se dodeljuju koeficijenti  $k$  na skali od 0 do 1, zaokruženi na jednu decimalu. Koeficijenti koji se dodeljuju odgovarajućim pod-indikatorima zasnivaju se na mišljenju eksperta, a zatim se množe težinskim koeficijentom predmetnog pod-indikatora. Za procenu eksperti koriste unapred definisana ekspertska pitanja, odnosno iskaze koji bliže opisuju stanje razvoja ITS-a i odgovaraju određenim vrednostima koeficijenata. Na kraju evaluacije, veća vrednost indikatora i pod-indikatora ukazuje na bolje stanje napretka u pogledu razvoja ITS-a.

Prilikom dodeljivanja vrednosti koeficijenta  $k$  odgovarajućim pod-indikatorima moguće su sledeće opcije:

- U zavisnosti od procene koje od ekspertskih pitanja je zadovoljeno, ekspert može izabrati samo jednu moguću opciju, odnosno, samo jednu odgovarajuću vrednost koeficijenta  $k$ . Ne postoji opcija sabiranja više vrednosti koeficijenta  $k$ .
- Zbir svih mogućih vrednosti koeficijenta  $k$  je 1. U zavisnosti od procene koje od ekspertskih pitanja je zadovoljeno, ekspert može izabrati jednu ili više mogućih opcija, ali ne i sve moguće opcije. Maksimalni rezultat se može postići samo ako su ispunjena sva ekspertska pitanja, osim onog koje nosi vrednost koeficijenta  $k=0$ .

U prvom nivou evaluacije procena vrednosti pod-indikatora vrši se korišćenjem sledeće formule:

$$X_{2i} = \sum_{i=1}^n k_i * w_{2i} \quad (1)$$

gde je:

$X_{2i}$  – vrednost pod-indikatora  $i$ ,

$k_i$  – koeficijent  $k$  dodeljen pod-indikatoru na osnovu ekspertske procene,

$w_{2i}$  – težinski koeficijent pod-indikatora  $i$ ,

$n$  – broj koeficijenata  $k_i$  dodeljenih pod-indikatoru  $i$ .

U drugom nivou evaluacije vrši se određivanje vrednosti indikatora korišćenjem sledeće formule:

$$X_{1i} = \sum_{i=1}^n \frac{X_{2i} * w_{1i}}{100} \quad (2)$$

gde je:

$X_{1i}$  – vrednost indikatora  $i$ ,

$X_{2i}$  – vrednost pod-indikatora  $i$ ,

$w_{1i}$  – težinski koeficijent indikatora  $i$ ,

$n$  – broj pod-indikatora koji pripadaju jednom hijerarhijski superiornom indikatoru.

Na kraju svakog nivoa evaluacije, da bi se olakšao pregled dobijenih vrednosti pod-indikatora i indikatora, procenat uspešnosti može da se izračuna na sledeći način:

$$PX_{ni} = \frac{X_{ni}}{w_{ni}} * 100 \quad (3)$$

gde je:

$PX_{ni}$  – procenat uspešnosti posmatranog indikatora / pod-indikatora  $i$ ,

$X_{ni}$  – vrednost posmatranog indikatora / pod-indikatora  $i$ ,

$w_{ni}$  – težinski koeficijent posmatranog indikatora / pod-indikatora  $i$ ,

Za procenu razvoja ITS-a na nekom području, na osnovu procenta uspešnosti indikatora, razvoja ITS-a se može izračunati na sledeći način:

$$SX = \frac{\sum_{i=1}^{10} PX_{1i}}{10} \quad (4)$$

gde je:

$SX$  – procenjena vrednost razvijenosti ITS-a na nekom području,

$PX_{1i}$  – procenat uspešnosti indikatora  $i$ .

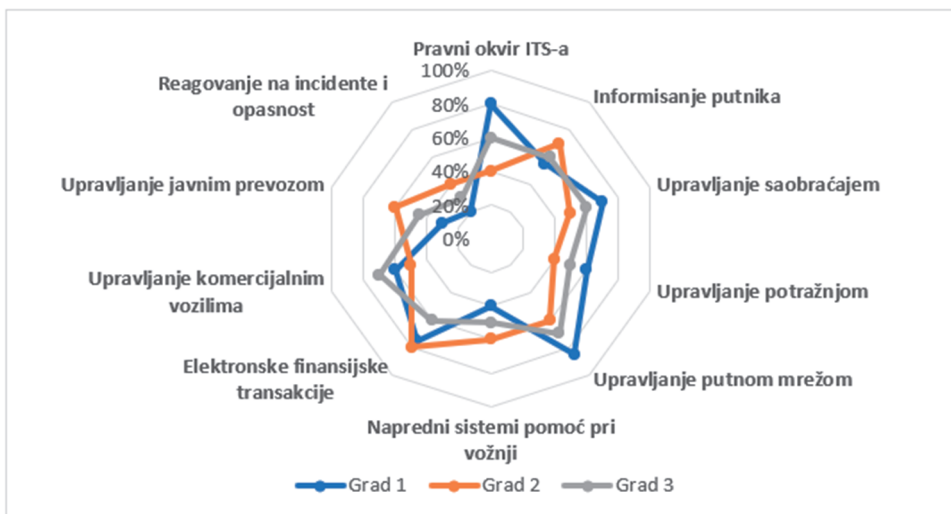
Dobijene vrednosti razvijenosti ITS-a na nekom području mogu se klasifikovati u pet klasa koje opisuju trenutni nivo njegove razvijenosti. Definisane klase su:

- Veoma visok nivo razvoja ITS-a – ocena razvoja ITS-a je veća ili jednaka 80,
- Visok nivo razvoja ITS-a – ocena razvoja ITS-a je između 60 i 79,
- Srednji nivo razvoja ITS-a - ocena razvoja ITS-a je između 40 i 59,
- Nizak nivo razvoja ITS-a – ocena razvoja ITS-a je između 20 i 39,
- Veoma nizak nivo razvoja ITS-a – ocena razvoja ITS-a je niža i jednaka 19.

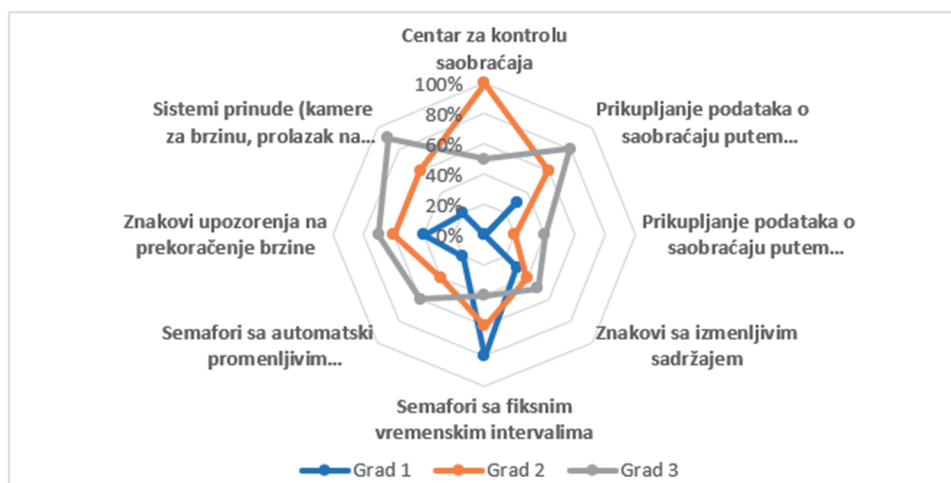
#### 4. Prikaz dobijenih rezultata

S obzirom da se predstavljeni model zasniva na tehnikama benčmarkinga dobijeni rezultati razvijenosti ITS-a na nekom području prikazuju se u spajder dijagramima. Dobijeni rezultati se mogu koristiti za poređenje razvijenosti ITS-a na istorodnim područjima, na nivou država ili gradova, ali i za identifikaciju oblasti ITS-a koja je slabije razvijena na nekom području. Takođe, pored dobijenih vrednosti indikatora (10 ključnih oblasti ITS-a) na spajder dijagramima se mogu prikazivati i vrednosti pod-indikatora u cilju poređenja sa drugim područjima, ali i utvrđivanje segmenata u kojima je neka oblast slabije razvijena.

Na sledećim slikama prikazani su primeri poređenja razvijenosti ITS-a između tri grada. Na slici 1. prikazano je poređenje razvijenosti 10 ključnih oblasti ITS-a i moguće je identifikovati oblasti u kojima su pojedini gradovi više, odnosno manje razvijeni. Na slici 2. prikazano je poređenje vrednosti pod-indikatora koji pripadaju hijerarhijski superiornom indikatoru Upravljanje saobraćajem. Takođe, sa slike 2. mogu se identifikovati i oblasti u kojima su pojedini gradovi više, odnosno manje razvijeni. Cilj prikazanih rezultata je da se identifikuju oblasti ITS-a kojima je u budućnosti potrebno posvetiti više pažnje u pogledu njihovog razvoja.



Slika 1. Primer poređenja nivoa razvijenosti indikatora ITS-a između gradova



Slika 2. Primer poređenja nivoa razvijenosti pod-indikatora u okviru indikatora Upravljanje saobraćajem

## 5. Zaključak

Razvijeni model se zasniva na benčmarking tehnikama što omogućava jednostavno uporedno poređenje stanja razvijenosti ITS-a na istorodnim područjima. Grafički prikaz rezultata na spajder dijagramima omogućava jednostavno vizuelno poređenje i identifikaciju slabije razvijenih područja.

Upotrebom razvijenog modela nesumnjivo se mogu identifikovati područja na kojima je ITS-a na nižem nivou razvoja. Takođe, primenom modela mogu se izdvojiti



oblasti ITS-a koje su na nekom području slabije razvijene, što može imati velikog uticaja na planiranje raspoloživih sredstava namenjenih unapređenju ITS-a u budućnosti.

Prednost razvijenog modela ogleđa se u njegovoj fleksibilnosti. Model se može prilagođavati u zavisnosti od potreba. Indikatori i pod-indikatori čije vrednovanje nije moguće na nacionalnom, odnosno lokalnom nivou, mogu se izbaciti iz modela uz korekciju težinskih koeficijenata ostalih indikatora, odnosno pod-indikatora. Takođe, u zavisnosti od budućeg razvoja ITS-a na globalnom nivou, definisana lista indikatora, pod-indikatora i ekspertskih pitanja može se dalje proširivati i model se može dalje unapređivati.

## Literatura

- [1] Kolosz, B., and Grant-Muller, S. (2016). Sustainability assessment approaches for intelligent transport systems: the state of the art. *IET Intelligent transport system*, 10(5), 287-297. DOI: 10.1049/iet-its.2015.0025
- [2] Bell, M.C. (2006). Environmental factors in intelligent transport systems. IEE Proceedings - *Intelligent Transport Systems*, 153(2). DOI: 10.1049/ip-its:20060017
- [3] Mangiaracina, R., Perego, A., Salvadori, G., and Tumino, A. (2016). A comprehensive view of intelligent transport systems for urban smart mobility. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(1), 39-52. DOI: 10.1080/13675567.2016.1241220
- [4] Shan, N., Kumar, S., Bastani, F., and Yen, I.L. (2012). Optimization models for assessing the peak capacity utilization of intelligent transportation systems. *European Journal of Operational Research*. 216(1), 239-251. DOI: 10.1016/j.ejor.2011.07.032

**Abstract:** *The development of modern traffic in the 21st century follows the implementation of new, modern digital solutions from the field of ITS, which aim to improve the efficiency, effectiveness and safety of traffic. Modern Intelligent Transport Systems (ITS) are applied in all areas of traffic. The paper presents a model for assessing the level of deployment of ITS that can be used both at the national and local levels. The goal of the presented model is to provide an overview of the development of ITS in an area as well as a comparison of the development of ITS in the same areas (national and local). The developed model is based on benchmarking techniques, and for the successful application of the model, indicators have been defined that evaluate the degree of development of ITS in various fields of application, as well as their weightings and method of evaluation. This methodology can be a valuable tool because it provides evaluation and comparative analysis of the level of implementation of Intelligent Transport Systems according to ten defined criteria.*

**Keywords:** *ITS, benchmarking, assessment model*

## METHODOLOGY FOR ASSESSING THE LEVEL OF ITS DEPLOYMENT

Dušan Mladenović, Stefan Zdravković, Đorđe Stanisavljević

## **ROAD SAFETY KEY PERFORMANCE INDICATORS COLLECTING AND SHARING OVER INTERNET OF VEHICLE INFRASTRUCTURES**

Suzana Miladić-Tešić<sup>1</sup>, Milan Tešić<sup>2</sup>, Katerina Folla<sup>3</sup>

<sup>1</sup>University of East Sarajevo - Faculty of Transport and Traffic Engineering  
suzana.miladictesic@sf.ues.rs.ba

<sup>2</sup>Road Traffic Safety Agency of the Republic of Serbia, milan.tesic@abs.gov.rs

<sup>3</sup>National Technical University of Athens - Department of Transportation Planning and Engineering, katfolla@central.ntua.gr

**Abstract:** *Road safety key performance indicators (KPI) are the indicators reflecting those operational conditions of the road traffic system that are influencing the system's safety performance. The European Commission developed a set of common methodological guidelines for the data collection and estimation of the KPIs in the EU countries. In the near future, the automated process of KPIs data collection, accompanied by advanced smart solutions in urban areas, smart in-car solutions, etc. can significantly improve data quality. The objective of this paper is to explore the process of road safety KPIs data collection and sharing using Internet of Vehicles (IoV) networking. In that context, a star rating of driver's behaviour could be done and such data could be shared aiming to better improve drivers' safety behaviour.*

**Keywords:** *Road safety, internet of vehicles, key performance indicators*

### **1. Introduction**

In order to better handle the road safety problem in the EU (*European Union*) Member States, the EC (*European Commission*) adopted the EU Road Safety Policy Framework 2021-2030, in which emphasis has been placed on monitoring road safety progress. To that end, a set of eight road safety key performance indicators has been suggested to be collected under a common methodology to better grasp different road safety issues and define the earlier goal-oriented actions for improving the road safety [1].

Over the last years, digital technologies have been transforming the economy and society, affecting all sectors of activity, especially those of transport and mobility. With an aspiration to become a global “digital data hub” the EC adopted the European strategy for data in 2020 [2]. Building on the ongoing experience of the research community with regard to the EOSC (*European Open Science Cloud*), the EC will support the establishment of nine common European data spaces, including also a common European mobility data space. Based on the growing need to facilitate data-

sharing/reuse, the EC has initiated the development of the EOSC since 2016 [3]. The aim was to link the existing infrastructures from research sectors and MS (*Member States*) in order to ensure sharing of research data [4]. The EOSC is the basis for a science, research and innovation data space that will bring together data resulting from research and deployment programs and will be connected and fully articulated with the different sector data spaces [5], [1]. Within this context, the need for establishing a TRC (*Transport Research Cloud*) as a subset of the EOSC platform has already been declared [6], [4].

Recent progress in the development of AI (*Artificial Intelligence*) tools, supported by the development of cloud computing technologies and 5G mobile communication networks is a strong driving factor for upgrading traditional VANETs (*Vehicular Ad-hoc Networks*) into flexible heterogeneous IoV (*Internet of Vehicles*) global communication architectures, which are expected to satisfy strict communication requirements related to the networking of a wide range of entities (vehicles, pedestrians, infrastructure equipment, personal devices, sensors, etc.) for the needs of future IoV applications. Such a level of coordination will be necessary for the provision of the pace and the critical mass of road safety data required for comprehensive and in-depth analysis of the road safety situation in a territory, detection of emergency problems at an earlier stage, evaluation of road safety measures, exchange of best knowledge, etc.

The objective of this paper is to explore the development of a road safety KPIs data ecosystem that could be integrated into the TRC as a subset of the EOSC platform. The Section 2 reviews the basis and road safety KPI in the EU and Serbia. The Section 3 presents IoV models of connectivity and integration of some software and cloud technologies into a single platform. The open data platform for road safety KPIs and a proper governance plan are explored in the Section 4. Finally, conclusions are drawn in the Section 5.

## **2. Road safety key performance indicators**

### **2.1. The basis of road safety KPI**

The development of the modern, more human method of road safety management is underway worldwide, based on the monitoring of a variety of safety (key) performance indicators. Until now, in a not-so-insignificant number of countries, road safety management has been based only on road crashes and their consequences. From [7], via the most important projects dealing with the research of safety performance indicators in a territory, up until the third Mobility Package Europe on the move – Sustainable Mobility for Europe: safe, connected, and clean [8], many individual studies and research have been carried out globally dealing with road safety performance indicators. KPIs can give a more complete picture of the level of road safety and detect the emergence of problems at an earlier stage [9]. The compromise between the need for as many indicators as possible and the real situation (availability of only a limited number of indicators for specific territories) eventually means identifying the most significant indicators (a comprehensive set of performance indicators).

### **2.2. Road safety KPI in the EU and the Republic of Serbia**

The Staff Working Document titled EU Road Safety Policy Framework 2021-2030 – Next steps towards “Vision Zero” recommended the establishment of a range of

road safety KPIs that are directly related to the prevention of road deaths and serious injuries. The EC has defined a general methodological consideration applicable to all indicators. Also, the EC-funded project Baseline has further developed a set of common methodological guidelines for the data collection and estimation of the KPIs in the EU countries, including minimum data requirements, measurement procedure and data analysis requirements. With these methodological considerations, the various restraints can be overcome and the standardization of the suggested key indicators for international comparisons can be achieved. Nevertheless, the Republic of Serbia has been monitoring and measuring safety performance indicators following the best practices since 2013. The Road Traffic Safety Agency is the main road safety stakeholder responsible for monitoring road users' behavior.

Although a road safety assessment level obtained on the basis of a narrower comprehensive set of KPIs can offer an adequate and efficient way of road safety monitoring [10], the road safety assessment performed based on a broader set of KPIs will provide a more accurate identification of good and poor road safety performances, which is in line with the recommendations by [9].

### **3. Internet of vehicles networking in urban environments**

#### **3.1. IoV models of connectivity**

The IoV concept presents a complex heterogeneous system of hierarchically organized communication networks and includes different modes of connectivity (V2X, *Vehicle-to-Everything*), such as communications between vehicles, V2V (*Vehicle-to-Vehicle*), vehicle communications with traffic infrastructure, V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*), connecting vehicles to the Internet and other communication networks, V2N (*Vehicle-to-Network*), vehicle communications with pedestrians/personal devices in the environment, V2P (*Vehicle-to-Personal Device*) and gathering information from various sensors, V2S (*Vehicle-to-Sensor*). IoV focuses on the intelligent integration of people, vehicles, things and environments with the aim to provide different services. It implies an open and integrated traffic management network system and consists of multiple users, multiple vehicles, multiple things and multiple networks. Intelligent interfaces are used to integrate heterogeneous networks. IoV services offer road users numerous benefits (level of service, safety, etc.) and also have a significant impact on the reduction of energy consumption and minimization of costs and travel time.

Wireless technologies and protocols used in IoV networking can be divided into three general categories: mobile cellular networks (Wi-Max, 4G/LTE, 5G/NR); dedicated networks for vehicles (DSRC/WAVE) and short-range networks (WiFi, Bluetooth, ZigBee, NFC and others). Table 1 shows some WAT (*Wireless Access Technology*) technologies that can be used for the networking needs of various entities in IoV systems. Selection of appropriate WAT technology for specific IoV application and QoS (*Quality of Service*) requirements is done according to priority, data transfer rates, communication range, mobility support, delay, security level, network compatibility, etc. As one of the promising solutions for future IoV systems, the upcoming 5G mobile cellular network certainly stands out, thanks to a range of advanced technologies, such as mm-waves, ultra-dense networks, massive MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) antenna concept, beamforming and full-duplex technology. The mentioned technologies provide numerous

advantages in terms of the ability to meet the requirements of future IoV applications, providing increased bandwidth, high data transfer rates, high reliability of communications, low delays, etc.

Table 1. Characteristics of different wireless technologies for IoV applications [11]

Type of network	Name of technology	Standard	Frequency range	Maximum range
Mobile cellular networks	Wi-Max	IEEE 802.16 d/e	2-11 GHz	50 km
	4G/LTE	3GPP	700 MHz - 2.7GHz	10 m - 100 km
	5G/NR		700 MHz - 6 GHz > 24GHz (mm)	~ 4G/LTE < 500m
Dedicated networks for vehicles	DSRC/WAVE	IEEE 802.11 p	5.9 GHz	1000 m
Wireless networks for short ranges	Wi-Fi	IEEE 802.11 a/b/g/n	2.4 - 5 GHz	100 m
	Bluetooth	IEEE 802.15.1	2.4 GHz	10 - 100 m
	ZigBee	IEEE 802.15.4	868-915 MHz, 2.4 GHz	10 - 100 m
	NFC	ISO/IEC 18092	13.56 MHz	< 10 cm

The abbreviations in the table imply: Wi-Max (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), LTE (*Long Term Evolution*), NR (*New Radio*), DSRC (*Dedicated Short Range Communication*), WAVE (*Wireless Access in Vehicular Environments*), 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Program*), Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), NFC (*Near Field Communications*), IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), ISO/IEC (*International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission*).

Effective planning and allocation of IoV network resources is a challenging task. Considering that urban environments include a large number of intersections and frequent changes in topology, it is necessary to bear in mind that the density of the distribution of vehicles is uneven, that is, the density of a network is variable, which can affect the functionality of the communication network. The model of a heterogeneous IoV architecture in an urban area consists of vehicles equipped with appropriate wireless communication equipment, network gateways at intersections, cellular base stations, RSU (Road Side Unit) units and other infrastructure equipment [12],[13]. If a vehicle speed is known, the range of wireless devices for vehicle networking and the density of vehicles on a certain road section, it is possible, according to the analysis presented in [12], to model the connectivity of network nodes in a dynamic IoV environment through the following four attributes: the probability of establishing connections, time data packet forwarding capacity, data forwarding link capability and packet error probability.

### 3.2. Integration of software and cloud technologies into a single IoV platform

The concept of IoV requires new perspectives on the development of platforms, algorithms and techniques for controlling vehicles and traffic generated by users through a combination of cloud, network and virtualization techniques. This includes software-defined networking (SDN), network function virtualization (NFV, *Network Function*

*Virtualization*), fog/edge computing and the use of containers [14]. SDN is based on the separation of the control plane and the user plane. NFV, standardized by ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), involves the creation of a dynamic network in a virtual environment, enabling any network configuration required for testing. Edge/fog computing enables data processing and storage to be brought closer to end users. It is implemented in the form of an intermediary between the cloud and IoT infrastructure [15]. Containers enable virtualization at the application level, by running services across different platforms.

In existing networks, each technology has its own control planes, which is why the network consists of several layers, each of them having its own configuration and resource reservation, and the management of such a network through several control planes is very complex. Software-defined networking implies the separation of the data plane from the control plane. In this way, the limitations of distributed routing related to configuration mechanisms, data duplication, etc. are overcome. The data plane includes the transmission of data, while the control plane implies a centralized system that manages the forwarding of such data.

The SDN vehicle network architecture includes SDN-based components, such as RSUs, base stations or even individual vehicles, which achieve a higher level of control and automation of VANET networks and enable the realization of SDVN (*Software Defined Vehicular Networking*) networking. The control plane enables the establishment, maintenance and management of connections through regulated paths. In this way, the efficient transfer of user data from the initial node to the end node through different domains is enabled. The exchange of signalling messages takes place through a special protocol between software components that we call signalling controllers. Signalling controllers (switches/routers) collect data on traffic (e.g., speed and density of vehicles) and application characteristics and make a decision on the routing method. By integrating SDN and SDN-enabled equipment (RSU, base stations or vehicles), the network manager is allowed to allocate resources, avoid interference, integrate multiple types of technologies (Wi-Fi, Wi-Max, LTE, NR), control traffic congestion and serve traffic demands evenly [16].

Network virtualization aims to minimize hardware by using a generic infrastructure based on servers and virtual machines (VMs) that adapt to the physical infrastructure. In this way, any configuration or addition of resources is enabled according to the requirements. NFV is highly dependent on cloud computing, and hypervisors that are responsible for separating processing and memory resources from hardware. This makes it possible to develop software independently of hardware and vice versa. A software called a hypervisor fully emulates the server's hardware resources, which allows them to be shared between a large number of VMs.

Applying the concept of cloud computing to support big-data-based IoV services leads to numerous disadvantages, such as increased delay, insufficient efficiency and poor scalability of the system. The key cause of these problems stems from the centralized concept of cloud service data processing and storage. To overcome these problems, advanced solutions based on distributed fog/edge computing are proposed, which achieve the localization of cloud services (cloudification of the network).

Fog Computing (FC) represents an extension of the cloud environment, which is realized as an intermediary step between the cloud and the IoV infrastructure with the aim of bringing computer resources and fast data transfer closer to the end users (data

sources). It significantly reduces the delay compared to the centralized cloud architecture. Any device that has the ability to process, store and transmit information is called a fog node, regardless of whether it is an industrial controller, switch, router, embedded server, advanced surveillance camera, etc. [15]. Although FC does not have the processing and memory capabilities of cloud resources, its most important feature is to ensure sufficiently low latency within the operation of the corresponding IoV applications.

Edge computing (EC) or computing at the edge of the network is also a distributed concept of computing, where all computing operations are performed directly on end devices (e.g. sensors/actuators, vehicles) or on their interfaces. EC has similar functionalities to FC, and the basic difference between these two concepts stems from the different positions where data processing is performed. Unlike FC, which involves the transfer of data from end devices/interfaces to fog nodes within the local computer network (LAN) for their processing, with EC all computer operations are performed on end devices, without the need for data exchange via the LAN network.

Software containers are a way to run applications in their own isolated process. As their name suggests, containers are used to "pack" only what is needed to run the application. The integration of containers into a single IoV platform refers to the application of virtualization, that is, the virtual creation of services or applications. An application that runs using a container means that the libraries are installed in the containers, not in the operating system. Containers are executed as separate (isolated) processes that share the resources of the operating system on which they are launched, and their launch takes significantly less time. Because they require fewer resources (they don't need an entire operating system), they are easier to ship and provide the ability to run multiple services using the same hardware. The container contains only the application, the necessary libraries, components on which the application depends and configuration files, which makes the application independent of the infrastructure on which it runs [17].

## **4. Open data platform for road safety KPIs**

### **4.1. Platform concept**

Over recent years, the need for open data in the transport research area has been more relevant than ever, due to the great number of different types of data collected by researchers, transport stakeholders, private companies and public authorities associated with the increasingly real-time data collection from vehicles, infrastructure and various applications. One of the biggest initiatives to promote Open Science in transport research is the H2020 project BE OPEN, funded by the EC. Within this context, the importance of collecting performance indicators has been also emphasized in [18], including them in the structure of road safety management, as part of the platform for global road safety data analysis. The synthesis of the results of the [4] led to the formulation of ten recommendations grouped into five thematic areas, which are considered essential for the development of a sustainable TRC, as a subset of the EOSC platform. Following the EC's efforts to ensure the collection and monitoring of KPIs at the EU level, as useful tools for monitoring road safety progress, the need to define an open data platform for road safety KPIs (OPEN RSPIs) has been widely recognized. Further on, the platform is compatible with the EOSC principles, such as: multi-stakeholders, openness, FAIR principles, the federation of infrastructures, and machine-actionable.

The EOSC system consists of three layers: 1) the federating core (or the EOSC-Core), 2) the federation of existing and planned research data infrastructures, and 3) the EOSC-Exchange that builds on the EOSC-Core to ensure a rich set of services (common and thematic). In accordance with the EOSC structure, an open data platform for road safety KPIs engagement of the wider public/ government sector and private sectors have been proposed. As shown in Figure 1, the platform proposed can be exploited by both the EC/DG Move and the MS to monitor road safety progress, identify and exchange best practices through cross-country comparisons, as well as to identify major road safety problems. The governance plan implies a proxy at the national level (Route 1) between the EOSC-TRC and the leading government road safety stakeholder, which is responsible for KPIs measurement, collecting and monitoring at national level, as well as for national research and science stakeholders or private sector. In addition, the leading government road safety stakeholder and research stakeholders may engage in the EOSC via one or more umbrella organizations (Route 2), (i.e., ECTRI, FEHRL, etc.), addressing different layers of the EOSC, primarily the providers of the EOSC-Core and those enabling the EOSC-Exchange. Initially, both routes are acceptable since umbrella organizations are expected to bring their members closer to the EOSC and align their needs with EOSC principles. But in the long-term and within the context of established open science culture, Route 1 is indeed the most appropriate.

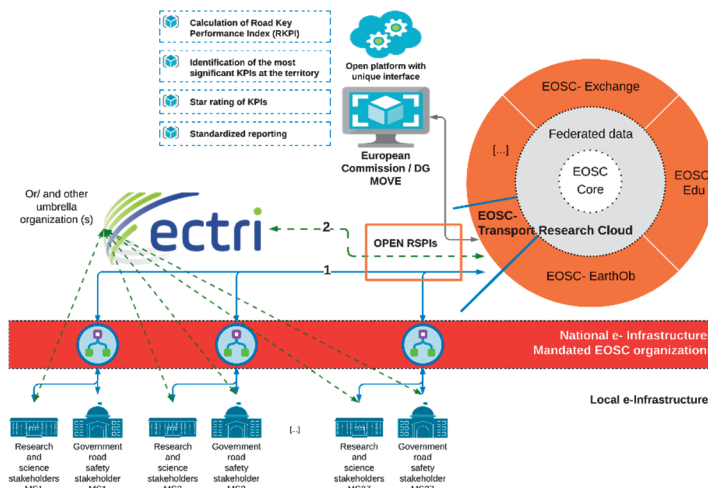


Figure 1. Concept of the open data platform for road safety KPIs (OPEN RSPIs) [19]

No matter which route is used for communication with the EOSC, all Member States need to define a comprehensive methodology for collecting and monitoring KPIs at the national level, which is completely in line with the EC minimum methodological requirements. Nevertheless, this methodology should define a leading road safety stakeholder for collecting KPIs (e.g., ministry of transport or leading traffic safety agency), the list of KPIs (in line with EC recommendations) and a list of additional safety performance indicators (e.g., related to vulnerable road users), a sustainable funding source for periodic, long-term monitoring of indicators, as well as mechanisms for reporting to the parliament, citizens, etc. Being able to recognize the importance and



generate the proposed platform value, as part of the EOSC- TRC, the governance plan implies direct involvement of the EC/DG Move, as a focal point for KPIs management at the EU level.

The results of [4] indicate that a culture and practices of data sharing still need to be developed in the area of transport research. The establishment of an open data platform for road safety KPIs will contribute to building a research road safety environment that will promote the Open Science and increase the trust and reproducibility of research outcomes.

The MS should ensure: 1) data management planning and 2) research data resulting from publicly funded research being findable, accessible, interoperable and reusable ('FAIR principles') within a secure and trusted environment, through digital infrastructures. All potential types of road safety KPI data (original research data obtained by observations; operational data and data from published research in transport) should follow the FAIR principles, being 'as open as possible, as closed as necessary'.

In the context of an open KPI data ecosystem, data policies could be issued by the EC/DG Move, leading road safety stakeholders at the EU MS level, as well as by research and other related stakeholders. Additionally, data management plans, which will articulate all relevant information concerning the generation or collection of publicly funded research data, will hold valuable information on the data and related outputs should also be ensured and structured in a machine-actionable way.

#### 4.2. Data sharing

In open science, data must be shared in such a way that both humans and machines are able to access, understand, and reuse them [20]. A key issue of the reusability of KPIs dataset is the availability of high-quality metadata, which will provide precise information on data collection procedure and methodology, data process, data owners, access to data, etc. To provide a higher level of interoperability and reuse, the OPEN RSPIs platform should enable exporting or generating standardized reports which will be published by the EC/DG Move or the leading road safety stakeholders of the EU.

Moreover, AI technology is expected to contribute to the improvement of the safety level of vehicles, drivers, and roads. Automated process of KPIs data collection by using the AI, communication between the vehicle, infrastructure, and driver (i.e., V2X) and the IoT system, will enable the management of the road safety performance generally, management of driver's behavior and identification of the most common risky behavior, which can lead to a reduction of harmful impacts of traffic in the said transition period. Under this assumption, it is possible to generate large amounts of KPIs data, obtained from various projects, naturalistic driving studies, field operational tests, smart cameras, advanced smart solutions in urban areas, smart in-car solutions, etc.

However, the numerous challenges that can hinder the reuse of KPI data are listed in [4], among which the following ones stand out: data storage, fragmentation of data ownership, a lack of interoperability between datasets and platforms, etc. Shortly, the automated process of KPIs data collection, accompanied by advanced smart solutions in urban areas, smart in-car solutions, etc. can significantly improve data quality, by taking into account that data providers may be unwilling to use cloud services for fear of data breaches or unauthorized access. All potential restrictions should be listed in the data management process until a clear legal framework supporting data security, data protection and privacy has been developed.

## 5. Conclusion

In order to have a better understanding of the road safety problem and define the earlier goal-oriented actions for improving road safety, the EC has set an initial set of eight road safety KPIs to be measured across the EU Member States, which will be further enriched in the forthcoming years. The IoV concept enables an automated process of such measurements and data collection. Simultaneously, the development of a TRC as a subset of an EOSC platform provides the conditions for comprehensive management of the KPIs data. Through the paper, guidelines are given for the development of an open data platform for road safety KPIs that could be integrated into the European TRC.

The development of the OPEN RSPIs platform enables comprehensive and periodic monitoring and management of the KPIs at the EU level, sets ambitious national KPI targets, more accurate identification of good and poor road safety points, as well as strengthening proactive road safety management. In order to make the transition period as safe and efficient as possible, the development of the star rating for assessing the road safety performance of a territory should be a possible game-changer for the systematic management of road user behavior, especially in case of automated process of KPIs data collection and sharing by using the IoV concept. The OPEN RSPIs platform ensures a high level of openness, integrity, fairness, interconnectedness of people, services, and content, as well as the reproducibility and reuse of KPIs data.

## Literature

- [1] *European Commission, Directorate- General for Mobility and Transport, Next steps towards ‘Vision Zero’: EU road safety policy framework 2021-2030, Brussels, 2020.*
- [2] *European Commission, „A European strategy for data. COM/2020/66 final“, Brussels, 2020.*
- [3] A. Anagnostopoulou et al., „Evaluation of current European open science initiatives in transport research“, *Zenodo*, 2020.
- [4] M. Böhm et al., „Analysis of the State of the Art, Barriers, Needs and Opportunities for Setting up a Transport Research Cloud“, *European Commission Directorate-General for Research and Innovation*, Brussels, 2018.
- [5] J. R. Franklin et al., „Exploring the Establishment of a European Transport Research Cloud“, *8th Transport Research Arena TRA 2020 Conference, Proceedings*, Helsinki, Finland, April 2020.
- [6] *European Commission Directorate- General for Research and Innovation, „Solutions for a sustainable EOSC. A FAIR Lady (Olim Iron Lady) report from the EOSC Sustainability Working Group“, Brussels, 2020.*
- [7] *European Transport Safety Council, „Transport Safety Performance Indicators“, Brussels, 2001.*
- [8] *European Commission, „Communication “Europe on the Move- Sustainable Mobility for Europe: safe, connected, and clean”, COM(2018) 293 final“, , Brussels, 2018.*
- [9] *European Transport Safety Council, „Briefing: 5th EU Road Safety Action Programme 2020-2030“, Brussels, 2018.*

- [10] M. Tešić et al., „Identifying the most significant indicators of the total road safety performance index”, *Accident Analysis and Prevention*, vol.113, pp. 263-278, 2018.
- [11] E. Benalia et al., „Data dissemination for Internet of vehicle based on 5G communications: A survey”, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 31, no. 5, e3881, 2020.
- [12] J. Cheng et al., „Connectivity modeling and analysis for Internet of Vehicles in urban road scene”, *IEEE Access*, vol. 6, pp. 2692-2702, 2018.
- [13] J. Cheng et al., „Routing in Internet of Vehicles: A review”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, no. 5, pp. 2339-2352, 2015.
- [14] F. Da Silva Barbosa et al., „A platform for cloudification of network and applications in the Internet of Vehicles”, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 31, no. 5, e3961, 2020.
- [15] S. Mitrović i dr., „Pravci razvoja IoV komunikacione infrastrukture“, XXXVI Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel, Zbornik radova, str. 147-156, Beograd, Decembar 2018.
- [16] M. Chahal et al., „A survey on software-defined networking in vehicular ad-hoc networks: challenges, applications and use cases“, *Sustainable Cities and Society*, vol. 35, pp. 830–840, 2017.
- [17] A. Brogi et al., „Container-based support for autonomic data stream processing through the fog“, *European Conference on Parallel Processing*, Proceedings, pp. 17-28, Springer, Cham, 2017.
- [18] G. Yannis et al., „Development of a Platform for Global Road Safety Data Analysis”, *8th Transport Research Arena TRA 2020 Conference*, Proceedings, Helsinki, Finland, April 2020.
- [19] N. Manola et al., „Transport Research in the European Open Science Cloud”, *BE OPEN- D2.3: Transport Research in the European Open Science Cloud*, 2020.
- [20] G. Yannis, K. Folla, „Open access publications and the performance of the European transport research”, *BE OPEN project D2.1: Open access publications and the performance of the European transport research*, 2019.

**Rezime:** Ključni indikatori bezbednosti saobraćaja (KIBS) su mere onih radnih uslova u drumskom saobraćajnom sistemu koji utiču na performanse bezbednosti saobraćaja. Evropska komisija je razvila set smernica za prikupljanje i merenje KIBS. U bliskoj budućnosti, automatski proces prikupljanja KIBS, uključujući napredne pametne sisteme u urbanim sredinama, vozilima, itd. može značajno unaprediti kvalitet prikupljenih podataka. Cilj rada je istražiti proces prikupljanja i razmene KIBS korišćenjem koncepta Internet vozila. Na taj način moguće je izvršiti ocenjivanje ponašanja vozača sa aspekta bezbednosti saobraćaja i razmenu takvih podataka jer ponašanje vozača najviše utiče na bezbednost saobraćaja.

**Ključne reči:** bezbednost saobraćaja, internet vozila, ključni indikatori bezbednosti saobraćaja

**PRIKUPLJANJE I RAZMENA PODATAKA O KLJUČNIM  
INDIKATORIMA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA  
PUTEM INFRASTRUKTURE INTERNET VOZILA**

Suzana Miladić-Tešić, Milan Tešić, Katerina Folla

## **PRIMENA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE ZA IoV APLIKACIJE**

Marija Malnar<sup>1</sup>, Pavle Tošić<sup>2</sup>  
Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet,  
<sup>1</sup>m.malnar@sf.bg.ac.rs, <sup>2</sup>pavletošic8@gmail.com

**Rezime:** Sa povećanim interesovanjem za autonomna vozila, razvoj tehnologija koje omogućavaju pouzdanu i bezbednu komunikaciju među vozilima sa malim kašnjenjem postao je od izuzetnog značaja za savremeno društvo. Samim tim, u skorijoj budućnosti sa primenom 5G, a posebno 6G mreža, nastaću nove aplikacije koje će biti okrenute IoV (*Internet of Vehicle*) okruženju. Te nove aplikacije će pratiti prethodne uz poboljšane performanse i nove slučajeve upotrebe. Značajan udeo u ovom razvoju mogla bi da ima *blockchain* tehnologija, prvenstveno u pogledu poboljšanja bezbednosti V2X (*Vehicle-to-Everything*) komunikacija, pružajući različite prednosti njihovim korisnicima u smislu omogućavanja zajedničkog interfejsa za plaćanje putarine, parkinga ili deljenja vožnje. Putem plaćanja i pametnih ugovora, *blockchain* tehnologija se može koristiti za kupovinu dinamičkih planova osiguranja, a sistemi za reputaciju i identifikaciju koriste recenzije korisnika o njihovim interakcijama kako bi identifikovali reputaciju povezanu sa određenim identitetom.

**Ključne reči:** 5G/6G mobilne mreže, *blockchain* tehnologija, IoV mreža, vozila, V2X komunikacija

### **1. Uvod**

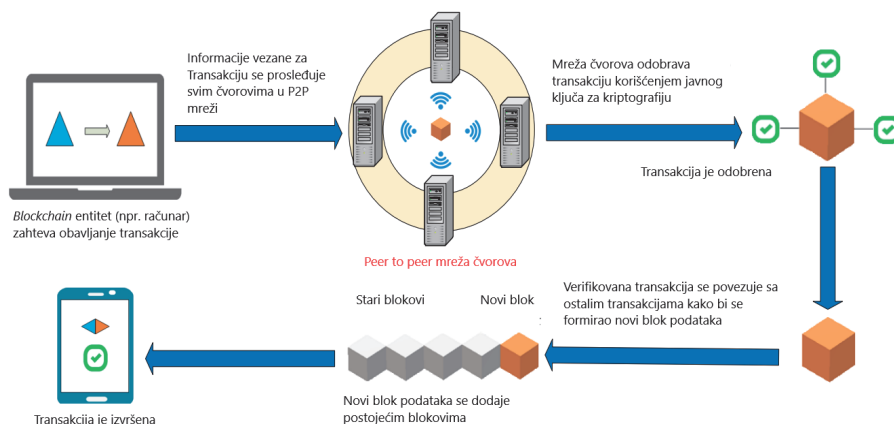
*Blockchain* je uglavnom poznat kao tehnologija koja leži u osnovi kriptovalute *Bitcoin*. Osnovna ideja *blockchain*-a je decentralizacija. To znači da *blockchain* ne čuva nijednu svoju bazu podataka na centralnoj lokaciji. Umesto toga, *blockchain* se kopira i širi preko mreže učesnika (tj. računara). Kad god se u *blockchain* doda novi blok, svaki računar na mreži ažurira svoj *blockchain* kako bi odrazio promenu. Ova decentralizovana arhitektura obezbeđuje različite bezbedne operacije na *blockchain*-u uz povećanu otpornost na neovlašćeno korišćenje. Konkretno, *blockchain* može biti dostupan svima i ne kontroliše ga nijedan mrežni entitet. Ovo je omogućeno mehanizmom koji se zove konsenzus koji predstavlja skup pravila koji osiguravaju saglasnost svih učesnika. [1]

Uopšteno gledano, *blockchain* se može klasifikovati kao javni (bez dozvole) ili privatni (sa dozvolom). Javni *blockchain* je dostupan svima i svako može da se pridruži i izvrši transakcije, kao i da učestvuje u procesu konsenzusa. Najpoznatije javne *blockchain* aplikacije uključuju *Bitcoin* i *Ethereum*. S druge strane, privatni *blockchain*-ovi su mreža samo po pozivu kojom upravlja centralni entitet.

Široko rasprostranjena primena budućih IoV mreža se u velikoj meri oslanja na značajno poboljšanu bezbednost u vidu distribucije i autentifikacije poruka u vozilima. Razmatranje ovih ciljeva nameće nova ograničenja za alokaciju resursa u IoV mrežama. Na primer, poruke koje ne tolerišu kašnjenje ili bilo kakve smetnje treba da imaju izuzetno visoku bezbednost da bi se izborile sa potencijalnim ometanjima ili zloupotrebom, dok usluge multimedijalnih podataka mogu zahtevati jednostavniju bezbednost zbog velike količine podataka. 6G IoV može usvojiti *blockchain* sistem koji se smatra značajnom tehnologijom za bezbedne decentralizovane transakcije koje uključuju više strana. U poređenju sa tradicionalnim tehnikama bezbednosti i privatnosti, korišćenje *blockchain*-a može da obezbedi širok spektar poboljšanih usluga bezbednosti i privatnosti bez potrebe za trećom stranom. Zahvaljujući *blockchain* tehnologiji, 6G-IoV arhitektura može da obavlja distribuirano upravljanje bezbednošću, oslobađajući se određenih zadataka pomoću mobilnog *cloud/edge/fog computing*-a i keširanja sadržaja. Očekuje se da bezbednosno rešenje zasnovano na *blockchain*-u (npr. pametni ugovor ili mehanizam konsenzusa) može u 6G IoV sistemu ne samo da omogućiti verifikaciju autentičnosti poruke, već i da sačuva privatnost pošiljaoca. [2]

## 2. Glavne komponente *blockchain* tehnologije

Opšti koncept o tome kako *blockchain* funkcioniše prikazan je na slici 1.



Slika 1. Koncept funkcionisanja *Blockchain* tehnologije [1]

*Blockchain* sadrži nekoliko ključnih komponenti koje su sažete na sledeći način:

- **Blok podataka:** *Blockchain* je u suštini lanac blokova, linearna struktura koja počinje takozvanim blokom geneze i nastavlja se sa svakim novim blokom povezanim sa lancem. Svaki blok sadrži određeni broj transakcija i povezan je sa svojim neposredno prethodnim blokom preko heš oznake. Na ovaj način, svi blokovi u lancu se mogu pratiti do prethodnog, i nikakva modifikacija blok podataka nije moguća. Tipična struktura bloka podataka uključuje dve glavne komponente, zapise o transakcijama i zaglavlje *blockchain*-a.[1]

- **Distribuirana knjiga** (baza podataka): Distribuirana knjiga je tip baze podataka koja se deli i replicira između entiteta *peer-to-peer* mreže. Zajednička baza

podataka je dostupna za sve učesnike mreže u *blockchain* sistemu. Distribuirana knjiga beleži transakcije slične procesu razmene podataka među članovima mreže. Učesnici mreže mogu postići dogovor putem mehanizma konsenzusa u distribuiranom okruženju gde nije potrebna treća strana da izvrši transakciju. Na primer, ako se osoba pridruži *Bitcoin* aplikaciji, onda mora da se pridržava svih pravila i smernica koje su utvrđene u programskom kodu *Bitcoin* aplikacije. U tom slučaju ta osoba može automatski obavljati transakcije za razmenu valute ili informacija sa drugim članovima bez posredstva treće strane kao što je finansijska institucija.[1]

-**Algoritam konsenzusa:** Kada čvorovi počnu da dele ili razmenjuju podatke na *blockchain* platformi, ne postoje centralizovani organi koji bi regulisali pravila transakcija i sačuvali podatke od raznih bezbednosnih pretnji. U tom smislu, od vitalne je važnosti da se potvrdi pouzdanost bloka, da se prati tok podataka i garantuje bezbedna razmena informacija kako bi se izbegli problemi prevare. Ovi zahtevi se mogu ispuniti korišćenjem protokola validacije koji se nazivaju konsenzus algoritmi. Primer jednog takvog konsenzus algoritma je *Proof of Work (PoW)* algoritam koji usvaja *Bitcoin* aplikacija. Koriste ga rudari (*miners*) kako bi povećali bezbednost u nepouzdanj mreži. Softver na ovoj mreži koristi njihove računarske resurse za rešavanje složenih matematičkih zadataka. Prvi rudar koji reši zadatak za stvaranje novog bloka dobiće nagradu kao ohrabrenje za buduće doprinose rudarstvu. [1]

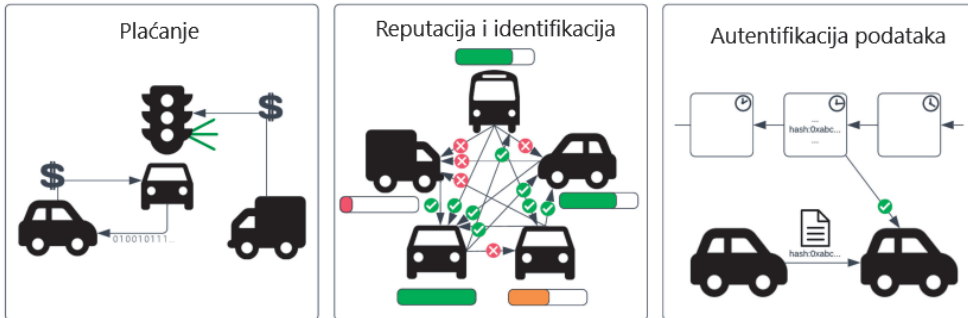
- **Pametni ugovori:** Pametni ugovor je programabilna aplikacija koja radi na *blockchain* mreži. Otkako je 2015. objavljena prva platforma za pametne ugovore poznata kao *Ethereum*, pametni ugovori sve više postaju jedna od najinovativnijih tema u oblasti *blockchain*-a. Postavlja se pitanje šta pametne ugovore čini tako pametnim? Ovo je zbog njihove samoizvršne prirode. Na primer, kada osoba potpiše pametni ugovor za prenos svojih sredstava, sredstva će se automatski preneti preko mreže blokova. Tada će informacije o prenosu biti zabeležene kao transakcija koja se čuva na *blockchain*-u. Takav tip samoizvršnog sporazuma čini pametne ugovore nepromenljivim i otpornim na spoljne napade. [1]

Jedan od najprivlačnijih aspekata *blockchain*-a je stepen sigurnosti i privatnosti koji on može da pruži. Ključni aspekt bezbednosti u *blockchain*-u je upotreba privatnih i javnih ključeva. *Blockchain* sistemi koriste asimetričnu kriptografiju za osiguranje transakcija između članova. Ovi ključevi se generišu nasumično sa nizovima brojeva tako da je matematički praktično nemoguće da pojedinac pogodi privatni ključ drugih korisnika. Ovo čuva *blockchain* zapise od potencijalnih napada. [1]

### 3. Aplikacije zasnovane na *blockchain* tehnologiji

Prethodna istraživanja pokazala su širok spektar aplikacija koje se mogu omogućiti ili poboljšati korišćenjem *blockchain* tehnologije. Ove aplikacije se razlikuju po tome koje karakteristike *blockchain* tehnologije koriste i u kojoj meri se oslanjaju na te karakteristike. U nastavku ovog odeljka opisane su važne usluge koje *blockchain* može pružiti IoV aplikacijama i analizirano je kako različite aplikacije zasnovane na *blockchain*-u koriste ove usluge. [3]

Otkriveno je da se predložene IoV aplikacije oslanjaju na *blockchain* za tri ključne usluge: 1) plaćanja, 2) reputacije i identifikacije i 3) autentifikaciju podataka. Na slici 2 ilustrovan je primer korišćenja ovog vida usluga.



Slika 2. Tri ključne IoV aplikacije zasnovane na *blockchain*-u [3]

### Plaćanje:

Usluge plaćanja su važne za IoV sisteme jer ih mnoge aplikacije, kao što su naplata parkiranja i punjenje električnih vozila zahtevaju. *Bitcoin* je prvi elektronski gotovinski *blockchain* sistem, a većina modernih *blockchain* sistema nastavlja da nudi ove usluge. Usluge plaćanja zasnovane na *blockchain*-u nude nekoliko prednosti u odnosu na postojeće sisteme plaćanja koji su važni za IoV aplikacije. Prvo, mnoge aplikacije, kao što su tržišta podataka o kojima će kasnije biti reči, zahtevaju mikrotransakcije koje šalju veoma male količine novca između korisnika. Trenutni sistemi plaćanja, kao što su *Visa*, *Swift* i *PayPal*, ne samo da su preskupi da bi podržali takve transakcije, već po svojoj prirodi nikada nisu dizajnirani da podrže mikrotransakcije. S druge strane, *blockchain* sistemi su u stanju da pruže ove usluge. Iako su *Bitcoin* transakcije skupe, postoje i druge tehnologije koje omogućavaju mnogo jeftinija plaćanja. Na primer, nove *blockchain* mreže kao što su *Solana* i *Avalanche* imaju znatno veći kapacitet od *Bitcoin*-a ili *Ethereum*-a, što omogućava jeftinije transakcije. Druga prednost *blockchain*-a u odnosu na stare sisteme plaćanja je ta što *blockchain* omogućava korisnicima da razviju složene mehanizme plaćanja koji odgovaraju njihovim potrebama koristeći pametne ugovore. Na primer, mreže za punjenje električnih vozila mogu lako da podrže dinamičko određivanje cena, što omogućava korisnicima da deluju i kao kupac i kao prodavac energije. [3]

### Reputacija i identifikacija:

Reputacija je mera za to kako drugi doživljavaju ponašanje pojedinca i široko se koristi i na mreži i u stvarnom životu da bi se izbacili loši akteri i informisali drugi učesnici da li treba da veruju određenom identitetu ili ne. IoV sistemi zahtevaju jake mehanizme reputacije kako bi se zaštitili od lažnih ili obmanjujućih podataka koji se dele među vozilima, između ostalog. Predloženi su mnogi sistemi za praćenje reputacije na *blockchain*-u. Ovi sistemi uglavnom koriste recenzije korisnika o njihovim interakcijama kako bi identifikovali reputaciju povezanu sa određenim identitetom. Reputacija može biti globalna, što znači da svi korisnici "vide" istu ocenu reputacije za određeni identitet, ili personalizovana, što znači da korisnici mogu imati različite percepcije o reputaciji identiteta, generalno na osnovu njegovih prošlih interakcija sa njima ili drugima na njihovoj društvenoj mreži. Pošto se identiteti mogu koristiti za praćenje aktivnosti korisnika, privatnost je važan aspekt svakog sistema. Ključna usluga koja se odnosi na reputaciju je autentifikacija. Sistemi koji kontrolišu osetljive podatke, kao što su podaci o

lokaciji proizvedeni od strane vozila, moraju biti pažljivi da korisnicima daju pristup samo onome za šta su ovlašćeni, dok istovremeno upravljaju privatnošću korisnika. Koristeći identitet i reputaciju zasnovanu na *blockchain*-u, mogu se razviti jaki sistemi autentifikacije. [3]

### **Autentifikacija podataka:**

Održavanje tačne evidencije je veoma važno za IoV sisteme. Na primer, u slučaju nesreće, podaci o vozilu moraju biti sačuvani kako bi to pomoglo u istragama. *Blockchain* pruža nepromenljivu evidenciju sopstvene istorije. To znači da se mogu koristiti za čuvanje nepromenljivog zapisa bilo kojih podataka. Pored toga, pošto *blockchain* mreže mogu da zapamte približno vreme kada je blok kreiran, postavljanje podataka u *blockchain*-u obezbeđuje vremensku oznaku za podatke. Ove usluge imaju potencijal da značajno poboljšaju pouzdanost i tačnost digitalne forenzike vozila. [3]

Čuvanje ogromnih količina podataka koje proizvode IoV sistemi na *blockchain*-u nije moguće, jer svi podaci u lancu moraju biti uskladišteni od strane svih čvorova koji validiraju *blockchain*. Umesto toga, mnoge aplikacije mogu biti podržane promenom vrste potrebnog skladišta. Na primer, video zapisi koje proizvode kamere često nisu poželjni zbog opšte zabrinutosti za privatnost ljudi. Međutim, čuvanje takvih podataka često može biti poželjno da bi se osigurala njihova autentičnost u slučaju istrage nesreće. U takvim slučajevima, heš određenih podataka može biti uskladišten u lancu, a ne sami podaci. Ovo omogućava autentifikaciju podataka i vremensku oznaku i može biti prihvatljivo za neke aplikacije. Takav sistem se takođe može koristiti u kombinaciji sa centralizovanim uslugama skladištenja u *cloud*-u kako bi se obezbedila dodatna mogućnost revizije. U drugim slučajevima, može se zahtevati da podaci u nekom trenutku budu dostupni, ali se ne moraju čuvati ubuduće. U nekim slučajevima to možda neće biti dovoljno i potrebno je sigurno, decentralizovano, dugoročno skladištenje podataka. Na primer, ovo može biti slučaj sa podacima koji se koriste u istragama nezgoda. Tako na primer *Filecoin* omogućava korisnicima da iznajmljuju svoj raspoloživi prostor za skladištenje podataka. Ovo omogućava korisnicima da čuvaju podatke na pouzdan način koristeći *blockchain*. [3]

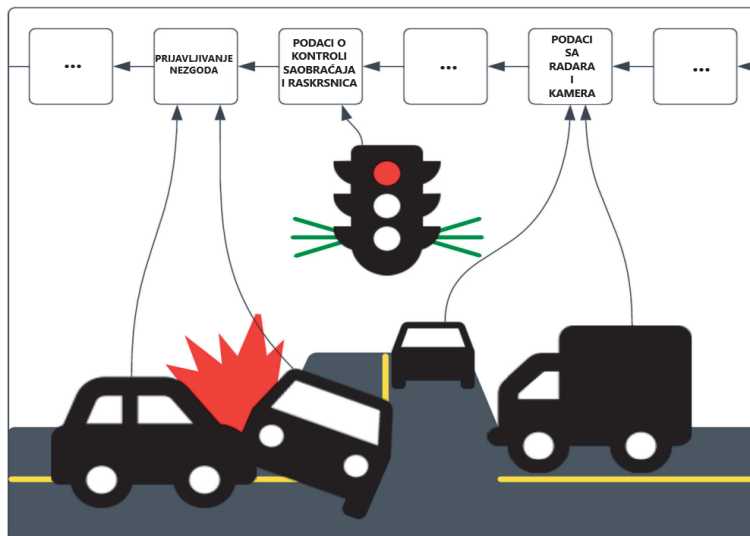
U nastavku ovog odeljka opisane su neke IoV aplikacije zasnovane na *blockchain*-u i opisano je kako koriste do sada opisane usluge *blockchain*-a. Ova lista nije konačna, ali pokriva mnoge od najčešće predloženih aplikacija.

#### **1) Osiguranje i istraga nesreća**

Aplikacije za istrage nesreća i osiguranje su važne aplikacije za *blockchain* i IoV jer koriste sve prednosti *blockchain*-a koje su prethodno opisane. Prvo, putem plaćanja i pametnih ugovora, *blockchain* se može koristiti za kupovinu dinamičkih planova osiguranja. Ovo omogućava korisnicima da kupuju mnogo prilagođenije planove, na primer, kupuju samo osiguranje za vreme provodeno u vožnji. Ovo ima potencijal da smanji troškove za mnoge potrošače, dok istovremeno smanjuje rizik za osiguravajuća društva jer mogu bolje prilagoditi premije. Pored toga, *blockchain* se može koristiti za čuvanje informacija u svrhe osiguranja. Na primer, zapisi o ponašanju vozača mogu da se čuvaju na *blockchain*-u, a pametni ugovori mogu automatski ažurirati premije vozača na osnovu ovih podataka. U slučaju nesreće, okolna vozila koja su svedoci događaja mogla bi automatski da otpreme sve relevantne podatke koje su uhvatili kako bi sprečili falsifikovanje ili nestanak validnih dokaza. Primer ove upotrebe prikazan je na slici 3.



Garancije nepromenljivosti koje nudi *blockchain* mogu u velikoj meri da pomognu digitalnoj forenzici vozila. Vozila bi takođe mogla da koriste *blockchain* mehanizme konsenzusa da bi postigli dogovor o tome šta se dogodilo u nesreći, pri čemu se reputacija i identitet zasnovani na *blockchain*-u koriste kao alat za utvrđivanje verodostojnosti svih strana. [3]



Slika 3. Primer upotrebe *blockchain*-a u digitalnoj forenzici [3]

## 2) Tržišta podataka

Pojedinci stalno proizvode podatke, čak i tokom vožnje. Podaci iz vozila mogu se koristiti za mnoge svrhe, kao što je pravljenje visoko preciznih mapa. Uprkos tome, umesto da shvataju vrednost podataka, korisnici se suočavaju sa preprekama kada pokušavaju da prodaju svoje podatke, uključujući visoke naknade za transakcije i ograničen skup kupaca. *Blockchain* tehnologija može pomoći u rešavanju ovih problema. Pošto pojedinačna očitavanja senzora generalno vrede veoma malo, moraju se koristiti specijalizovane tehnike za smanjenje transakcijskih naknada. Na primer, pametni ugovori se mogu koristiti da bi se iskoristile prednosti složenijih modela određivanja cena. Tehnike reputacije se takođe mogu primeniti na ovaj problem da bi se obezbedio kvalitet podataka ili da bi se kupcima obezbedili mali zajmovi i dodatno smanjile transakcijske naknade. [3]

*Blockchain* bi se takođe mogao koristiti za efikasniju distribuciju važnih podataka kao što su mape. Postoji sistem [4] u kome vozila dele velike datoteke podataka sa obližnjim vozilima umesto da ih preuzimaju sa centralizovanog servera. Ovo smanjuje zagušenje mreže, a istovremeno poboljšava brzinu preuzimanja za krajnje korisnike i smanjuje troškove servera za one koji obezbeđuju datoteke. Plaćanja zasnovana na *blockchain*-u mogu se koristiti za podsticanje korisnika da dele datoteke, a sistemi za reputaciju i autentifikaciju mogu se koristiti za verifikaciju izvora podataka i obezbeđivanje pristupa datotekama samo ovlašćenim korisnicima. [3]

### 3) Praćenje emisija ugljenika

Važan izazov za transportnu industriju je kako smanjiti emisije ugljenika. Jedan od predloženih mehanizama za smanjenje emisija je šema *cap and trade* u kojoj se pojedincima i kompanijama daje kredit ograničenja emisije ugljenika. Pojedinci koji koriste više od svog dodeljenog ograničenja moraju tada da kupe kredite od drugih koji ne koriste ceo svoj dodeljeni iznos. Sve ovo se može pratiti na mreži radi povećanja efikasnosti, otpornosti i lakoće upotrebe. Takva aplikacija bi mogla da koristi sve opisane *blockchain* usluge. Usluge identiteta i reputacije bi se mogle koristiti za određivanje subjekata kojima će se odobriti krediti, usluge plaćanja i pametni ugovori mogu se koristiti za kupovinu i prodaju kredita, a evidencija stvarnih emisija mogla bi se evidentirati na *blockchain*-u kako bi se pratile emisije i osiguralo da svi korisnici imaju kredite potrebne za plaćanje svojih emisija. [3]

### 4) Putarina, parkiranje i deljenje vožnje

Očigledno je da se plaćanja zasnovana na *blockchain*-u mogu koristiti za plaćanje putarine, parkinga i deljenja vožnje. *Blockchain* nudi nekoliko prednosti u odnosu na tradicionalne mehanizme. Prvo, otvorena priroda *blockchain*-a omogućava različitim stranama da koriste jedan zajednički interfejs za naplatu i plaćanje ovih usluga. Ovo omogućava pojedincima da prodaju parking mesto ili naplate vožnju koju imaju na raspolaganju, povećavajući dostupnost i iskorišćenost automobila i parkinga. Takođe omogućava čak i malim opštinama da uspostave sisteme naplate putarine koji inače ne bi bili isplativi. Uprkos različitim izvorima naknada, krajnji korisnici mogu da plate korišćenje svih ovih usluga preko zajedničkog interfejsa, povećavajući lakoću korišćenja. Pored toga, putem pametnih ugovora, *blockchain* može omogućiti dinamičnije modele određivanja cena za ove usluge, uključujući mehanizme aukcije, optimizujući na taj način i cenu i korišćenje resursa.[3]

### 5) Punjenje električnih vozila

Još jedna predložena *blockchain* aplikacija u domenu V2X-a uključuje komunikaciju između vozila i mreža za električno napajanje (V2G). Predloženi sistemi omogućavaju električnim vozilima da se povežu sa električnim mrežama kako bi kupovali električnu energiju, pa čak i prodavali energiju nazad u mrežu ili drugim vozilima kako bi se obezbedilo stabilno snabdevanje energijom. V2G sistemi donose mnoge prednosti. Prvo, oni doprinose stvaranju naprednije električne mreže distribucijom izvora energije. Drugo, kroz modele cena kompatibilnih sa podsticajima, moguće je podstaći ponudu da zadovolji potražnju, obezbeđujući stabilnost. Korišćenjem *blockchain*-a za omogućavanje ovakvih sistema, svakom korisniku može biti olakšano da vrši i prihvata plaćanja, omogućavajući samim tim veći broj raznovrsnih učesnika, a korišćenjem mikrotransakcija i pametnih ugovora, dinamičniji modeli određivanja cena mogu se omogućiti korišćenjem jeftinih *blockchain* modela. Kada se koristi *blockchain* za omogućavanje takvih usluga, treba biti pažljiv kako bi se zaštitili lični podaci korisnika, kao što je njihova lokacija. Predloženi su dizajni za rešavanje ovih problema. [3]

## 4. Zaključak

*Blockchain* tehnologija ima veliki značaj za V2X komunikacije. Prvenstveno ako se sagledaju neki od mogućih scenarija njihove primene. Plaćanja zasnovana na

*blockchain*-u mogu se koristiti za podsticanje korisnika da dele datoteke, a sistemi za reputaciju i autentifikaciju mogu se koristiti za verifikaciju izvora podataka i obezbeđivanje pristupa datotekama samo ovlašćenim korisnicima. Garancije nepromenljivosti sačuvanih podataka koje nudi *blockchain* mogu u velikoj meri da pomognu digitalnoj forenzici vozila. Iako je učinjeno nekoliko pokušaja da se realizuje komunikaciona mreža zasnovana na *blockchain*-u, jednostavno usvajanje postojeće *blockchain* tehnologije nije toliko jednostavno za V2X komunikacioni scenario zbog njegovih dinamičkih mrežnih karakteristika i zahteva za obradu podataka u realnom vremenu. Uprkos velikom potencijalu *blockchain*-a u omogućavanju poboljšane bezbednosti i upravljanja mrežom, sama tehnologija ima veliko kašnjenje i stoga je potrebno razviti nove algoritme *blockchain*-a sa izuzetno malim kašnjenjem pre nego što budu primenjeni na 6G IoV. Ograničena propusnost i skalabilnost trenutne *blockchain* tehnologije su takođe veliki otvoreni problemi koji zahtevaju detaljnu istragu. [1],[2]

### Literatura

- [1] Nguyen, Dinh C., Pubudu N. Pathirana, Ming Ding, and Aruna Seneviratne. "Blockchain for 5G and beyond networks: A state of the art survey." *Journal of Network and Computer Applications* 166 (2020): 102693.
- [2] Noor-A-Rahim, Md, Zilong Liu, Haeyoung Lee, Mohammad Omar Khyam, Jianhua He, Dirk Pesch, Klaus Moessner, Walid Saad, and H. Vincent Poor. "6G for vehicle-to-everything (V2X) communications: Enabling technologies, challenges, and opportunities." *Proceedings of the IEEE* (2022).
- [3] Meijers, James, Panagiotis Michalopoulos, Shashank Motepalli, Gengrui Zhang, Shiquan Zhang, Andreas Veneris, and Hans-Arno Jacobsen. "Blockchain for V2X: Applications and Architectures." *IEEE Open Journal of Vehicular Technology* 3 (2022): 193-209.
- [4] Baza, Mohamed, Mahmoud Nabil, Nouredine Lasla, Kemal Fidan, Mohamed Mahmoud, and Mohamed Abdallah. "Blockchain-based firmware update scheme tailored for autonomous vehicles." In *2019 IEEE wireless communications and networking conference (WCNC)*, pp. 1-7. IEEE, 2019.

**Abstract:** *With the increased interest in autonomous vehicles, the development of technologies that enable reliable and secure low-latency communication between vehicles has become extremely important for modern society. Therefore, soon with the implementation of 5G, and especially 6G networks, new applications will be created that will be oriented toward the IoV (Internet of Vehicle) environment. Those new applications will follow the previous ones with improved performance and new use cases. Blockchain technology could play a significant role in this development, primarily in terms of improving the security of V2X (Vehicle-to-Everything) communications, providing various advantages to their users in terms of enabling a common interface for toll payment, parking, or ride-sharing. Through payments and smart contracts, blockchain technology can be used to purchase dynamic insurance plans, and reputation and identification systems use user reviews of their interactions to identify the reputation associated with a particular identity.*

**Keywords:** *5G/6G mobile networks, IoV network, V2X communication, blockchain technology, vehicles*

## USE OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR IoV APPLICATIONS

Marija Malnar, Pavle Tošić

## **BUDUĆNOST SAOBRAĆAJNE SIGNALIZACIJE U ERI PAMETNIH PUTEVA I AUTONOMNIH VOZILA**

Ana Trpković, Branimir Stanić, Sreten Jevremović  
Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet,  
a.trpkovic@sf.bg.ac.rs, b.stanic@sf.bg.ac.rs, s.jevremovic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Razvoj i unapređenje saobraćajne signalizacije prate i u određenom smislu uzrokuju različiti tehnološki trendovi, inovacije i postojeća dostignuća. Jedna od značajnih prekretnica u pogledu postavljanja i korišćenja saobraćajne signalizacije, jeste razvoj autonomnih vozila. Sa učestalijom upotrebom ovih prevoznih sredstava pokrenuta su različita pitanja, među kojima se posebno diskutuje o mestu i značaju saobraćajne signalizacije. Da li postojeći znakovi i oznake mogu odgovoriti zahtevima autonomnih vozila? Da li će signalizacija zadržati svoj vizuelni identitet? Kakva će biti njena efikasnost, način prenošenja informacija i sl.? Na sva ova pitanja još uvek ne postoje jasni odgovori, već samo vizionarske ideje, preporuke, pretpostavke i različita očekivanja. U tom kontekstu napisan je i ovaj rad, koji ima za cilj da ispita mogućnosti postojeće saobraćajne signalizacije da odgovori na zahteve autonomnih vozila, ali i da ukaže na potencijalni razvoj i transformaciju znakova i oznaka u budućnosti.*

**Ključne reči:** *saobraćajna signalizacija, autonomna vozila, pametni putevi, nove tehnologije, IoT.*

### **1. Uvod**

Saobraćajni sistem predstavlja važan činilac u razvoju savremenog grada, posebno imajući u vidu njegovu pokretačku snagu kako ekonomskog, društvenog, tehnološkog, političkog, tako i kulturnog napretka. Osnovne komponente saobraćajnog sistema podudaraju se sa elementima bilo kog drugog sistema unutar grada, odnosno države. Ti elementi mogu se podeliti u četiri grupe: čovek, vozilo, put i okruženje. Idealni razvoj saobraćaja podrazumevao bi podjednako razvijanje i napredovanje svake od navedene četiri komponente. U praksi to često nije slučaj, pa se događa da npr. usavršavanje vozila ne prati razvoj infrastrukture ili pratećih elemenata okruženja.

Trenutno, dosta pažnje usmereno je na pitanje razvoja i upotrebe autonomnih vozila (AV). Ova prevozna sredstva predstavljaju inovativnu tehnologiju koja poseduje potencijal da drastično izmeni prostorno-urbani pejzaž postojećih gradova [1]. Inovativnost ove tehnologije ogleda se u njenom stepenu automatizacije. Opšteprihvaćena hijerarhija nivoa automatizacije predložena je od strane Udruženja

automobilskih inženjera, pri čemu je definisano 6 nivoa (Slika 1). Bez detaljnijeg zalaženja u specifičnosti svakog od nivoa, sa slike se jasno može videti da se teži ka potpunom isključivanju vozača iz procesa upravljanja vozilom. To zapravo znači da će uloga vozača biti istovetna ulozi bilo kog drugog putnika u vozilu. Ovakav ishod sa sobom povlači pitanje infrastrukture i možda još i važnije, ulogu saobraćajne signalizacije. Upravo, jedna od glavnih nedoumica koja se ovde nameće jeste: na koji način će zahtevi autonomnih vozila izmeniti dosadašnju funkciju, izgled i upotrebu ostalih komponenti saobraćajnog sistema, a pre svega puta i okruženja.



Slika 1. Nivoi automatizacije tipova autonomnih vozila

Trenutno, zbog ograničenja i visokih troškova dostupnih senzora, većina komercijalnih vozila uključuje samo nivo 1, odnosno nivo 2 automatizacije, što zapravo znači da je potrebna stalna pažnja i kontrola od strane vozača [2]. Naredni nivoi automatizacije zahtevali bi intenzivniju komunikaciju vozila sa putem i okruženjem, odnosno dodatno umrežavanje svih komponenti saobraćajnog sistema i stvaranje globalnog IoT sistema. Važan aspekt koji ovde treba naglasiti, a koji se (ne)namerno zaboravlja, jeste uloga saobraćajne signalizacije u gradovima budućnosti. Generalno, saobraćajna signalizacija se, prema važećem nacionalnom Pravilniku o saobraćajnoj signalizaciji, može podeliti na: saobraćajne znakove, oznake na putu, semafore, branike i polubranike, privremenu saobraćajnu signalizaciju, svetlosne i druge oznake na putu [3]. U kontekstu ovog rada, nešto više reči biće o saobraćajnim znakovima, odnosno vertikalnoj signalizaciji, koja se može definisati kao: *skup posebno kodiranih oznaka namenjenih učesnicima u saobraćaju, koje se, u odnosu na saobraćajne površine, lociraju u vertikalnoj ravni* [4] i oznakama na putu, odnosno horizontalnoj signalizaciji koja se može definisati kao: *skup posebno oblikovanih geometrijskih elemenata (linija, figura, polja) i natpisa, čijim se kombinovanjem (prilikom projektovanja) i ugradnjom (na kolovozu) formiraju oznake* [5]. Imajući u vidu da je saobraćajna signalizacija, sa svojim trenutnim oblikom, izgledom i karakteristikama, i dalje dominantan izvor informisanja i vođenja svih vozila, postavlja se pitanje kako će nove generacije vozila, sa ciljanim nivoima automatizacije, razmenjivati potrebne informacije.

Osnovna ideja i cilj ovog rada jeste zapravo pokušaj da se daju odgovori na prethodno postavljena pitanja i da se utvrdi uloga i potencijalne karakteristike saobraćajne signalizacije u budućnosti, zahtevane (uslovljene) brzim tehnološkim napretkom i razvojem autonomnih vozila.

## 2. Pregled literature

Aktuelne strategije za integraciju autonomnih vozila predviđaju tri pristupa koji se odnose na infrastrukturu [6]:

- **konzervativni pristup** koji ne uključuje nikakve infrastrukturne promene ili promene saobraćajne signalizacije, već podrazumeva nehomogeni „mešoviti“ sistem funkcionisanja saobraćaja kakav je trenutno zastupljen u gradovima.
- **umereni pristup** podrazumeva robusniju strategiju za integraciju autonomnih vozila. Naime, iako će „mešoviti“ saobraćaj biti zastupljen na sekundarnoj mreži saobraćajnica, ova strategija podrazumeva izgradnju namenske infrastrukture, poput autonomnih koridora, omogućavajući potpunu segregaciju od konvencionalnog saobraćaja.
- **agresivni pristup** podrazumeva stvaranje čitavih oblasti, poput centralnih ili posebnih gradskih zona, gde bi se u potpunosti ograničio pristup svim vozilima koja nisu autonomna. Izolacijom sistema, omogućava se potpuna koordinacija autonomnih vozila, pri čemu bi se potrebne informacije, umesto tradicionalnom saobraćajnom signalizacijom, dobijale iz centralnog sistema ili putem Wi-Fi saobraćajne signalizacije.

Shodno navedenim strategijama, celokupna infrastruktura grupisana je u fizičku i bežičnu [7]. Sa sadašnje tačke gledišta, specifičnosti kojima se saobraćajna signalizacija odlikuje, trenutno je svrstavaju u fizičku infrastrukturu, dok bi se njenim daljim razvojem i prilagođavanjem potrebama autonomnih vozila, ona ubrzo mogla svrstati i u bežičnu.

Upravo, glavni problemi sa kojima se susreću autonomna vozila jeste čitanje saobraćajne signalizacije, odnosno pouzdanost algoritama za njeno prepoznavanje i klasifikaciju. Različiti autori bavili su se pomenutim problemima, pri čemu su konstatovani nedostaci koji se najčešće odnose na loše vremenske uslove: uslove kiše, snega, magle i sl. [8]. Karakteristike kvaliteta saobraćajne signalizacije, ali i okruženja poput: slabe osvetljenosti, visoke sjajnosti – blještavosti znakova i oznaka, oštećenosti, vandalizovanosti, delimične zaklonjenosti, uslovi noćne vožnje itd. značajno utiču na efikasnost algoritama [10]. Takođe, posebno se izdvaja i problem percepcije signalizacije u složenim gradskim uslovima – situacije kada postoji veliki broj različitih sadržaja, gde algoritam iz mnoštva boja, slova, oblika, treba prepoznati saobraćajni znak ili oznaku [2].

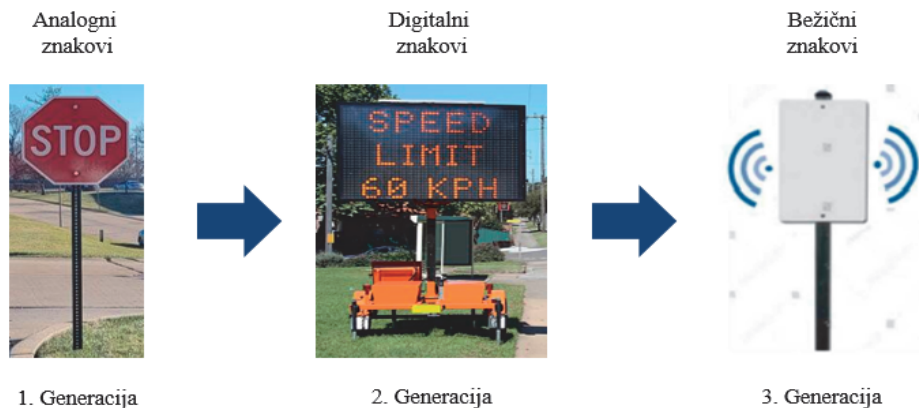
### 3. Vertikalna signalizacija

Razlika između čoveka i mašine – algoritma u procesu upravljanja vozilom jeste u rasuđivanju i distinkciji različitih uticaja. Trenutno odlučivanje i prilagođavanje čoveka na novonastale promene jedna je od primarnih prednosti i još uvek nepremostiva prepreka na putu ka potpunoj automatizaciji. Uprkos veoma brzom tehnološkom napretku, određeni problemi koji su je javili na početku izrade prvih algoritama još uvek postoje. Na primer, uticaj nepovoljnih vremenskih prilika (snega, kiše, magle i sl.), zaprljanost, zaklonjenost, izbledeost, vandalizovanost ili oštećenost znakova česti su nedostaci postojećih algoritama za detekciju i prepoznavanje elemenata okruženja.

Ono što vertikalnu signalizaciju čini specifičnijom od horizontalne, jeste složenost postupka prenošenja informacija, tj. postojanje više različitih opcija (mogućnosti) za pružanje osnovnih informacija. Na primer, za razliku od horizontalne signalizacije koja se najčešće izrađuje u dve boje (bela i žuta), u slučaju vertikalne signalizacije može se koristiti paleta posebno definisanih boja. Oblik i dimenzije znakova takođe mogu biti drugačije, pojava natpisa i piktograma uključuje novu promenljivu – pismo, koje se opet može razlikovati od zemlje do zemlje. Na području Evrope,

usvajanjem Konvencije o drumskom saobraćaju u Beču 1968. godine, postignut je dogovor o jednoobraznosti izgleda i primene saobraćajne signalizacije, što znatno olakšava proces detektovanja i čitanja znakova i oznaka. Ipak, ono što pojedini autori ambiciozno predlažu, jeste unifikacija i standardizacija saobraćajne signalizacije na globalnom nivou, čime bi se dodatno olakšao rad i povećala efikasnost primenjenih algoritama [11].

U skladu sa trenutnim razvojem, vertikalnu signalizaciju moguće je posmatrati kroz tri faze – generacije (Slika 2).



Slika 2. Faze razvoja vertikalne signalizacije [12]

Prva faza predstavlja postojeće (trenutno) stanje u kome saobraćajna signalizacija ima fizičku (analognu) strukturu (generacija 1). Druga faza (znakovi generacije 2) je zapravo prelazna i predstavlja vezu između postojećeg sistema i sistema sa potpunom automatizacijom. Osnovna karakteristika ove faze jeste mešoviti saobraćajni tok, odnosno paralelno funkcionisanje i autonomnih i klasičnih vozila. U tom smislu različiti autori predlažu unapređenje postojećeg stanja i kvaliteta znakova i njihovo održavanje na visokom nivou [13]. Kada su u pitanju već pomenuti problemi osvetljenja, zaklonjenosti, zaprljanosti znaka, predlaže se korišćenje podataka sa više senzora poput kamera i Lidar-a, čime se, uz redovno održavanje signalizacije, doprinosi povećanju efikasnosti rada postojećih algoritama [2]. To dalje omogućava i određene izmene oblika i elemenata signalizacije, pa npr. znakovi mogu postati manji, ne bi sadržali odredišta i imali bi samo brojeve za identifikaciju traka ili puteva, strelice i brojevi bi postali istaknutiji i većih dimenzija i sl. [6]. Shodno navedenom, ova faza podrazumeva pojednostavljenje putne/ulične scene, odnosno redukovanje saobraćajne signalizacije i njen prelazak na digitalnu infrastrukturu. U tom smislu, određeni proizvođači već duži niz godina koriste neka veoma jednostavna (digitalna) rešenja (Slika 3), koja trenutno imaju ulogu pomoćnih sistema u vozilima, a mogla bi se smatrati pretečom buduće tehnologije.

Treća faza (znakovi generacije 3) obuhvata potpunu automatizaciju i homogeni saobraćajni tok sastavljen isključivo od autonomnih vozila. U potpuno autonomnom svetu, spekuliraju se da neće biti potrebe za fizičkom (analognom) signalizacijom. Umesto toga, uspostaviće se bežična komunikacija između sve četiri komponente saobraćajnog sistema.



Slika 3. Digitalna saobraćajna signalizacija u vozilu

Umesto vizuelne detekcije i čitanja saobraćajnih znakova sve potrebne informacije dobijale bi se pomoću sistema bežičnih komunikacija, koji istovremeno mogu komunicirati sa više vozila. Na ovaj način moguće je dobiti sve potrebne podatke o znaku, odnosno uslovima u saobraćaju, ali i trenutnoj brzini kretanja vozila, čime se omogućava kontrola i sankcionisanje neadekvatnog ponašanja učesnika u saobraćaju. Informacije o lokaciji bežičnih znakova se takođe prenose vozilima, kako bi upravljački sistem na vreme mogao da izvrši potreban manevar. Ovakva komunikacija, naravno, zahteva određene komponente: hardver i softver. Hardver funkcioniše kao komunikacioni uređaj i server, odnosno kontroliše slanje i prijem informacija. Server je deo računarskog hardvera (primer Raspberri Pi) koji pokreće neophodan softverski program za bežični prenos informacija preko Wi-Fi 802.11g kanala. Upotreba Wi-Fi protokola pokazala se kao efikasnija opcija u odnosu na npr. Bluetooth ili RFID tehnologiju, upravo zbog mogućnosti prenošenja informacija na udaljenostima od 70 do 100 m [12]. Prikazani način komunikacije zapravo predstavlja primer globalnog IoT sistema, koji obuhvata različite oblike upravljanja i razmene informacija (V2I, V2V, V2P, V2D i sl.) čija bi primena, u konkretnom slučaju, podržala i pratila ciljeve razvoja pametnih gradova.

Jedan od glavnih nedostataka ovakvog sistema jeste njegova ranjivost na spoljne uticaje, prekid konekcije (signala) i sl., zbog čega određeni autori predlažu postojanje sigurnosnih ITS sistema, koji bi u takvim situacijama menjali bežičnu infrastrukturu i imali ulogu privremenog medija komunikacije između vozila i okruženja [16].

#### 4. Horizontalna signalizacija

Autonomna vozila zahtevaju jasno obeležavanje horizontalne signalizacije kako bi se sprečile greške u prepoznavanju, odnosno obezbedila mogućnost sensorima da lako čitaju pružene informacije. Problemi koji se trenutno javljaju odnose se pre svega na sam izgled oznaka. Na primer, istraživanje iz Australije [17] pokazalo je da se sistemi za pomoć pri upravljanju (održavanje pravca i skretanje) isključuju kada dođe do promene u kontinuitetu oznaka horizontalne signalizacije (npr. prelazak sa neisprekidane na isprekidane linije i obratno). Primećeno je i da koeficijent retrorefleksije ima značajnu ulogu u procesu prepoznavanja i „čitanja” oznaka. Pokazano je da su retroreflektujuće oznake najefikasnije jer ih je lakše detektovati pomoću Lidar senzora [6].

Davies (2017) je predstavio rezultate laboratorijskog testiranja algoritama sa različitim horizontalnim oznakama [18]. Zaključeno je da detekcija zavisi od širine linije (šire linije daju bolje rezultate, čak i pri nižim koeficijentima retrorefleksije) i boje (žutu



je bilo teže prepoznati od bele boje, što sa sobom povlači pitanje efikasnosti algoritama u zonama radova). Time se dolazi do drugog važnog nedostatka algoritama, a to je detekcija oznaka u slučaju lošeg kontrasta, neadekvatnog održavanja puta ili loše postavljenih (pozicioniranih) oznaka [19].

Generalno, u dosadašnjim istraživanjima evidentiran je veliki broj problema pri detekciji i prepoznavanju horizontalne signalizacije, koji i dalje ostaju primarna prepreka za širu primenu autonomnih vozila. Na primer, situacije koje aktuelnom literaturom nisu obuhvaćene ili su nedovoljno istražene odnose se na: nedostatak ili nepostojanje oznaka na putevima i ulicama nižeg ranga, pitanje nestandardizovanih oznaka, čitanje i razumevanje privremene signalizacije, uklanjanje oznaka i tragovi koji ostaju nakon uklanjanja itd.

Jedno od potencijalnih rešenja i daljih pravaca razvoja horizontalne signalizacije jeste njena digitalizacija. Kao i u slučaju vertikalne signalizacije određen broj problema mogao bi se rešiti ukoliko bi se informacije umesto vizuelno, dobijale pomoću radara u vozilu. U tom smislu, podrazumevaju se određene infrastrukturne promene, npr. postavljanje predajnika duž puta koji bi slali informacije u sistem vozila ili formiranje kontrolnog centra, iz koga bi bilo moguće komunicirati sa celokupnom mrežom, što zapravo predstavlja primer rada globalnog IoT sistema [6]. Interesantna rešenja za pomenute probleme jesu pametni-interaktivni putevi (Slika 4), koji omogućavaju komunikaciju puta i okruženja, odnosno vozila i puta (V2I).



*Slika 4. Pametni putevi sa interaktivnim oznakama*

Na osnovu navedenog, potreba za horizontalnom signalizacijom, u fizičkom smislu, bila bi svedena na minimum. Putna, ulična infrastruktura bila bi opremljena različitim sensorima i uređajima koji bi potrebne informacije slali do vozila (npr. putem Wi-Fi mreže). Ovaj primer predstavlja agresivni pristup (objašnjen u poglavlju 2), koji karakteriše nivo automatizacije 5 i homogen saobraćajni tok sastavljen od autonomnih vozila. Slika 4 ilustruje umereni pristup, odnosno primer mešovitog saobraćajnog toka. U ovakvoj situaciji, pored već pomenutog načina komunikacije vozila i puta, potreban je određen nivo vizuelizacije horizontalnih oznaka. U tom slučaju, primenom interaktivne signalizacije oznake bi se „pojavljivale” kada postoji zahtev za njima, čime bi se paralelno zadovoljile potrebe ostalih učesnika u saobraćaju.

## **5. Standardizacija saobraćajne signalizacije**

Kada su u pitanju karakteristike saobraćajne signalizacije, njeno stanje i kvalitet, važno je napomenuti da u svetu još uvek ne postoje definisani standardi i norme kojima

će se odgovoriti na zahteve autonomnih vozila. Trenutno, postoje samo preporuke koje se odnose na određene aspekte (karakteristike) saobraćajne signalizacije, formirane na osnovu pojedinačnih istraživanja. Shodno tome, u ovom poglavlju biće prikazani pojedini dostupni rezultati, odnosno preporuke različitih istraživanja koje se odnose na karakteristike horizontalne i vertikalne signalizacije, sa aspekta primene autonomnih vozila (Tabela 1).

Tabela 1. Preporučene karakteristike saobraćajne signalizacije prema zahtevima AV

Država	Horizontalna signalizacija	Vertikalna signalizacija
Kalifornija (SAD)	- Preporučena širina uzdužnih oznaka <b>15.2cm</b> . - “ <i>Bott’s Dots</i> ” oznake su ukinute na državnim putevima jer se ne mogu pouzdano klasifikovati od strane autonomnih vozila.	- Redovno održavati vertikalnu signalizaciju i unaprediti njen kvalitet. Održavati okruženje puta (visoko i nisko rastinje) i po potrebi unaprediti osvetljenje puta/ulica kako bi se znakovi lakše uočavali i čitali od strane autonomnih vozila.
Teksas (SAD)	- Preporučena vrednost parametra $Q_d^1$ u suvim, dnevnim uslovima vožnje iznosi <b>100 mcd/m<sup>2</sup>/lux</b> .	/
Kanada	- Postojeći algoritmi u noćnim uslovima zahtevaju minimalnu vrednost $R_f^2$ od <b>50 mcd/m<sup>2</sup>/lux</b> . - Preporučeni kontrast između oznaka i kolovoza trebalo bi da bude <b>3:1</b> . - Preporučuju se oznake sa jasnim (“oštrim”) ivicama u cilju bolje detekcije.	/
Australija i Novi Zeland	- Preporučeni kontrast između oznaka i kolovoza tokom noćne vožnje trebalo bi da bude između <b>5:1</b> i <b>10:1</b> . - Preporučena širina ivičnih linija <b>150 mm</b> i isprekidanih linija <b>100 mm</b> . - Pobojšati osvetljenost i/ili kvalitet isprekidanih linija u poređenju sa neisprekidanim linijama.	- Unificirati izgled vertikalne signalizacije i redovno kontrolisati stanje i kvalitet.

Važno je naglasiti da postoje preporuke definisane na nivou Evrope i SAD-a, koje se odnose na unifikaciju izgleda i postavljanja signalizacije, kao i na njeno adekvatno projektovanje i održavanje, u cilju lakše upotrebe i efikasnijeg funkcionisanja

<sup>1</sup> Koeficijent osvetljenosti pod difuznim osvetljenjem

<sup>2</sup> Koeficijent retrorefleksije

autonomnih vozila. Trenutno, na nivou Evrope, predlaže se održanje minimalnog nivoa retrorefleksije od 150 mcd/m<sup>2</sup>/lux, za sve oznake, tokom svih uslova vožnje (noć, kiša, magla i sl.), čime bi se značajno olakšao proces detekcije i prepoznavanja horizontalne signalizacije. Takođe, predloženo je i da sve uzdužne oznake budu minimalne širine od 15 cm, imajući u vidu da se šire oznake lakše uočavaju od strane algoritama, pri čemu se ograničava broj lažnih detekcija [20].

Interesantno je napomenuti i to da, sjajnost kolovoza može degradirati sposobnost sistema da detektuje uzdužne oznake na kolovozu, jer se time smanjuje kontrast. Iz tog razloga, određene zemlje poput: Kanade, Novog Zelanda i Australije dale su smernice koje se odnose upravo na nivo kontrasta (između kolovoza i oznake), koji mora biti zadovoljen, kako bi se omogućio efikasan rad algoritama. U tom smislu, u Australiji je predloženo da se zaustavi praksa mešanja žutih i belih oznaka tokom radova na putu. Istraživanjem u Australiji utvrđeno je i to da su isprekidane linije dosta teže za detektovanje od neisprekidanih. U tom smislu, oznake horizontalne signalizacije trebalo bi dodatno naznačiti kako bi se izbegle greške.

Sa druge strane, kada je reč o vertikalnoj signalizaciji, može se reći da već uspostavljeni sistem harmonizacije i dizajna znakova, u određenom smislu, ispunjava zahteve autonomnih vozila. To zapravo znači da znakovi, onakvi kakvi sada postoje na mreži zadovoljavaju potrebe sistema (da budu lako detektovani, prepoznati i pročitani). Glavni nedostaci odnose se zapravo na faktore koji se mogu kategorisati kao eksterni uticaji, npr.: starost znaka ima direktan uticaj na njegov kvalitet. Zaklonjenost znaka utiče na mogućnost njegovog uočavanja i prepoznavanja. Takođe, delimično vandalizovanje ili oštećenje saobraćajnog znaka može imati manji ili veći uticaj na njegovu čitljivost. U tom smislu, većina analiziranih zemalja predlaže redovno održavanje vertikalne signalizacije i okruženja puta.

Generalno posmatrano, kada je reč o “tradicionalnoj” saobraćajnoj signalizaciji, prvi i osnovni korak u postupku obezbeđivanja adekvatne informacije za autonomna vozila jeste zadovoljenje propisanih (nacionalnih i međunarodnih) standarda i normi, koji se odnose na njen kvalitet. Tek nakon ispunjenja ovog uslova može se razmatrati dalje unapređenje i modifikacija saobraćajne signalizacije. Jednostavnim terenskim ispitivanjima može se zaključiti da određen broj znakova i oznaka ne ispunjava navedeni uslov, što samo znači da postojeći sistemi vizuelnih komunikacija ne odgovaraju minimalnim zahtevima vozača, a samim tim ni zahtevima autonomnih vozila. Upravo iz tog razloga, najveći broj autora kao primarnu meru navodi unapređenje kvaliteta saobraćajne signalizacije (horizontalne i vertikalne) ili makar održanje propisanog (zahtevanog) nivoa stanja i kvaliteta.

## **6. Zaključak**

U ovom radu izvršena je analiza osnovnih karakteristika horizontalne i vertikalne signalizacije u odnosu na zahteve autonomnih vozila. Diskutovani su potencijalni pravci razvoja znakova i oznaka u budućnosti i prikazani njihovi glavni nedostaci, koji u određenom smislu mogu uticati na masovniju upotrebu autonomnih vozila. Na osnovu sprovedenih analiza došlo se do nekoliko važnih zaključaka. Pre svega, važno je istaći da trenutne karakteristike saobraćajne signalizacije ukazuju na potrebu za njenim unapređenjem, ali tek nakon što se uspostavi adekvatan sistem monitoringa i kontrole stanja i kvaliteta znakova i oznaka. Glavni nedostaci saobraćajne

signalizacije odnose se, prvenstveno, na primenu drugačijih sistema komunikacije sa korisnicima, što znači da je potrebna unifikacija znakova i oznaka na globalnom nivou. Takođe, zaklonjenost signalizacije, oštećenost, vandalizovanost i sl., predstavljaju glavne prepreke u procesu efikasnog detektovanja i prepoznavanja. Shodno tome, autori, kao primarno rešenje, predlažu uspostavljanje redovnog sistema održavanja i kontrole stanja i kvaliteta kako saobraćajne signalizacije tako i njenog okruženja. Posebno analiziran aspekt u ovom radu odnosi se na set specifičnih problema koji se vezuju za detektovanje i vidljivost signalizacije u veoma lošim vremenskim uslovima (velike magle, snega i sl.), visokog nivoa oštećenosti, ali i nedostatka znakova i oznaka na području. U tom smislu, možda i vizionarski, predlaže se potpuno redizajniranje saobraćajne signalizacije, odnosno transformacija njene fizičke strukture u digitalnu. Ovakav koncept pruža različite pogodnosti kojima se, između ostalog, može rešiti i prethodno pomenuti problem prepoznavanja i čitanja signalizacije tokom veoma loših vremenskih uslova.

Na kraju, posmatrajući tehnološki razvoj i trenutna dostignuća, može se zaključiti da su promene, u oblasti koja se odnosi na izradu, implementaciju i unapređenje saobraćajne signalizacije, neminovne. Ipak, uspostavljeni trendovi i zahtevi u ovoj oblasti, ma koliko intenzivni, ukazuju na to da je za bilo kakve promene potrebno vreme, ali i resursi. Do tada, znakovi i oznake, u današnjoj formi, ostaće i dalje najvažniji medij komunikacije čoveka, puta, vozila i okruženja.

## Literatura

- [1] J. Kellett, R. Barreto, A. Van Den Hengel, and N. Vogiatzis, "How Might Autonomous Vehicles Impact the City? The Case of Commuting to Central Adelaide", *Urban Policy Res.*, vol. 37, no. 4, pp. 442–457, 2019.
- [2] J. Van Brummelen, M. O'Brien, D. Gruyer, and H. Najjaran, "Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow", *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 89, no. March, pp. 384–406, 2018.
- [3] "Службени гласник РС" бр. 14/21, *Правилник о саобраћајној сигнализацији*. 2021, p. 114.
- [4] P. Zdravković, B. Stanić, S. Vukanović, and S. Milosavljević, "Vertikalna signalizacija", *Elementi saobraćajnog projektovanja*, 1997, p. 154.
- [5] P. Zdravković, B. Stanić, S. Vukanović, and S. Milosavljević, "Horizontalna signalizacija", *Elementi saobraćajnog projektovanja*, 1997, p. 154.
- [6] H. Manivasakan, R. Kalra, S. O'Hern, Y. Fang, Y. Xi, and N. Zheng, "Infrastructure requirement for autonomous vehicle integration for future urban and suburban roads – Current practice and a case study of Melbourne, Australia", *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 152, no. August, pp. 36–53, 2021.
- [7] AtkinsMobility, "Connected & Autonomous Vehicles - Introducing the Future of Mobility", 2019.
- [8] A. O. Bălan, M. J. Black, H. Haussecker, and L. Sigal, "Shining a light on human pose: On shadows, shading and the estimation of pose and shape", *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis.*, no. Figure 1, pp. 1–8, 2007.
- [9] P. Hurney, P. Waldron, F. Morgan, E. Jones, and M. Glavin, "Review of pedestrian detection techniques in automotive far-infrared video", *IET Intell. Transp. Syst.*, vol. 9, no. 8, pp. 824–832, 2015.

- [10] A. Trpković, M. Šelmić, and S. Jevremović, “Model for the Identification and Classification of Partially Damaged and Vandalized Traffic Signs”, *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 25, no. 10, pp. 3953–3965, 2021.
- [11] Y. Liu, M. Tight, Q. Sun, and R. Kang, “A systematic review: Road infrastructure requirement for Connected and Autonomous Vehicles (CAVs)”, *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1187, no. 4, p. 13, 2019.
- [12] C. K. Toh, J. C. Cano, C. Fernandez-Laguia, P. Manzoni, and C. T. Calafate, “Wireless digital traffic signs of the future”, *IET Networks*, vol. 8, no. 1, pp. 74–78, 2019.
- [13] European Road Assessment Programme (EuroRAP) and EuroNCAP, “Roads that Cars can Read: A Quality Standard for Road Markings and Traffic Signs on Major Rural Roads”, 2013.
- [14] C. Johnson, “Readiness of the road network for connected and autonomous vehicles”, 2017.
- [15] J. Zalacain, “How New Technologies Could Change Road Signage in the Future”, 2013.
- [16] H. Farah, S. M. J. G. Erkens, T. Alkim, and B. van Arem, “Infrastructure for Automated and Connected Driving: State of the Art and Future Research Directions”, *Springer*, vol. 4, pp. 187–197, 2018.
- [17] Austroads, “Implications of Pavement Markings for Machine Vision”, 2020.
- [18] C. Davies, “Effects of Pavement Marking Characteristics on Machine Vision Technology”, *Transportation Research Board 96th Annual Meeting*, 2017, p. 9.
- [19] P. Carlson, “Pavement Markings for Machine Vision Systems”, *ITS World Congress*, 2017, p. 13.
- [20] European Union Road Federation, “Marking the way towards safer future”, 2018.

**Abstract:** *The development and improvement of traffic signalization follow, and in a certain sense, cause different technological trends, innovations and existing achievements. One of the significant milestones in terms of setting up and using traffic signalization is the development of autonomous vehicles. With the more frequent use of these vehicles, various issues have been raised, among which the place and importance of traffic signalization are being discussed in particular. Can existing signs and markings meet the demands of autonomous vehicles? Will the signage retain its physical structure, dimensions and appearance? What will be its effectiveness, the way of transmitting information, etc.? There is still no precise and unique answer to all these questions, but only visionary ideas, recommendations and different expectations. It is in this context that this paper was written, which aims to examine the possibilities of existing traffic signalization to respond to the demands of autonomous vehicles, but also to indicate the potential development and transformation of signs and markings in the future.*

**Keywords:** *traffic signalization, autonomous vehicles, smart roads, new technology, IoT.*

## **THE FUTURE OF TRAFFIC SIGNALIZATION IN THE ERA OF SMART ROADS AND AUTONOMOUS VEHICLES**

Ana Trpković, Branimir Stanić, Sreten Jevremović

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.039>

## ANALIZA PROTOKOLA RUTIRANJA BAZIRANIH NA UČENJU POTKREPLJIVANJEM ZA VANET MREŽE

Nenad Jevtić, Pavle Bugarčić  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet  
n.jevtic@sf.bg.ac.rs, p.bugarcic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Bežične ad hoc mreže za vozila (Vehicular Ad hoc Networks, VANETs) karakteriše velika mobilnost čvorova i česte promene u mrežnoj topologiji, što značajno otežava proces rutiranja paketa. Pokazalo se da tradicionalni protokoli rutiranja nisu u stanju da blagovremeno isprate ove promene. Iz tog razloga su razvijeni protokoli bazirani na učenju potkrepljivanjem, koji omogućavaju stalno praćenje promena u mrežnom okruženju i prilagođavanje procesa rutiranja tim promenama. U ovom radu je izvršena analiza i poređenje primene ove dve vrste protokola, sa ciljem da se dokaže svrsishodnost pristupa baziranog na učenju potkrepljivanjem kod VANET mreža. Za predstavnika tradicionalnih protokola izabran je AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) protokol, dok je za predstavnika protokola baziranih na učenju potkrepljivanjem izabran ARPRL (Adaptive Routing Protocol based on Reinforcement Learning). Rezultati simulacija su pokazali da ARPRL protokol pokazuje značajno bolje mrežne performanse u pogledu procenta izgubljenih paketa i kašnjenja paketa s kraja na kraj.*

**Ključne reči:** *protokoli rutiranja, učenje potkrepljivanjem, VANET*

### 1. Uvod

Sa razvojem pametnih gradova i inteligentnih transportnih sistema, bežične *ad hoc* mreže za vozila (*Vehicular Ad hoc Networks*, VANETs) postaju sve značajnije. VANET mreže predstavljaju posebnu kategoriju bežičnih *ad hoc* mreža (*Wireless Ad hoc Networks*, WANETs), kod kojih mrežu čvorova čini skup vozila koja međusobno komuniciraju putem bežičnih *ad hoc* linkova. Karakterišu ih česte promene u mrežnoj topologiji i velika brzina kretanja čvorova, koji iz tog razloga mogu veoma brzo izaći iz dometa čvorova koji šalju podatke. Promene u mrežnoj topologiji prouzrokuju česte prekide linkova između čvorova u mreži, što dovodi do degradacije različitih mrežnih performansi, kao što su kašnjenje s kraja na kraj (*end-to-end delay*, E2ED), protok (*throughput*), stepen uspešno isporučenih paketa (*packet delivery ratio*, PDR), itd.

Kako bi se prevazišli ovi problemi i unapredio proces rutiranja u VANET mrežama, neki autori predlažu korišćenje veštačke inteligencije prilikom izbora optimalne putanje za slanje podataka [1-3]. Najčešće korišćena oblast veštačke

inteligencije u protokolima rutiranja za VANET mreže je mašinsko učenje (*Machine Learning*, ML), a tip ML koji daje najperspektivnije rezultate je učenje potkrepljivanjem (*Reinforcement Learning*, RL) koje je detaljnije opisano u [4]. Glavna karakteristika ovog tipa učenja je stalna interakcija agenta učenja sa okruženjem, što omogućava praćenje i prilagođavanje promenama u okruženju. Zbog toga je učenje potkrepljivanjem posebno pogodno za primenu u mrežama čija se topologija često menja.

U ovom radu će biti izvršena analiza i poređenje rezultata primene tradicionalnih protokola rutiranja i protokola rutiranja baziranih na učenju potkrepljivanjem u VANET mrežama. Za predstavnika tradicionalnih protokola izabran je AODV (*Ad hoc On-Demand Distance Vector*) protokol [5], kao jedan od najpopularnijih reaktivnih protokola rutiranja za WANET mreže. Sa druge strane, za predstavnika protokola rutiranja baziranih na učenju potkrepljivanjem izabran je ARPRL (*Adaptive Routing Protocol based on Reinforcement Learning*) protokol [3]. Indikatori mrežnih performansi na osnovu kojih je izvršeno poređenje primene ovih protokola su procenat izgubljenih korisničkih paketa i prosečno kašnjenje paketa sa kraja na kraj mreže.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju su opisani principi funkcionisanja AODV i ARPRL protokola rutiranja. U trećem poglavlju je izvršeno poređenje i analiza mrežnih performansi dobijenih prilikom korišćenja ova dva protokola. U četvrtom poglavlju su data zaključna razmatranja.

## 2. Protokoli rutiranja za VANET mreže

Protokoli rutiranja odgovorni su za određivanje i održavanje optimalne putanje za prosleđivanje podataka u mreži. Kod VANET mreža svi čvorovi učestvuju u rutiranju podataka. Glavni izazov sa kojim se susreću protokoli rutiranja u ovim mrežama je velika mobilnost mrežnih čvorova, odnosno česte promene mrežne topologije. U ovakvim uslovima može doći do kasnog otkrivanja prekida linka na putanji koja se koristi za slanje podataka, što za posledicu ima gubitak paketa i smanjenje protoka u mreži. Iz tog razloga su neophodni novi pristupi u rutiranju, koji podrazumevaju brže otkrivanje promena u mreži i blagovremeni izbor nove putanje u slučaju prekida linkova na staroj putanji. U ovom poglavlju će biti prikazan, sa jedne strane, tradicionalni pristup rutiranju podataka, a sa druge strane noviji pristup koji podrazumeva uključivanje veštačke inteligencije u proces rutiranja. Najpre će biti opisan princip funkcionisanja AODV protokola, kao jednog od najpoznatijih tradicionalnih reaktivnih protokola rutiranja, a zatim i princip funkcionisanja ARPRL protokola koji spada u protokole rutiranja baziranje na učenju potkrepljivanjem.

### 2.1 AODV protokol

AODV protokol omogućava dinamično, samopokretno, *multihop* rutiranje između mobilnih čvorova koji žele da uspostave i održavaju komunikaciju u *ad hoc* mreži. Protokol se sastoji iz dva glavna mehanizma: „Otkrivanje putanje” (*Route Discovery*) i „Održavanje putanje” (*Route Maintenance*), koji zajedno rade kako bi čvorovi mogli da otkrivaju i održavaju putanje za proizvoljna odredišta u mreži.

Kada se javi potreba za slanjem podataka, AODV protokol aktivira mehanizam otkrivanja putanje uz korišćenje RREQ (*Route Request*) i RREP (*Route Replay*) kontrolnih paketa. Čvor koji želi da pošalje pakete podataka najpre šalje difuzne RREQ

pakete sa ciljem da pronađe najbolju putanju do odredišta. RREQ paket može primiti neki međučvor ili odredišni čvor. Ukoliko je paket primio međučvor, najpre će ažurirati putanju do izvornog čvora u svojoj tabeli rutiranja, a zatim proveriti da li ima odgovarajuću putanju do željenog odredišta i ako ima poslati je izvornom čvoru putem RREP paketa. U suprotnom difuzno će reemitovati RREQ paket dalje u mrežu. Kada odredišni čvor primi RREQ paket, on prvo kreira (ili ažurira) svoju tabelu rutiranja podatkom o putanji do izvornog čvora, pa šalje RREP paket ka izvornom čvoru istom putanjom kojom je primio RREQ paket. Kada primi RREP paket, izvorni čvor počinje sa slanjem paketa podataka ka odredištu istom putanjom kojom je primio RREP paket. Ukoliko primi više RREP paketa, izvorni čvor bira putanju sa najmanjim brojem hopova do odredišta.

Mehanizam održavanja putanje se odvija pomoću *Hello* kontrolnih paketa. Čvorovi periodično šalju *Hello* pakete ka svojim susedima kako bi obavestili ostale čvorove da li su aktivni. Ukoliko čvor ne primi *Hello* paket u unapred definisanom vremenskom intervalu od nekog od ranijih suseda, smatraće da je link ka tom susedu u prekidu. U slučaju prekida linka čvor slanjem RERR (*Route Error*) paketa obaveštava sve svoje susede koji su koristili taj link da više nije dostupan. Svaki čvor ima svoju tabelu rutiranja u koju su smešteni podaci o rutama memorisanim u skladu sa unapred definisanim vremenom (*Delete Period*). Nakon isteka ovog vremena, podaci iz tabela rutiranja u čvorovima se brišu.

## 2.2 ARPRL protokol

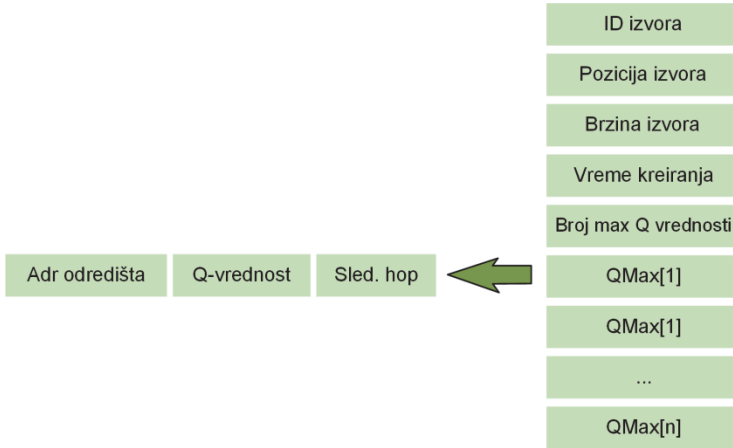
Sa ciljem unapređenja performansi mreže koje degradiraju zbog brzih promena u mrežnoj topologiji koje AODV protokol ne može uspešno da prati, u ovom poglavlju opisan je ARPRL protokol koji se bazira na učenju potkrepljivanjem. Konkretno, u ovom protokolu je korišćen algoritam Q-učenja (*Q-learning*) [4] koji predstavlja jedan od najčešće korišćenih tipova učenja potkrepljivanjem.

Za rutiranje podataka svaki čvor koristi svoju Q-tabelu, koja se sastoji od Q-vrednosti koje se ažuriraju razmenom *Hello* paketa između susednih čvorova, prijemom paketa podataka i pomoću povratnih informacija sa MAC (*Medium Access Control*) sloja. Pored Q-tabele svaki čvor održava tabelu suseda, kako bi u svakom trenutku znao skup dostupnih susednih čvorova. Ova tabela se ažurira samo razmenom *Hello* paketa. Kada čvor želi da pošalje pakete podataka ka odredištu, on prvo proverava u svojoj Q-tabeli da li ima sledeći hop ka tom odredištu. Ukoliko nema, inicira proces pronalaženja putanje korišćenjem LPREQ (*Learning Probe Request*) i LPREP (*Learning Probe Reply*) kontrolnih paketa, koji je veoma sličan procesu otkrivanja putanje kod AODV protokola.

Svako vozilo u mreži se ponaša kao agent učenja i neprekidno prikuplja informacije o stanju linkova u mreži kroz interakciju sa svojim susedima periodičnim slanjem *Hello* paketa. Struktura *Hello* paketa prikazana je na slici 1. Svaki *Hello* paket sadrži sledeća polja: ID, poziciju i brzinu izvornog čvora, vreme kreiranja *Hello* paketa, broj maksimalnih Q-vrednosti sadržanih u *Hello* paketu, na šta se nadovezuje niz maksimalnih Q-vrednosti. Ukoliko čvor ima više potencijalnih putanja do određenog odredišta, izabraće onu sa najvećom Q-vrednošću koja predstavlja maksimalnu Q-vrednost za to odredište. Ponavljanjem ovog procesa za sve odredišne čvorove u mreži kreira se niz maksimalnih Q-vrednosti. Svaka maksimalna Q-vrednost sadrži adresu



odredišnog čvora, odgovarajuću Q-vrednost i adresu sledećeg hopa na putanji ka odredištu.



Slika 1. Struktura Hello paketa

Svaki čvor koji ima podatke za slanje ka određenom odredištu bira sledeći hop sa najvećom Q-vrednošću, kako bi izabrao najbolju putanju za slanje podataka. Zato je jako bitno redovno ažuriranje ovih vrednosti, zbog dinamičke prirode VANET mreža. Prvi način ažuriranja Q-vrednosti je preko kontrolnih paketa. Kada primi *Hello* paket, svako vozilo ažurira svoju Q-vrednost na osnovu informacija iz *Hello* paketa. Ako čvor ne primi *Hello* paket od određenog suseda u unapred definisanom intervalu vremena, Q-vrednost za tog suseda biće resetovana na 0. Nakon prijema *Hello* paketa od svog suseda  $n$ , posmatrano vozilo  $c$  će ažurirati svoju Q-tabelu prema sledećoj formuli:

$$Q_c(d, n) = (1 - \alpha_{c,n}) \square Q_c(d, n) + \alpha_{c,n} [R_{c,n} + \gamma_{c,n} \square \max_{y \in Nei(n)} Q_n(d, y)] \quad (1)$$

gde je  $d$  odredišno vozilo,  $Nei(n)$  predstavlja skup suseda čvora  $n$ , a  $\alpha_{c,n}$ ,  $\gamma_{c,n}$  i  $R_{c,n}$  predstavljaju stopu učenja, diskontni faktor i nagradu respektivno, i definišu se na sledeći način:

$$\alpha_{c,n} = \max \left( 0, 2, \frac{|v_c| - |v_n|}{v_{max} - v_{min}} \right) \quad (2)$$

gde  $v_c$  i  $v_n$  predstavljaju brzine kretanja čvorova  $c$  i  $n$ , a  $v_{max}$  i  $v_{min}$  maksimalnu i minimalnu brzinu u mreži;

$$\gamma_{c,n} = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^N R_{c,n}}{N}, & N \neq 0 \\ 0, & N = 0 \end{cases} \quad (3)$$

gde je  $N$  ukupan broj vozila u mreži;

$$R_{c,n} = C + HMRR_{c,n} + LET_{c,n} \quad (4)$$

gde je  $C$  konstanta i ima vrednost 100, a  $HMRR_{c,n}$  i  $LET_{c,n}$  predstavljaju stepen uspešno primljenih *Hello* poruka i faktor stabilnosti linka respektivno, a računaju se na osnovu sledećih formula:

$$HMRR_{c,n} = \begin{cases} 100 \square \frac{CNT_r(c,n)}{CNT_s(n)}, & CNT_s(n) \geq 15 \\ 100 \square \frac{CNT_r(c,n)}{CNT_s(n)} \square \left(1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{CNT_s(n)}\right), & \text{inače} \end{cases} \quad (5)$$

gde je  $CNT_r(c,n)$  broj *Hello* poruka koje je čvor  $c$  primio od čvora  $n$ , a  $CNT_s(n)$  broj *Hello* poruka koje je čvor  $c$  poslao ka čvoru  $n$ ;

$$LET_{c,n} = \begin{cases} 100, & A = 0 \text{ i } B = 0 \\ \min\left(100, \frac{-(AB+CD) + \sqrt{(A^2+C^2) \square R^2 - (AD-BC)^2}}{A^2+B^2}\right), & \text{inače} \end{cases} \quad (6)$$

gde se  $A$ ,  $B$ ,  $C$  i  $D$  računaju preko sledećih formula:

$$A = v_c \cos(\Theta_{v_c}) - v_n \cos(\Theta_{v_n}) \quad (7)$$

gde  $v_c \cos(\Theta_{v_c})$  i  $v_n \cos(\Theta_{v_n})$  predstavljaju projekcije brzina čvorova  $c$  i  $n$  na  $x$  osu respektivno;

$$B = x_c - x_n \quad (8)$$

gde  $x_c$  i  $x_n$  predstavljaju  $x$  koordinate čvorova  $c$  i  $n$  respektivno;

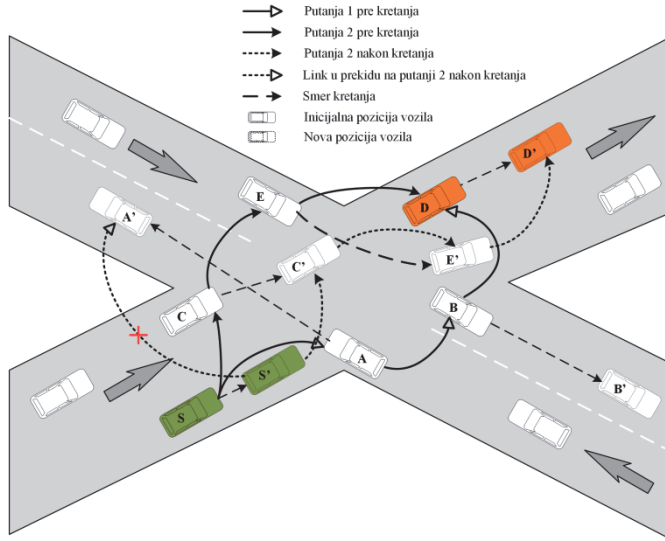
$$C = v_c \sin(\Theta_{v_c}) - v_n \sin(\Theta_{v_n}) \quad (9)$$

gde  $v_c \sin(\Theta_{v_c})$  i  $v_n \sin(\Theta_{v_n})$  predstavljaju projekcije brzina čvorova  $c$  i  $n$  na  $y$  osu respektivno;

$$D = y_c - y_n \quad (10)$$

gde  $y_c$  i  $y_n$  predstavljaju  $y$  koordinate čvorova  $c$  i  $n$  respektivno;

Očigledno je da će čvorovi sa većim koeficijentom  $LET_{c,n}$  imati veće  $Q$ -vrednosti, što znači da se prednost pri odabiru sledećeg hopa daje stabilnijim putanjama. Kako bi se ovo demonstriralo na slici 2 je predstavljen jedan jednostavan scenario u VANET mreži. Komunikacija između vozila S i D je moguća preko dve potencijalne putanje: jedna je preko vozila A ( $S \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow D$ ) i druga preko vozila C ( $S \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow D$ ). Pošto se vozilo A sve više udaljava od vozila S, dok vozilo C nastavlja pravo kao i vozilo S, prva putanja će izgubiti konekciju nakon nekog vremena zbog prekida linka ( $S' \rightarrow A'$ ), a putanja preko vozila C ostaje validna. Shodno tome, susedno vozilo C je pogodnije da bude izabrano za sledeći hop na putanji od vozila S do vozila D.



Slika 2. VANET scenario koji pokazuje ulogu LET u rutiranju podataka

Drugi način ažuriranja Q-vrednosti je nakon prijema paketa podataka. Kada primi pakete podataka poslate od izvornog čvora  $s$  preko susednog čvora  $n$ , čvor  $c$  ažurira Q-vrednosti preko formule:

$$Q_c(s, n) = (1 - \alpha_{c,n}) \square Q_c(s, n) + \alpha_{c,n} [R_{c,n} + \gamma_{c,n} \square \max_{y \in Nei(n)} Q_n(s, y)] \quad (11)$$

Treći vid ažuriranja Q-vrednosti je na osnovu povratne informacije sa MAC sloja. Po prijemu obaveštenja sa MAC sloja o gubitku paketa od susednog čvora  $n$ , čvor  $c$  za svaku destinaciju  $d_i$  ažurira Q-vrednosti preko sledeće formule:

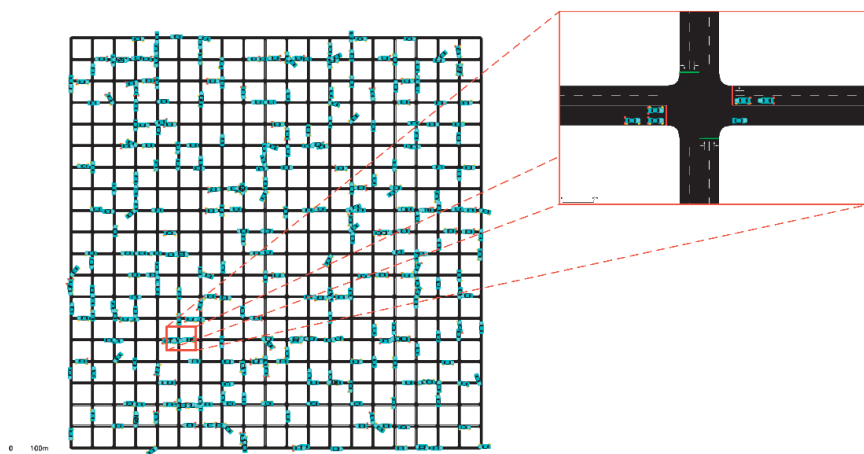
$$Q_c(d_i, n) = 0,5 \square Q_c(d_i, n) \quad (12)$$

što znači da će Q-vrednosti za putanje preko susednog čvora  $n$  biti sve manje nakon svakog prijema obaveštenja o gubitku paketa na MAC sloju.

### 3. Analiza simulacionih rezultata

Simulacija je izvršena korišćenjem NS-3 (*Network Simulator 3*) mrežnog simulatora [6] i dobro poznatog SUMO (*Simulation of Urban MObility*) simulatora mobilnosti vozila [7]. Simulacioni scenario koristi uobičajeni *Manhattan Grid* model mobilnosti sa 20 horizontalnih i 20 vertikalnih ulica u polju od 2000 m x 2000 m. Svaka ulica ima po 2 trake za kretanje u oba smera. Kako bi scenario bio što je moguće realniji, svaka peta raskrsnica po horizontalnoj i vertikalnoj osi sadrži semafor. SUMO simulator generiše kretanje vozila u definisanom prostoru, pri čemu se vozila kreću ulicama uz ograničenje brzine od 15 m/s. Protokoli rutiranja su testirani varijacijom gustine saobraćaja, odnosno povećanjem broja vozila od 50 do 250, sa korakom od 50 vozila.

Opisani simulacioni scenario prikazan je na slici 3, gde je kao detalj izdvojena jedna od raskrsnica sa semaforom.



Slika 3. Simulacioni scenario: 2000 m x 2000 m, 20 ulica po svakoj osi, svaka peta raskrsnica sa semaforom

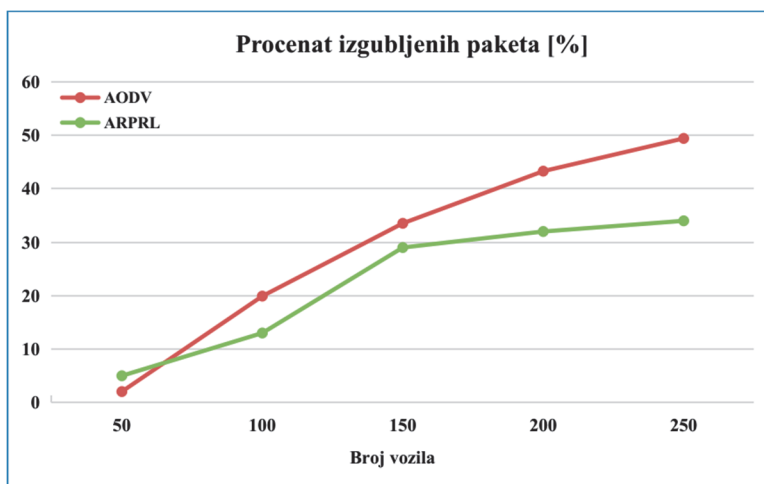
Za komunikacione parametre simulacije pretpostavljene su sledeće vrednosti. Koristi se IEEE 802.11p standard za bežične mreže, sa propusnim opsegom od 10 MHz i protokom od 6 Mb/s. Za model propagacije odabran je *Two Ray Ground*. Testrani su i upoređeni protokoli rutiranja AODV i prethodno opisani ARPRL protokol koji predstavlja modifikaciju AODV protokola baziranu na učenju potkrepljivanjem. Korišćen je UDP (*User Datagram Protocol*) protokol na transportnom sloju. Aplikacioni sloj generiše pakete veličine 512 B koristeći CBR (*Constant Bit Rate*) saobraćaj, pri čemu je ostvareni aplikacioni protok 4 kb/s. Aplikacioni paketski saobraćaj generiše deset nasumično izabranih vozila, dok drugih deset vozila, takođe nasumično odabranih, primaju generisane pakete. Ostali parametri imaju podrazumevana podešavanja za mrežni simulator. Pregled najvažnijih parametara simulacije prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Pregled parametara simulacije

Parametar	Vrednost
Dimenzije prostora	2000 m x 2000 m
Ulice	Po 20 horizontalnih i vertikalnih ulica
Vreme simulacije	600 s
Broj vozila	50, 100, 150, 200, 250
Maksimalna brzina vozila	15 m/s
Model mobilnosti	<i>Manhattan Grid</i>
Propagacioni model	<i>Two Ray Ground</i>
MAC	IEEE 802.11p, širina kanala 10 MHz, protok 6 Mb/s
Protokol rutiranja	AODV, ARPRL
Transportni protokol	UDP
Aplikacioni protok	4 kb/s (CBR, 10 vozila)
Veličina paketa	512 B

Posmatrana su dva indikatora performansi mreže: procenat izgubljenih korisničkih paketa i prosečno kašnjenje paketa sa kraja na kraj mreže. Urađeno je 200 iteracija simulacija sa različitim podešavanjima za generator slučajnih brojeva i nakon toga izračunata je srednja vrednost za oba indikatora.

Gustina vozila u VANET mrežama ima značajan uticaj na performanse protokola. U ovom radu analiza je izvršena uz fiksiranu maksimalnu brzinu vozila od 15 m/s, a varijacijom broja vozila od 50 do 250 povećava se gustina saobraćaja. Rezultati simulacija prikazani su na slikama 4 i 5.

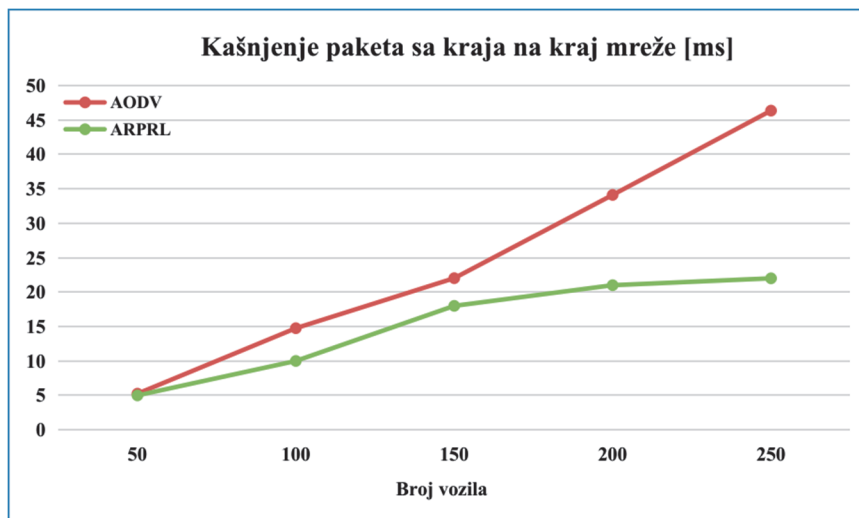


Slika 4. Zavisnost procenta izgubljenih korisničkih paketa od gustine vozila

Slika 4 prikazuje prosečan procenat gubitka korisničkih paketa za oba protokola rutiranja u zavisnosti od broja vozila u simulacionom okruženju. Sa porastom gustine vozila verovatnoća nalaženja kvalitetne putanje raste, te se u izvesnim situacijama može očekivati i poboljšanje rezultata, odnosno smanjenje vrednosti za procenat izgubljenih paketa. Međutim, u razmatranom scenariju, zbog velike dinamike vozila, topologija mreže se brzo menja i dolazi do čestih prekida linkova i slanja RERR paketa, kao i do potrebe za ponovnim slanjem RREQ paketa. Često ponovno otkrivanje putanje dovodi do plavljenja (*flooding*) i degradacije mreže u pogledu gubitka korisničkih paketa zbog povećanog broja kolizija. Ova pojava posebno dolazi do izražaja kada je broj RREQ paketa veliki, odnosno kada u mreži ima puno vozila. Stoga se na slici 4 primećuje jasan trend rasta procenta gubitka paketa za AODV protokol sa povećanjem gustine vozila. Međutim, ARPRL protokol koristi proaktivno Q-učenje koje mu omogućava izbor boljih i stabilnijih putanja, kao i bržu promenu putanje ukoliko dođe do prekida nekog od linkova na toj putanji. Zbog toga ARPRL protokol pokazuje značajno manju degradaciju performansi u pogledu gubitka paketa.

Slika 5 prikazuje prosečno kašnjenje paketa sa kraja na kraj mreže za svaki protokol rutiranja u zavisnosti od broja vozila u simulacionom okruženju. I kod ovog indikatora performanse mreže rezultati pokazuju značajnu degradaciju kod AODV protokola iz gore opisanih razloga. S druge strane, ARPRL protokol ne pokazuje

značajniju degradaciju pri povećanju broja vozila u mreži zadržavajući prosečna kašnjenja paketa u prihvatljivim granicama.



Slika 5. Zavisnost ostvarenog kašnjenja paketa sa kraja na kraj mreže od gustine vozila

#### 4. Zaključak

U ovom radu je izvršena analiza i poređenje rezultata primene AODV i ARPRL protokola rutiranja u VANET mrežama. AODV protokol predstavlja tradicionalni reaktivni protokol rutiranja, što znači da se tek u slučaju javljanja potrebe za slanjem paketa pokrene procedura istraživanja putanje. Očigledno je da AODV protokol nije u stanju da blagovremeno isprati česte promene topologije u VANET mrežama, što rezultuje visokim procentom izgubljenih paketa i velikim kašnjenjem paketa u mreži. Ovo posebno dolazi do izražaja sa povećanjem broja mrežnih čvorova, gde je zbog čestih prekida mrežnih linkova neophodno iznova započinjati proceduru pronalaženja putanje, što dovodi do preopterećenja mreže i degradiranja mrežnih performansi. S druge strane, ARPRL protokol pronalazi optimalnu putanju uz pomoć učenja potkrepljivanjem, koje omogućava stalno praćenje i prilagođavanje promenama u mrežnoj topologiji. Ovo rezultuje značajno boljim mrežnim performansama u pogledu procenta izgubljenih paketa i kašnjenja paketa sa kraja na kraj mreže, što posebno dolazi do izražaja sa povećanjem broja vozila u mreži.

U okviru budućih istraživanja planirana je dalja analiza i testiranje protokola rutiranja baziranih na učenju potkrepljivanjem za VANET mreže, kao i razvoj novog protokola koji bi se još bolje prilagodio dinamičkoj prirodi VANET mreža. Takođe, istraživanje se može proširiti i na FANET (*Flying Ad hoc Networks*) mreže koje postaju sve atraktivnije sa ubrzanim razvojem bespilotnih letelica. Osim toga moguće je, pored opisanog algoritma Q-učenja, testirati primenu unapređenih algoritama učenja potkrepljivanjem, kao što su duboko učenje potkrepljivanjem (*deep reinforcement learning*) i duelno duboko učenje potkrepljivanjem (*dueling deep reinforcement learning*).

## Literatura

- [1] C. Wu, K. Kumekawa, and T. Kato, "Distributed reinforcement learning approach for vehicular ad hoc networks", *IEICE transactions on communications*, vol. 93, pp. 1431-1442, June 2010. DOI: 10.1587/transcom.E93.B.1431
- [2] C. Wu, S. Ohzahata, and T. Kato, "Flexible, Portable, and Practicable Solution for Routing in VANETs A Fuzzy Constraint Q-Learning Approach", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 62, pp. 4251-4263, July 2013. DOI: 10.1109/TVT.2013.2273945
- [3] J. Wu, M. Fang, and X. Li. "Reinforcement Learning Based Mobility Adaptive Routing for Vehicular Ad-Hoc Networks", *Wireless Personal Communications*, vol. 101, pp. 2143-2171, May 2018. DOI: 10.1007/s11277-018-5809-z
- [4] N. Jevtić, M. Malnar, and P. Bugarčić. "Primena učenja potkrepljivanjem u protokolima rutiranja za dinamičke bežične *ad hoc* mreže", in *XXXIX Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2021*, pp. 249-258, December 2021.
- [5] C. Perkins, E. Belding-Royer, and Ss Das, "Ad Hoc On demand Distance Vector (AODV) routing" RFC 3561, IETF, October 2003.
- [6] NS-3, [Online]. Available at: <https://www.nsnam.org/>
- [7] SUMO, [Online]. Available at: <https://www.eclipse.org/sumo/>

**Abstract:** *Vehicular Ad hoc Networks (VANETs) are characterized by high mobility of nodes and frequent changes in the network topology, which significantly complicates the process of routing data packets. It has been shown that traditional routing protocols are unable to promptly follow these changes. This is the reason why protocols based on reinforcement learning have been developed, as they enable constant monitoring of changes in the network environment and adaptation of the routing process to those changes. In this paper, an analysis and comparison of the application of these two types of protocols are performed, to prove the utility of the approach based on reinforcement learning in VANETs. The AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) protocol is chosen as the representative of traditional protocols, while the ARPRL (Adaptive Routing Protocol based on Reinforcement Learning) protocol is chosen as the representative of protocols based on reinforcement learning. The simulation results showed that the ARPRL protocol shows significantly better network performance in terms of packet loss ratio and end-to-end delay.*

**Keywords:** *routing protocols, reinforcement learning, VANET*

## ANALYSIS OF REINFORCEMENT LEARNING-BASED ROUTING PROTOCOLS FOR VANETS

Nenad Jevtić, Pavle Bugarčić

## INDEKS AUTORA

Anastasov Jelena	319	Mitrović Slobodan	213
Andrejić Milan	33	Mladenović Dušan	337
Atanasković Predrag	151	Mladenović Snežana	249
Bakmaz Bojan	223	Mrdenović Ljubomir	259
Banković Filip	205	Muharemović Ermin	123
Bašić Ilarija	191	Muškatirović Zekić Tamara	241
Blagojević Mladenka	171	Nešić Milutin	269
Bojković Nataša	53	Nešić Vladan	259
Bojković Zoran	223	Nešković Nataša	241
Bojović Nebojša	71	Ninović Milena	133
Bondžulić Boban	299	Pajić Vukašin	13
Božić Mladen	89	Paler Stjepan	101
Budimir Đurađ	241	Panajotović Aleksandra	319
Bugarčić Pavle	375	Paunović Goran	111
Cvitić Ivan	279	Pavlov Nikola	89
Čorić Nino	191	Pavlović Boban	299
Čačić Nataša	133	Peraković Dragan	279
Dabić Miletić Svetlana	43	Periša Marko	279
Dimitrijević Branka	63	Petrović Ivan	259
Dobrodolac Momčilo	161	Petrović Marijana	53
Dumnić Slaviša	151	Petrović Vladeta	3
Dupljanin Đorđije	151	Petrović Vujačić Jelica	23
Đurđević Dragan	89	Plečić Anica	205
Đurović Aleksandar	205	Pronić Rančić Olivera	77
Folla Katerina	347	Radojičić Valentina	213
Gavrovska Ana	309	Radonjić Đogatović Vesna	327
Ivanović Marta	327	Rakić Estera	143
Janković Slađana	249	Ratković Branislava	63
Jelisavac Trošić Sanja	3	Rogan Ivana	77
Jevtić Nenad	375	Samčović Andreja	309
Jovanović Bojan	143	Sardelić Andrej	101
Kilibarda Milorad	13	Simić Miodrag	3
Knežević Nikola	71	Simić Vladimir	63
Kosovac Amel	123	Simović Nevena	289
Kostić-Ljubisavljević Aleksandra	289	Stanić Branimir	365
Lazarević Dragan	161	Stanisavljević Đorđe	337
Luković Aleksandar	309	Stanivuković Bojan	171
Malnar Marija	357	Stefanović Ivana	249
Maričić Aleksandra	151	Stojanović Mirjana	259
Marinković Zlatica	231	Stojanović Višić Biljana	3
Marković Dejan	161	Stošić Biljana	231
Marković Dušan	231	Sulić Filipović Mihaela	191
Marković Goran	205	Šarac Dragana	133
Marković Vera	231	Tešić Milan	347
Medić Adisa	123	Tošić Pavle	357
Mikavica Branka	289	Trpković Ana	365
Miladić-Tešić Suzana	347	Uzelac Ana	249
Milenković Miloš	71	Uzelac Milica	299
Milić Dejan	319	Vasić Nebojša	13
Milosavljević Nataša	71	Zdravković Stefan	337
Milović Daniela	319	Zeković Amela	269
Milutinović Jelena	181	Zorić Petra	279
Miljković Marko	23	Živojinović Tanja	53



CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

621.39(082)  
004.72:316.774(082)  
004.738.5:339(082)  
656.8(497.11)(082)

**СИМПОЗИЈУМ о новим технологијама у поштанском и  
телекомуникационом саобраћају (40 ; 2022 ; Београд)**

Zbornik radova / Četrdeseti Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju PosTel 2022, Beograd, 29. i 30. novembar 2022. godine ; [organizator] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Odsek za poštanski i telekomunikacioni saobraćaj ; editori Valentina Radojičić ... [et al.]. - Beograd : Univerzitet, Saobraćajni fakultet, 2022 (Beograd : Birograf comp). - X, 385 str. : ilustr. ; 24 cm

Srodni elektronski

izvor: <https://ebooks.sf.bg.ac.rs/index.php/FTTE/catalog/book/19>. -

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 300. - Str. V-VI: Predgovor / editori. - Napomene i bibliografske reference uz radove. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts. - Registar.

ISBN 978-86-7395-461-5

doi: [10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.PS](https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.PS)

а) ПТТ саобраћај -- Зборници б) ПТТ служба -- Организација -- Србија -- Зборници в) Мултимедијалне комуникације -- Зборници г) Електронско пословање -- Зборници д) Телекомуникационе мреже -- Зборници

COBISS.SR-ID 79959817



МИНИСТАРСТВО ПРОСВЕТЕ,  
НАУКЕ И ТЕХНОЛОШКОГ РАЗВОЈА



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ



Република Србија

Министарство  
трговине, туризма  
и телекомуникација



РЕПУБЛИКА СРБИЈА  
**РАТЕЛ**  
РЕГУЛАТОРНА АГЕНЦИЈА ЗА  
ЕЛЕКТРОНСКЕ КОМУНИКАЦИЈЕ  
И ПОШТАНСКЕ УСЛУГЕ



**mts**



HUAWEI



www.tcom.rs



Public Transport Consult

