

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

**ČETRDESET TREĆI SIMPOZIJUM  
O NOVIM TEHNOLOGIJAMA U  
POŠTANSKOM I TELEKOMUNIKACIONOM  
SAOBRAĆAJU**

**ZBORNIK RADOVA**

# **PosTel 2025**

**EDITORI:**

**Prof. dr Goran Marković  
Prof. dr Nebojša Bojović  
Prof. dr Dejan Marković  
Prof. dr Mirjana Stojanović**

**BEOGRAD  
16. i 17. decembar 2025. godine**

**PosTel 2025 – XLIII Simpozijum o novim tehnologijama  
u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju  
– zbornik radova –**

---

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Editori:                    | Prof. dr Goran Marković,<br>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet<br>Prof. dr Nebojša Bojović,<br>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet<br>Prof. dr Dejan Marković,<br>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet<br>Prof. dr Mirjana Stojanović,<br>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet |
| Za izdavača:                | Prof. dr Milorad Kilibarda, dekan                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Glavni i odgovorni urednik: | Prof. dr Mirjana Bugarinović,<br>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet                                                                                                                                                                                                                                        |
| Tehnički urednik:           | Predrag Knežević                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Priprema:                   | dr Pavle Bugarčić                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Izdavač:                    | Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,<br>Vojvode Stepe 305,<br>Telefon: 3976-017,<br>Fax: 3096-704,<br><a href="http://www.sf.bg.ac.rs">http://www.sf.bg.ac.rs</a>                                                                                                                                           |
| Štampa:                     | Pekograf DOO,<br>Vojni put 258/d, 11080 Zemun;                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Tiraž:                      | 300 primeraka                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Godina publikovanja:        | 2025.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| DOI:                        | <a href="https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673955056/POSTEL.2025.PS">https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673955056/POSTEL.2025.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:                       | 978-86-7395-505-6                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Ovo je publikacija otvorenog pristupa, a radovi u njoj se distribuiraju pod sledećim uslovima:  
Attribution - Autorstvo CC BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## **ORGANIZATOR**

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

## **SUORGANIZATORI**

JAVNO PREDUZEĆE "POŠTA SRBIJE"

"TELEKOM SRBIJA" A.D.

REGULATORNO TELO ZA ELEKTRONSKE  
KOMUNIKACIJE I POŠTANSKE USLUGE – RATEL

## **POKROVITELJI**

MINISTARSTVO NAUKE, TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I  
INOVACIJA REPUBLIKE SRBIJE

MINISTARSTVO INFORMISANJA I TELEKOMUNIKACIJA  
REPUBLIKE SRBIJE

## **DONATORI I SPONZORI**

UNICOM TELECOM D.O.O.

TCOM D.O.O.

A1 SRBIJA D.O.O.

KBV DATACOM D.O.O.

SAOBRAĆAJNI INSTITUT CIP D.O.O.

IRITEL A.D.

CRONY D.O.O.

DEX D.O.O.

ALGOTECH D.O.O.

BEXEXPRESS D.O.O.

## POČASNI ODBOR

Bakmaz Miodrag  
Bojković Zoran  
Bukumirović Milan  
Gospić Nataša  
Jovanović Dobrivoje  
Vešović Vujadin

## PROGRAMSKI ODBOR

Marković Goran, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, predsednik Odbora  
Bakmaz Bojan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Blagojević Mladenka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Bojović Nebojša, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Dimitrijević Branka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Dobrodolac Momčilo, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Đogotović Marko, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Jevtić Nenad, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Jovanović Mihailo, Kancelarija za informacione tehnologije i elektronsku upravu  
Jovičić Olja, JP Pošta Srbije  
Knežević Nikola, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Kostić-Ljubisavljević Aleksandra, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Malnar Marija, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Marković Dejan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Mikavica Branka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Ostojić Ljubomir, RATEL  
Pejović Dragan, RATEL  
Popović Đorđe, Univerzitet u Istočnom Sarajevu – Saobraćajni fakultet u Doboju  
Radojičić Valentina, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Radonjić Đogotović Vesna, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Samčović Andreja, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Simić Vladimir, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Stanivuković Bojan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Stojanović Mirjana, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Šarac Dragana, Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka  
Trubint Nikola, RATEL

## ORGANIZACIONI ODBOR

Marković Dejan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, predsednik Odbora  
Blagojević Mladenka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Bugarčić Pavle, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Čupić Aleksandar, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Dobrodolac Momčilo, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Dupljanin Đorđije, Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka  
Đumić Slavko, JKP Infostan tehnologije  
Jovanović Bojan, Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka  
Luković Aleksandar, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Manović Momir, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Matijašević Nikola, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Mitrović Slobodan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet



## P R E D G O V O R

*Zbornik radova XLIII Simpozijuma o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2025, sadrži rezultate istraživanja iz oblasti poštanskog i telekomunikacionog saobraćaja u proteklom jednogodišnjem periodu.*

*Organizator Simpozijuma je Odsek za poštanski i telekomunikacioni saobraćaj Saobraćajnog fakulteta u Beogradu. Suorganizatori su: JP "Pošta Srbije", "Telekom Srbija" a.d. i Regulatorno telo za elektronske komunikacije i poštanske usluge – RATEL. Pokrovitelji su: Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije i Ministarstvo informisanja i telekomunikacija Republike Srbije.*

*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,*
- *Telekomunikacioni saobraćaj, mreže i servisi.*

*Sekcija **Menadžment poslovnih procesa u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju** obuhvata aktuelna istraživanja i praktična rešenja koja odražavaju duboke transformacije u kojima se nalazi savremeni poštanski i telekomunikacioni sektor. Radovi u ovoj sekciji bave se ključnim temama kao što su digitalizacija, održivost, inkluzivnost, tehnološke inovacije i novi modeli upravljanja. Posebna pažnja posvećena je ulozi javno-privatnih partnerstava, primeni ESG standarda, zaštiti korisnika, razvoju e-usluga i modernizaciji operacija zasnovanih na IoT tehnologijama. Kroz različite studije slučaja i analitičke pristupe, radovi ističu potrebu za organizacionom rekonfiguracijom poštanskih operatora, razvojem inkluzivnih servisa i unapređenjem kvaliteta korisničkog iskustva. Ova sekcija pruža sveobuhvatan uvid u izazove i mogućnosti koje oblikuju budućnost poštanskog i telekomunikacionog sistema, naglašavajući važnost strateškog menadžmenta u procesu digitalne i zelene transformacije.*

*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 strateške pravce razvoja poštanskog saobraćaja, zatim modele primene savremenih informacionih tehnologija za optimizaciju kako tehnološkog procesa, tako i*

*regulative. Teme od interesa odnose se na održivost poslovanja poštanskih operatora, sa posebnim akcentom na unapređenje dostave. Kvalitet univerzalne poštanske usluge i proces standardizacije u poštanskom saobraćaju su neki od ključnih izazova. Takođe, predmet interesovanja u ovoj sekciji je primena savremenih tehnoloških rešenja u poštanskoj logistici. Pored toga, autori predlažu primenu odgovarajućih metoda višekriterijumske analize za rangiranje sistema za preradu paketskih pošiljaka.*

*Radovi u sekciji **Telekomunikacioni saobraćaj, mreže i servisi** posvećeni su aktuelnim dostignućima u razvoju savremenih telekomunikacionih mreža, sistema i tehnologija, kao i njihovoj primeni u saobraćaju i transportu. U značajnom broju radova razmatrani su novi algoritmi, tehnike i oblasti primene veštačke inteligencije i mašinskog učenja. Analizirana su postojeća i predložena nova rešenja u mrežama zasnovanim na aktuelnim telekomunikacionim tehnologijama, kao što su LTE, 6G i VLC. Istraživani su novi koncepti savremenih sistema za nadzor i upravljanje telekomunikacionim mrežama, koji obuhvataju video nadzor, sajber bezbednost i upravljanje poverenjem. U jednom broju radova predstavljeni su originalni naučni doprinosi koji obuhvataju protokole rutiranja, tehnike upravljanja saobraćajem, softver za diskretnu stohastičku simulaciju, kao i metode predikcije različitih parametara relevantnih za telekomunikacioni saobraćaj i mreže. Poseban akcenat je na primeni novih tehnologija u okruženju pametnih kuća, VANET mreža, kao i drumskog i vodnog saobraćaja i transporta.*

Editori

# S A D R Ź A J

## ***MENADŽMENT PROCESA U POŠTANSKOM I TELEKOMUNIKACIONOM SAOBRAĆAJU***

**Olja Jovičić, Spasenija Ožegović:**

JAVNO PRIVATNO PARTNERSTVO U OBLASTI  
ELEKTRONSKIH USLUGA U POŠTANSKOM SEKTORU..... 3

**Viktor Kostić:**

DIGITALIZACIJA PISAMA U SUDSKOM,  
UPRAVNOM I PREKRŠAJNOM POSTUPKU..... 15

**Miodrag Simić, Marko Pavlović, Dragana Đurić, Dragana Radosavljević:**

ULOGA DRUŠTVENO ODGOVORNOG POSLOVANJA U JAČANJU  
POVERENJA KORISNIKA – STUDIJA SLUČAJA POŠTE SRBIJE..... 21

**Biljana Stojanović-Višić, Vladimir Tomašević, Jerotija Matić, Ružica Bombol:**

VAŽNOST IZVEŠTAVANJA O ODRŽIVOSTI KROZ PRIZMU  
ESG KRITERIJUMA – PRIMENA U POŠTANSKOM SEKTORU..... 31

**Đorđe Petrović, Radomir M. Mijailović, Dalibor Pešić:**

INKLUZIJA OSOBA SA INVALIDITETOM U  
SISTEM POŠTANSKOG SAOBRAĆAJA..... 41

**Zlata Radak, Marijana Petrović, Goran Marković:**

IAZOVNI PRUŽANJE TELEKOMUNIKACIONIH  
USLUGA POSLOVNIM KORISNICIMA..... 51

**Stefan Zdravković, Marko Stokić:**

RAZVOJ SISTEMA ZA OCENJIVANJE I  
NAGRAĐIVANJE VOZAČA PRIMENOM IoT..... 61

**Nikola Knežević, Miloš Milenković, Nebojša Bojović:**

ORGANIZACIONA REKONFIGURACIJA POŠTANSKIH  
OPERATORA U EVROPI U SKLADU SA BUDUĆIM  
TRŽIŠNIM I TEHNOLOŠKIM TRENDOVIMA..... 67

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

|                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Jovanka Šević, Biljana Grgurović, Slavica Radosavljević, Jelena Milutinović:</b><br>DIGITALNA TRANSFORMACIJA KAO STRATEŠKI PRAVAC<br>POŠTE SRBIJE U SVETLU STRATEGIJE UPU IZ DUBAJA.....                                                             | 79  |
| <b>Dragan Pejović, Ljubomir Ostojić, Mila Milošević:</b><br>PRIMENA GEOGRAFSKO-INFORMACIONOG<br>SISTEMA U REGULATORNE SVRHE.....                                                                                                                        | 89  |
| <b>Bojan Jovanović, Dragana Šarac, Nataša Čačić, Marina Marković:</b><br>POZICIONIRANJE BRENDA JP POŠTA SRBIJE KOD FIZIČKIH LICA....                                                                                                                    | 99  |
| <b>Milena Ninović, Slaviša Dumnić, Đordije Dupljanin, Predrag Atanasković:</b><br>ULOGA MIKROHABOVA U UNAPREĐENJU URBANE DOSTAVE.....                                                                                                                   | 109 |
| <b>Momčilo Dobrodolac, Dragan Lazarević, Aleksandar Trifunović, Đorđe Popović:</b><br>DOPRINOS UNAPREĐENJU ODRŽIVOSTI SISTEMA ZA PRENOS<br>POŠILJAKA KROZ OPTIMIZACIJU PAKOVANJA.....                                                                   | 115 |
| <b>Svetlana Dabić-Miletić, Vladimir Simić:</b><br>PRIMENA WEB 4.0 TEHNOLOGIJA U RAZVOJU ODRŽIVIH<br>LANACA SNABDEVANJA POŠTANSKE LOGISTIKE.....                                                                                                         | 125 |
| <b>Ermin Muharemović, Amel Kosovac, Nino Ćorić, Nedim Moranjkić:</b><br>MEASURING THE QUALITY OF UNIVERSAL POSTAL<br>SERVICE IN BOSNIA AND HERZEGOVINA: CHALLENGES<br>OF A MULTI-OPERATOR ENVIRONMENT AND THE<br>APPLICATION OF EUROPEAN STANDARDS..... | 135 |
| <b>Mladenka Blagojević, Aleksandra Urošević, Dejan Marković:</b><br>IZAZOVI I PERSPEKTIVE RAZVOJA POŠTANSKE<br>LOGISTIKE U DIGITALNOJ EKONOMIJI.....                                                                                                    | 143 |
| <b>Igor Milanov, Branka Dimitrijević, Aleksandar Čupić:</b><br>VIŠEKRITERIJUMSKO RANGIRANJE SISTEMA ZA<br>AUTOMATSKU PRERADU POŠTANSKIH POŠILJAKA.....                                                                                                  | 155 |

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

**Ivana Stefanović, Valentina Radojičić:**

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| PREDIKCIJA SNAGE SIGNALA U LTE MREŽAMA<br>PRIMENOM MAŠINSKOG UČENJA..... | 167 |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|

**Milica Đorđević, Nenad Jevtić:**

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| DETERMINISTIČKO MODELOVANJE RADIO<br>KANALA ZA 6G OKRUŽENJA..... | 179 |
|------------------------------------------------------------------|-----|

**Katarina Kukić, Ana Uzelac, Slađana Janković, Snežana Mladenović:**

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| UNAPREĐENJE PREDIKCIJE ODLIVA KORISNIKA<br>TELEKOMUNIKACIONIH OPERATORA POMOĆU<br>TEHNIKA BALANSIRANJA KLASA..... | 189 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**Nenad Stojanović, Boban Bondžulić, Boban Pavlović:**

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ANALIZA EFIKASNOSTI JPEG I BPG METODA KOMPRESIJE<br>SLIKE BEZ GUBITAKA VIZUELNIH INFORMACIJA..... | 199 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**Aleksandar Luković, Bojan Bakmaz, Andreja Samčović:**

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| PERFORMANSE STRIMINGA VIDEO SAOBRAĆAJA<br>PREKO DASH.JS PROTOKOLA..... | 209 |
|------------------------------------------------------------------------|-----|

**Ivan Cvitić, Dragan Peraković, Mihaela Maturanec:**

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| POSSIBILITIES OF UNAUTHORIZED DATA COLLECTION<br>IN THE SMART HOME ENVIRONMENT..... | 219 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**Aleksandar Radonjić, Danijela Pjevčević, Vladislav Maraš, Anita Abodi:**

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| VEŠTAČKA INTELIGENCIJA KAO KLJUČ ZA<br>POBOLJŠANJE EFIKASNOSTI RADA BRODOVA<br>U CILJU UNAPREĐENJA PLOVIDBE..... | 229 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

**Miloš Milašinović, Nemanja Zdravković, Suad Suljović, Nenad Petrović:**

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AGENTIC AI FOR NETWORK MANAGEMENT: RELAY SIGNAL<br>PERFORMANCE UNDER NAKAGAMI-M FADING..... | 239 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Marko Đogatović, Vesna Radonjić Đogatović, Nikola Matijašević:</b>                                             |            |
| NOVI SOFTVER ZA DISKRETNU STOHAŠTIČKU SIMULACIJU.....                                                             | 249        |
| <b>Slobodan Mitrović, Andrijana Todosijević:</b>                                                                  |            |
| MOGUĆNOST PRIMENE TEHNIKE ZA OBLIKOVANJE<br>SAOBRAĆAJA ZASNOVANE NA UPOTREBI<br>SAVREMENIH SKRIPTING REŠENJA..... | 259        |
| <b>Milica Kljajić, Mirjana Stojanović:</b>                                                                        |            |
| PRISTUPI UPRAVLJANJA POVERENJEM U VANET MREŽAMA.....                                                              | 269        |
| <b>Dorđe Bučevac, Slaven Tica, Miloš Končar, Dragan Đorđević:</b>                                                 |            |
| KOMUNIKACIJA IZMEĐU VOZILA, INFRASTRUKTURE I<br>UČESNIKA U SAOBRAĆAJU BAZIRANA NA 6G TEHNOLOGIJI.....             | 279        |
| <b>Miroslav Petrović, Dušan Mladenović, Mladen Nedeljkov:</b>                                                     |            |
| STANDARDI INFORMACIONE BEZBEDNOSTI PRIMENJENI<br>U BEZBEDNOSTI DRUMSKOG SAOBRAĆAJA.....                           | 289        |
| <b>Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Branka Mikavica, Momir Manović, Jovana Perišić:</b>                          |            |
| MODULACIONE TEHNIKE U VLC-u ZA<br>MOGUĆNOST PRIMENE U SAOBRAĆAJU.....                                             | 295        |
| <b>Pavle Bugarčić, Marija Malnar:</b>                                                                             |            |
| NOVI DINAMIČKI PROTOKOL RUTIRANJA ZA URBANE VANET<br>MREŽE BAZIRAN NA UČENJU POTKREPLJIVANJEM.....                | 305        |
| <b>Registar ORCID brojeva autora.....</b>                                                                         | <b>315</b> |

**MENADŽMENT PROCESA  
U POŠTANSKOM I  
TELEKOMUNIKACIONOM  
SAOBRAĆAJU**





## **JAVNO PRIVATNO PARTNERSTVO U OBLASTI ELEKTRONSKIH USLUGA U POŠTANSKOM SEKTORU**

Olja Jovičić, Spasenija Ožegović

JP “Pošta Srbije”,

[olja.v.jovicic@posta.rs](mailto:olja.v.jovicic@posta.rs), [spasenija.ozegovic@posta.rs](mailto:spasenija.ozegovic@posta.rs)

**Rezime:** *Globalni trendovi koji utiču na način funkcionisanja savremenog sveta, usloveli su neodložnu potrebu da poštanski operatori uspostave infrastrukturu i sisteme neophodne za razvoj novih elektronskih usluga u skladu sa zahtevima tržišta, baziranih na inovacijama i inkluziji. Pošte moraju da prevaziđu svoju istorijsku ulogu koja predstavlja ispunjenje tradicionalne misije pošte i transformišući svoje poslovanje treba da se pozicioniraju kao ključni igrači sa centralnim mestom u nacionalnoj strategiji razvoja elektronskih usluga. Kako bi išle u korak sa digitalnim svetom, poštanske usluge širom sveta moraju se konstantno unapređivati gradeći fizički i virtuelno povezanu mrežu, nacionalno i međunarodno prisutnu, potpuno prilagođenu promenljivim i sve zahtevnijim potrebama vlada, korisnika i sopstvenog poslovanja.. Kako bi implementirali i ponudili ove nove usluge, poštanski operatori mogu ulaziti u partnerstva sa igračima iz privatnog sektora u formi javno- privatnih partnerstava u cilju doprinosa smanjenju troškova, nadogradnji infrastrukture, proširenju domena poslovanja i uvođenju inovacija u e-usluge.*

**Ključne reči:** *e usluge, digitalno, strategija, infrastruktura, javno-privatno*

### **1. E-usluge u poštanskom sektoru**

Poštanski sektor prolazi kroz ogromne promene. Ali dok se poštanski operatori suočavaju sa smanjenjem obima pošte i sve većom konkurencijom, oni takođe imaju brojne mogućnosti da prevaziđu ove izazove i postignu uspeh. Okruženje se menja i nemogućnost praćenja vremena i prilagođavanja novim zahtevima tržišta jednostavno nije opcija<sup>1</sup>.

Nagli razvoj u oblasti informacionih tehnologija je u suštini promenio DNK poštanskog sistema. Porast e-trgovine, porast broja paketa i promene ponašanja korisnika predstavljaju različite fenomene koji su usloveli redefinisane javnih poštanskih usluga u 21.veku. Glavni pokretači procesa promena sa kojima se suočavaju poštanski operatori danas uključuju razvoj u oblasti informacionih i komunikacionih tehnologija. Da bi se u potpunosti iskoristile ove mogućnosti, naročito u oblasti e-usluga, poštanski operatori moraju imati široko razumevanje njihove uloge i funkcije u društvu. Oni deluju kao

---

<sup>1</sup> Guide to public-private partnerships for e-services in the postal sector, January 2016

posrednici između korisnika, biznisa i vlada i kao takvi, mogu ponuditi važne integrisane usluge.

Da li će poštanski operatori uspeti u ovom novom poštanskom ekosistemu da zadrže jaku poziciju na tržištu, zavisice od njihove sposobnosti da blagovremeno obezbede korisnicima nova inovativna rešenja. Ali, dok razvoj informacionih tehnologija pruža mogućnosti za razvoj novih usluga i realizaciju novih prihoda, poštanski operatori u svetu i njihove vlade se i dalje mogu suočiti sa brojnim izazovima i barijerama. U cilju omogućavanja razvoja, razvoj IT-a i implementacije rešenja e-servisa, poštanski operatori moraju imati tehničko razumevanje ovih novih tehnologija, shvatiti potrebe i zahteve odgovarajućih segmenata tržišta i uložiti potrebna sredstva u dizajn, izgradnju infrastrukture i sistema potrebnih za razvoj ovih usluga.

### 1.1. E-usluge i njihov značaj za poštanski sektor

Prema kategorizaciji Svetskog poštanskog saveza e-usluge su definisane kao **"usluge koje poštanski operatori isporučuju svojim krajnjim korisnicima putem informaciono-komunikacionih tehnologija".<sup>2</sup>**

U tom kontekstu, Internet predstavlja glavni kanal za isporuku e-usluga, ali koriste se i drugi kanali kao što su mobilni telefoni, call centri ili televizija. Prema Izveštaju o merenju razvoja e-usluga, Svetskog poštanskog saveza, razlikuju se četiri kategorije ovih usluga:

- usluge e-pošte i e-uprave, tj. komunikacione, biznis i državne usluge koje se isporučuju korisnicima putem IKT kanala;
- usluge e-trgovine, koje olakšavaju nabavku i prodaju proizvoda i usluga putem IT kanala omogućavajući isporuku predmeta fizički ili elektronski;
- rešenja za e-finansije i plaćanja, tj. finansijske usluge koje poštanski operatori pružaju krajnjim korisnicima koristeći IT kanale (Svetski poštanski savez je razvio regulativu za usluge poštanskog plaćanja koje se pružaju među poštanskim operatorima);
- usluge podrške, tj. široko dostupne i uglavnom besplatne usluge koje poštanski operatori pružaju krajnjim korisnicima koji koriste IT kanale.

Uzimajući u obzir njihove brojne prednosti, poštanski operatori mogu igrati ključnu ulogu u svim ovim uslugama i blagovremeno iskoristiti mogućnosti za otvaranje novih tržišta i generisanje novih izvora prihoda. Postoje brojne mogućnosti za razvoj usluga zasnovanih na IKT-u koje mogu i/ili treba da budu implementirane od strane poštanskih operatora, manje ili veće složenosti za razvoj i primenu.. Danas visoko funkcionalni poštanski operatori započinju smelim strategijama u digitalnoj ekonomiji i koriste digitalno u svim aspektima proizvoda, usluga i kanala kako bi zadovoljili potrebe korisnika. Oni u potpunosti koriste mogućnosti mobilnih uređaja za povećanje i stvaranje veće vrednosti za postojeće proizvode i usluge, jer prepoznaju i tehnološki prelaz korisnika na mobilni kanal, uspostavljaju odnose direktno sa korisnicima, obezbeđujući sebi i korisniku kontrolu nad iskustvom isporuke, obezbeđujući mu direktan komunikacijski kanal koji mu takođe pruža više informacija i podataka o primarcima njegovih proizvoda koji su do sada bili relativno anonimni. Na taj način, oni postaju partner u e-komercijalnom sistemu koji je deo čitavog lanca vrednosti elektronske trgovine,

---

<sup>2</sup> The global road map for postal services, Doxa Postal Strategy 2013 to 2016, Universel Postal Union, Bern

putem, na primer, proširivanja njihovih usluga i rešenjima van njihovog domaćeg tržišta ili pružanjem jedne tačke kontakta za veb dizajn i kreiranje, skladištenje, usluge isporuke, plaćanja, kao i novih kanala usluživanja. kako bi osigurale isporuku kompleksnih rešenja korisnicima, razvile i unapredile dugoročna i profitabilna javno-privatna partnerstva.

## **1.2. Razvijanje i implementacija strategije e-usluga**

Poštanski operatori koji ulaze na tržište e-usluga moraju definisati jasnu strategiju, a zatim analizirati i odabrati usluge koje žele da implementiraju. Oni moraju identifikovati koje usluge mogu dodati vrednost njihovom postojećem portfoliju i koje usluge žele da primene kao samostalna rešenja u cilju pokretanja pozitivnih uticaja na druge poštanske poslovne oblasti.

Javno-privatna partnerstva su atraktivna razvojna opcija za poštanske operatore koji implementiraju e-usluge. Kompanije iz privatnog sektora mogu biti u stanju da obezbede potrebnu tehnologiju i izvore finansiranja, kao i da pomognu u implementaciji poštanskih projekata na osnovu njihovih iskustava i ekspertize u ovoj oblasti. Vlade i poštanski operatori moraju razviti jasnu strategiju da li žele da sarađuju sa partnerima iz privatnog sektora za razvoj svojih rešenja e-uprave i moraju jasno razumeti šta bi javno-privatno partnerstvo podrazumevalo kao i da li bi ovaj vid partnerstva bio najbolja opcija za ostvarenje ciljeva usvojene razvojne strategije. Iako je jasno da će e-usluge igrati sve važniju ulogu u poštanskom sektoru, poštarski operatori treba da analiziraju i definišu usluge kojima mogu poboljšati svoj postojeći portfolio i generisati dodatni prihod u skladu sa sveobuhvatnom vladinom strategijom digitalnog i poštanskog sektora, zahtevima lokalnog i regionalnog tržišta, kao i postojećeg asortimana usluga...

## **2. Javno-privatna partnerstva**

### **2.1. Pojam i značaj**

Javno-privatna partnerstva (JPP) predstavljaju široko korišćen model u različitim sektorima i industrijama kako bi se realizovali projekti koji su od interesa za državu i društvo. Projekti JPP obično se odnose na oblasti kao što su snabdevanje vodom, proizvodnja električne energije, putevi, telekomunikacije ili zdravstvena zaštita. U takvim projektima vlada obećava poboljšanje nivoa usluga u datom području ili izgradnju nove infrastrukture. Ovi projekti često zahtevaju značajna ulaganja, posebno izgradnju novih puteva, elektrana ili bolnica. Međutim, ono što neki projekti traže nije ekstenzivno finansiranje, već razumevanje sistema i ekspertiza u određenoj oblasti. Ovo je slučaj sa JPP baziranim na novim tehnologijama, kao što su e-usluge, koje obično ne podrazumevaju masovne građevinske radove ili nerazjašnjene odnose u oblasti prava svojine na zemljištu ili imovini, već više tehničkog znanja. Njihov životni ciklus je takođe kraći od infrastrukturnih razvojnih projekata koji mogu trajati nekoliko decenija.

JPP mogu biti efikasan način prihvatanja razvoja IKT-a i uspešnog pružanja usluga koje su tržištu i korisnicima potrebne. Ovakva partnerstva kombinuju snagu poštanskog operatora, njegove razvijene distributivne mreže i logistiku, uz znanje, iskustvo, stručnost i efikasnost igrača privatnog sektora u ovoj oblasti. U prvoj fazi, poštanski operatori moraju razviti strategiju elektronskih servisa, identifikovati usluge koje odgovaraju njihovim potrebama i mogućnostima, zahtevima tržišta, kao i prioritete usluge koje žele da implementiraju. Pre implementacije JPP strategije, poštanski operatori moraju analizirati pravni i politički okvir svoje zemlje. U nedostatku

odgovarajućeg pravnog i političkog okvira, treba se odlučiti za tradicionalne nabavke ili druge oblike finansiranja. Od suštinskog je značaja analizirati ne samo poštanski sektor uopšte, već i specifičniju oblast u kojoj će se projekat JPP implementirati. Moraju se sprovesti temeljne analize tržišnog okruženja (uključujući i druge sektore koji nude slične usluge), regulatornog okvira, tehničkog konteksta i finansijskog i ekonomskog okvira.

Model javno privatnih partnerstava je relativno novi u poštanskom sektoru, ali postaje sve relevantniji s obzirom na prisutne promene u poštanskom okruženju. Poštanski operatori moraju uspostaviti infrastrukturu i sisteme potrebne za pružanje novih usluga i integrisanih poslovnih rešenja usklađenih sa zahtevima, potrebama i očekivanjima tržišta. Ovo može zahtevati znatna finansijska ulaganja i tehničko razumevanje ili menadžerske kvalifikacije koje poštanski operatori često ili nemaju ili nisu u mogućnosti da steknu u prihvatljivom vremenskom roku. Stoga, da bi implementirali i ponudili ove nove usluge, poštanski operatori bi mogli da uđu u partnerski odnos sa igračima iz privatnog sektora. Javno-privatnim partnerstvima, pored navedenog mogu se ostvariti značajne uštede troškova, uz ostvarivanje bolje ravnoteža između kapitalnih investicija, izgradnje i implementacije projekta, upravljanja infrastrukturom i sistemom i upravljanja rizikom.

Ne postoji međunarodno prihvaćena jedinstvena definicija javno-privatnih partnerstava. JPP su široko definisana tako da se mogu primeniti na sve kontinente i potencijalne partnerske formate. I pored toga, nekoliko ključnih karakteristika uobičajene su za sve definicije JPP u međunarodnom okruženju:

1. dugoročni sporazum između vlade ili, u širem smislu, javnog entiteta i privatnog sektora;
2. sporazum koji je zasnovan na nabavci javne usluge kojoj je doprinela ili je obezbedila privatna kompanija;
3. sporazum koji sa javnog subjekta prenosi na privatnu kompaniju određene rizike koji proizilaze iz projektovanja, implementacije, finansiranja ili potražnje;
4. plaćanje naknade privatnoj kompaniji za pružanje usluga, bilo iz budžetskih izdvajanja ili subvencija, korisničkih troškova ili kombinacije oba;
5. privatno finansiranje (bar delimično) u slučajevima gde je privatna kompanija investirala u razvojni projekat.

Što se tiče imovine, JPP se dele na projekte koji stvaraju novu imovinu, poznati kao "greenfield" i projekte koji se šire ili upravljaju postojećom imovinom, poznati kao "braunfield" projekti koji predstavljaju specifičan, i vitalan segment investicionih aktivnosti. Vlade mogu na više načina da strukturiraju JPP projekte, od kojih će svaki imati različite karakteristike koji uključuju različite nivoe rizika ili odgovornosti za zainteresovane strane.

Neki projekti zahtevaju velika ulaganja i traju dugo vremena sa dužim periodom amortizacije (npr. projekti izgradnje autoputeva amortizovani uplatama u toku većeg vremenskog perioda), drugi projekti podrazumevaju znatno manje ulaganja, a time i kraće periode amortizacije, što je često slučaj sa IT projektima. Neke vrste JPP mogu biti bolje prilagođene velikim investicijama u infrastrukturu (zgrade, putevi, bolnice, itd.), dok su druge pogodnije za IT projekte.

Dužina amortizacije će imati značajnu ulogu u implementaciji e-usluga. Kao što je objašnjeno u daljem tekstu, neke vrste JPP su posebno pogodne za projekte sa dugim životnim ciklusom, kao što su izgradnja puteva ili bolnica. Koncesioni modeli mogu biti korisni u takvim slučajevima koji uključuju periode amortizacije preko 20 godina. Pošto e-servisi imaju kraće životne cikluse, sistem koncesije možda neće biti optimalan izbor.

Umesto toga, sporazum o uslugama ili model za izgradnju-rad-prenos (Build, operate, transfer-BOT) bi bio pogodnija opcija..

## **2.2. Politika vlade i ciljevi JPP**

Najvažnija u svakom projektu JPP je opšta odluka i spremnost političkog entiteta da pristupi procesu JPP, usvajanjem politike i strategije od strane vlade za uključivanje privatnih kompanija u pružanje javnih usluga, bilo generalno ili za određeni sektor ili namenu. Vlada definiše sektor i oblast u kojoj želi da pokrene JPP projekat. Njena odluka pokreće niz procesa i studija usmerenih na analizu sektora i tržišnog okruženja, identifikovanje potencijalnih praznina u postojećem zakonskom i regulatornom okviru i ispitivanje ne samo tehničkih mogućnosti, već pre svega finansijskih i ekonomskih aspekata projekta. Vlade iz navedenih razloga, treba jasno da formulišu i svoju politiku JPP, definišu modalitete integracije JPP u njihov sveobuhvatni portfolio usluga.

Evropska komisija jako mnogo ulaže u JPP u cilju obeležavanja dugoročnog strateškog pristupa razvoju i inovacijama, kao i smanjenju neizvesnosti, omogućavajući stvaranje dugoročnih obaveza i interesa između javnog i privatnog sektora. Strategija razvoja digitalne industrije osnažuje ulogu JPP, njihovo fokusiranje na ključne tehnologije i njihovu implementaciju kroz jedinstvene evropske projekte. Prema Prikazu Evropskog tržišta JPP u 2022. godini- od strane Evropske Investicione Banke, vrednost JPP transakcija je u 2022. godini iznosila 9,8 biliona evra što je porast od 17% u odnosu na 2021. godinu<sup>3</sup>.

### **2.2.1. Ciljevi JPP**

Postoji mnogo razloga zbog kojih vlade i javni subjekti razmatraju zaključivanje JPP, bilo da prevaziđu administrativne i birokratske prepreke i finansijska i budžetska ograničenja ili da nadoknade nedostatak potrebnih multifunkcionalnih znanja i stručnosti. Ciljevi JPP su u najčešće usmereni na privlačenje finansiranja iz privatnih izvora, poboljšanje efikasnosti imovine ili usluga, stimulisanje primere najbolje prakse u njihovom projektovanju, radu i održavanju, kao i stimulisanje inovacija. JPP mogu takođe podržati vladinu strategiju za reformu specifičnih industrija, koja služi kao sredstvo za restrukturiranje sektora i redefinisane ključnih uloga. Na ovaj način privatne kompanije mogu postati igrači i učesnici u datom sektoru, a vlada može preuzeti ulogu regulisanja i nadgledanja tog sektora. Privlačenje privatnog kapitala jedan je od ključnih pokretača za uključivanje privatnih kompanija, usled značajnih troškova implementacije i proširivanja usluga, novih tehnologija i infrastrukture. Pored toga, cilj JPP je pružanje kvalitetnijih usluga i bolje vrednosti novca pre svega kroz odgovarajući transfer rizika, podsticanje inovacija, veće iskorišćenje imovine i integrisano upravljanje celim ciklusom, podržano privatnim finansiranjem. JPP mogu potencijalno pružiti značajne prednosti u dizajniranju, kvalitetu usluga i smanjenju troškova infrastrukture. JPP mogu kroz razvojne projekte iskoristiti najbolje dostupne veštine, dobru praksu, znanje i resurse, bilo da su u javnom ili privatnom sektoru.

---

<sup>3</sup> Review of the European PPP market 2022, European Investment Bank, 2022

## 2.3. Principi dobrog upravljanja

Principi dobrog upravljanja su deo politike JPP. Principi mogu imati različite oblike, ali uobičajeni primeri uključuju javni interes, alokaciju rizika, efikasnost, pristupačnost, fiskalna razmatranja, socijalnu i ekološku odgovornost, vrednost za novac, transparentnost, etičnost, odgovornost i dugoročnu finansijsku održivost.

Dobri principi upravljanja za JPP predpostavljaju uspostavljanje jasnog, predvidivog i legitimnog institucionalnog okvira podržanog od strane nadležnih institucija države; osiguravanje javne svesti o relativnim troškovima, koristima i rizicima JPP i konvencionalnim nabavkama, održavanje ključnih institucionalnih uloga i odgovornosti sa jasnim mandatima organa za nabavku, jedinice JPP, centralni budžetski autoritet, institucije za reviziju, vođenje računa o tome da svi propisi koji utiču na projekat budu jasni, transparentni i primenjeni. Ovi principi koje možemo smatrati "Dobrim pravilima upravljanja" garantuju transparentan postupak javne nabavke, dobijanje adekvatne vrednosti za novac, viši standard usluge i komercijalni uspeh u skladu sa preuzetim rizikom<sup>4</sup>.

## 2.4. Vladina posvećenost i institucionalni kapacitet

Jedna od dužnosti države je da uspostavi jasne strukture i osigura da javni entitet ima neophodne kapacitete i resurse. Ovo uključuje interno upravljanje i korišćenje spoljnih savetnika za pružanje znanja i ekspertize.

Interno, JPP projekti obično sadrže JPP jedinicu ili upravljački odbor i jedinicu za implementaciju projekta ili tim za upravljanje projektom. Jedinice JPP su tačke koordinacije, kontrole kvaliteta i odgovornosti za JPP projekte i mogu pokrivati jedan ili više sektora. Oni predstavljaju tačku kontakta za privatni sektor, garantujući transparentnost procesa i politika. Oni nadziru proces kako bi osigurali efikasnu upotrebu resursa, transparentne postupke nadmetanja i pravičan tretman konkurenata, zaposlenih ili drugih zainteresovanih strana. Oni igraju ključnu ulogu u identifikaciji projekata JPP-a i pripremi procesa. Ove jedinice moraju imati nadležnost i podršku vlade i moraju biti postavljene unutar vladine strukture tako da mogu dobro raditi i dobro sprovesti svoju koordinatorsku funkciju. Oni upravljaju procesom iz perspektive vlade, rukovode procedurom nabavke i nadgledaju i izveštavaju o razvoju projekata i napretku.

## 2.5. Prednosti korišćenja modela JPP

Razvojni projekat mora biti pogodan za aranžmane JPP-a, a analize vlade moraju pokazati da će JPP doneti bolju vrednost za novac nego alternativna rešenja. JPP obezbeđuju privatni kapital, negirajući potrebu da vlada identifikuje druge izvore finansiranja. Kada vlade ne mogu pokriti neophodne investicije bez pozajmljivanja novca, JPP može učiniti projekat pristupačnijim.

Za razliku od tradicionalnih metoda nabavke, privatne kompanije u okviru JPP gledaju na ceo životni ciklus projekta. To im daje snažan podsticaj za dizajniranje i izgradnju infrastrukture ili sistema koji zadovoljavaju dugoročne potrebe. Druge opcije

---

<sup>4</sup> Guidebook on promoting Good Governance in Public Private Partnerships, United Nations Economic Commission for Europe, [www.unece.org](http://www.unece.org)

nabavke mogu imati za cilj samo obezbeđivanje ograničenih investicija u javnom sektoru, ne uzimajući u obzir mogućnost viših troškova održavanja kasnije u životnom ciklusu usluge.

### 3. Pravni i regulatorni okvir

Pravni okvir obuhvata sve zakone i propise koji regulišu i utiču na razvojne JPP projekte. Iako je veliki broj zemalja razvio snažne zakonske i regulatorne okvire za JPP, mnoge nemaju potreban pravni okvir. Ovo je naročito važno, jer nepostojanje odgovarajuće pravne osnove JPP projekata, može onemogućiti JPP i to ne samo zato što će investitori biti sprečeni nedostatkom odgovarajućih zakonskih ili regulatornih mehanizama, već i visokim rizikom od neuspeha projekta. Uspeh projekta, počev od njegove implementacije, u velikoj meri zavisi od važećeg pravnog i regulatornog okvira i sposobnosti vlade da implementira JPP strategiju i JPP projekat. Zbog toga je od suštinskog značaja da poštanski operatori koji nameravaju da izgrade infrastrukturu ili implementiraju projekat putem JPP-a, prvo obezbede institucionalni i zakonski okvir koji omogućava uspešnu implementaciju projekata JPP. Ako to nije slučaj, drugi načini finansiranja (tradicionalni postupci nabavki i krediti) mogu biti bolje prilagođeni implementaciji tog projekta.

U mnogim slučajevima poštanske usluge podležu specifičnim sektorskim propisima. Neki od ovih propisa imaju za cilj da regulišu tržišta koja se karakterišu monopolskim ili skoro-monopolskim, dok drugi regulišu specifične tržišne uslove (nivo kvaliteta usluga ili posebne karakteristike pružanja usluga, na primer), čak i ako je tržište otvoreno za konkurenciju.

U slučaju elektronskih usluga, sama usluga može biti izvan stvarnog opsega regulatornog tela. Međutim, vlade možda žele da uspostave pravila za JPP, npr. za tarife ili nivoje kvaliteta usluge. Odgovarajući pristup bi bio da se bave tim pitanjima unutar samog JPP ugovora, na taj način utvrđujući pravila i obaveze ugovornih strana, kao i način praćenja i nadgledanja.

Neophodna analiza mora se fokusirati na:

- zakone i propise koji se odnose na JPP;
- vladine entitete, regulatorna tela i druge nadzorne aranžmane;
- specifične sektorske propise i moguće politike tarifa i subvencija;
- kvalitet usluge ili druge obavezne standarde u odgovarajućoj oblasti ili sektoru;
- zakone i propise o životnoj sredini;
- zakon o radu i propise;
- generalno, bilo koja ograničenja za strane investicije (npr. puno ili delimično vlasništvo, prenos novca i povraćaj dobiti ili bilo koja druga pravila ili ograničenja koja mogu odvratiti investitore);
- uslove licenciranja;
- poreske zakone;
- zakone i propise o nabavkama;
- ugovorno pravo, posebno mehanizme za rešavanje sporova, uključujući unutrašnji zakonodavni okvir, kao i međunarodnu arbitražu i izvršnost.

Tehnički razlozi su posebno važni u kontekstu e-usluga. Pre implementacije e-usluga, poštanski operatori moraju proceniti da li postojeća infrastruktura i povezanost mogu pružiti solidnu osnovu za novu uslugu ili rešenje. U slučajevima kada je osnovna

infrastruktura nerazvijena, poštanski operator bi mogao da igra značajniju ulogu u sprovođenju veće povezanosti javnog i privatnog sektora u okviru zacrtane politike vlade.

### **3.1. Vrste ugovora u okviru Javno privatnih partnerstava**

#### **3.1.1. Ugovori o uslugama**

Ugovori o uslugama mogu se, u nekim okolnostima, kvalifikovati kao JPP. Glavna osnova na kojoj se ugovor o uslugama može kvalifikovati kao JPP je prenos zadataka koje će obavljati privatna kompanija. U skladu sa ovim aranžmanom, privatna kompanija vrši posebne usluge u ime javnog entiteta i plaća na osnovu fiksne naknade, naknade po jedinici ili drugog elementa u kojem se dogovore partneri. Za odabir privatnog partnera vlada obično sledi neku vrstu konkurentnog procesa licitiranja. Privatna kompanija ulaže sredstva samo u ograničenoj meri, prvenstveno radi pokrivanja troškova rada ili upravljanja. Vlasništvo nad uslugama ostaje kod javnog subjekta, koji takođe snosi troškove poboljšanja sistema ili drugih neophodnih investicija. Privatna kompanija mora izvršiti usluge u skladu sa odredbama ugovora o uslugama i obično mora zadovoljiti standarde učinka. Ugovor se obično zaključuje na ograničen vremenski period, najčešće između jedne i tri godine.

#### **3.1.2. Ugovori o upravljanju**

Ova opcija prevazilazi jednostavne ugovore o uslugama tako što prenosi pravo upravljanja poslovanjem na privatnu kompaniju. Privatno preduzeće pokreće uslugu i obično komunicira sa klijentima. Međutim, ono ne ulaže privatni kapital, što znači da javni subjekt u suštini mora pokriti sve investicije u, na primer, poboljšanje ili proširenje portfolia usluga. Privatnoj kompaniji se plaća ugovoreni fiksni iznos naknade na osnovu predviđene naknade ili naknade po jedinici, a podsticaji za učinak su uobičajeni. U suštini, privatne kompanije donose efikasnost i stručnost, a javni subjekti imaju koristi od ovih prednosti bez prenosa imovine na privatno preduzeće. Ova vrsta ugovora se obično zaključuje na kraći vremenski period, generalno na ne više od pet godina. Ugovori o upravljanju se takođe mogu koristiti za iniciranje dugoročne saradnje sa privatnim kompanijama, omogućavajući obema stranama da uspostave trajne partnerske odnose.

#### **3.1.3. Ugovori o zakupu i affermage ugovori**

Prema ugovorima o zakupu privatno preduzeće je odgovorno za rad, upravljanje i održavanje projekta. Ulaganje, međutim, obezbeđuje javni subjekt. Glavna razlika u odnosu na ugovore o upravljanju je želja javnog subjekta da prenese više komercijalnih rizika na igrače privatnog sektora. Ovaj aranžman je naročito pogodan kada privatna ulaganja nisu predviđena, čime javni entitet zadržava vlasništvo i uključuje privatnog partnera samo radi povećanja efikasnosti. Privatna kompanija ne dobija fiksnu naknadu za svoju uslugu. Odgovornost za pružanje usluga prenosi se na privatno preduzeće, koje se naplaćuje od korisnika u skladu s tim i snosi rizik od bilo kakvih gubitaka ili neplaćenih dugova korisnika. Ugovori affermage su slični po svojoj prirodi ugovorima o zakupu. Razlika leži u tome kako se javni subjekt plaća: prema ugovorima o zakupu, privatna kompanija zadržava prihod i plaća naknadu za lizing javnom subjektu, dok po ugovorima affermage, ona prikupi prihod plus dodatni doplatok od korisnika, a plaća javnom subjektu naknadu za bilo koju investiciju koju je izvršila ili će izvršiti u osnovnoj



infrastrukturi i zadržava preostali prihod. Naplata naknade za affermage je je obično ugovoreni iznos po prodatoj jedinici. Privatne kompanije imaju tendenciju da preferiraju ugovore affermage jer pružaju veću sigurnost obezbeđenja naknada.

### **3.1.4. Koncesije**

Za razliku od gore opisanih ugovora, privatna kompanija (ili "koncesionar") je pod koncesijom, ali ne samo za poslovanje, upravljanje i održavanje, već i za finansiranje i upravljanje neophodnim investicijama. Stoga je privatna kompanija odgovorna za sva kapitalna ulaganja, ali ne preuzima vlasništvo nad imovinom koje zadržava javni entitet tokom celog perioda koncesije. Po prestanku ugovora o koncesiji, sva prava koja se odnose na tu imovinu predstavljaju imovinu javnog subjektu. S obzirom na to, da privatna kompanija pokriva investicije, a dobija i vreme za amortizaciju, koncesioni ugovori se zaključuju na duži period, uglavnom između 20 i 30 godina, uz prihode od korisnika usluga. Ugovarači se obično slažu o postavljanju i budućem prilagođavanju tarifa, kompanija za nadogradnju, proširenje ili izgradnju novih funkcija korišćenjem prihoda ostvarenog iz usluge.

Jasna prednost koncesionog sistema je u tome što privatna kompanija preuzima odgovornost za izgradnju i time investira u projekat, preuzima rizik i ima fleksibilnost da upravlja projektom u skladu sa sopstvenom ekonomskom strategijom, koja je podržava da bude efikasna i da održava relevantnu imovinu i infrastrukturu. Međutim, potrebno je uzeti u obzir i niz nedostataka pre zaključenja ugovora o koncesiji. Budući da projekti koncesije traju toliko dugo i prenose punu kontrolu na privatnu kompaniju, oni mogu biti kontroverzni i osetljivi. Vlade treba da uspostave mehanizme za praćenje učinka, i drugih ugovornih elemenata.

### **3.1.5. Build-operate-transfer (BOT) ugovori**

Prema BOT ugovorima privatne kompanije obično grade nove infrastrukture, objekte ili sisteme (greenfield pristup), a zatim i upravljaju njima u ugovorenom periodu. Finansijska, upravljačka i operativna odgovornost stoga se u potpunosti prebacuju na privatnu kompaniju koja prenosi projektnu infrastrukturu ili sistem javnom subjektu na kraju projektnog perioda. BOT ugovori se tipično koriste za projekte koji zahtevaju privatno finansiranje i investicije. U većini slučajeva, privatni igrači su namenske kompanije koje su u potpunosti ili delimično u vlasništvu drugih kompanija sa neophodnim znanjem kako da izgrade i upravljaju odgovarajućom infrastrukturom ili sistemom. Oni takođe imaju koristi od specijalnog menadžmenta, naročito tamo gde partneri dolaze iz različitih regiona i sa različitim bekgraundima. Prema ovom aranžmanu, privatna kompanija poseduje infrastrukturu ili sistem tokom trajanja ugovora. Ponovo, kao i kod ugovora o koncesiji, ugovorni period mora biti dovoljno dug da privatni igrač može amortizovati troškove investiranja i tekuće troškove. Javni entitet se obično slaže da kupi određeni proizvod proizveden od strane objekta ili sistema. Često je javni entitet jedini kupac u okviru strukture projekta. Ovo je jedna od glavnih razlika u odnosu na koncesioni ugovor, gde se usluga direktno prodaje krajnjim korisnicima. Predviđeni prihodi moraju se izračunati da pokriju operativne troškove, otplatu dugova, održavanje i finansiranje početne i tekuće investicije. Osim toga, pošto privatna kompanija preuzima značajan rizik što će zahtevati neku vrstu garancije od strane javnog entiteta, što će detaljno biti definisano ugovorom.

Tipična BOT struktura kao što je gore opisano može se prilagoditi specifičnim okolnostima i potrebama, što znači da se njegova struktura može promeniti. Ostale opcije sa sličnim karakteristikama uključuju:

- BTO (*build-transfer-operate*), aranžman koji uključuje prenos vlasništva nakon izgradnje infrastrukture i rad privatne kompanije;

- BOO (*built, own, operate*), aranžman pod kojim se vlasništvo ne prenosi na javni entitet na kraju projektnog perioda;

- DBO (*design-build-operate*), aranžman pod kojim privatno preduzeće projektuje, gradi i upravlja infra strukturnom ili sistemom, ali ne preuzima vlasništvo nad njom.

Odluka o tome da li će zaključiti BOT ili sličan ugovor zavisice od domaćih uslova i zakona koji regulišu vlasništvo, vremenski raspored prenosa vlasništva i drugih relevantnih uslova. Modeli BOT i BOO nude niz pogodnosti u kontekstu e-usluga. Oni prenose kritične i tehnološki složene zadatke u privatnu kompaniju, npr. softverskog provajdera, koji dizajnira i gradi sistem pre nego što ga prenese u javni entitet, što znači da je poštanski operator vlasnik usluge i ima kontrolu nad svojim glavnim karakteristikama. Zbog toga što ovi ugovori pružaju takvu fleksibilnost, oni se često koriste za projekte sa kratkim ili srednjim životnim ciklusom, kao što su projekti e-usluga.

#### **4. Finansijska i ekonomska procena**

Poznavanje trenutne situacije u sektoru dozvoljava donosiocima odluka da bolje definišu ciljeve projekta. Finansijske i ekonomske procene takođe pomažu u definisanju strukture projekta i dizajna, kao i mehanizama za određivanje tarifa. Alat koji se koristi za procenu je finansijski model koji integriše sve neophodne podatke i prikazuje različite scenarije koji će se na kraju koristiti kao osnova za oblikovanje strukture projekta i odluku o odgovarajućem finansiranju, kao i za predviđanje rezultata imogućih rizika.

Finansiranje je ključna komponenta projekata JPP. Ovo uključuje projekte i rešenja za e-usluge, čak i ako ne zahtevaju toliko sredstava kao veliki građevinski projekti, projekti E-usluga će najverovatnije imati aplikaciju za pristup klijenata uslugama, kao što je platforma za pristup e-trgovini ili platforma za digitalne komunikacije. Poštarskim operatorima će očigledno biti potreban sistem koji će biti operativan i pouzdan, a to možda neće biti ako privatna kompanija uđe u finansijske poteškoće i ne može da vrati zajmove. Stoga, poštanski operatori moraju osigurati da njihovi partneri budu finansijski sposobni da implementiraju i / ili pokrenu relevantni sistem. Finansijski rizici, uključujući mogućnost neuspeha, moraju biti procenjeni. Ukratko, poštanski operatori moraju razumeti izabranu finansijsku strukturu i njene potencijalne posledice.

#### **5. Primeri dobre prakse JPP u oblasti elektronskih usluga:**

**Turska pošta** je 2011. godine počela da razvija tržište e-trgovine. Primarni cilj je bio otvaranje tržišta elektronske trgovine za potrebe malih i srednjih preduzeća i njihovih korisnika, poštujući politiku Turske vlade o pomoći malim i srednjim preduzećima da putem izvoza povećaju svoju prodaju. Turska pošta je projekat realizovala u saradnji sa nekoliko privatnih kompanija uključujući i lokalni univerzitet. Privatni partner je odgovoran za softver i njegovo održavanje, sistem plaćanja je u nadležnosti Turske pošte, dok su marketinške aktivnosti podeljene između pošte i

partnera. U ovom slučaju je primenjen koncesioni model javno-privatnog partnerstva gde privatna kompanija finansira, gradi i upravlja sistemom, dok pošta zadržava vlasništvo nad sistemom. Ovaj model JPP je pogodan za poštanske operatore koji žele da razviju sofisticiranu e-platformu koja zahteva investiranje, dok se pošta fokusira na logistiku i plaćanje.

Kada je **Irska** vlada odlučila da kreira jednokratnu uslugu-one stop shop za izdavanje poslovnih dozvola, kompanije Irska pošta i Escher grupa su osnovale partnerstvo, bazirano na Escher-ovoj digitalnoj platformi za usluge RiposteTrEk™, gde je host Irska pošta, koji nudi on-line aplikaciju kroz koju aplikanti mogu podneti zahtev za licence i dozvole. Irska pošta je odgovorna za operacije, obuku, podršku, marketing i sve usluge koje se pružaju korisnicima. Pošta takođe obezbeđuje model plaćanja. Escher Grupa obezbeđuje softversko rešenje. Ovaj slučaj je interesantan jer u isto vreme obezbeđuje implementaciju e-rešenja od strane poštanskog operatora i saradnju sa vladom po pitanju e-government usluga.

**Američka pošta** je 2013. godine izdala brošuru o javno privatnim partnerstvima, analizirajući primere najbolje prakse i šansi za Američku poštu. Jedan od najboljih primera u američkoj praksi je partnerstvo sa privatnim kompanijama koji se odnosi na primenu softvera za štampanje poštanskih maraka uključujući i parsonalizovane, na kućnom računaru. Ovaj slučaj je relevantan jer pokazuje kako poštanski operatori mogu da iskoriste stručnost i veštine privatnog sektora da bi povećali vrednost svojih usluga. Privatne kompanije i pošta dele prihod.

**Poštanski operator Ostrva Man**-Isle of Man je ušao u tripartitno partnerstvo sa Escher grupom i Ustanovom socijalnog osiguranja sa ciljem razvoja softvera koji će podržati e- government rešenja i omogućiti penzionerima podizanje penzije putem MiCard kartice putem isplate u kešu u svim poštama u zemlji. Model sa tri partnera između pošte Isle of Man, Escher grupe i Ustanove socijalnog osiguranja Ostrva Man je dobar primer poštanog operatora koji koristi JPP za implementaciju novih e-usluga i izgradnju njegovih osnovnih prednosti, g je pošta sama kreirala platformu, a usluge naplaćuje direktno od građana.

**Libanska pošta** - poštanski operator u ulozi privatnog partnera. Dok tradicionalni poštanski operatori rade sa privatnim kompanijama, ova studija slučaja pokazuje kako se te uloge mogu preokrenuti tako da poštarski operator postane privatni partner i pruža usluge vladi. Libanska pošta je 2002. godine počela da razvija rešenja za pružanje usluga vladi, koje sada u ukupnom prihodu Libanske pošte učestvuju sa 41%. Libanska pošta obavlja oko 2 miliona transakcija za vladu godišnje i pruža više od 70 usluga u saradnji sa 12 različitih ministarstava. Libanska pošta pruža usluge, uključujući i rešenja za plaćanje, putem svojih pošta, kućne usluge i veb aplikacije.

## 6. Zaključak

Pre implementacije JPP projekta, poštanski operatori moraju analizirati pravni i politički okvir svoje zemlje a poštanski operator i vlada zajedno treba da utvrde da li i kako se može u okviru političkog i pravnog okvira sprovesti neki od modela JPP oblasti elektronskih usluga. Od suštinskog je značaja analizirati ne samo poštanski sektor uopšte, već i specifičniju oblast u kojoj će se projekat JPP implementirati. Moraju se sprovesti temeljne analize tržišnog okruženja (uključujući i druge sektore koji nude slične usluge), regulatornog okvira, tehničkih mogućnosti i finansijskog i ekonomskog okvira. Samo sa razumevanjem ovih elemenata mogu se doneti optimalne odluke o potencijalnim JPP projektima i procesima. Jednako važni su i institucionalni i organizacioni instrumenti.

Poštanski operator kao deo rešenja, može da formira JPP jedinicu koja će služiti kao kontaktna tačka za upravljanje ugovorima JPP, pomoć i podršku procesu implementacije, praćenja i kontrole razvoja tekućeg projekta. Važni preduslovi za uspešnu realizaciju JPP projekata su pravni i institucionalni okvir, adekvatna organizacija, kapaciteti, znanje i ekspertiza. JPP mogu doprineti da poštanski operatori smanje troškove, unaprede infrastrukturu, prošire delatnost i modernizuju poslovanje uz obezbeđivanje obaveze pružanja javnih usluga. Neophodno je da politika vlade raspolaže solidnom osnovom, uključujući zakonski, regulatorni, organizacioni i finansijski okvir srazmeran procesu i izazovima javno-privatnih partnerstava.

## Literatura

- [1] Guide to public-private partnerships for e-services in the postal sector, January 2016
- [2] The global roadmap for postal services, Doxa Postal Strategy 2013 to 2016, Universel Postal Union, Bern
- [3] Review of the European PPP market 2022, European Investment Bank, 2022
- [4] Guidebook on promoting Good Governance in Public Private Partnerships, United Nations Economic Commission for Europe, [www.unece.org](http://www.unece.org)
- [5] Guide to public-private-partnerships for e-services in the postal sector, Universal Postal Union, Berne, Switzerland, 2020
- [6] Guide to preparing and procuring a PPP Project, EPCE European PPP Expertise Center, 2018
- [7] Zakon o javno-privatnom partnerstvu i koncesija RS
- [8] Main developments in Postal sector (2017-2021), Copenhagen Economists, European Commission 2022.

**Abstract:** *Global trends that influence the way the contemporary world works developed an urgent need for the postal operators to establish the infrastructure and systems required to provide the new electronic services or solutions demanded by the market, based on innovation and inclusion. Posts should go beyond its traditional missions and by transforming its activities should position themselves as key players in national e-strategies in their countries. Postal services across the world should continually improve themselves to be abreast of the digital age by building a seamless physically and virtually connected network with local and international presence, completely adjusted to the rapidly changing and growing needs of governments, businesses and customers. To implement and offer these new services, postal operators may establish partnerships with private sector players in form of public private partnerships for cutting costs, building the infrastructure and innovations in the area of electronic services..*

**Keywords:** *e-services, digital, strategy, infrastructure, public-private*

## **PUBLIC PRIVATE PARTNERSHIP IN THE AREA OF ELECTRONIC SERVICES IN POSTAL SECTOR**

Olja Jovičić, Spasenija Ožegović

## **DIGITALIZACIJA PISAMA U SUDSKOM, UPRAVNOM I PREKRŠAJNOM POSTUPKU**

Viktor Kostić  
JP “Pošta Srbije”, viktor.kostic@posta.rs

**Rezime:** Rad analizira mogućnosti digitalizacije tehnoloških faza u postupanju sa sudskim pismima. Fokus je na opisu dosadašnjih iskustava koja datiraju od 2017. godine i do sada imaju odlične rezultate, sa idejama budućeg razvoja u ovoj oblasti, koje mogu biti interesantne za diskusiju. Pojasniće se pravni okviri, tehnički izazovi i bezbednosni zahtevi digitalizacije. Cilj rada je da se sagledaju prednosti i ograničenja digitalne transformacije ovog segmenta, uz predlog modela koji bi unapredili efikasnost, pravnu sigurnost i dostupnost komunikacije u navedenim postupcima, koji važe za vrlo konzervativnu oblast.

**Ključne reči:** digitalizacija, sudska pisma

### **1. Uvod**

Pod pojmom sudsko pismo u tokovima Pošte Srbije podrazumevaju se pošiljke čiji su pošiljaoci državni organi, a koje se odnose na sve vrste sudskih i upravnih postupaka. Izgled, format, elementi omota, kao i postupanje sa ovim pošiljkama u okviru Pošte Srbije, definisani su u saradnji sa Visokim savetom sudstva i drugim relevantnim državnim organima, pri čemu su poslednje izmene implementirane tokom 2018. godine.

Kao rezultat tih dogovora, usledilo je potpisivanje neophodnih ugovora i donošenje Tehnološkog uputstva. Tim uputstvom precizno su definisani postupci sa sudskim pismima u svim tehnološkim fazama poštanskog saobraćaja. Za zaposlene na dostavi – koja predstavlja najkompleksniju fazu ove usluge – izrađen je poseban podsetnik u papirnoj i digitalnoj formi (slika 1), koji im služi kao pomoć na terenu prilikom pružanja usluge.

I pre pomenutih aktivnosti na standardizaciji ove usluge postojala je obimna saradnja sa pošiljaocima sudskih pošiljaka, ali je ona bila nekoordinisana i često raznolika – zavisno od konkretnog pošiljaoca. Usvajanjem jasnih standarda omogućeno je pronalaženje rešenja primenjivih na celoj teritoriji države, uz mogućnost informatičke podrške.

Ovaj rad se neće baviti temom potpune digitalizacije pisama – bez fizičkog prijema, distribucije i uručjenja – koja je već više puta obrađivana, već će fokus biti na digitalizaciji i prilagođavanju pojedinih segmenata klasične poštanske usluge, u cilju efikasnijeg sprovođenja poslovnih procesa pošiljaoca i zadovoljenja potreba i obaveza primaoca u tom segmentu.

ПОМОЋНА ТАБЕЛА ЗА УРУЧЕЊЕ СУДСКИХ ПИСАМА

(Табела је подсетник за уручење судских писама и не може се користити без познавања Технолошког упутства о пријему и уручењу судских писмена и писмена у управном поступку, са припадајућим изменама и допунама - Службени ППТ гласник, бр. 1218/18, 1348/20 и 1455/21)

| Ознака судског писма | Лично примаоца или овлашћено лице |                                                | Пунолетни члан домаћинства затечен на адреси                                                                                                                                                               |                                                                        | Пунолетно лице затечено на адреси примаоца у стану |                                                | Запослено лице код примаоца послодавца                |                                                                        | Тачна адреса и нико није затечен на адреси |  |  |
|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--|--|
|                      | Прихвата                          | Одбија                                         | Прихвата                                                                                                                                                                                                   | Одбија                                                                 | Прихвата                                           | Одбија                                         | Прихвата                                              | Одбија                                                                 |                                            |  |  |
| S0                   | Уручење писма                     | Писмо се враћа                                 | Уручење писма                                                                                                                                                                                              | Оставља се извештај о приспећу пошилке, испорука у пошти 5 радних дана |                                                    |                                                | Уручење писма                                         | Оставља се извештај о приспећу пошилке, испорука у пошти 5 радних дана |                                            |  |  |
| S0 (лично)           |                                   |                                                | Оставља се извештај о приспећу пошилке, испорука у пошти 5 радних дана                                                                                                                                     |                                                                        |                                                    |                                                |                                                       |                                                                        |                                            |  |  |
| S1 (ЗОП/обавештење)  |                                   | Писмо се оставља у стану/ пос. пр. или прибија | Писмо се оставља у стану/ пос. пр. или прибија                                                                                                                                                             | Уручење писма                                                          | Оставља се обавештење, писмо се враћа              | Писмо се оставља у стану/ пос. пр. или прибија | Оставља се обавештење, писмо се враћа                 |                                                                        |                                            |  |  |
| S2 (ЗКП/обавештење)  |                                   | Писмо се оставља у стану/ пос. пр.             | Писмо се оставља у стану/ пос. пр.                                                                                                                                                                         | Оставља се обавештење, испорука у пошти 5 радних дана                  |                                                    | Уручење писма                                  | Оставља се обавештење, испорука у пошти 5 радних дана |                                                                        |                                            |  |  |
| S3 (ЗПП)             |                                   | Писмо се оставља у стану/ пос. пр. или прибија | Писмо се оставља у стану/ пос. пр. или прибија                                                                                                                                                             | Писмо се оставља у стану/ пос. пр. или прибија                         |                                                    | Писмо се оставља у стану/ пос. пр. или прибија |                                                       |                                                                        |                                            |  |  |
| S4 (ЗПП/обавештење)  |                                   |                                                | Оставља се обавештење, писмо се враћа                                                                                                                                                                      |                                                                        |                                                    |                                                |                                                       |                                                                        |                                            |  |  |
| S5 (ЗИО/извештај)    |                                   |                                                | Оставља се извештај о приспећу пошилке, испорука у пошти 5 радних дана                                                                                                                                     |                                                                        |                                                    |                                                |                                                       |                                                                        |                                            |  |  |
| S6 (ЗИО/обавештење)  |                                   |                                                | Оставља се обавештење, писмо се враћа                                                                                                                                                                      |                                                                        |                                                    |                                                |                                                       |                                                                        |                                            |  |  |
| S7 (ЗВП/лично)       |                                   | Оставља се обавештење, писмо се враћа          | Оставља се извештај о приспећу пошилке, испорука у пошти, писмо за доставу наредног радног дана. Ако је неуспешна друга достава лично примаоцу или овлашћеном лицу, оставља се обавештење, писмо се враћа. |                                                                        |                                                    |                                                |                                                       |                                                                        |                                            |  |  |
| S8 (ЗВП)             |                                   | Писмо у сандучић                               | Уручење писма                                                                                                                                                                                              | Писмо у сандучић                                                       | Уручење писма                                      | Писмо у сандучић                               | Уручење писма                                         | Писмо у сандучић                                                       |                                            |  |  |
| S9 (ЗПУКНБ)          |                                   | Оставља се обавештење, писмо се враћа          | Оставља се обавештење - извештај о приспећу, испорука у пошти 15 дана                                                                                                                                      |                                                                        |                                                    |                                                |                                                       |                                                                        |                                            |  |  |

Октобар 2021. године

Slika 1. Pomoćna tabela za uručenje sudskih pisama

## 2. Prva praktična iskustva

Паралелно са процесом стандардизације судских писама у Пошти Србије, развијен је софтвер за подршку корисницима при припреми пошиљака за предају – Електронска пријемна knjiga (EPK). Овај систем је врло брзо прихваћен и од стране пошиљалаца судских писама, јер им је омогућио правилно адресирање, штампање нових кoverата са свим потребним елементима, праћење пошиљака, ажурирање статуса, као и формирање сопствене листе примаоца и вођење интерне евиденције релевантних података.

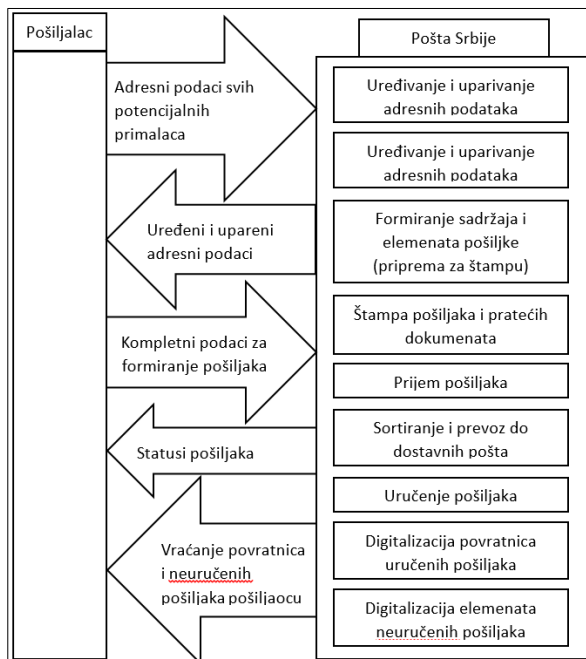
Изазов који је подстакao разматрање следеће фазе дигитализације настао је 2017. године, променом начина наплате такси за одводњавање – односно пребацивањем надлежности за наплату на водoprивредна предузећа која се баве одржавањем водотокова и мелiorационе канalsке мреже. Та предузећа била су изузетно заинтересована да се наплата таксе спроведе што ефикасније, јер им је представљала примарни извор прихода. С обзиром на то да се до тада нису бавила овим процесом, била су спремна да се ceо систем осмисли на нов начин, који до тада није био применjиван.

Конкретно, предузеће Vode Vojvodine је, након неколико одржаних састанака, препознало Пошту Србије као стратешког партнера у реализацији процеса обавештавања обвезника о износу и начину плаћања таксе, као и у каснијој наплати обавеза. Наиме, располагали су базом података о примаоцима, преузетом из више општинских управа, која је била врло нестандартизована и неједначена, а обухватала је преко 1.000.000 потенцијалних корисника.

Почетком 2018. године, Пошта Србије је преузела обавезу да изврши стандардизацију базе, упаривање и верификацију адресних података, као и да у сарадњи са Vодama Vojvodine развије садржај пошиљке са свим неопходним елементима који би омогућили примаоцима да добију обавештење о структури таксе и изврше плаћање. Такође,

bilo je neophodno usaglasiti izgled pošiljke sa propisanim elementima pisma u upravnom postupku, s obzirom na to da je navedena pošiljka spadala u tu kategoriju.

Koraci pružanja usluge i razmene podataka sa Vođama Vojvodine (pošiljalac) prikazani su na blok-šemi na slici 2.



Slika 2. Prikaz tehnoloških procesa pružanja usluge

Paralelno sa štampom i distribucijom pošiljaka, sa korisnikom je dogovorena mogućnost štampe sadržaja pošiljke na svakom šalteru Pošte Srbije, ukoliko primalac pošiljke to zatraži prilikom dolaska. S obzirom na to da sadržaj pošiljke, pored rešenja i obrazloženja naplate takse, uključuje i popunjen uplatni dokument, primaocu je omogućeno da odmah izvrši plaćanje dospelih iznosa.

Sa zahtevima za uređivanje i uparivanje adresnih baza susretali smo se i ranije, te smo u tom poslu već imali određena iskustva i razvijen softver koji je automatski obradio veliki deo baze. Oko 20% adresa bilo je neophodno obraditi ručno, angažovanjem zaposlenih i proverom na terenu. Po završetku ovog procesa formirana je baza sa oko 650.000 validnih adresa primaoca.

Nakon usaglašavanja sadržaja pošiljaka, pristupilo se pripremi za štampu, pri čemu je posebna pažnja posvećena redosledu štampe u skladu sa kretanjem poštara po reonu. U okviru pripreme, u sadržaj pošiljke i koverata ugrađeni su kontrolni barkodovi koji su omogućili stalnu kontrolu uparenosti sadržaja i odgovarajućeg koverta. Na taj način obezbeđeno je da pošiljke, nakon štampe, budu sortirane po itinereru poštara, dostavnoj pošti i pripadajućem poštanskom centru, što je omogućilo efikasno sortiranje i brzo prispeće pošiljaka u dostavne jedinice.

Kvalitetno sortiranje po itinereru poštara omogućilo je efikasnu dostavu, te je prihvatljiv broj pošiljaka uručen u očekivanim rokovima. Dostavom prvih pošiljaka pristigle su i prve povratnice koje je bilo potrebno digitalizovati, odnosno skenirati u .jpg

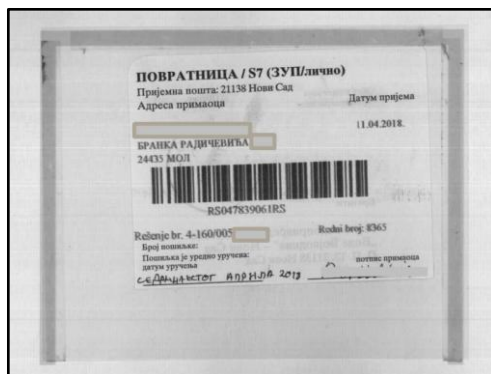
format. S obzirom na veliki broj povratnica (od predatih 650.000 očekivali smo uspešnu dostavu najmanje 500.000), a imajući u vidu da se ovakav proces sprovodio prvi put, digitalizacija je organizovana centralizovano.

Za digitalizaciju je korišćena LSM mašina (mašina za automatsko sortiranje pismonosnih pošiljaka), koja redovno radi u Poštansko-logističkom centru u Novom Sadu. Ova mašina, kapaciteta oko 40.000 standardnih pismonosnih pošiljaka na sat, tokom sortiranja generiše digitalnu fotografiju svake pošiljke i očitava barkod, ukoliko postoji.

Zbog male debljine papira, povratnice nije bilo moguće direktno sortirati mašinski, pa je osmišljen kartonski nosač sa providnom folijom, u koji se povratnica postavlja pre sortiranja. Tokom rada na mašini ustanovljeno je da, usled algoritma za optičko prepoznavanje karaktera (OCR) i prioriteta očitavanja, mašina u neočekivano malom procentu očitava barkod sa povratnice. To se dešavalo zbog lošijeg kvaliteta štampe barkoda i prisustva pravilnog, čitljivog adresnog bloka, na koji je softver usmeravao „pažnju“, zanemarujući barkod.

S obzirom da ovu funkcionalnost nismo mogli isključiti, bilo je neophodno pronaći alternativno rešenje. Nakon više eksperimenata, ustanovljeno je da se procenat uspešnog očitavanja barkoda značajno povećava ukoliko se nosač sa povratnicom ubaci naopako (gornjim delom nadole). Na taj način se smanjuje „poverenje“ OCR softvera u alfanumeričke podatke iz adresnog bloka, čime se favorizuje očitavanje barkoda – što je i bio cilj.

Rešavanje ovog problema omogućilo je masovnu upotrebu LSM mašine za digitalizaciju povratnica. Primer digitalne fotografije povratnice (zajedno sa kartonskim nosačem), dobijen obradom na LSM, prikazan je na slici 3.



*Slika 3. Izgled fotografija povratnice dobijen obradom na LSM*

### **3. Tehnološki razvoj**

Po završetku posla, korisnik je bio izuzetno zadovoljan kako samim uručjenjem pošiljaka, tako i realizacijom naplate takse. Ipak, sprovedi smo internu analizu i identifikovali određene slabe tačke u procesu.

S obzirom na to da je naredni ciklus slanja pošiljaka bio najavljen, odlučili smo da unapredimo tehnologiju skeniranja. Umesto LSM mašine, za ovu svrhu smo koristili osam Android tableta. Izradili smo specijalizovane nosače za tablete i razvili softver koji omogućava automatsko fotografisanje povratnice čim se postavi na predviđenu poziciju



na nosaču. Ova promena tehnologije, uz tehničko poboljšanje kvaliteta štampe barkoda, značajno je unapredila kvalitet pružene usluge (slika 4).

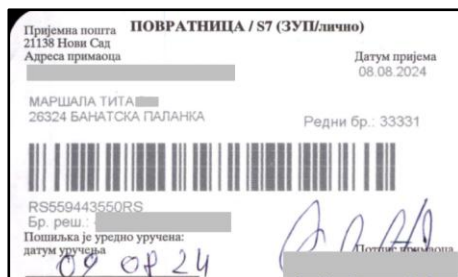
Ovako zaokružen tehnološki ciklus dao je zadovoljavajuće rezultate, te smo sličnu saradnju ponudili i Poreskoj upravi u Novom Sadu, uz prilagođavanje procesa njihovim specifičnim zahtevima.



Slika 4. Izgled fotografija povratnice dobijen preko Android uređaja

Sledeći tehnološki iskorak ostvarili smo 2022. godine, kada smo nabavili brze skenere za dokumenta koji, uz primenu specijalizovanog softvera, omogućavaju zadovoljavajući kvalitet i brzinu skeniranja. Zahvaljujući ovoj opremi, proces skeniranja postao je jednostavniji i brži, što nam je omogućilo da započnemo decentralizaciju skeniranja u skladu sa obimom pošiljaka.

Pored toga, korisnicima smo ponudili i uslugu skeniranja adrese strane vraćenih pošiljaka, na kojoj su bili vidljivi razlozi neuručenja, sa svim relevantnim detaljima. Paralelno sa uvođenjem novih skenera, RJ Hibridna pošta unapredila je kvalitet štampe barkoda primenom laserske tehnologije, što je značajno doprinelo ukupnom kvalitetu kasnije digitalizacije (slika 5).



Slika 5. Izgled fotografija povratnice dobijen preko brzog skenera

U narednoj tabeli prikazan je tehnološki razvoj procesa digitalizacije povratnica i pošiljaka u returu:

| Godina | Način štampe bar koda | Oprema korišćenja u digitalizaciji | Broj digitalizovanih entiteta po angažovanom radniku na sat | Procenat entiteta koji nije digitalizovan |
|--------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 2018.  | Inkjekt               | LSM                                | 800                                                         | 5,5%                                      |
| 2019.  | Inkjekt               | Android uređaj                     | 800                                                         | <1%                                       |
| 2022.  | Laserski              | Brzi skener                        | 2.000                                                       | <0,1%                                     |

Slika 6. Hronološki prikaz razvoja opreme i parametri postignutog kvaliteta

#### 4. Zaključak

U radu je prikazan početak i dosadašnji razvoj predmetne usluge. Rezultat izloženih aktivnosti može se ilustrovati podatkom da trenutno oko 125 pošiljalaca sudskih pisama koristi uslugu uparivanja i sređivanja adresnih podataka, pripreme, štampe, kovertiranja i distribucije pošiljaka. Od tog broja, deset najvećih pošiljalaca (po obimu pošiljaka, ukupno oko 2.500.000 pošiljaka godišnje) koristi i uslugu digitalizacije povratnica i vraćenih pošiljaka.

Ova usluga značajno je olakšala poslovanje pošiljaocima, naročito u kontekstu sudskih i vanskudskih postupaka, jer sada do neophodne dokumentacije dolaze brže, uz poboljšan vizuelni i tehnički kvalitet. Finansijski efekat za Poštu Srbije nije zanemarljiv, ali je još značajnija činjenica da se njenim uvođenjem Pošta Srbije pozicionirala na tržištu kao pružalac nove, kompletne usluge, koja je digitalizaciju uvela u segment sa minimalnim otporima korisnika – segment u kojem korisnici jasno prepoznaju benefite.

Svesni smo da ovakav model pružanja usluge ima ograničen vek trajanja, ali imajući u vidu visok stepen prihvaćenosti od strane korisnika, kontinuirano radimo na daljem unapređenju tehnološkog procesa.

#### Literatura

[1] Tehnolosko uputstvo o prijemu i urucenju sudskih pismena i pismena u upravnom postupku, Pošta Srbije 2018.

**Abstract:** *This paper explores the partial digitalization of judicial, administrative, and misdemeanor correspondence within the Serbian postal system. Focusing on hybrid solutions rather than full digital delivery, the study outlines the development of standardized procedures for handling official mail, supported by technological upgrades and strategic partnerships. The introduction of the Electronic Reception Book (EPK) enabled senders to automate addressing, tracking, and internal data management. A key milestone was the collaboration with Vode Vojvodine, which involved standardizing over one million recipient addresses and integrating barcode-based tracking. Initial digitization relied on LSM sorting machines, later replaced by Android-based scanning systems and high-speed document scanners. These innovations improved delivery efficiency and enabled centralized and decentralized digitization of return receipts. Currently, over 125 institutional senders use the service, with the largest ten adopting full-cycle digitization. The model has proven effective, positioning Pošta Srbije as a leader in digital postal services, with ongoing efforts to enhance technological processes.*

**Keywords:** *digitalization, judicial documents*

## **DIGITALIZATION OF LETTERS IN JUDICIAL, ADMINISTRATIVE, AND MISDEMEANOR PROCEEDINGS**

Viktor Kostić

## **ULOGA DRUŠTVENO ODGOVORNOG POSLOVANJA U JAČANJU POVERENJA KORISNIKA - STUDIJA SLUČAJA POŠTE SRBIJE**

Miodrag Simić<sup>1</sup>, Marko Pavlović<sup>2</sup>, Dragana Đurić<sup>2</sup>, Dragana Radosavljević<sup>3</sup>

<sup>1</sup>JP “Pošta Srbije” Kruševac, miosimic@jp.ptt.rs

<sup>2</sup>Akademija strukovnih studija Politehnika Beograd,

markopavlovic25101982@gmail.com, ddjuric@politehnika.edu.rs

<sup>3</sup>Univerzitet “Union Nikola Tesla” Fakultet za poslovne studije i pravo Beograd, dragana.radosavljevic@fpsp.edu.rs

**Rezime:** *Istraživanje je sprovedeno na uzorku od 132 ispitanika kako bi se ispitala percepcija društveno odgovornog poslovanja Pošte Srbije. Korišćen je strukturisani upitnik sa petostepenom Likertovom skalom, obuhvatajući dimenzije opšte percepcije društvene odgovornosti, odnosa prema korisnicima, ekološke odgovornosti, odnosa prema zajednici, kao i etičnosti i transparentnosti poslovanja. Rezultati ukazuju da većina ispitanika prepoznaje napore Pošte Srbije u doprinosu lokalnoj zajednici i zaštiti životne sredine, uz umereno visok stepen poverenja u etičko poslovanje i transparentnost. Međutim, identifikovana su područja za unapređenje, posebno u pogledu rešavanja pritužbi i intenziviranja komunikacije sa korisnicima. Nalazi pružaju osnovu za kreiranje strategija unapređenja društveno odgovornog poslovanja i održivog razvoja.*

**Ključne reči:** *društveno odgovorno poslovanje, Pošta Srbije, korisnici, ekološka odgovornost, etičnost.*

### **1. Uvod**

Način na koji jedna kompanija pristupa, kroz poslovni proces koji obavlja, svojom odgovornošću prema životnoj sredini i društvu uopšte, definiše njeno društveno odgovorno poslovanje (DOP). Promocija istog u značajnoj meri utiče na percepciju same kompanije u javnosti, odnosno kod njenih stakeholdera.

Iza uvodnog dela rada, sledi drugo poglavlje u kojem je sadržano najosnovnije o definisanju pojma DOP-a u savremenim uslovima poslovanja. U trećem poglavlju rada su sumblimirani rezultati istraživanja, kako DOP utiče na jačanje poverenja korisnika usluga JP “Pošta Srbije”, posmatrano kroz nekoliko socio-demografskih karakteristika uzorka (pol, starost, obrazovanje i mesto stanovanja) ispitanika. Na kraju rada su zaključna razmatranja i preporuke JP “Pošta Srbije”, šta je potrebno učiniti da bi se preduzete aktivnosti DOP-a, odrazile na povećanje poverenja i ugleda u društvu i kod korisnika.

## **2. Pojmovno određenje društveno odgovornog poslovanja (DOP)**

Pojam društvene odgovornosti, može da se definiše na osnovu odgovornosti koju svaki entitet odnosno država, kompanija ili pojedinac zastupa prema društvu, bilo da pozitivno utiče podržavajući određene društvene inicijative ili se suzdržava od negativnih akcija (korupcija, prevare, neodgovorno i neetično ponašanje prema zajednici i životnoj sredini i sl.). [1]

Kompanijski DOP je u osnovi novi menadžment koncept koji predstavlja opredeljenje kompanije za dobrobit zajednice kroz diskrecione poslovne prakse i doprinose na račun resursa kompanije. [2]

Evropska komisija je definisala DOP kao koncept kojim kompanije dobrovoljno integrišu društvene i ekološke probleme u svoje poslovne operacije u interakciji sa zainteresovanim stranama. Akcije kompanija prevazilaze njihove zakonske obaveze prema životnoj sredini i društvu, dok se preduzimaju regulatorne mere i stvara okruženje koje je naklonjenije poslovanju društveno odgovornih kompanija. [3]

Organizacija Ujedinjenih nacija za industrijski razvoj na sličan način definiše DOP kao koncept upravljanja kojim kompanije integrišu društvene i ekološke probleme u svoje poslovne operacije i interakcije sa zainteresovanim stranama. DOP se shvata kao način putem koga kompanija postiže ravnotežu između ekonomskih, ekoloških i društvenih imperativa ispunjavajući “pristup trostrukog cilja” i vodeći računa o interesima akcionara i zainteresovanih strana. Ključna pitanja DOP-a su: očuvanje životne sredine, ekološka efikasnost, odgovorno snabdevanje, uključivanje svih zainteresovanih strana, uslovi rada i zaštita na radu, odnosi sa zaposlenima i društvenom zajednicom, društvena i rodna ravnopravnost, ljudska i manjinska prava, dobro upravljanje i borba protiv korupcije. Da bi jedna kompanija ispunjavala kriterijume DOP-a mora biti finansijski sigurna i minimizirati ili eliminisati svoj negativni uticaj na životnu i društvenu sredinu. [4]

Na ispravan način implementiran koncept društvene odgovornosti u poslovanje može doneti kompaniji niz konkurentskih pogodnosti u odnosu na okruženje. Tako npr. poboljšaće pristup kapitalu i tržištima, povećaće prodaju i profit, napraviće uštede u operativnim troškovima, poboljšaće produktivnost rada, kvalitet, imidž i brend svog proizvoda, stvoriće bolje procese za donošenje odluka i upravljanje rizicima, a isto tako povećaće i lojalnost kupaca.

Kompanije bi trebalo da uključe svoje izveštaje o DOP-u u marketinške aktivnosti, čime bi efikasno saopštile svoje vrednosti i diferencirale svoj brend, a na taj način se snažno povezale sa svojim društveno odgovornim potrošačima. [5]

## **3. Istraživanje: “Uloga društveno odgovornog poslovanja u jačanju poverenja korisnika usluga JP “Pošta Srbije””**

Metodologija primenjena u ovom radu zasniva se na statističkoj obradi podataka i analizi koja je koristila softver IBM SPSS (Statistical Package of Social Science) verzija 25. U radu je primenjena deskriptivna statistika za opisivanje uzorka, korelaciona analiza za ispitivanje povezanosti, t test nezavisnih uzoraka i jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA) za ispitivanje razlika između grupa. Za graničnu vrednost značajnosti je korišćen nivo od 0.05.

Predmet istraživanja je ispitivanje percepcije društveno odgovornog poslovanja Pošte Srbije među korisnicima njenih usluga, sa posebnim osvrtnom na opštu percepciju

društvene odgovornosti, odnos prema korisnicima, ekološku odgovornost, odnos prema zajednici i etičnost i transparentnost u poslovanju.

Primarni cilj istraživanja je bio da se utvrdi nivo percepcije društveno odgovornog poslovanja Pošte Srbije i analiziraju razlike u percepciji u odnosu na pol, starost, nivo obrazovanja i mesto stanovanja ispitanika. Sekundarni ciljevi:

- Ispitati povezanost između učestalosti korišćenja usluga Pošte Srbije i percepcije njene društvene odgovornosti.
- Identifikovati oblasti društvene odgovornosti koje korisnici najpozitivnije, odnosno najnegativnije percipiraju.
- Dati preporuke za unapređenje društveno odgovornog poslovanja Pošte Srbije.

Hipoteze istraživanja su:

**H1:** Postoji statistički značajna razlika u percepciji društvene odgovornosti Pošte Srbije između ispitanika različitog pola.

**H2:** Starost ispitanika ne utiče značajno na percepciju društveno odgovornog poslovanja Pošte Srbije.

**H3:** Nivo obrazovanja ispitanika značajno utiče na percepciju društveno odgovornog poslovanja Pošte Srbije.

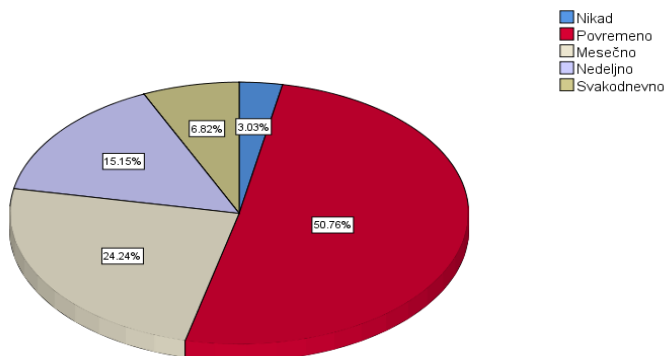
**H4:** Učestalost korišćenja usluga Pošte Srbije pozitivno je povezana sa percepcijom društveno odgovornog poslovanja.

*Tabela 1. Sociodemografske karakteristike ispitanika*

| Ispitanici prema:  | Kategorija              | Broj | [%]  |
|--------------------|-------------------------|------|------|
| Pol                | Muški                   | 75   | 56.8 |
|                    | Ženski                  | 57   | 43.2 |
| Starost ispitanika | 18-29 godine            | 46   | 34.8 |
|                    | 30-49 godine            | 63   | 47.7 |
|                    | 50-64 godine            | 23   | 17.4 |
| Nivo obrazovanja   | Osnovno obrazovanje     | 6    | 4.5  |
|                    | Srednje obrazovanje     | 71   | 53.8 |
|                    | Više/visoko obrazovanje | 49   | 37.1 |
|                    | Postdiplomske studije   | 6    | 4.5  |
| Mesto prebivališta | Gradska sredina         | 26   | 19.7 |
|                    | Prigradska sredina      | 24   | 18.2 |
|                    | Seoska sredina          | 82   | 62.1 |

U okviru istraživanja je učestvovalo 132 ispitanika od čega je 75 muškog pola i 57 ženskog pola. Velika većina ispitanika ima između 30 i 49 godina (47.7%), pretežno srednjeg obrazovanja (53.8%) iz seoskih sredina (62.1%) (Tabela 1). Sa Slike 1. može da se zaključiti, da više od polovine ispitanika koristi poštu povremeno (50.76%) a potom na mesečnom nivou (24.24%).

Na osnovu odgovora ispitanika prikazanih u (Tabeli 2) nameće se zaključak da je stepen slaganja za postavljene tvrdnje u vezi opšte percepcije društvene odgovornosti najviši za društvenu odgovornost Pošte Srbije prilikom korišćenja njenih usluga (AS=4.06, SD=1.13), dok je najniži za upoznatost sa društveno odgovornim inicijativama Pošte Srbije (AS=3.25, SD=1.03).



Slika 1. Koliko često koristite usluge pošte Srbije?

Tabela 2. Opšte precepcije društvene odgovornosti

| Pitanja:                                                                                  | AS   | SD   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Smatrate li da Pošta Srbije posluje odgovorno prema društvu?                              | 3.72 | 0.88 |
| Da li ste upoznati sa društveno odgovornim inicijativama Pošte Srbije?                    | 3.25 | 1.03 |
| Koliko verujete da Pošta Srbije doprinosi zajednici kroz svoje aktivnosti?                | 3.53 | 1.10 |
| Smatrate li da Pošta Srbije promovira pozitivne vrednosti u društvu?                      | 3.69 | 1.10 |
| Koliko vam je važna društvena odgovornost Pošte Srbije prilikom korišćenja njenih usluga? | 4.06 | 1.13 |

Na osnovu odgovora ispitanika prikazanih u (Tabeli 3) može se zaključiti, da je stepen slaganja za postavljene tvrdnje u vezi odnosa prema korisnicima najviši za tvrdnju koja se odnosi na pružanje fer i transparentne usluge od strane Pošte Srbije (AS=3.78, SD=1.12), dok je najniži za tvrdnju koja se odnosi na zadovoljstvo načinom rešavanja pritužbi (AS=3.31, SD=1.21).

Tabela 3. Odnos prema korisnicima

| Pitanja:                                                                            | AS   | SD   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Da li smatrate da Pošta Srbije pruža fer i transparentne usluge?                    | 3.78 | 1.12 |
| Koliko ste zadovoljni načinom na koji Pošta Srbije rešava pritužbe korisnika?       | 3.31 | 1.21 |
| Koliko smatrate da Pošta Srbije komunicira otvoreno i jasno sa korisnicima?         | 3.48 | 1.10 |
| Da li Pošta Srbije podstiče inkluzivnost i dostupnost svojih usluga za sve građane? | 3.70 | 1.03 |

Na osnovu odgovora ispitanika prikazanih u (Tabeli 4) proizilazi da je stepen slaganja za postavljene tvrdnje u vezi ekološke odgovornosti najviši za tvrdnju koja se odnosi na podršku ekološke inicijative Pošte Srbije (AS=4.00, SD=1.30), dok je najniži za tvrdnju koja se odnosi na brigu Pošte Srbije o zaštiti životne sredine (AS=3.37, SD=1.08).

*Tabela 4. Ekološka odgovornost*

| Pitanja:                                                                                        | AS   | SD   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Koliko smatrate da Pošta Srbije brine o zaštiti životne sredine?                                | 3.37 | 1.08 |
| Koliko vam je važna ekološka odgovornost preduzeća čije usluge koristite?                       | 3.85 | 1.01 |
| Da li biste podržali ekološke inicijative Pošte Srbije (npr. digitalizaciju računa, reciklažu)? | 4.00 | 1.30 |
| Smatrate li da Pošta Srbije koristi održive materijale i procese u svom poslovanju?             | 3.53 | 1.12 |

Na osnovu odgovora ispitanika prikazanih u (Tabeli 5) proističe da je stepen slaganja za postavljene tvrdnje u vezi odnosa prema zajednici najviši za tvrdnju koja se odnosi na preporuku Poštu Srbije kao društveno odgovorno preduzeće (AS=3.66, SD=1.11), dok je najniži za tvrdnju koja se odnosi na upoznatost sa humanitarnim i društvenim projektima Pošte Srbije (AS=2.81, SD=1.28).

*Tabela 5. Odnos prema zajednici*

| Pitanja:                                                                         | AS   | SD   |
|----------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Da li ste upoznati sa humanitarnim i društvenim projektima Pošte Srbije?         | 2.81 | 1.28 |
| Smatrate li da Pošta Srbije doprinosi unapređenju lokalnih zajednica?            | 3.18 | 1.38 |
| Koliko mislite da Pošta Srbije podržava obrazovne, kulturne i sportske projekte? | 3.30 | 1.34 |
| Da li biste preporučili Poštu Srbije kao društveno odgovorno preduzeće?          | 3.66 | 1.11 |

Na osnovu odgovora ispitanika prikazanih u (Tabeli 6) sledi zaključak da je stepen slaganja za postavljene tvrdnje u vezi etičnosti i transparentnosti u poslovanju najviši za tvrdnju koja se odnosi na poštovanje prava korisnika Pošte Srbije (AS=3.81, SD=1.04), dok je najniži za tvrdnju koja se odnosi na preduzimanje mera za sprečavanje korupcije i neetičkog ponašanja Pošte Srbije (AS=3.01, SD=1.25).

*Tabela 6. Etičnost i transparentnost poslovanja*

| Pitanja:                                                                                       | AS   | SD   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| Da li smatrate da Pošta Srbije posluje etično i pošteno?                                       | 3.75 | 0.99 |
| Koliko verujete u transparentnost poslovanja Pošte Srbije?                                     | 3.53 | 1.20 |
| Smatrate li da Pošta Srbije poštuje prava svojih korisnika?                                    | 3.81 | 1.04 |
| Da li imate poverenje u sisteme zaštite potrošača unutar Pošte Srbije?                         | 3.50 | 1.29 |
| Koliko smatrate da Pošta Srbije preduzima mere za sprečavanje korupcije i neetičkog ponašanja? | 3.01 | 1.25 |

U okviru istraživanja je ispitivano, da li postoji značajna razlika u opštoj percepciji društvene odgovornosti, odnosu prema korisnicima, ekološkoj odgovornosti, odnosu prema zajednici i etičnosti i transparentnosti poslovanja u odnosu na pol ispitanika. Za ispitivanje razlika u odnosu na pol je primenjen t test nezavisnih uzoraka. Na osnovu rezultata t testa prikazanih u (Tabeli 7) može se zaključiti da postoji značajna razlika u stepenu slaganja za opštu percepciju društvene odgovornosti i etičnost i transparentnost u poslovanju u odnosu na pol ispitanika, gde žene imaju viši stepen

slaganja i za opštu percepciju društvene odgovornosti i za etičnost i transparentnost u poslovanju.

*Tabela 7. Razlike u odnosu na pol ispitanika*

|                                         | Muški<br>N=75    | Ženski<br>N=57 | t      | p      |
|-----------------------------------------|------------------|----------------|--------|--------|
|                                         | Srednja vrednost |                |        |        |
| Opšta percepcija društvene odgovornosti | 3.50 ± 0.88      | 3.84 ± 0.77    | -2.310 | 0.022* |
| Odnos prema korisniku                   | 3.54 ± 1.07      | 3.61 ± 0.88    | -0.415 | 0.679  |
| Ekološka odgovornost                    | 3.61 ± 0.93      | 3.79 ± 0.91    | -1.099 | 0.274  |
| Odnos prema zajednici                   | 3.26 ± 0.97      | 3.22 ± 1.01    | 0.208  | 0.835  |
| Etičnost i transparentnost u poslovanju | 3.33 ± 0.98      | 3.77 ± 1.03    | -2.458 | 0.015* |

\*Statistička značajnost na nivou od 0.05

Isto tako u okviru istraživanja je ispitivano, da li postoji značajna razlika u opštoj percepciji društvene odgovornosti, odnosu prema korisnicima, ekološkoj odgovornosti, odnosu prema zajednici i etičnosti i transparentnosti poslovanja u odnosu na starost ispitanika. Za ispitivanje razlika u odnosu na starost je primenjen ANOVA test. Na osnovu rezultata ANOVA testa prikazanih u (Tabeli 8) može se izvesti zaključak da ne postoji značajna razlika u odnosu na starost ispitanika.

*Tabela 8. Razlike u odnosu na starost ispitanika*

|                                         | 18-29<br>N=46    | 30-49<br>N=63 | 50-64<br>N=23 | F     | p     |
|-----------------------------------------|------------------|---------------|---------------|-------|-------|
|                                         | Srednja vrednost |               |               |       |       |
| Opšta percepcija društvene odgovornosti | 3.70 ± 0.85      | 3.73 ±0.82    | 3.34 ± 0.89   | 1.860 | 0.160 |
| Odnos prema korisniku                   | 3.77 ± 0.96      | 3.44 ± 0.97   | 3.52 ± 1.07   | 1.543 | 0.218 |
| Ekološka odgovornost                    | 3.85 ± 0.79      | 3.52 ± 0.92   | 3.80 ± 1.14   | 1.921 | 0.151 |
| Odnos prema zajednici                   | 3.25 ± 0.97      | 3.23 ± 0.99   | 3.25 ± 1.03   | 0.002 | 0.998 |
| Etičnost i transparentnost u poslovanju | 3.78 ± 0.89      | 3.43 ± 1.11   | 3.26 ± 0.95   | 2.517 | 0.085 |

U okviru istraživanja je ispitivano da li postoji značajna razlika u opštoj percepciji društvene odgovornosti, odnosu prema korisnicima, ekološkoj odgovornosti, odnosu prema zajednici i etičnosti i transparentnosti poslovanja u odnosu na nivo obrazovanja ispitanika. Za ispitivanje razlika u odnosu na nivo obrazovanja je primenjen ANOVA test. Na osnovu rezultata ANOVA testa prikazanih u (Tabeli 9) proističe da postoji značajna razlika u opštoj percepciji društvene odgovornosti, odnosu prema korisnicima, ekološkoj odgovornosti, odnosu prema zajednici i etičnosti i transparentnosti poslovanja u odnosu na nivo obrazovanja ispitanika.

Na osnovu post hoc testa može se utvrditi: da za (opštu percepciju društvene odgovornosti, odnos prema korisniku, ekološku odgovornost, odnos prema zajednici i etičnost i transparentnost poslovanja), postoji razlika između svih grupa, gde ispitanici sa osnovnim obrazovanjem (OO) imaju najviši stepen slaganja a ispitanici sa postdiplomskim studijama (PS) najmanji.



*Tabela 9. Razlike u odnosu na nivo obrazovanja ispitanika*

|                                         | OO<br>N=6        | SO<br>N=71  | VO<br>N=49  | PS<br>N=6   | F      | p        |
|-----------------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|--------|----------|
|                                         | Srednja vrednost |             |             |             |        |          |
| Opšta percepcija društvene odgovornosti | 5.00 ± 0.00      | 3.90 ± 0.53 | 3.31 ± 0.92 | 2.20 ± 0.00 | 23.623 | <0.0005* |
| Odnos prema korisniku                   | 5.00 ± 0.00      | 3.78 ± 0.89 | 3.28 ± 0.90 | 2.00 ± 0.00 | 15.576 | <0.0005* |
| Ekološka odgovornost                    | 5.00 ± 0.00      | 3.99 ± 0.70 | 3.27 ± 0.86 | 2.00 ± 0.00 | 25.689 | <0.0005* |
| Odnos prema zajednici                   | 5.00 ± 0.00      | 3.38 ± 0.99 | 2.97 ± 0.73 | 2.00 ± 0.00 | 14.713 | <0.0005* |
| Etičnost i transparentnost u poslovanju | 5.00 ± 0.00      | 3.89 ± 0.87 | 2.99 ± 0.84 | 2.00 ± 0.00 | 24.607 | <0.0005* |

\*Statistička značajnost na nivou od 0.05

U okviru istraživanja je ispitivano, da li postoji značajna razlika u opštoj percepciji društvene odgovornosti, odnosu prema korisnicima, ekološkoj odgovornosti, odnosu prema zajednici i etičnosti i transparentnosti poslovanja u odnosu na mesto stanovanja ispitanika. Za ispitivanje razlika u odnosu na mesto stanovanja je primenjen ANOVA test. Na osnovu rezultata ANOVA testa prikazanih u (Tabeli 10) može se zaključiti da postoji značajna razlika u opštoj percepciji društvene odgovornosti, odnosu prema korisnicima, ekološkoj odgovornosti i etičnosti i transparentnosti poslovanja u odnosu na mesto stanovanja ispitanika.

Na osnovu post hoc testa može se utvrditi:

- da za opštu percepciju društvene odgovornosti postoji razlika između prigradske sredine (PS) sa gradskom sredinom (GS) ( $p=0.011$ ) i seoskom sredinom ( $p<0.0005$ ), gde ispitanici iz prigradskog naselja imaju manji stepen slaganja.
- da za odgovornost prema korisniku postoji razlika između prigradske sredine i seoskom sredinom (SS) ( $p=0.015$ ), gde ispitanici iz prigradskog naselja imaju manji stepen slaganja.
- da za ekološku odgovornost postoji razlika između prigradske sredine sa gradskom sredinom ( $p<0.0005$ ) i seoskom sredinom ( $p<0.0005$ ), gde ispitanici iz prigradskog naselja imaju manji stepen slaganja.
- da za etičnost i transparentnost poslovanja postoji razlika između prigradske sredine i seoskom sredinom ( $p<0.0005$ ), gde ispitanici iz prigradskog naselja imaju manji stepen slaganja.

U okviru istraživanja je ispitivano da li postoji značajna povezanost korišćenja usluga Pošte Srbije sa opštom percepcijom društvene odgovornosti, odnosu prema korisnicima, ekološkoj odgovornosti, odnosu prema zajednici i etičnosti i transparentnosti poslovanja. Za ispitivanje navedenih povezanosti je primenjena Pearsonova korelaciona analiza. Na osnovu rezultata korelacione analize prikazane u (Tabeli 11) može se izvesti zaključak da značajna povezanost postoji između korišćenja usluga Pošte Srbije sa opštom percepcijom društvene odgovornosti, odnosu prema korisnicima i odnosu prema zajednici.

*Tabela 10. Razlike u odnosu na mesto stanovanja ispitanika*

|                                         | GS<br>N=26       | PS N=24        | SS N=82        | F      | p        |
|-----------------------------------------|------------------|----------------|----------------|--------|----------|
|                                         | Srednja vrednost |                |                |        |          |
| Opšta percepcija društvene odgovornosti | 3.72 ±<br>1.01   | 3.05 ±<br>0.76 | 3.81 ±<br>0.74 | 8.404  | <0.0005* |
| Odnos prema korisniku                   | 3.64 ±<br>1.08   | 3.06 ±<br>1.10 | 3.70 ±<br>0.89 | 4.107  | 0.019*   |
| Ekološka odgovornost                    | 3.80 ±<br>0.90   | 2.81 ±<br>0.87 | 3.90 ±<br>0.80 | 16.291 | <0.0005* |
| Odnos prema zajednici                   | 3.30 ±<br>0.96   | 3.00 ±<br>0.65 | 3.29 ±<br>1.07 | 0.896  | 0.411    |
| Etičnost i transparentnost u poslovanju | 3.33 ±<br>1.02   | 2.80 ±<br>1.05 | 3.79 ±<br>0.91 | 10.562 | <0.0005* |

\*Statistička značajnost na nivou od 0.05

Na osnovu vrednosti koeficijenta korelacije može se zaključiti da su sve povezanosti male i pozitivne, odnosno sa porastom korišćenja usluga Pošte Srbije raste mišljenje o opštoj percepciji društvene odgovornosti, odnos prema korisniku i odnos prema zajednici.

*Tabela 11. Povezanost korišćenja usluga Pošte Srbije sa opštom percepcijom društvene odgovornosti, odnosu prema korisnicima, ekološkoj odgovornosti, odnosu prema zajednici i etičnosti i transparentnosti poslovanja*

|                                         | Korišćenje usluga Pošte Srbije |
|-----------------------------------------|--------------------------------|
| Opšta percepcija društvene odgovornosti | 0.252**                        |
| Odnos prema korisniku                   | 0.262**                        |
| Ekološka odgovornost                    | 0.017                          |
| Odnos prema zajednici                   | 0.244**                        |
| Etičnost i transparentnost u poslovanju | 0.169                          |

\*Statistička značajnost na nivou od 0.05, \*\*Statistička značajnost na nivou od 0.01

Rezultati istraživanja pokazuju da većina ispitanika ima umereno pozitivan stav prema društveno odgovornom poslovanju Pošte Srbije. Najviše ocene dobile su tvrdnje koje se odnose na važnost društvene i ekološke odgovornosti prilikom korišćenja usluga, dok su najniže ocene date za informisanost o konkretnim društveno odgovornim inicijativama. Analiza prema polu pokazala je da žene u proseku imaju značajno viši stepen slaganja sa tvrdnjama o društvenoj odgovornosti i etičnosti poslovanja, što potvrđuje da postoji rodna razlika u percepciji ( $p < 0.05$ ). Starost ispitanika nije pokazala značajne razlike u percepciji, što ukazuje da generacijski faktori ne utiču značajno na stavove o društvenoj odgovornosti. S druge strane, nivo obrazovanja pokazao je izrazitu statističku značajnost u svim dimenzijama, pri čemu ispitanici sa nižim nivoom obrazovanja iskazuju viši stepen slaganja. Rezultati prema mestu stanovanja ukazuju da ispitanici iz prigradskih naselja imaju niži stepen slaganja u gotovo svim dimenzijama u odnosu na one iz gradskih i seoskih sredina. Korelaciona analiza je potvrdila slabu, ali pozitivnu povezanost između učestalosti korišćenja usluga i percepcije društvene odgovornosti, odnosa prema korisnicima i odnosa prema zajednici.

Na osnovu dobijenih rezultata i analize ustanovljeno je da su sve pretpostavljene hipoteze dokazane.

#### **4. Zaključak**

Rezultati sprovedenog istraživanja ukazuju na to da korisnici Pošte Srbije u celini imaju pozitivan, ali umereno izražen stav prema društveno odgovornom poslovanju ovog preduzeća. Iako većina ispitanika smatra da Pošta Srbije posluje odgovorno prema društvu i promoviše pozitivne vrednosti, uočava se ograničena informisanost o konkretnim društveno odgovornim inicijativama i projektima koje preduzeće sprovodi. To ukazuje na potrebu za većom transparentnošću i proaktivnijom komunikacijom sa javnošću u pogledu društveno odgovornih aktivnosti.

Analiza polnih razlika pokazala je da žene izražavaju veći stepen slaganja sa tvrdnjama koje se odnose na društvenu odgovornost i etičnost poslovanja, što može biti posledica veće senzibilnosti žena prema društvenim i moralnim pitanjima. Ovaj nalaz sugerise da bi komunikacione kampanje Pošte Srbije mogle biti dodatno prilagođene različitim demografskim grupama, kako bi poruke o društveno odgovornom poslovanju imale snažniji efekat.

Starosna struktura ispitanika nije pokazala statistički značajne razlike, što znači da percepcija društvene odgovornosti nije uslovljena generacijskim faktorima. To implicira da vrednosti društvene odgovornosti imaju univerzalni značaj i da su prepoznate među različitim starosnim grupama korisnika.

Nivo obrazovanja pokazao se kao jedan od ključnih determinanata percepcije. Ispitanici sa nižim nivoom obrazovanja u većoj meri percipiraju Poštu Srbije kao društveno odgovornu organizaciju, dok su ispitanici sa višim obrazovanjem bili kritičniji. Ovaj rezultat može ukazivati na to da korisnici sa višim obrazovanjem imaju izraženija očekivanja u pogledu standarda etičnosti, transparentnosti i održivosti, te su samim tim skloniji analitičkom sagledavanju poslovnih praksi.

U pogledu mesta stanovanja, uočene su razlike koje sugerisu da ispitanici iz prigradskih sredina izražavaju niži nivo slaganja u pogledu društveno odgovornog poslovanja u odnosu na ispitanike iz gradskih i seoskih sredina. Ovaj nalaz može se tumačiti kao odraz ograničenog pristupa informacijama ili manjeg kontakta sa aktivnostima Pošte Srbije u tim područjima.

Korelaciona analiza potvrdila je postojanje pozitivne, iako slabe, povezanosti između učestalosti korišćenja usluga Pošte Srbije i percepcije njene društvene odgovornosti. Ovaj rezultat ukazuje da češći korisnici imaju bolje mišljenje o poslovanju Pošte Srbije, verovatno zbog većeg stepena upoznatosti sa kvalitetom usluga i internim standardima poslovanja.

Na osnovu celokupne analize može se zaključiti da Pošta Srbije poseduje solidnu reputaciju u pogledu društvene odgovornosti, ali da postoji značajan prostor za unapređenje, posebno u segmentima komunikacije sa korisnicima, informisanja o društveno korisnim aktivnostima, kao i u doslednijem sprovođenju ekoloških i održivih politika.

Preporučuje se da Pošta Srbije dodatno razvije strategiju društveno odgovornog poslovanja kroz:

- intenzivniju promociju svojih društveno korisnih projekata,
- veći angažman u ekološkim inicijativama,

- jačanje transparentnosti i javnog izveštavanja o rezultatima društveno odgovornih aktivnosti,
- kao i uključivanje lokalnih zajednica i korisnika u planiranje i realizaciju projekata od šireg društvenog značaja.

Zaključno, može se reći da Pošta Srbije, kao jedno od najstarijih i najznačajnijih javnih preduzeća u zemlji, zauzima važnu ulogu u jačanju svesti o društvenoj odgovornosti i održivom razvoju. Kontinuirano unapređenje društveno odgovornog poslovanja može doprineti ne samo većem poverenju korisnika, već i jačanju ugleda Pošte Srbije kao savremenog, etičnog i društveno odgovornog preduzeća koje aktivno doprinosi razvoju zajednice i očuvanju životne sredine.

## Literatura

- [1] V. Petrović, T. Cvetkovski, B. Stojanović-Višić, M. Simić, "Istraživanje uticaja promocije društveno odgovornog poslovanja Pošte Srbije na percepciju korisnika poštanskih usluga", XXXIV Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju *PosTel 2016*, str. 23-32, Beograd, novembar 2016.
- [2] F. Kotler, N. Li, *Korporativna društvena odgovornost*. str. 3, Beograd. Čigoja. 2007.
- [3] Corporate sustainability responsibility [Online]. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52011DC0681> (pristup 27.10.2025.)
- [4] Corporate sustainability responsibility [Online]. Available at: <https://www.unido.org/our-focus/advancing-economic-competitiveness/competitive-trade-capacities-and-corporate-responsibility/corporate-social-responsibility-market-integration/what-csr> (pristup 27.10.2025.)
- [5] M. Mijoković, "Nefinansijsko izveštavanje o životnoj sredini i društvenoj odgovornosti", *Ecologica*, 29(108), str. 531-538, 2022. DOI: 10.18485/ecologica.2022.29.108.9

**Abstract:** *The research was conducted on a sample of 132 respondents to examine the perception of the socially responsible business of the Post of Serbia.. A structured questionnaire using a five-point Likert scale was employed, covering dimensions of general perception of social responsibility, customer relations, environmental responsibility, community engagement, as well as ethics and business transparency. Findings indicate that most respondents recognize the Post of Serbia's efforts in contributing to the local community and environmental protection, with a moderately high level of trust in ethical conduct and transparency. However, areas for improvement were identified, particularly regarding complaint resolution and enhancing communication with customers. The results provide a basis for developing strategies to improve socially responsible business and sustainable development.*

**Keywords:** *socially responsible business, Post of Serbia, customers, environmental responsibility, ethics.*

## THE ROLE OF SOCIALLY RESPONSIBLE BUSINESS IN STRENGTHENING USER CONFIDENCE - CASE STUDY OF POST OFFICE OF SERBIA

Miodrag Simić, Marko Pavlović, Dragana Đurić, Dragana Radosavljević

## **VAŽNOST IZVEŠTAVANJA O ODRŽIVOSTI KROZ PRIZMU ESG KRITERIJUMA – PRIMENA U POŠTANSKOM SEKTORU**

Biljana Stojanović-Višić<sup>1</sup>, Vladimir Tomašević<sup>1</sup>, Jerotija Matić<sup>2</sup>, Ružica Bombol<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet „Union - Nikola Tesla“ - Fakultet za inženjerski menadžment, Beograd,

biljana.svisic@fim.rs, vladimir.tomasevic@fim.rs

<sup>2</sup>Grad Loznica - Odeljenje za nadzorno operativne poslove, informacione tehnologije i  
vanredne situacije, Loznica, jmatic@loznica.rs

<sup>3</sup>UNHCR, Sofia, Bulgaria, ruzica986@gmail.com

**Rezime:** *Izveštavanje o održivosti postaje ključna tema u poslovnom svetu. Sve veći broj kompanija prepoznaje važnost transparentnosti u pogledu ekološkog, društvenog i upravljačkog (eng. ESG - Environmental, Social, Governance) izveštavanja. Kako regulative postaju strože, a zahtevi tržišta rastu, izveštavanje o održivosti prelazi iz opcione u obaveznu praksu. U radu će se predstaviti izveštavanje o održivosti kroz prizmu ESG kriterijuma, sa primenom u poštanskom sektoru.*

**Ključne reči:** *održivost, izveštavanje, ESG*

### **1. Uvod**

ESG je skup kriterijuma koji se tiču životne sredine, socijalnih pitanja i upravljanja, koje kompanije uzimaju u obzir pri upravljanju svojim poslovanjem, a investitori pri donošenju odluka, u pogledu uticaja, rizika i prilika koje ovi kriterijumi nose.

ESG izveštavanje postaje aktuelni trend u savremenom poslovanju, uz značajan podsticaj ESG regulativa koje usmeravaju kompanije ka odgovornim poslovnim praksama. Primena ovakvih praksi u izveštavanju omogućava kompanijama u regionu Balkana da prepoznaju i iskoriste nove prilike koje donose ESG kriterijumi.

Ova primena važi i za poštanski sektor, koji prati sve regulatorne, operativne i tržišne promene u okviru održivosti, posebno poštanski sektor EU koji trenutno sprovodi transformaciju u pogledu izveštavanja o održivosti kroz prizmu ESG kriterijuma.

### **2. ESG regulative**

Evropska Unija (EU) se nameće kao pionir u implementaciji ESG regulativa, koje su primenjive i na brojne kompanije van EU. Ključne regulative koje treba pratiti, a odnose se i na poštanski sektor, direktno ili indirektno, su:

- **CSRD** - je eng. skraćenica za Direktivu o izveštavanju o korporativnoj održivosti (eng. *CSRD - Corporate Sustainability Reporting Directive*) Evropske unije koja obavezuje kompanije da transparentno objavljuju podatke o svom uticaju na životnu sredinu, društvo i upravljanje (ESG). Cilj je pružiti investitorima i drugim zainteresovanim stranama informacije koje su im potrebne za procenu rizika i performansi održivosti kompanija. Izveštaji moraju biti u skladu sa EU standardima izveštavanja o održivosti (eng. *ESRS - European Sustainability Reporting Standards*), koji predstavljaju prvi zvanični set standarda za izveštavanje ove vrste. Brojni dobrovoljni standardi za izveštavanje, poput GRI standarda (eng. *GRI - Global Reporting Initiative*), već su objavili indekse interoperabilnosti sa novim ESRS standardima (eng. *GRI-ESRS Interoperability Index*), kako bi pomogli kompanijama da usklade svoje trenutne prakse ESG izveštavanja sa predstojećim zahtevima. Takođe, obavezno izveštavanje o održivosti mora biti podvrgnuto reviziji, što ga čini delom zakonskog okvira i podleže sankcijama u slučajevima nepoštovanja. CSRD je povezana sa zelenom tranzicijom i deo je šire strategije Evropskog zelenog dogovora (eng. *European Green Deal*) sa ciljem postizanja klimatske neutralnosti EU do 2050. godine, usmeravajući ekonomske tokove ka održivim investicijama. CSRD se primenjuje od početka fiskalne 2024. godine za izveštaje objavljene u 2025. godini (za prethodnu 2024. godinu), i tako nadalje [1]. Zamenjuje prethodnu direktivu NFRD (eng. *Non-Financial Reporting Directive*).

Što se tiče primene CSRD-a u regionu Balkana, iako većina kompanija još nije direktno obuhvaćena, one koje posluju sa EU kompanijama već osećaju pritisak da moraju da usklade poslovanje i počnu sa ESG izveštavanjem.

- **CSDDD** - je eng. skraćenica za Direktivu o dužnoj pažnji o korporativnoj održivosti (eng. *CSDDD - Corporate Sustainability Due Diligence Directive*) Evropske unije, čiji je cilj da obaveže kompanije da sa dužnom pažnjom preduzimaju mere u cilju sprečavanja, ublažavanja i otklanjanja negativnih uticaja na društvo (ljudska prava) i životnu sredinu u svojim operacijama i lancima vrednosti. Zahteva se i transparentnost u izveštavanju. I poslovanje kompanija mora biti u skladu sa klimatskim ciljevima, i one su u obavezi da razvijaju planove za usklađivanje svojih strategija sa Pariskim sporazumom (eng. *Paris Agreement*), uključujući smanjenje emisija gasova staklene bašte. Ovakav vid regulativa već se primenjuje u nekim od evropskih zemalja, poput nemačkog Zakona o dužnoj pažnji u lancu snabdevanja, koji je stupio na snagu 1. januara 2023. godine. Ovaj zakon inicijalno se odnosio na kompanije koje posluju u Nemačkoj i koje imaju više od 3.000 radnika, dok se od 2024. godine opseg regulative proširio i uključuje kompanije koje broje više od 1.000 radnika. Kako bi bile usklađene sa zakonom, kompanije moraju ispuniti određene zahteve *due diligence*-a, koji ima za cilj poboljšanje stanja ljudskih prava i ekoloških standarda duž globalnih lanaca snabdevanja. Pored obaveze za praćenjem i reagovanjem na prakse koje nisu u skladu sa navedenim smernicama, kompanije su u obavezi da prate poslovanje svojih dobavljača širom sveta. Samim tim, kompanije koje su u lancu snabdevanja kompanija pod regulativom, mogu da očekuju povećane zahteve za poboljšanjem održivih

praksi i dostavljanjem informacija o ekološkim i socijalnim praksama. CSDDD je zvanično stupila na snagu 25. jula 2024. godine, sa postepenom primenom u fazama, do pune primene 2029. godine [2].

Što se tiče primene CSDDD-a u regionu Balkana, od kompanija koje sarađuju sa velikim EU kompanijama, će se tražiti da pokažu da poštuju ESG kriterijume, čak iako zemlja formalno nije članica EU.

- **CBAM** - je eng. skraćenica za Mehanizam prekograničnog usklađivanja ugljenika (eng. *CBAM - Carbon Border Adjustment Mechanism*) Evropske unije koji uvodi takse na uvoz određenih proizvoda na osnovu emisija ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>) koje su nastale tokom njihove proizvodnje. CBAM primenjuje iste troškove ugljenika na uvezene proizvode kao da su proizvedeni unutar EU. Odnosno, za uvoz u EU, kompanije moraju da izveštavaju o ugrađenim ugljeničnim emisijama u robu. Što se tiče pružanja usluga CBAM indirektno utiče na njih. Cilj je sprečiti nefer konkurenciju i obezbediti da klimatski ciljevi EU ne budu ugroženi [3]. CBAM je zvanično uveden u svojoj prelaznoj fazi 1. oktobra 2023. godine, sa postepenom primenom tokom koje postoji samo obaveza izveštavanja (bez plaćanja naknada), dok će potpuna primena i finansijske obaveze početi od 1. januara 2026. godine.

Što se tiče primene CBAM-a u regionu Balkana, kompanije koje posluju sa EU kompanijama su obuhvaćene i CBAM predviđa primenu istih troškova ugljenika na uvezene proizvode kao što bi nastali kod postrojenja koja rade u EU. Na ovaj način, primenom CBAM-a težnja je da se smanji rizik da klimatski ciljevi EU budu ugroženi premeštanjem proizvodnje u zemlje sa manje ambicioznom politikom dekarbonizacije (tzv. „curenje ugljenika“).

- **SFDR** - je eng. skraćenica za Regulativu o finansijskom objavljivanju o održivosti (eng. *SFDR - Sustainable Finance Disclosure Regulation*) koja se primenjuje na učesnike finansijskog tržišta (namenjena je bankama, investicionim fondovima, osiguravajućim društvima, penzionim fondovima, itd.) koji posluju unutar EU, bez obzira na to gde se nalaze. SFDR zahteva od finansijskih institucija da otkriju koliko su njihova ulaganja zaista „održiva“. Njen osnovni cilj je da usmeri kapital ka održivim investicijama u skladu sa ciljevima Evropskog zelenog dogovora. SFDR pruža investitorima pouzdane, uporedive i transparentne informacije o rizicima i uticajima ulaganja u održivost. Time se sprečava „greenwashing“, odnosno predavljanje proizvoda i usluga kao održivih, a da to nisu, i omogućava investitorima da donose odluke u skladu sa svojim ciljevima održivosti. SFDR se primenjuje od 10. marta 2021. godine [4].

Što se tiče primene SFDR-a u regionu Balkana, prvenstveno se odnosi na banke, a onda i druge finansijske institucije koje posluju u regionu, a imaju sedišta u EU ili koriste EU fondove, i one već uvode ESG kriterijume pri dodeli kredita i investicija.

- **EU taksonomija za održive aktivnosti** - je regulativa (eng. *EU taxonomy for sustainable activities*) kojom Evropska unija vrši klasifikaciju, odnosno definiše koje ekonomske aktivnosti su „zelene“ ili ekološki održive, na osnovu 6 ključnih ekoloških ciljeva (ublažavanje klimatskih promena; prilagođavanje klimatskim

promenama; održivo korišćenje i zaštitu voda i morskih resursa; prelazak na cirkularnu ekonomiju; sprečavanje i kontrolu zagađenja; i zaštitu i obnovu biodiverziteta i ekosistema). Namera je da se uspostavi zajednički jezik za održivost, podstaknu zelena ulaganja i pruži jasnoća kompanijama i investitorima o tome koje su aktivnosti usklađene sa ekološkim standardima EU. Takođe, obavezuje kompanije i investitore koji izdaju „zelene obveznice“ da jasno pokažu da li su njihove aktivnosti u skladu sa taksonomijom. EU taksonomija za održive aktivnosti stupila je na snagu 12. jula 2020. godine, a primenjuje se u fazama od 1. januara 2022. godine [5].

Što se tiče primene EU taksonomije za održive aktivnosti u regionu Balkana, investicije koje dolaze iz EU fondova, banaka i privatnih investitora su „zeleno usklađene“ što podrazumeva da se i kompanije u regionu moraju prilagoditi, jer će to biti uslov za dobijanje sredstava i ulazak u projekte finansirane iz EU.

Kako regulative postaju strože, a zahtevi tržišta rastu, izveštavanje o održivosti prelazi iz opcione u obavezu praksu.

### 3. ESG kriterijumi i ESG izveštavanje

Sve veći broj kompanija prepoznaje važnost transparentnosti u pogledu ekološkog, društvenog i upravljačkog (eng. *ESG - Environmental, Social, Governance*) izveštavanja.

**ESG** predstavlja skup od 3 međupovezana kriterijuma, koje kompanije primenjuju ne samo da bi smanjile svoj negativan uticaj na svet, već da bi ga i poboljšale, a s druge strane se razvijajući i unapređujući sopstvene kapacitete (Slika 1).



Slika 1. Međupovezanost kriterijuma ESG-a [6]

**ESG kriterijumi** su (Slika 2):

- **E** (eng. *Environmental*) - ekološki kriterijum - koji se odnosi na životnu sredinu: klimatske promene i smanjenje emisija, upotrebu vode, biodiverzitet, energetska efikasnost, upravljanje otpadom, cirkularnu ekonomiju, i dr.



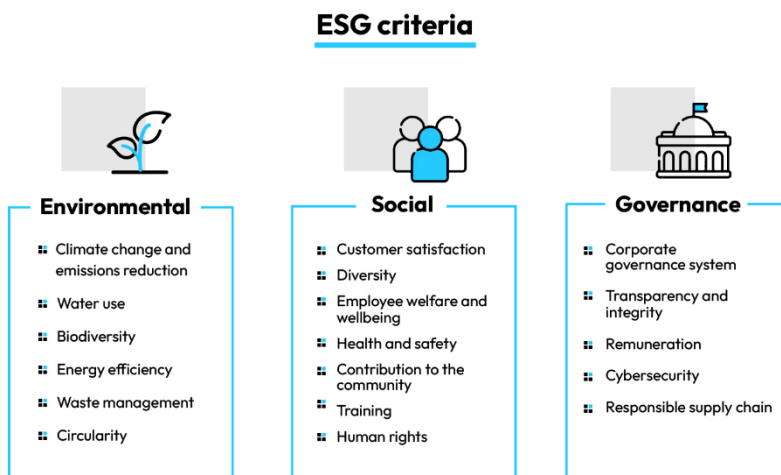
Zapravo ovaj kriterijum obuhvata uticaj kompanije na prirodu, uključujući potrošnju energije i vode, korišćenje prirodnih resursa, upravljanje otpadom uključujući i elektronski otpad, emisiju CO<sub>2</sub>, zagađenje životne sredine i uticaj na klimatske promene, kao i prilike za korišćenje i investiranje u čistu tehnologiju, obnovljivu i zelenu energiju, itd.

- **S (eng. *Social*)** - društveni kriterijum - koji se odnosi na društveno okruženje: zadovoljstvo ljudi (kupaca), raznolikost, blagostanje i dobrobit zaposlenih, zdravlje i bezbednost, doprinos zajednici, obuke, ljudska prava, i dr.

Zapravo ovaj kriterijum obuhvata uticaj i ocenjuje odnos kompanije prema kupcima, dobavljačima i lokalnoj zajednici, kao i sigurnost i kvalitet proizvoda/usluga, privatnost i zaštitu podataka, zatim odnos prema zaposlenima, u pogledu uslova rada, poštovanja ljudskih prava, zdravlja i bezbednosti na radu, raznolikosti i rodne ravnopravnosti, usavršavanja, itd.

- **G (eng. *Governance*)** - upravljački kriterijum - koji se odnosi na samu kompaniju: sistem korporativnog upravljanja, transparentnost i integritet, naknade i plate, bezbednost i nadzor, odgovorne lance snabdevanja, antikorupciju, i dr.

Zapravo ovaj kriterijum obuhvata odnosno bavi se načinom na koji je kompanija organizovana, transparentnošću njenog finansijskog izveštavanja, etičkim kodeksima, vlasničkom strukturom, zaštitom prava manjinskih akcionara, raznolikošću članova upravnog odbora u smislu godina, pola, edukacije i profesionalnog iskustva, politikama protiv korupcije, itd.



Slika 2. Pregled ESG kriterijuma [7]

**ESG izveštavanje** je proces kreiranja i objavljivanja izveštaja od strane kompanija o uticajima koje imaju na životnu sredinu, društveno okruženje, kao i o načinu na koji upravljaju.

ESG izveštaj obuhvata kvalitativna objavljivanja, ali i kvantitativna merenja, vezana za ESG, kao i poređenje osvarenih performansi kompanije sa prethodno definisanim ESG strategijama. Kreiranje ESG izveštaja često može biti izazovno, s obzirom da kompanije prethodno moraju utvrditi na koji način, koje ESG informacije i koje indikatore će meriti i komunicirati.

Kako bi ESG izveštaj bio u skladu sa ESG regulativama, u kreiranju izveštaja mogu pomoći određeni standardi, preporuke, principi, i smernice za izveštavanje o održivosti, i to:

- ESRS standardi (eng. *ESRS - European Sustainability Reporting Standards*) su EU standardi za izveštavanje o održivosti, set od 12 standarda koji obavezuju kompanije da transparentno izveštavaju o svom uticaju na životnu sredinu, društvo i upravljanje (ESG). Cilj je da obezbede doslednost, transparentnost i pouzdanost izveštavanja o održivosti širom EU [8].
- GRI standardi (eng. *GRI - Global Reporting Initiative*) su globalni sistem standarda za izveštavanje o održivosti koje je razvila nezavisna, neprofitna organizacija, kroz globalnu inicijativu izveštavanja, i koji pomažu kompanijama u ESG izveštavanju o svojim uticajima na svet kroz prizmu ESG kriterijuma [9]. Takođe, GRI je objavio i indekse interoperabilnosti sa ESRS standardima - GRI-ESRS Interoperability Index.
- Standard ISO 14001 (eng. *ISO - International Organization for Standardization*) je međunarodni standard koji pomaže kompanijama da identifikuju, upravljaju i smanje svoj uticaj na životnu sredinu, kao i da ispune zakonske obaveze i postignu ciljeve održivosti [10].
- SASB standardi (eng. *SASB - Sustainability Accounting Standards Board*) su skup specifičnih standarda koji pomažu kompanijama da identifikuju, mere i objave finansijske informacije u vezi sa održivošću kroz prizmu ESG kriterijuma [11].
- IFRS standardi (eng. *IFRS - International Financial Reporting Standards*) su međunarodni standardi finansijskog izveštavanja, koji su skup globalnih računovodstvenih pravila koja se koriste kako bi se osiguralo da finansijski izveštaji budu međunarodno uporedivi, a cilj je da se poboljša transparentnost i efikasnost u finansijskom izveštavanju [12].
- TCFD preporuke (eng. *Task Force on Climate-related Financial Disclosures*) su preporuke globalne radne grupe za finansijsko izveštavanje kompanijama kako bi pružile informacije na osnovu kojih bi investitori i drugi zainteresovani subjekti mogli da donose relevantne odluke. Svrha je da se poboljša transparentnost u finansijskim izveštajima kompanija u vezi s klimatskim rizicima i prilikama [13].
- PRI principi (eng. *PRI - Principles for Responsible Investments*) su 6 principa globalne organizacije koji pomažu kompanijama pri razumevanju implikacija koje investicije mogu imati na ESG kriterijume, kao i integrisanju ESG kriterijuma u investiciono odlučivanje [14].
- UNGC principi (eng. *UNGC - United Nations Global Compact*) su 10 principa Globalnog dogovora Ujedinjenih nacija iz oblasti ljudskih prava, radnih prava,

zaštite životne sredine i borbe protiv korupcije, koje kompanije treba da integrišu u svoje poslovanje [15].

- WEF principi i smernice (eng. *WEF - World Economic Forum*) su principi i smernice Svetskog ekonomskog foruma za dobrobit životne sredine i ljudi [16].

#### **4. Primena izveštavanja o održivosti kroz prizmu ESG kriterijuma u poštanskom sektoru**

Poštanski sektor prati sve promene koje se dešavaju na tržištu u okviru održivosti, a akcenat je na poštanskom sektoru EU koji želi da ostane relevantan i konkurentan na globalnom tržištu.

Poštanski sektor EU sprovodi transformaciju u pogledu održivosti. Lider u transformaciji je Asocijacija javnih poštanskih operatora PostEvropa (*PostEuropa*), koja predstavlja Evropske javne poštanske operatore, sa 53 članice u 51 državi i teritoriji, ujedinjujući ih i promovišući stalnu saradnju, održivi rast i inovacije.

PostEvropa sprovodi transformaciju u pogledu održivosti tako što je oformila ESG transverzalu (eng. *ESGT - Environment, Social and Governance Transversal*), koja okuplja poštanske stručnjake i ima za cilj da pomogne svojim članicama da steknu šira znanja i preduzmu odgovarajuće akcije, uzimajući u obzir regulatorne, operativne i tržišne zahteve u pogledu izveštavanja o održivosti kroz prizmu ESG kriterijuma.

Zapravo, ESGT nastoji da pozicionira PostEuropu kao posvećenu asocijaciju koja je spremna da odgovori na sve važne i brze promene koje se dešavaju u pogledu ESG izveštavanja na evropskom i međunarodnom nivou, istovremeno podižući svest svih članica o potrebi održive transformacije [17].

Primer u održivoj transformaciji je Pošta Austrije (*Austrian Post*), kao javni poštanski operator Austrije i članica PostEvrope, u svom Master planu održivosti 2030 (Slika 3) fokusira se na ESG kriterijume i 12 strateških oblasti unutar ovih kriterijuma, i to:

U okviru ekološkog kriterijuma su strateške oblasti:

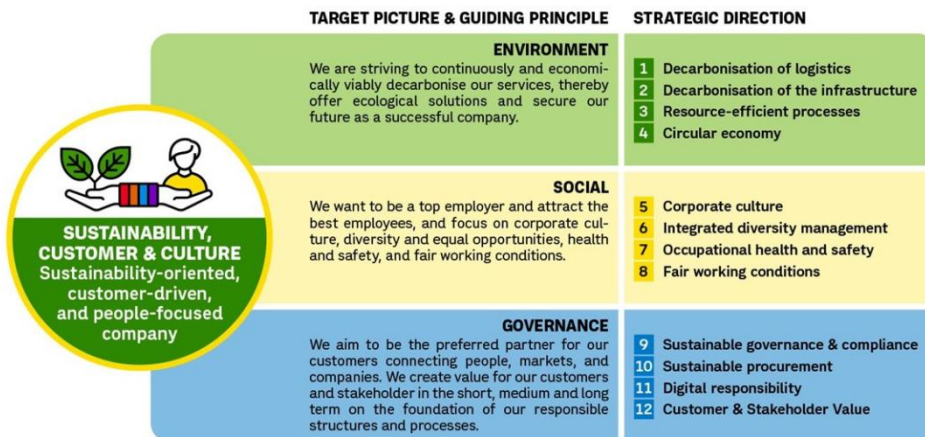
1. Dekarbonizacija logistike;
2. Dekarbonizacija infrastrukture;
3. Procesi efikasnog korišćenja resursa;
4. Cirkularna ekonomija.

U okviru društvenog kriterijuma su strateške oblasti:

5. Korporativna i radna kultura;
6. Integrisano upravljanje raznolikošću;
7. Zdravlje i bezbednost na radu;
8. Pravedni odnosno poštteni uslovi rada.

U okviru upravljačkog kriterijuma su strateške oblasti:

9. Održivo upravljanje i usklađenost;
10. Održiva nabavka;
11. Digitalna odgovornost;
12. Vrednovanje korisnika (kupaca) i ostalih stejkholdera.



*Slika 3. Prikaz ESG kriterijuma u okviru Master plana održivosti 2030 Pošte Austrije [18]*

## 5. Zaključak

Izveštavanje o održivosti je ključna tema u poslovnom svetu. Možemo očekivati da izveštaji o održivosti tokom vremena postanu jednako važan deo ocene uspešnosti poslovanja, kao što su dosad bili finansijski izveštaji.

S obzirom na sve veću regulaciju i rastuće interesovanje javnosti, ESG izveštavanje postaje prioritet svake kompanije. Ovo naravno važi za one kompanije koje moraju da ostanu relevantne i konkurentne na globalnom tržištu.

Što se tiče tržišta EU, aktuelne su ESG regulative koje menjaju pravila igre, ne samo za kompanije u EU, već i za one iz regiona koje žele da ostanu deo evropskog ekonomskog prostora. Iako formalno nisu članice EU, zemlje Balkana su sve više povezane sa evropskim tržištem kroz izvoz, strane investicije, razvojne fondove i bankarski sektor. Kao rezultat toga, kompanije koje žele da ostanu konkurentne moraće da pokažu usklađenost. Adekvatna priprema i usklađivanje sa ESG kriterijumima nije samo zakonska obaveza, već ključ opstanka i razvoja u savremenom poslovnom okruženju.

S tim u vezi, kompanije treba da se pripreme, tako što će:

- ✓ Početi sa ESG samoprocenom, odnosno identifikovati šta trenutno ispunjavaju po pitanju ESG kriterijuma;
- ✓ Usvojiti ESG strategiju;
- ✓ Pokazati spremnost za transparentnost u pogledu ESG izveštavanja.

S obzirom i da poštanski sektor EU trenutno sprovodi transformaciju u pogledu izveštavanja o održivosti kroz prizmu ESG kriterijuma, ova transformacija i usklađivanje ubrzo očekuje i poštanski sektor u regionu Balkana.

Primena ESG izveštavanja omogućiće poštanskim operatorima u regionu Balkana da prepoznaju i iskoriste nove prilike koje donose ESG kriterijumi, što će im omogućiti i bolje pozicioniranje na tržištu.

## Literatura

- [1] Implementing and delegated acts - CSRD (2025). *European Commission* [Online]. Available at: [https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/corporate-sustainability-reporting-directive\\_en](https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/corporate-sustainability-reporting-directive_en)
- [2] Corporate sustainability due diligence (2025). *European Commission* [Online]. Available at: [https://commission.europa.eu/business-economy-euro/doing-business-eu/sustainability-due-diligence-responsible-business/corporate-sustainability-due-diligence\\_en](https://commission.europa.eu/business-economy-euro/doing-business-eu/sustainability-due-diligence-responsible-business/corporate-sustainability-due-diligence_en)
- [3] Carbon Border Adjustment Mechanism (2025). *European Commission* [Online]. Available at: [https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism\\_en](https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en)
- [4] Implementing and delegated acts - SFDR (2025). *European Commission* [Online]. Available at: [https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/sustainable-finance-disclosures-regulation\\_en](https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/sustainable-finance-disclosures-regulation_en)
- [5] EU taxonomy for sustainable activities (2025). *European Commission* [Online]. Available at: [https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities\\_en](https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en)
- [6] ESG (2025). *Corporate Finance Institute - CFI* [Online]. Available at: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/esg/esg-environmental-social-governance/>
- [7] Everything you need to know about ESG criteria list (2024). *Daato - EQS Group* [Online]. Available at: <https://www.daato.net/articles/everything-you-need-to-know-about-esg-criteria-list>
- [8] The ESRS (2025). *CSRD Institute* [Online]. Available at: <https://csrdinstitute.eu/blog/the-esrs-european-sustainability-reporting-standards>
- [9] How to use the GRI Standards (2025). *Global Reporting Initiative - GRI* [Online]. Available at: <https://www.globalreporting.org/how-to-use-the-gri-standards/>
- [10] ISO 14000 family Environmental management (2025). *International Organization for Standardization - ISO* [Online]. Available at: <https://www.iso.org/standards/popular/iso-14000-family>
- [11] Get Started with SASB Standards (2025). *SASB Standards* [Online]. Available at: <https://sasb.ifrs.org/>
- [12] IFRS Accounting Standards & IFRS Sustainability Disclosure Standards (2025). *IFRS Foundation* [Online]. Available at: <https://www.ifrs.org/>
- [13] TCFD recommendations (2025). *Task Force on Climate-related Financial Disclosures - TCFD* [Online]. Available at: <https://www.fsb-tcfd.org/>
- [14] Principles for Responsible Investment (2025). *PRI Association* [Online]. Available at: <https://www.unpri.org/>
- [15] The Ten Principles of the UN Global Compact (2025). *United Nations Global Compact - UNGC* [Online]. Available at: <https://unglobalcompact.org/what-is-gc/mission/principles>
- [16] Our principles and guidelines (2025). *World Economic Forum - WEF* [Online]. Available at: <https://www.weforum.org/sustainability/resources/>

- [17] Environment, Social and Governance (2025). *PostEurop* [Online]. Available at: <https://www.posteurop.org/activities/environment-social-and-governance/>
- [18] Sustainability Masterplan 2030 (2025). *Austrian Post* [Online]. Available at: <https://www.post.at/en/ir/c/corporate-sustainability>

**Abstract:** *Sustainability reporting is becoming a key topic in the business world. An increasing number of companies recognize the importance of transparency in environmental, social and governance (ESG) reporting. As regulations become more stringent and market demands grow, sustainability reporting is moving from an optional to a mandatory practice. The paper will present sustainability reporting through the prism of ESG criteria, with application in the postal sector.*

**Keywords:** *sustainability, reporting, ESG*

## **THE IMPORTANCE OF SUSTAINABILITY REPORTING THROUGH THE PRISM OF ESG CRITERIA - APPLICATION IN THE POSTAL SECTOR**

Biljana Stojanović-Višić, Vladimir Tomašević, Jerotija Matić, Ružica Bombol

## **INKLUZIJA OSOBA SA INVALIDITETOM U SISTEM POŠTANSKOG SAOBRAĆAJA**

Dorđe Petrović, Radomir M. Mijailović, Dalibor Pešić  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,  
dj.petrovic@sf.bg.ac.rs, radomirm@sf.bg.ac.rs, d.pesic@sf.bg.ac.rs,

**Rezime:** Osobe sa invaliditetom čine značajan deo stanovništva koji je u stalnom porastu. Ovaj deo stanovništva je procentualno manje zaposlen i u svakodnevnom životu nailazi na veći broj barijera u poređenju sa ostalim delom stanovništva. Cilj ovog rada je da ukaže na mogućnosti povećanja broja zaposlenih osoba sa invaliditetom u sistemu poštanskog saobraćaja, kao i da ukaže na mogućnost unapređenja dostupnosti/pristupačnosti poštanskih usluga osobama sa invaliditetom. Ostvarenje postavljenih ciljeva biće realizovano povezivanjem tehnoloških rešenja sa ograničenjima analiziranih kategorija osoba sa invaliditetom. Analizom postojećih regulativa dokazaće se da postoji ekonomski održiv način povećanja broja zaposlenih osoba sa invaliditetom. Za različite kategorije osoba sa invaliditetom predložiće se poslovi koje oni mogu da obavljaju u okviru poštanskog saobraćaja. Takođe, dokazaće se da postoji prostor za prilagođavanje usluga osobama sa invaliditetom kojim sistem poštanskog saobraćaja povećava broj korisnika i na taj način ostvaruje dodatni profit.

**Ključne reči:** Osobe sa invaliditetom; Poštanski saobraćaj; Pristupačnost; Dostupnost; Inkluzivnost.

### **1. Uvod**

Osobe sa invaliditetom (OSI) čine značajan deo stanovništva. Broj OSI je u stalnom porastu prvenstveno zbog sve dužeg životnog veka. Analizom statističkih podataka može se zaključiti da na broj OSI po državama značajan uticaj ima i njihov način definisanja. Usled toga teško se može napraviti sveobuhvatno poređenje broja OSI po državama. To može biti razlog odstupanja procentualnih učešća OSI u ukupnom stanovništvu Srbije, EU i sveta. Naime, prema popisu iz 2022. godine u Srbiji OSI čine 5,46% stanovništva [1]. Svetska zdravstvena organizacija iznosi procenu da OSI čine 16% svetske populacije [2]. U literaturi se pojavljuje još nepovoljniji podatak koji se odnosi na EU. Naime, u 2023. godini OSI čine 27% populacije EU starije od 16 godina [3].

OSI tokom svog života nailaze na veći broj barijera u poređenju sa ostalim stanovništvom. Jedan od problema je veća nezaposlenost. Naime, u EU, posmatrajući populaciju stanovništva od 20 do 26 godina, procenat nezaposlenih OSI je oko dva puta

veći u poređenju sa ostalim delom stanovništva (17,7% – 8,6%) [3]. Prema istom izvoru procentulano učešće OSI u populaciji raste sa porastom starosti stanovništva – 6,9% (16 do 19 godina), 9,4% (20 do 24 godine), 11,6% (25 do 34 godine), 14,7% (35 do 44 godine) i 26,8% (45 do 64 godine) [3]. Rukovođeni prethodnim podacima možemo pretpostaviti da se sa porašću starosti mogu očekivati još nepovoljniji rezultati koji se odnose na zaposlenost OSI. Ispravnost prethodne pretpostavke možemo potvrditi podatkom Evropske komisije koja navodi da je oko 50% OSI zaposleno [4]. Prethodni procenat je značajno manji u poređenju sa procentom zaposlenih osoba bez invaliditeta – 75% [4]. Rukovođeni prethodnim odstupanjem u procentima zaposlenih OSI i osoba bez invaliditeta zaključujemo da je neophodno dati doprinos u oblasti zapošljavanja OSI.

Broj zaposlenih u „Pošti Srbije“, prema Informatoru o radu objavljenom 2022. godine, iznosio je 14.857 [5]. Broj OSI u „Pošti Srbije“ je prema izvoru iz 2022. godine iznosio 390 [6], što iznosi 2,6% ukupnog broja zaposlenih. Primenujući Vodič kroz prava osoba sa invaliditetom u Republici Srbiji [7] minimalni broj OSI u „Pošti Srbije“ za broj zaposlenih od 14.857 iznosi 297 (2% ukupnog broja zaposlenih). Poređenjem prethodnih podataka zaključujemo da je „Pošta Srbije“ zadovoljila zakonom propisanu normu. S obzirom da prema popisu iz 2022. godine u Srbiji OSI čine 5,46% stanovništva [1] potrebno je odgovoriti na pitanje da li postoji prostor za povećanje ranije navedenog procenta zaposlenih OSI u „Pošti Srbije“ od 2,6%?

Cilj ovog rada bio je da sagleda mogućnosti bolje integracije OSI u sistem poštanskog saobraćaja kroz potencijale korišćenja i pružanja usluga. S obzirom na rast broja osoba sa invaliditetom u Srbiji, prvenstveno usled starosti populacije, neophodno je prepoznati prostor za dodatno prilagođavanje usluga njihovim mogućnostima. Pored toga, važan segment predstavlja i analiza mogućnosti dodatnog angažovanja OSI u samom sistemu poštanskih usluga. Ovim aktivnostima stvara se mogućnost da sistem poštanskog saobraćaja poveća broj korisnika čime bi ostvario i dodatni profit.

## 2. Zakonska regulativa

Unapređenje života i prava OSI je regulisano sa više domaćih i svetskih regulativa. Ujedinjene nacije definisale su 17 ciljeva održivog razvoja. Neki od ciljeva koji se odnose na OSI su [8]:

- Cilj 4.5 – do 2030. godine potrebno je eliminisati nejednakosti u oblasti obrazovanja i obezbediti jednak pristup svim nivoima obrazovanja i stručnog osposobljavanja;
- Cilj 8.5 – do 2030. godine ostvariti punu i produktivnu zaposlenost, dostojanstvenu zaposlenost i jednake zarade;
- Cilj 10.2 – do 2030. godine osnažiti i promovisati socijalnu, ekonomsku i političku inkluziju;
- Cilj 11.2 – do 2030. godine obezbediti pristup bezbednim, pristupačnim, dostupnim i održivim transportnim sistemima;
- Cilj 11.7 – do 2030. godine obezbediti univerzalni pristup bezbednim, inkluzivnim i pristupačnim zelenim i javnim prostorima.

Republika Srbija primenjuje regulative koje doprinose ispunjenju prethodno navedenih ciljeva UN. S tim u vezi oblast zapošljavanja OSI regulisana je [7]:

- Zakonom o radu (Službeni glasnik RS broj 24/05, 61/05, 54/09, 32/13 i 75/14);



- Zakonom o profesionalnoj rehabilitaciji i zapošljavanju osoba sa invaliditetom (Službeni glasnik RS broj 36/09, 32/13, 14/22);
- Zakonom o bezbednosti i zdravlju na radu (Službeni glasnik RS broj 101/05);
- Pravilnikom o korišćenju sredstava Nacionalne službe za zapošljavanje (Službeni glasnik RS broj 88/04, 32/05 i 92/06).

Zakon o profesionalnoj rehabilitaciji i zapošljavanju osoba sa invaliditetom navodi poslove podsticaja zapošljavanja OSI. Neki od njih su [9]:

- organizovanje i sprovođenje mera i aktivnosti profesionalne rehabilitacije;
- obezbeđivanje tehničke, stručne i finansijske podrške za prilagođavanje poslova, radnog mesta ili poslova i radnog mesta, uključujući i tehnička i tehnološka pomagala u cilju povećanja mogućnosti zapošljavanja ili održanja zaposlenja osoba sa invaliditetom.

Cilj profesionalne rehabilitacije i zapošljavanja je da se OSI dovedu u ravnopravan položaj sa osobama bez invaliditeta po pitanju zapošljavanja, visine zarade itd. Veliki broj OSI je nakon sticanja invaliditeta i dalje radno sposoban. S tim u vezi neophodno je prepoznati vrstu posla koju svaka od OSI je sposobna da obavlja i svaku od OSI radno osposobiti, dokvalifikovati ili prekvalifikovati ukoliko je to potrebno. Takođe, za svaki od poslova koje OSI može da obavlja potrebno je prepoznati da li je potrebno izvršiti prilagođavanje poslova kako bi OSI određenu vrstu posla mogla da obavlja podjednako kvalitetno u poređenju sa osobama bez invaliditeta. Članom 23 Zakona o profesionalnoj rehabilitaciji i zapošljavanju osoba sa invaliditetom se „pod prilagođavanjem poslova podrazumeva prilagođavanje radnog procesa i radnih zadataka“.

Poslodavac ima obavezu zapošljavanja OSI čiji je minimalni broj regulisan Zakonom [9]. Ukoliko poslodavac ne zaposli dovoljan broj OSI poslodavac je dužan da uplati iznos od 50% prosečne zarade po zaposlenom u Republici Srbiji [9].

Poslodavac takođe ima moralnu obavezu zapošljavanja OSI. Minimalni broj OSI iznosi oko 2%, dok smo ranije naveli da prema popisu iz 2022. godine u Srbiji OSI čine 5,46% stanovništva [1]. Zakonodavac je u cilju stimulisanja zapošljavanja OSI predvideo programe podsticaja zapošljavanja OSI koji predviđaju nadoknadu troškova koje bi poslodavac mogao imati tokom sprovođenja aktivnosti predviđenih profesionalnom rehabilitacijom.

Jedan od podsticaja je da se Zakonom o profesionalnoj rehabilitaciji i zapošljavanju OSI [9] poslodavcima nudi mogućnost nadoknade zarade OSI za vreme trajanja profesionalne rehabilitacije. Naime, članom 20 ovog Zakona [9] koji se odnosi na zaposlene OSI navodi se da „za vreme trajanja profesionalne rehabilitacije zaposlena osoba sa invaliditetom ima pravo na naknadu zarade u visini 100% prosečne zarade ostvarene u prethodna tri meseca pre uključivanja u mere i aktivnosti profesionalne rehabilitacije, s tim da naknada zarade ne može biti manja od minimalne zarade utvrđene u skladu sa propisima o radu“. Takođe, članom 21 ovog Zakona [9] koji se odnosi na nezaposlene OSI navodi se tokom trajanja programa profesionalne rehabilitacije osim troškova prevoza nadoknađuje i „20% od minimalne zarade utvrđene u skladu sa propisima o radu mesečno, za vreme trajanja profesionalne rehabilitacije, ako se profesionalna rehabilitacija izvodi u trajanju od najmanje 100 časova i ako osoba sa invaliditetom nije korisnik novčane naknade na osnovu nezaposlenosti, u skladu sa zakonom.“

Dodatni podsticaj se ogleda u pravu na refundaciju primerenih troškova prilagođavanja radnog mesta za zapošljavanje OSI [9]. Dodatan podsticaj povećanju broja zaposlenih OSI ogleda se u pravu poslodavca na subvenciju zarade OSI u trajanju od 12 meseci ukoliko na neodređeno vreme zaposli OSI bez radnog iskustva [9]. Ekonomski podsticaji inkluziji OSI mogu se smatrati ekonomski opravdanim. Naime, ulaganjem u profesionalnu rehabilitaciju i zapošljavanje OSI ima za posledicu smanjenje socijalnih izdataka države i povećanje prihoda po osnovu povećanja ekonomske aktivnosti ovih osoba.

Analizom postojećih regulativa dokazano je da postoje ekonomski održivi podsticaji za povećanje broja zaposlenih osoba sa invaliditetom.

### 3. Mogućnost povećanja broja zaposlenih osoba sa invaliditetom u sistemu poštanskog saobraćaja

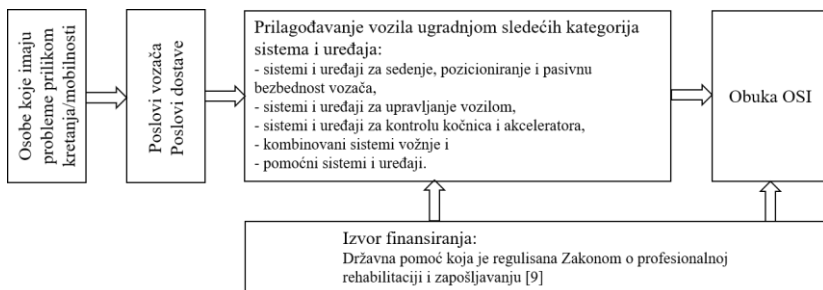
Jedna od najčešće prihvaćenih klasifikacija je podela OSI prema Međunarodnoj klasifikaciji funkcionalnosti, invaliditeta i zdravlja [10], [11]. Prema ovoj klasifikaciji OSI se prema vrsti problema dele na:

- osobe koje imaju probleme prilikom kretanja/mobilnosti – osobe koje imaju fizička ograničenja (nogu, stopala, leđa, vrata, ruku, šaka) koja im otežavaju kretanje,
- osobe koje imaju senzorne probleme – osobe sa oštećenjem čula vida i/ili sluha,
- osobe koje imaju probleme u komunikaciji – osobe koje imaju teškoće da razumeju i/ili artikuliraju jezik (pisani, zvučni ili simbolički),
- osobe koje imaju probleme intelektualnog/mentalnog zdravlja – osobe koje imaju različite bolesti koje rezultiraju poremećajem ponašanja, poteškoćama u učenju, koncentraciji i slično,
- osobe koje imaju skrivene probleme – osobe koje imaju različite bolesti koje nisu lako vidljive (epilepsija, srčani problemi...).

Pravilnikom o organizaciji i sistematizaciji poslova [12] navedene su grupe i vrste poslova u „Pošti Srbije“. OSI mogu naći svoje mesto u većini navedenih grupa poslova.

Analizom Pravilnika o organizaciji i sistematizaciji poslova [12] može se uočiti da više grupa poslova predviđaju upravljanje motornim vozilom. Neke od njih su:

- poslovi vozača – vozači motornih vozila,
- poslovi dostave – poštari i dostavljači.



Slika 1. Algoritam ekonomski održivog načina povećanja broja zaposlenih OSI u “Pošti Srbije”

Zaposleni na poslovima vozača motornih vozila obavljaju prevoz ljudi, tereta i vrše jednostavnije poslove dostave i razmene svih vrsta poštanskih pošiljaka. Poštari obavljaju prijem, pripremu i dostavu svih vrsta poštanskih pošiljaka, komercijalnih i ostalih usluga – motornim vozilom ili bez njega. Dostavljači obavljaju prijem, pripremu i dostavu motornim vozilom, svih vrsta poštanskih pošiljaka, komercijalnih i ostalih usluga [12].

Poslove vozača motornih vozila i poslove dostave mogu da obaljaju osobe koje imaju probleme prilikom kretanja. Fizička ograničenja donjih i gornjih ekstremiteta ne moraju da budu nepremostiva ograničenja kako bi osobe sa takvim ograničenjima mogle da obavljaju poslove vozača motornih vozila i poslove dostave. Uslov za uspešno obavljanje tih poslova su prilagođavanje vozila potrebama OSI i obuka OSI za upravljanje prilagođenim vozilom (Slika 1).

Sistemi i uređaji koji se ugrađuju u vozila sa ciljem omogućavanja upravljanja OSI vozilom mogu se podeliti u sledećih pet kategorija:

- sistemi i uređaji za sedenje, pozicioniranje i pasivnu bezbednost vozača,
- sistemi i uređaji za upravljanje vozilom,
- sistemi i uređaji za kontrolu kočnica i akceleratora,
- kombinovani sistemi vožnje i
- pomoćni sistemi i uređaji.

Detaljni opisi konstrukcionih rešenja i performanse prethodno navedenih kategorija sistema i uređaja koji se ugrađuju u vozila sa ciljem omogućavanja upravljanja OSI vozilom nalaze se u referenci [13].

Obuka OSI se realizuje zavisno od podatka da li OSI poseduje vozačku dozvolu. Ukoliko OSI ne poseduje vozačku dozvolu koja je potrebna za upravljanje određenom vrstom vozila koja predstavlja uslov za zapošljavanje u „Pošti Srbije“ potrebno je na početku realizovati adekvatnu obuku OSI koja će im omogućiti sticanje vozačke dozvole. Obuku je potrebno realizovati na prilagođenim vozilima.

Obuku OSI koji poseduju vozačku dozvolu potrebno je realizovati na prilagođenim vozilima „Pošte Srbije“. Obuku bi trebalo da realizuje preduzeće za profesionalnu rehabilitaciju i zapošljavanje OSI.

Preporuka autora je da se OSI obučavaju i zapošljavaju na poslovima vozača sledećih vrsta vozila:

- L – mopedi, motocikli, tricikli i četvorocikli,
- M1 – putničko vozilo vrste M koje ima najviše devet mesta za sedenje uključujući i sedišta za vozača, bez mesta za stajanje i
- N1 – teretno vozilo čija najveća dozvoljena masa ne prelazi 3,5 t.

Zavisno od vrste invaliditeta OSI treba da budu angažovani na poslovima koje oni mogu da obavljaju. Posmatrajmo slučaj osoba koje imaju fizička ograničenja u vidu invaliditeta nogu. Te osobe zahvaljujući prilagođavanju vozila mogu da upravljaju vozilom. Ipak, od njih ne treba očekivati da u poređenju sa osobama bez invaliditeta budu podjednako aktivne u hodaњу. OSI koje imaju fizička ograničenja u vidu invaliditeta nogu treba da budu angažovane na poslovima dostave koji predviđaju da se dostava pošiljki realizuje iz samog vozila, tj. kupac dolazi do dostavnog vozila i preuzima pošiljku od zaposlenog OSI vozača.

Osobe koje imaju senzorne probleme u vidu oštećenja čula sluha mogu upravljati vozilom ukoliko se na zdravstvenom pregledu utvrdi da je OSI psihofizički sposobna da obavlja funkciju vozača motornog vozila ili skupa vozila određene

kategorije. S obzirom da poslovi dostave pošiljaka uključuju komunikaciju sa primaocima pošiljki to se preporučuje da OSI obavljaju poslove vozača za slučaj transporta pošiljki kod kojih ne postoji ili je komunikacija sa primaocima pošiljki minimalna (npr. transport pošiljki do paketomata). Radi brže i lakše komunikacije sa ovom kategorijom OSI jedno od rešenja može biti i korišćenje tekstualne komunikacije u skladu sa principima bezbednosti saobraćaja.

U ovom poglavlju smo prikazali da OSI, pored standardnih administrativnih poslova koje trenutno obavljaju, imaju mogućnost da uspešno obavljaju i poslove vozača i dostave. Preduslov za uspešno obavljanje prethodno navedenih poslova je prilagođavanje radnog mesta i obuka. Finansiranje prilagođavanja radnih mesta i obuke ostvaruje se iz državne pomoći na način koji je regulisan Zakonom o profesionalnoj rehabilitaciji i zapošljavanju [9]. „Pošta Srbije“ kao i ostala preduzeća bi u cilju povećanja broja zaposlenih OSI trebalo da nadgrade sistematizaciju radnih mesta tako što bi za svako radno mesto naveli opis poslova koje OSI zavisno od vrste i stepena invaliditeta mogu da obavljaju, neophodna prilagođavanja radnih mesta i potrebne obuke.

#### **4. Mogućnost povećanja broja OSI korisnika poštanskih usluga**

Evropski poštanski operatori uključujući „Poštu Srbije“ sprovede konkretne akcije posvećene osobama sa invaliditetom [14], [15]. Zakonom o poštanskim uslugama [16] kao jedno od prvih načela obavljanja poštanskih usluga navedeno je „obezbeđivanje dostupnosti univerzalne poštanske usluge, propisanog kvaliteta i po pristupačnim cenama, svim građanima u Republici Srbiji, uz zadovoljenje potreba specifičnih društvenih grupa, uključujući osobe sa invaliditetom“. Zakon navodi i da „javni poštanski operator je dužan da korisnicima sa invaliditetom omogući dostupnost poštanskih usluga u smislu prilagođenog pristupa, odnosno ulaza u objekte poštanske mreže, kao i da prilagodi poštanske terminale osobama sa invaliditetom“ [16].

„Pošta Srbije“ posebnu pažnju posvećuje unapređenju položaja slepih i slabovidih osoba i u svakodnevnom poslovanju pokazuje visok stepen razumevanja za položaj ove osetljive kategorije. S tim ciljem vrši se kontinuirano prilagođavanje poslovanja, usluga, informaciono-komunikacionih tehnologija, korisničkih sistema i infrastrukture, ali i edukacije zaposlenih za rad sa osetljivim kategorijama korisnika. Sve se to preduzima u okviru šire podrške „Pošte Srbije“ nacionalnoj platformi i strategiji za unapređenje ukupnog položaja OSI [6]. Zanimljiv primer doprinosa „Pošte Srbije“ položaju slepih i slabovidih osoba predstavljaju sekogrami. Sekogram je pošiljka koja sadrži prepisku, literaturu u bilo kom obliku, uključujući i zvučne zapise, namenjene isključivo potrebama slepih ili slabovidih osoba, kao i opremu i materijale prilagođene prevazilaženju problema slepila. Takođe, „Pošta Srbije“ donela je Pravilnik kojim se uređuje prednost u pružanju usluga trudnicama, korisnicima sa malom decom, OSI, kao i slabo pokretnim licima, u svim objektima širom Srbije [17].

Izveštajem [18] se konstatuje nedovoljno proaktivno delovanje određenog broja državnih organa i preduzeća u skladu sa zakonima i obavezama u oblasti prilagođavanja svojih prostora, otklanjanja arhitektonskih prepreka pri čemu se u velikom broju slučajeva čekalo na zahteve i pritužbe od strane OSI ili udruženja kako bi se pokrenule odgovarajuće radnje.

Rukovođeni prethodnim možemo izdvojiti proaktivno delovanje u dve ključne oblasti delovanja koje za rezultat trebaju da imaju povećanje broja OSI korisnika usluga „Pošte Srbije“:

- proaktivno delovanje u oblasti unapređenja pristupačnosti saobraćajne infrastrukture i objekata,
- proaktivno delovanje u oblasti prilagođavanja usluga.

Problem pristupačnosti obrađen je zakonima i pravilnicima. Ipak, i pored toga u praksi postoje brojni problemi.

Pravilnikom [19] “propisuju se bliže standardi koji definišu obavezne tehničke mere i uslove za planiranje, projektovanje i izgradnju objekata, kojima se osigurava nesmetano kretanje i pristup osobama sa invaliditetom, deci i starim osobama”. Problem pristupačnosti najčešće se rešava već prepoznatim rešenjima kao što su [13], [19]:

- rampe za pešake,
- rampe na ivičnjaku i izgradnja ivičnjaka u nivou kolovoza u cilju rešavanja problema silaska osoba sa fizičkim invaliditetom sa trotoara na pešački prelaz,
- izrada koridora osnovnih pešačkih kretanja bez stubova, reklamnih panoa i drugih prepreka, dok se postojeće prepreke moraju vidno obeležiti,
- taktilna staza vodilja,
- taktilno polje za usmeravanje/razdvajanje,
- taktilno polje bezbednosti...

Procenjen broj stanovnika u Republici Srbiji je 2024. godine iznosio 6.586.476 stanovnika. Primenom podataka iz referenci [1] i [2] dolazimo do podatka da u Srbiji živi između 360.000 i 1.000.000 OSI. Prethodni broj ljudi predstavlja značajan broj potencijalnih korisnika usluga “Pošte Srbije”. U cilju povećanja broja korisnika iz grupacije OSI neophodno je dodatno prilagoditi pojedine usluge. Dodatan prostor u oblasti prilagođavanja usluga može se naći u sledećim oblastima:

- unapređenje postojećih i razvoj novih aplikacija za naručivanje usluga,
- prilagođavanje korišćenja Poštinih paketomata osobama sa oštećenjem čula vida,
- unapređenje usluge praćenja pošiljke, telegrama i sl. za potrebe osoba sa oštećenjem čula vida uvođenjem glasovnih informacija, itd.

„Pošta Srbije“ bi najbolje rezultate u proaktivnom delovanju u oblasti prilagođavanja usluga mogla ostvariti realizacijom projekta koji bi trebao da joj kao izlazni rezultat pruži informaciju o pristupačnosti pristupa OSI poštanskim uslugama. Projektom je potrebno povezati sledeće informacije:

- vrste i stepena invaliditeta OSI,
- pristupačnost usluga,
- mogućnosti unapređenja postojećih usluga i
- potrebe za novim uslugama.

Prethodne informacije bi se prikupile anketom OSI. Za svaku od promena postojećih usluga i uvođenje novih usluga potrebno je uraditi cost-benefit analizu.

U ovom poglavlju smo ukazali da postoji značajan prostor za povećanje broja korisnika među OSI ukoliko bi se proaktivno delovalo u oblasti unapređenja pristupačnosti saobraćajne infrastrukture i objekata i u oblasti prilagođavanja usluga.

## 5. Zaključak

Zapošljavanje osoba sa invaliditetom ne treba da bude opterećenje. Zapošljavanje OSI ne treba posmatrati kao proces ispunjenja zakona (oko 2% ukupnog broja zaposlenih) već kao priliku da se uz tuđu ekonomsku i stručnu podršku u preduzeće zaposle OSI koje će podjednako kvalitetno obavljati poslove koji su predviđeni sistematizacijom poslova.

Analizom postojećih regulativa dokazano je da postoje ekonomski održivi podsticaji za povećanje broja zaposlenih OSI.

U ovom istraživanju dokazali smo da OSI, pored standardnih administrativnih poslova koje trenutno obavljaju, imaju mogućnost da uspešno vrše poslove vozača i poslove dostave. Preduslov za uspešno obavljanje prethodno navedenih poslova je prilagođavanje radnog mesta i obuka. Finansiranje prilagođavanja radnih mesta i obuke se ostvaruje iz državne pomoći na način koji je regulisan Zakonom o profesionalnoj rehabilitaciji i zapošljavanju. „Pošta Srbije“ kao i ostala preduzeća bi u cilju povećanja broja zaposlenih OSI trebalo da nadgrade sistematizaciju radnih mesta tako što bi za svako radno mesto naveli opis poslova koje OSI zavisno od vrste i stepena invaliditeta mogu da obavljaju, neophodna prilagođavanja radnih mesta i potrebne obuke.

U ovom istraživanju takođe smo ukazali na postojanje značajnog prostora za povećanje broja korisnika među OSI ukoliko bi se proaktivno delovalo u oblasti unapređenja pristupačnosti saobraćajne infrastrukture i objekata i u oblasti prilagođavanja usluga.

**Zahvalnica:** Ovo istraživanje je podržano od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije.

## Literatura

- [1] *Republički zavod za statistiku Republike Srbije*, Stanovništvo prema statusu invaliditeta i vrsti problema osoba sa invaliditetom, Available at: <https://www.stat.gov.rs/sr-Latn/vesti/20231201-invaliditet>, pristupljeno 2025/08/19
- [2] *World Health Organization*, Disability, Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>, pristupljeno 2025/08/19
- [3] *Council of the European Union*, Disability in the EU: facts and figures, Available at: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/disability-eu-facts-figures/#0>, pristupljeno 2025/08/19
- [4] *European Commission*, Persons with disabilities, Available at: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/policies/justice-and-fundamental-rights/disability/persons-disabilities\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/policies/justice-and-fundamental-rights/disability/persons-disabilities_en), pristupljeno 2025/08/19
- [5] *Javno preduzeće „Pošta Srbije“*, Informatoru o radu, Available at: <https://www.posta.rs/DocumentViewer.aspx?IdDokument=994&Dokument=informat or-o-rad-u-cir.pdf>, pristupljeno 2025/08/19
- [6] *Javno preduzeće „Pošta Srbije“*, Pošta posebnu pažnju posvećuje osobama sa invaliditetom, Available at: <https://www.posta.rs/DocumentViewer.aspx?IdDokument=994&Dokument=informat or-o-rad-u-cir.pdf>, pristupljeno 2025/08/19
- [7] *Ministarstvo za rad, zapošljavanje, boračka i socijalna pitanja - Sektor za zaštitu osoba sa invaliditetom*, Vodič kroz prava osoba sa invaliditetom u Republici Srbiji,

- Available at: <https://www.minrzs.gov.rs/sites/default/files/2021-02/Vodic%20kroz%20prava%20osoba%20sa%20invaliditetom.pdf>, pristupljeno 2025/08/11
- [8] *Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development*, The 17 goals, Available at: <https://sdgs.un.org/goals>, pristupljeno 2025/08/23
- [9] Zakon o profesionalnoj rehabilitaciji i zapošljavanju osoba sa invaliditetom, Službeni glasnik RS broj 36/09, 32/13, 14/22
- [10] S. Darcy, D. Buhalis, Chapter 2. Conceptualising Disability: Medical, Social, WHO ICF, Dimensions and Levels of Support Needs, in: Buhalis, D., Darcy, S. (Eds.), *Accessible Tourism: Concepts and Issues*. Channel View Publications, Bristol, UK, pp. 21–44, 2019, <https://doi.org/10.21832/9781845411626-005>
- [11] WHO, Towards a Common Language for Functioning, Disability and Health ICF Towards a Common Language for Functioning, Disability and Health: ICF The International Classification of Functioning, Disability and Health, 2002.
- [12] *Javno preduzeće „Pošta Srbije“ Beograd*, Pravilnik o organizaciji i sistematizaciji poslova u javnom preduzeću „Pošta Srbije“, Beograd, Službeni PTT Glasnik, 2015/04/21
- [13] E-learnig servis, Bezbednost osoba sa invaliditetom u saobraćaju, <https://nastava.sf.bg.ac.rs/course/view.php?id=477>, pristupljeno 2025/10/18
- [14] V. Petrović, B. Stojanović-Višić, M. Simić, S. Jelisavac Trošić, “Strategije održivog razvoja poštanskih operatora – stanje i perspektiva”, *XL Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2022*, str. 3-12, 2022. doi: 10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.001
- [15] D. Pejović, Lj. Ostojić, S. Tomašević, “Model održivosti univerzalne poštanske usluge”, *XLII Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2024*, str. 71-82, 2024. doi: 10.37528/FTTE/9788673954899/POSTEL.2024.08
- [16] Zakon o poštanskim uslugama, Službeni glasnik RS broj 19/2025
- [17] *Javno preduzeće „Pošta Srbije“*, U poštama prednost imaju trudnice, korisnici sa malom decom i OSI, Available at: <https://www.posta.rs/lat/info/vest-detalnije.aspx?ID=12447>, pristupljeno 2025/10/19
- [18] *Odbor za ljudska i manjinska prava i ravnopravnost polova Narodne skupštine Republike Srbije*, Post-zakonodavni nadzor nad Zakonom o sprečavanju diskriminacije osoba sa invaliditetom, Izveštaj, Available at: <http://www.parlament.gov.rs/upload/documents/dokumenta/Izvestaj%20o%20post-zakonodavnom%20nadzoru-Zakon%20o%20sprecavanju%20diskriminacije%20osoba%20sa%20invaliditetom%20CIR.pdf>, pristupljeno 2025/10/19
- [19] Pravilnik o tehničkim standardima planiranja, projektovanja i izgradnje objekata, kojima se osigurava nesmetano kretanje i pristup osobama sa invaliditetom, deci i starim osobama, Službeni glasnik RS broj 22/2015
- [20] *Republički zavod za statistiku Republike Srbije*, Procenjen broj stanovnika, 2024, Available at: <https://www.stat.gov.rs/sr-latn/vesti/statistical-release/?p=17030&a=18&s=1801?s=1801>, pristupljeno 2025/10/19

**Abstract:** *Persons with disabilities represent a significant and continuously growing part of the population. This group is proportionally less employed and encounters more barriers in everyday life compared to the rest of the population. This paper aims to highlight opportunities for increasing the employment of persons with disabilities within the postal services system, as well as to emphasize the possibilities for improving the accessibility of postal services for persons with disabilities. The achievement of these objectives will be realized by linking technological solutions with the limitations of the analyzed categories of persons with disabilities. By analyzing existing regulations, it will be demonstrated that there is an economically sustainable way to increase the number of employed persons with disabilities. For different categories of persons with disabilities, suitable positions within the postal services sector will be proposed. Furthermore, it will be shown that there is potential for adapting services for persons with disabilities, enabling the postal services system to increase its user base and thereby generate additional profit.*

**Keywords:** *Persons with disabilities; Postal services; Accessibility; Availability; Inclusivity.*

## **INCLUSION OF PERSONS WITH DISABILITIES IN THE POSTAL SERVICES SYSTEM**

Đorđe Petrović, Radomir M. Mijailović, Dalibor Pešić



## **IZAZOVI PRUŽANJA TELEKOMUNIKACIONIH USLUGA POSLOVNIM KORISNICIMA**

Zlata Radak, Marijana Petrović, Goran Marković  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,  
[marijanap@sf.bg.ac.rs](mailto:marijanap@sf.bg.ac.rs), [g.markovic@sf.bg.ac.rs](mailto:g.markovic@sf.bg.ac.rs), [zlata.radak@gmail.com](mailto:zlata.radak@gmail.com)

**Rezime:** *Telekomunikacione usluge imaju ključnu ulogu u poslovanju i digitalnoj transformaciji kompanija, pri čemu se zahtevi poslovnih korisnika značajno razlikuju od rezidencijalnih, jer podrazumevaju viši nivo kvaliteta, bezbednosti i fleksibilnosti. Proces pružanja ovih usluga složen je i podložen različitim izazovima koji proizilaze iz tehničkih ograničenja infrastrukture, organizacionih neusklađenosti, specifičnih korisničkih očekivanja i regulatornih zahteva. U radu je primenjen kvalitativni pristup zasnovan na višestrukim studijama slučaja i end-to-end mapiranju procesa, što je omogućilo sagledavanje celokupnog životnog ciklusa usluge, od inicijalnog zahteva do postprodajne podrške. Analiza je pokazala da se mogu izdvojiti univerzalni izazovi, prisutni u svim vrstama B2B usluga, kao i oni specifični za pojedine tehnologije i poslovne modele. Dobijeni rezultati predstavljaju osnovu za unapređenje postojećih modela pružanja telekomunikacionih usluga i polaznu tačku za dalja istraživanja u ovoj oblasti.*

**Ključne reči:** *telekomunikacione usluge, poslovni korisnici, optimizacija usluga, upravljanje procesima, inovativni poslovni modeli*

### **1. Uvod**

U savremenom poslovnom okruženju, telekomunikacione usluge predstavljaju ključnu infrastrukturu za operativno funkcionisanje i digitalnu transformaciju kompanija koja je poslednjih godina značajno promenila poslovanje i stavila akcenat na značaj upravljanja procesima [1]. Za razliku od rezidencijalnih korisnika, poslovni korisnici imaju specifične zahteve koji obuhvataju visoke standarde kvaliteta usluge, bezbednost podataka, fleksibilnost u dizajnu rešenja i pouzdanu tehničku podršku [2]. Kompleksnost pružanja ovih usluga često se dodatno uvećava različitim internim i eksternim izazovima - od organizacionih i tehničkih barijera, do neusklađenih procesa i zahteva tržišta u stalnoj promeni [3].

Cilj ovog rada je da identifikuje i sistematizuje izazove u optimizaciji telekomunikacionih usluga za poslovne korisnike [4], kroz analizu više konkretnih slučajeva iz prakse i end-to-end mapiranje procesa. Kroz ovaj pristup, rad nastoji da razlikuje univerzalne izazove prisutne u svim vrstama B2B (Business To Business) usluga, od onih koji su specifični za pojedine tehnologije ili poslovne modele. Rezultati

analize mogu poslužiti kao osnova za unapređenje postojećih modela pružanja usluga i kao polazna osnova za dalja istraživanja.

## **2. Metodologija**

U cilju detaljnog sagledavanja izazova u optimizaciji telekomunikacionih usluga za poslovne korisnike, u ovom radu primenjen je kvalitativni pristup kroz višestruke studije slučaja (case study method). Ovakav metod omogućava dublje razumevanje konteksta i specifičnih problema u realnim uslovima [5], kao i analizu procesa iz perspektive krajnjih korisnika, tehničkih timova i poslovnog menadžmenta.

Dodatno, analiziran je end-to-end (E2E) proces pružanja konkretne usluge – od inicijalnog zahteva korisnika, preko dizajna i implementacije rešenja, do isporuke i postprodajne podrške. Procesi su modelovani na osnovu dostupne dokumentacije, razgovora sa zaposlenima koji izvršavaju aktivnosti u okviru posmatranog procesa i postojećih internih standarda operatora.

U okviru svakog procesa, identifikovani su ključni izazovi i tačke neefikasnosti na osnovu sledećih kategorija:

- 1) Tehnički izazovi, poput kompleksnosti integracije, ograničenja infrastrukture ili nedostatka automatizacije;
- 2) Organizacioni izazovi, uključujući fragmentaciju odgovornosti, lošu koordinaciju ili neusaglašene interne procedure;
- 3) Korisnički izazovi, koji se odnose na očekivanja, komunikaciju i iskustvo krajnjih korisnika tokom celog ciklusa usluge;
- 4) Regulatorni izazovi, koji se javljaju u vezi sa usklađenošću usluga, bezbednosnim i pravnim okvirima, posebno u slučajevima kada korisnici posluju u regulisanim industrijama.

Ovaj pristup omogućio je identifikaciju obrazaca koji se ponavljaju u različitim vrstama usluga i korisničkim segmentima, kao i razlikovanje izazova koji su specifični za određeni slučaj od onih koji imaju univerzalni karakter i zahtevaju sistemski rešenja.

## **3. Studije slučaja isporuke telekomunikacionih usluga poslovnim korisnicima**

Studije slučaja predstavljaju praktične primere kako telekomunikacioni operatori prilagođavaju i unapređuju svoje usluge u skladu sa specifičnim zahtevima poslovnih korisnika. One ilustruju izazove sa kojima se operatori suočavaju u pogledu tehničkih rešenja, organizacionih procesa i korisničkog iskustva, kao i načine na koje inovativni modeli isporuke mogu doprineti većoj pouzdanosti i konkurentnosti.

Kroz različite primere prikazano je kako:

- 1) Prilagođena menadžisana rešenja obezbeđuju visoku dostupnost za velike poslovne sisteme sa disperzovanom mrežom filijala.
- 2) Kombinacija optičkog i bežičnog linka omogućava neprekidnu konekciju i smanjenje rizika od poslovnih gubitaka.
- 3) Fleksibilni modeli naplate pomažu korisnicima poput call centara da optimizuju troškove i izbegnu nepotrebna finansijska opterećenja.
- 4) Primena VSM i VSA metodologija doprinosi efikasnijoj prodaji i implementaciji naprednih usluga poput SD-WAN-a, uz skraćanje vremena ciklusa i povećanje vrednosti za korisnike.

- 5) QFD metodologija pomaže operatorima da sistematski prevedu potrebe korisnika u tehničke karakteristike usluge, čime se unapređuje kvalitet i zadovoljstvo poslovnih korisnika.

Ovi primeri jasno pokazuju da uspešna isporuka telekomunikacionih usluga poslovnim korisnicima zavisi od kombinacije tehničke pouzdanosti, fleksibilnosti u ponudi i fokusiranosti na korisničko iskustvo, što u krajnjem ishodu jača lojalnost korisnika i dugoročnu konkurentnost operatora.

### **3.1. Studija slučaja 1: L3VPN sa virtualizovanom centralnom lokacijom u Data Centru operatora [6]**

Za korisnika sa velikim brojem dislociranih poslovnica implementirano je L3VPN rešenje sa centralnom lokacijom koja nije fizički kod korisnika, već virtualizovana unutar Data Centra operatora. Ovakav pristup omogućio je povećanu dostupnost, veću fleksibilnost u upravljanju i lakše skaliranje usluge.

Mapirani proces: Analiza zahteva → dizajn L3VPN topologije → izbor virtuelne centralne lokacije → konfiguracija → testiranje i aktivacija

Izazovi:

- 1) Tehnički: integracija sa postojećim sistemima korisnika i sigurnosnim politikama.
- 2) Korisnički: garancija dostupnosti usluge.
- 3) SLA: precizno definisanje dostupnosti, latencije i procedura u slučaju incidenta.

Virtualizacija centralne lokacije može drastično povećati performanse i bezbednost, ali zahteva visoko poverenje korisnika i transparentnu komunikaciju u procesu dizajna rešenja.

Zaključak je da prelazak sa standardnog rešenja garantovane dostupnosti od 99,5% na virtuelizaciju centralnog servera u operatorovom data centru omogućava postizanje gotovo maksimalne garantovane dostupnosti od 99,999%, čime se obezbeđuje kontinuitet poslovanja i pouzdana povezanost svih poslovnica. Ovo rešenje je ispunilo ključne zahteve korisnika – veću dostupnost uz optimizaciju troškova.

### **3.2. Studija slučaja 2: Pružanje prilagođenih (tailor made) menadžisanih rešenja za poslovne korisnike [7]**

Ovaj primer prikazuje kako mrežni operator implementira prilagođeno menadžisano rešenje za velike poslovne korisnike, uzimajući u obzir specifične zahteve pojedinačnih kompanija. Fokus je na velikoj maloprodajnoj kompaniji koja ima potrebu za visokim stepenom dostupnosti internet veze za centralnu kancelariju, koja povezuje veliki broj dislociranih filijala širom zemlje i inostranstva.

Mapirani proces: Izbor unapred definisanih rešenja iz portfolija → implementacija početnog paketa → prikupljanje povratnih informacija od korisnika → prilagođavanje rešenja zahtevima korisnika → kontinuirana podrška i optimizacija.

Izazovi:

- 1) Tehnički: usklađivanje rešenja sa zahtevima za većom dostupnošću i specifičnim pravilima pristupa internetu.
- 2) Korisnički: identifikacija i razumevanje dodatnih potreba korisnika kroz povratne informacije i anketu.

- 3) Organizacijski: razvoj fleksibilnih rešenja koja mogu brzo reagovati na promene u korisničkim zahtevima.

Pristup „tailor made” omogućava bolju prilagođenost poslovnim potrebama i poboljšava kvalitet korisničkog iskustva. Pojedini autori posebno ističu postprodajnu fazu kao ključnu za pobočjšanje korisničkog iskustva i to posebno aktivnosti: korišćenje usluge, interakcija sa podrškom i obračun troškova [8]. Kontinuirani dijalog sa korisnikom i fleksibilnost u ponudi ključni su za održavanje konkurentske prednosti u dinamičnom poslovnom okruženju

Zaključak: Prilagođeno rešenje („tailor made”) za velike poslovne korisnike, poput maloprodajne kompanije sa brojnim filijalama, omogućava visoku dostupnost i fleksibilnost internet konekcije, što je ključno za kontinuitet poslovanja. Proces koji uključuje izbor početnog paketa, prikupljanje povratnih informacija i kontinuiranu optimizaciju obezbeđuje bolje korisničko iskustvo, veću lojalnost i smanjenje rizika od odlaska korisnika, dok stalni dijalog i prilagođavanje rešenja čine osnovu konkurentske prednosti.

### **3.3. Studija slučaja 3: Predlog rešenja za pouzdan pristup Internetu za poslovne korisnike [9]**

U skladu sa zahtevima poslovnih korisnika za neprekidnim i sigurnim pristupom Internetu, predstavljen je inovativni model koji kombinuje primarni optički link sa redundantnim bežičnim linkom. Cilj je da se osigura maksimalna dostupnost Internet veze, posebno za strane kompanije i predstavništva kojima je neprekidan pristup centralnim serverima u inostranstvu ključan za poslovanje.

Mapirani proces: Procena potreba korisnika → izbor i implementacija primarnog optičkog linka → aktivacija redundantnog bežičnog linka → konfiguracija rutera sa automatskim prebacivanjem → kontinuirani monitoring i održavanje.

Izazovi:

- 1) Tehnički: konfiguracija automatskog prebacivanja između primarnog i rezervnog linka bez prekida u radu.
- 2) Korisnički: upravljanje visokim očekivanjima u pogledu dostupnosti 24/7 i minimizacije downtime-a.
- 3) Organizacijski: koordinacija između timova za instalaciju optičkog i wireless internet linka, kao i praćenje SLA parametara.

Kombinacija različitih tehnologija pristupa Internetu, uz pažljivo konfigurisanu opremu i monitoring, omogućava pružanje pouzdanih usluga koje zadovoljavaju stroge zahteve poslovnih korisnika, smanjujući rizik od gubitka konekcije i poslovnih šteta.

Zaključak:

Implementacija modela koji kombinuje primarni optički i redundantni bežični link obezbeđuje visoku pouzdanost i neprekidnu dostupnost Internet veze, što je od ključne važnosti za kompanije sa međunarodnim poslovanjem. Ovakav pristup, zasnovan na automatizovanom prebacivanju, kontinuiranom monitoringu i koordinaciji tehničkih timova, omogućava ispunjavanje strogo definisanih SLA parametara, minimizaciju zastoja i značajno smanjenje rizika od poslovnih gubitaka.

### **3.4. Studija slučaja 4: Primena Quality Function Deployment (QFD) metode u dizajnu L3VPN usluge za poslovne korisnike [10]**

U ovom slučaju razmatra se kako telekomunikacioni operator može koristiti QFD metodologiju za bolje usklađivanje tehničkih karakteristika usluge sa stvarnim zahtevima poslovnih korisnika. Fokus je na L3VPN usluzi, koju veliki poslovni korisnici koriste za povezivanje više lokacija sa centralnim sistemom, uz visoke zahteve za dostupnošću i sigurnošću.

Mapirani proces: Identifikacija zahteva korisnika kroz anketu i intervju → prevođenje korisničkih zahteva u tehničke parametre (inženjerske karakteristike) → kreiranje matrice odnosa između zahteva i karakteristika → ocenjivanje prioriteta za razvoj i implementaciju → evaluacija i optimizacija usluge.

Izazovi:

- 1) Komunikacija: pretvaranje korisničkog, često opisnog jezika, u konkretne tehničke specifikacije.
- 2) Fleksibilnost: prilagođavanje unapred definisanih usluga individualnim potrebama poslovnih korisnika.
- 3) Upravljanje očekivanjima: balansiranje između mogućnosti operatora i očekivanja korisnika, naročito u kontekstu konkurencije i kvaliteta usluge.

QFD se pokazala kao efikasan alat za strukturirano prikupljanje i integrisanje korisničkih zahteva u proces dizajna usluga. Ovaj pristup omogućava operatorima da unaprede kvalitet svojih ponuda, povećaju zadovoljstvo korisnika i ostanu konkurentni na zahtevnom tržištu poslovnih telekomunikacionih usluga.

Zaključak:

Primena QFD metode omogućava telekom operatorima da sistematski prevedu potrebe korisnika u tehničke karakteristike usluge i time obezbede rešenja koja bolje odgovaraju zahtevima poslovnih klijenata. Na primeru poređenja tradicionalnog i unapređenog L3VPN rešenja pokazano je da pažljiva primena HoQ faze može unaprediti dizajn usluge, povećati zadovoljstvo korisnika i smanjiti troškove, dok se kao naredni izazov postavlja integracija različitih rešenja u jedinstven QFD okvir za buduća istraživanja.

### **3.5. Studija slučaja 5: Fleksibilno prilagođavanje modela naplate telefonije za poslovne korisnike: slučaj call centara [11]**

U ovom primeru prikazujemo kako telekom operator može ponuditi fleksibilne opcije naplate telefonije koje su prilagođene specifičnim potrebama poslovnih korisnika, sa posebnim osvrtnom na call centre. Tradicionalni modeli naplate često ne odgovaraju intenzivnoj upotrebi fiksne telefonije u call centrima, što može rezultirati nepotrebnim troškovima. Implementacijom prilagođenog modela naplate omogućene su značajne uštede bez smanjenja kvaliteta usluge.

Mapirani proces: Analiza trenutnog modela naplate → identifikacija specifičnih potreba i obrasca korišćenja usluge kod call centara → kreiranje nove, prilagođene opcije naplate → poređenje troškova stare i nove opcije → implementacija nove tarife → monitoring troškova i kvaliteta.

Izazovi:

- 1) Tehnički: dizajn sistema naplate koji može da podrži fleksibilne i prilagođene tarife.
- 2) Korisnički: razumevanje različitih potreba i šablona poziva unutar različitih tipova call centara (inbound, outbound, miks).
- 3) Organizacijski: usklađivanje između prodaje, računovodstva i tehničkih timova za implementaciju novih modela.

Fleksibilni modeli naplate pružaju dodatnu vrednost poslovnim korisnicima, posebno onima sa velikim obimom poziva, kao što su call centri. Ovo povećava zadovoljstvo korisnika i dugoročno jača konkurentnost operatera na tržištu.

Zaključak:

Uvođenje fleksibilnog i dinamičnog modela naplate omogućava korisnicima značajne uštede i optimizaciju troškova. Personalizovana naplata prilagođena specifičnim zahtevima korisnika ne samo da smanjuje nepotrebne troškove, već i jača partnerski odnos sa operatorom, omogućavajući kompanijama da usmere resurse na dalji rast i razvoj, dok operator ostaje konkurentan kroz brzu i prilagodljivu ponudu.

### **3.6. Studija slučaja 6: Optimizacija prodajnog procesa SD-WAN usluge primenom Value Stream Mapping (VSM) i Value Stream Analysis (VSA) [12]**

Prelazak na softverski definisanu širokopojasnu mrežu (SD-WAN) kao unapređeno rešenje za poslovne korisnike donosi brojne prednosti poput pouzdane i kontinuirane internet konekcije, bolje performanse i veće agilnosti, ali i postavlja dodatni pritisak na telekom operatere da omoguće ovu uslugu. Ovaj slučaj prikazuje kako je jedan regionalni telekom operator upotrebom Lean alata – Value Stream Mapping (VSM) i Value Stream Analysis (VSA) – analizirao i unapredio prodajni proces SD-WAN usluge, čime je smanjio ukupno vreme ciklusa pružanja usluge za 17%.

Mapirani proces: Identifikacija ključnih aktivnosti u procesu prodaje SD-WAN usluge → Izrada trenutne mape vrednosnog toka (Current State VSM) za porodicu SD-WAN servisa → Detekcija aktivnosti koje dodaju vrednost, ali i onih koje predstavljaju gubitak resursa (Non-Value-Adding activities) → Predlog buduće mape vrednosnog toka (Future State VSM) sa unapređenjima → Fokus na tri ključna segmenta: tehnička proveravanja izvodljivosti, sklapanje ugovora i isporuka usluge

Izazovi:

- 1) Kompleksnost SD-WAN usluge koja zahteva prilagođavanje specifičnim zahtevima korisnika i integraciju sa postojećom infrastrukturom
- 2) Nepotpuna koordinacija između tehničkih i komercijalnih timova u procesu prodaje
- 3) Održavanje balansa između brzine isporuke i kvaliteta usluge

Ova studija slučaja ukazuje da primena VSM i VSA metodologija omogućava jasnu vizualizaciju i dublje razumevanje celokupnog procesa prodaje i isporuke složenih usluga poput SD-WAN-a. Fokusiranjem na aktivnosti koje zaista dodaju vrednost moguće je značajno skratiti vreme ciklusa i smanjiti operativne troškove. Takođe, kroz kontinuirano unapređenje procesa i unapređenu međufunkcionalnu saradnju postiže se veće zadovoljstvo poslovnih korisnika i jača konkurentnost operatora na tržištu.

Zaključak:

Prelazak na SD-WAN rešenja donosi poslovnim korisnicima pouzdaniju i agilniju Internet konekciju uz optimizaciju troškova, ali istovremeno zahteva od

operatora dodatne resurse i prilagođavanje procesa. Primenom VSM i VSA metodologija demonstrirano je kako se može unaprediti proces prodaje SD-WAN usluga – kroz identifikaciju aktivnosti koje donose vrednost, smanjenje vremena ciklusa za 17% i jasnu podelu aktivnosti na tehničke, ugovorne i isporučne. Time se pokazuje da sistematska primena ovih metoda ne samo da poboljšava efikasnost operatora već i povećava zadovoljstvo poslovnih korisnika.

#### 4. Analiza i sistematizacija izazova

U cilju boljeg razumevanja i rešavanja problema u pružanju telekom usluga poslovnim korisnicima, izazovi identifikovani kroz studije slučaja i mapiranje procesa su klasifikovani u dve osnovne kategorije: specifični za tip usluge i univerzalni za sve poslovne korisnike nezavisno od usluge koja se pruža.

##### 4.1. Klasifikacija izazova

Specifični izazovi za tip usluge odnose se na tehničke, organizacione i operativne karakteristike koje su jedinstvene za određenu uslugu, kao što su SD-WAN, VPN, ili tailor-made managed services. Na primer, kod SD-WAN usluge izazovi uključuju složenost konfiguracije, integraciju sa postojećom infrastrukturom i potrebu za agilnom reakcijom na promene u zahtevima korisnika [13].

Univerzalni izazovi za poslovne korisnike su zajednički svim uslugama i podrazumevaju šire aspekte kao što su fleksibilnost u ugovaranju, visoki zahtevi za dostupnošću i kvalitetom usluge (SLA), sigurnost podataka, kao i prilagođavanje specifičnim potrebama različitih industrija i veličina kompanija [14].

*Tabela1. Matrica izazova*

| <b>Kategorija</b> | <b>Izazov</b>                                    | <b>Opis</b>                                                 | <b>Uticaј na uslugu</b> |
|-------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Specifični        | Kompleksnost konfiguracije SD-WAN-a              | Potreba za preciznim podešavanjima i integracijom sa mrežom | Kašnjenja u isporuci    |
| Specifični        | Ograničenja tehnološke infrastrukture            | Nedovoljna fleksibilnost postojećih resursa                 | Smanjena skalabilnost   |
| Univerzalni       | Visoki zahtevi za SLA                            | Potreba za garantovanom dostupnošću i performansama         | Povećani troškovi       |
| Univerzalni       | Različiti zahtevi korisnika                      | Različiti poslovni procesi zahtevaju prilagođena rešenja    | Komplikovana ponuda     |
| Univerzalni       | Bezbednost podataka i usklađenost sa regulativom | Zaštita osetljivih podataka i usklađenost sa zakonima       | Rizik od prekida usluge |

## 4.2. Diskusija: sistemska unapređenja

Analiza izazova ukazuje na potrebu za sistemskim unapređenjima na nekoliko nivoa:

- 1) Standardizacija procesa uz mogućnost prilagođavanja – Uvođenje modularnih procesa i servisa koji se mogu lako prilagođavati specifičnim potrebama korisnika, ali u okviru standardizovanih i kontrolisanih procedura, smanjujući složenost i greške. [15].
- 2) Unapređenje koordinacije između timova – Bolja međusektorska saradnja (prodaja, tehnički timovi, podrška) kako bi se ubrzalo donošenje odluka i rešavanje problema [16].
- 3) Digitalizacija i automatizacija procesa – Primena digitalnih alata za automatizaciju rutinskih aktivnosti može smanjiti vreme obrade i eliminisati nepotrebne aktivnosti bez dodavanja vrednosti.
- 4) Razvoj fleksibilnih rešenja – Kreiranje rešenja koje uzimaju u obzir dinamične potrebe poslovnih korisnika, uključujući mogućnosti skaliranja i promena uslova u hodu.
- 5) Fokus na kvalitet usluge i korisničko iskustvo – Uvođenje sistema za kontinuirano praćenje zadovoljstva korisnika i brzu reakciju na njihove primedbe i potrebe.

Sistemska unapređenja usmerena na ove oblasti doprineće većoj efikasnosti i konkurentnosti telekom operatora, kao i do povećanja zadovoljstva poslovnih korisnika.

## 5. Zaključak

U ovom radu analizirali smo ključne izazove u pružanju telekomunikacionih usluga poslovnim korisnicima kroz primenu studija slučaja i sistematsku klasifikaciju problema. Pokazali smo da se izazovi mogu podeliti na one koji su specifični za određene tipove usluga, kao i na univerzalne izazove koje imaju svi poslovni korisnici, bez obzira na veličinu i industriju.

Kroz detaljnu analizu procesa i identifikaciju problema, jasno je da su sistemska unapređenja neophodna za uspešno prilagođavanje usluga rastućim i specifičnim zahtevima korisnika. Standardizacija sa fleksibilnošću, bolja koordinacija timova, digitalizacija i automatizacija, kao i razvoj agilnih ugovornih modela, predstavljaju ključne pravce za unapređenje kvaliteta usluge i efikasnosti poslovanja.

Implementacija predloženih rešenja ne samo da doprinosi povećanju konkurentnosti operatera na tržištu, već i omogućava dugoročno zadovoljstvo i zadržavanje poslovnih korisnika, koji su danas zahtevniji nego ikada.

Dalji rad treba usmeriti na konkretne primene savremenih metodologija upravljanja i digitalnih tehnologija koje mogu dodatno optimizovati poslovne procese i obezbediti brzu adaptaciju na promene tržišta.

## Literatura

- [1] S. Pranata, K. Hadi, M. Heru Riza Chakim, Y. Shino, I. Nuril Hikam, “Business Relationship in Business Process Management and Management with the Literature Review Method”, *ADI Journal on Recent Innovation (AJRI)*, 2023.



- [2] V. Guerola-Navarro, H. Gil-Gomez, R. Oltra-Badenes, P. Soto-Acosta, "Customer relationship management and its impact on entrepreneurial marketing: a literature review", *International Entrepreneurship and Management Journal* 2022.
- [3] S. Weinzierl, S. Zilker, S. Dunzer, M. Matzner, "Machine learning in business process management: A systematic literature review", *Expert Systems With Applications*, 2024.
- [4] M. Kajba, B. Jereb, "Process Optimization of the Selected Business Using a Process Approach", *European Journal of Management and Business Studies*, 2022.
- [5] A. Van Looy, "A quantitative and qualitative study of the link between business process management and digital innovation", *Information & Management*, 2021.
- [6] Z. Radak, N. Gospić, "Transformation of the existing operator to the service provider for business customers", *International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST)*, N. Macedonia, 2016.
- [7] Z. Radak, G. Marković, "Providing tailor made managed solution by network operator to the business customers", *International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST)*, N. Macedonia, 2019.
- [8] H. Ribeiro, B. Barbosa, A. Moreira, R. Rodrigues, "Customer Experience, Loyalty, and Churn in Bundled Telecommunications Services", *SAGE Open*, DOI: 10.1177/21582440241245191, 2024.
- [9] Z. Radak, N. Gospić, G. Marković, "Predlog rešenja za pouzdan pristup Internetu", časopis *Tehnika*, DOI: 10.5937/tehnika1704571R, 2017.
- [10] Z. Radak, M. Petrović, G. Marković, "Exploring possibilities to exploit QFD method in telecommunication service design: the case of business customer", *27th Telecommunications Forum (TELFOR)*, Serbia, DOI: 10.1109/TELFOR48224.2019.8971291, 2019.
- [11] Z. Radak, V. Radonjić Đogatović, "Customized charging option for business customers", *24th Telecommunications Forum (TELFOR)*, Serbia, DOI: 10.1109/TELFOR.2016.7818719, 2016.
- [12] Z. Radak, M. Petrović, G. Marković "Value Stream Map for SD-WAN Business Process Improvement: A Case Study", *IEEE Transactions on Engineering Management*, DOI: 10.1109/TEM.2025.3575492, 2025.
- [13] M. Amine Ouamri, T. Alharbi, D. Singh, Z. Sylia, "A comprehensive survey on software-defined wide area network (SD-WAN): principles, opportunities and future challenges", *The Journal of Supercomputing*, 2024.
- [14] N. Singh Sewpersadh, "Disruptive business value models in the digital era", *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 2023.
- [15] A. Van Looy A quantitative and qualitative study of the link between business process management and digital innovation, *Information & Management*, 2021.
- [16] S. Luthra, M. Sharma, A. Kumar, S. Joshi, E. Collins, S. Mangla "Overcoming barriers to cross-sector collaboration in circular supply chain management: a multi-method approach", *Transportation Research Part E*. 2022.

**Abstract:** *Telecommunication services play a crucial role in business operations and the digital transformation of companies, with business users' requirements differing significantly from those of residential users, as they entail a higher level of quality, security, and flexibility. The process of delivering these services is complex and subject to various challenges arising from the technical limitations of infrastructure, organizational misalignments, specific customer expectations, and regulatory requirements. This paper applies a qualitative approach based on multiple case studies and end-to-end process mapping, which enabled an overview of the entire service lifecycle, from the initial request to post-sales support. The analysis revealed that universal challenges can be identified, present across all types of B2B services, as well as those specific to certain technologies and business models. The results obtained provide a basis for improving existing models of telecommunication service delivery and serve as a starting point for further research in this field.*

**Keywords:** *telecommunication services, business users, service optimization, process management, innovative business models*

## **CHALLENGES OF PROVIDING TELECOMMUNICATION SERVICES TO BUSINESS CUSTOMERS**

Zlata Radak, Marijana Petrović, Goran Marković

## **RAZVOJ SISTEMA ZA OCENJIVANJE I NAGRAĐIVANJE VOZAČA PRIMENOM IoT**

Stefan Zdravković, Marko Stokić  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,  
s.zdravkovic@sf.bg.ac.rs, m.stokic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Koncept održivog transporta predstavlja glavnu temu u savremenim transportnim i logističkim sistemima, posebno u pogledu smanjenja troškova i emisija zagađujućih materija. Sistemi zasnovani na nagrađivanju vozača nude značajne prednosti u odnosu na tradicionalne pristupe, koji se često oslanjaju na represivne mere. Ovakvi sistemi mogu stvoriti negativnu atmosferu straha i otpora među vozačima, dok se sistemi nagrađivanja fokusiraju na motivisanje vozača da poštuju ograničenja brzine i voze ekonomično. Na taj način, vozači se podstiču da razvijaju odgovorne navike vožnje, što ujedno smanjuje rizik od nezgoda. Rad istražuje i analizira postojeće sisteme nagrađivanja vozača, analizirajući efikasnost vožnje, motivaciju vozača, identifikujući ključne pravce za njihov dalji razvoj. Zasnovan na primeni internet stvari (IoT), u radu je dat predlog sistema ocenjivanja i nagrađivanja vozača na osnovu njegovog načina upravljanja vozilom. Dodatni doprinos ovog istraživanja ogleda se u pronalaženju dugoročne strategije koja motiviše vozače, usmeravajući se na održiv razvoj i prilagodljivost u brzo menjajućem poslovnom okruženju.*

**Ključne reči:** *sistemi nagrađivanja vozača, evaluacija vožnje, IoT*

### **1. Uvod**

Način upravljanja vozilom predstavlja jedan od ključnih faktora koji direktno utiče na eksploataciju vozila i troškove transportnih kompanija. Neodgovoran, odnosno agresivan način upravljanja vozilom, koji karakterišu nagla ubrzanja i usporenja, nepredvidivi manevri, prekoračenja brzine, neadekvatna promena stepena prenosa i slično, dovodi do povećane potrošnje goriva, većeg trošenja komponenti vozila i češćih pojava otkaza vozila. Dodatno, agresivni stil vožnje povećava rizik od saobraćajnih nezgoda, što rezultira većim troškovima osiguranja i štetama na imovini. Zbog navedenih negativnih posledica, transportne kompanije teže implementaciji strategija koje promovišu bezbedno, odgovorno i energetski efikasno ponašanje vozača. U skladu s tim, Elias [2] je istakao da kombinacija finansijskih podsticaja, kontinuiranog praćenja ponašanja vozača i pružanja povratnih informacija u realnom vremenu doprinosi značajnom povećanju bezbednosti na putevima. Pentland i Šmueli [3] navode da i individualni i grupni modeli podsticaja pozitivno utiču na ponašanje vozača, pri čemu individualni pristup daje nešto bolje rezultate. Ova istraživanja ukazuju na to da pažljivo osmišljeni sistemi nagrađivanja, koji kombinuju materijalne i nematerijalne podsticaje, mogu doprineti smanjenju operativnih troškova, povećanju efikasnosti i poboljšanju bezbednosti u transportnim kompanijama. Osim toga, pravilno koncipirani podsticaji mogu umanjiti stres s kojima se vozači suočavaju i smanjiti sklonost ka rizičnim načinima upravljanja vozilom čime poboljšale njihove ukupne bezbednosne performanse.

Međutim, razvoj ovakvih sistema suočava se sa izazovima kao što su tačnost i transparentnost algoritama koji ocenjuju ponašanje vozača. Ukoliko vozači ne razumeju kriterijume prema kojima se njihova vožnja ocenjuje, može doći do smanjenja poverenja u sistem i njegovu legitimnost. Takođe, efekat nematerijalnih podsticaja često nije dovoljno izražen, a prekomerno oslanjanje na represivne mere umesto pozitivnih podsticaja može smanjiti motivaciju i izazvati negativan efekat kod vozača [4].

U cilju prevazilaženja ovih ograničenja, u nastavku rada predložen je sistem nagrađivanja vozača zasnovanog na primeni IoT. Predloženi model u cilju objektivne evaluacije načina vožnje kao ulazne podatke koristi broj obrtaja motora, ubrzanje/usporenje, pritisak na pedal gasa i vreme koje vozač provede upravljajući vozilom na ekonomičan način. Ovi podaci se obrađuju u realnom vremenu i koriste za izračunavanje ocene vozača na osnovu kojih se dodeljuju nagrade vozačima.

## 2. Primena IoT u sistemima nagrađivanja vozača

Razvoj informacionih tehnologija, sa posebnim akcentom na internet stvari (engl. Internet of Things - IoT), doveo je do transformacije pristupa u evaluaciji ponašanja vozača. IoT tehnologije omogućavaju prikupljanje velikog broja podataka iz okruženja i vozila, što predstavlja osnovu za implementaciju inteligentnih sistema koji analiziraju ponašanje vozača na osnovu čega se dodeljuju bonifikacije [5].

Sistemi koji se zasnivaju na IoT arhitekturi obuhvataju integraciju različitih senzorskih modula kao što su GPS uređaji, akcelerometri, žiroskopi, kamere, radari, kao i pristup internoj mreži vozila putem elektronske kontrolne jedinice. Prikupljeni podaci se odnose na ključne parametre vožnje, uključujući brzinu, učestalost naglog kočenja i ubrzavanja, način skretanja, poštovanje saobraćajnih pravila, kao i upotrebu mobilnog telefona tokom vožnje [6]. Ovi podaci se u inicijalnoj fazi obično obrađuju na nivou samog vozila, odnosno putem tzv. edge computing pristupa, čime se omogućava pravovremena reakcija u slučaju prepoznavanja rizičnog ponašanja. U narednim fazama, podaci se prosleđuju ka lokalnim serverima (engl. *fog computing*), a zatim i ka udaljenim *cloud* sistemima, gde se sprovode kompleksne analize korišćenjem algoritama mašinskog učenja i veštačke inteligencije [7].

Brzina obrade informacija od izuzetnog je značaja, naročito u kontekstu bezbednosno-kritičnih događaja. Reakcija sistema mora imati trenutni odziv kako bi se obezbedilo blagovremeno upozorenje vozaču ili aktivacija automatskih zaštitnih mehanizama. Zahvaljujući navedenim tehnološkim rešenjima, ponašanje vozača može se ocenjivati u realnom vremenu, a rezultati se koriste kao osnova za dodelu stimulativnih nagrada.

Jedan od primera takve implementacije jeste sistem koji koristi kombinaciju IoT uređaja i blockchain tehnologije kako bi omogućio transparentno evidentiranje i raspodelu nagrada vozačima koji se ponašaju u skladu sa bezbednosnim smernicama. U okviru eksperimentalne primene u okruženju plotunske vožnje, odnosno vožnje u konvoju (engl. *vehicle platooning*), vozači se ocenjuju na osnovu održavanja odgovarajuće udaljenosti i koordinacije s drugim vozilima u koloni, pri čemu se nagrađuju tokenima u digitalnom novčaniku [8].

Dalji napredak u domenu IoT komunikacija ostvaruje se kroz primenu koncepta V2X (engl. *Vehicle-to-Everything*), koji uključuje komunikaciju između vozila (engl. *Vehicle-to-Vehicle* - V2V), kao i komunikaciju vozila sa elementima infrastrukture (engl. *Vehicle-to-Infrastructure* - V2I). V2V komunikacija omogućava razmenu informacija u pogledu brzine, geolokacije i rastojanja između vozila, čime se unapređuje koordinacija i smanjuje rizik od sudara. S druge strane, V2I komunikacija obezbeđuje razmenu informacija između vozila i elemenata saobraćajne infrastrukture, kao što su semafori, saobraćajni znaci i centri za upravljanje saobraćajem [9]. U praksi, mnoge komercijalne platforme već integrišu ove tehnologije u svakodnevno poslovanje. Sistemi kao što su Geotab, Verizon Connect i

Fleet Complete pružaju mogućnost detaljne analize stila vožnje kroz kontinuirano praćenje podataka, a određene osiguravajuće kuće koriste ove informacije kao osnovu za prilagođavanje cena polisa, nagrađivanje bezbednih vozača ili preporuke za korektivne treninge [10]. Slično tome, sistemi za pomoć na putu, kao što su OnStar ili Tesla Roadside Assistance, koriste IoT infrastrukturu za dijagnostiku u realnom vremenu i automatsku aktivaciju pomoći u slučaju saobraćajne nezgode, čime dodatno doprinose opštoj sigurnosti i efikasnosti sistema.

Empirijska istraživanja potvrđuju da primena IoT tehnologije u sistemima nagrađivanja ima pozitivan efekat na ponašanje vozača. Integracijom povratnih informacija i mehanizama za nagrađivanje dolazi do značajnog smanjenja rizičnih ponašanja, povećanja svesti o bezbednosti i motivacije za odgovorno upravljanje vozilom [11]. Međutim, za uspešnu primenu ovih sistema neophodno je rešiti izazove vezane za privatnost podataka, pouzdanost senzora kojim se prikupljaju podaci i objektivnost sistema za nagrađivanje [12].

### 3. Sistem ocenjivanja i nagrađivanje vozača

Savremene IoT tehnologije pružaju infrastrukturnu osnovu za izgradnju sistema koji može kontinuirano da prikuplja, prenosi i analizira podatke vozačevog ponašanja u realnom vremenu. U najvažnije parametre kojima se ocenjuje eko-vožnja ubrajaju se broj obrtaja motora (RPM), pritisak na pedal gasa, ubrzanje/usporavanje, kao i procenat vremena koji vozač provede upravljajući vozilom na ekonomičan način (u nastavku teksta: eko-vreme). Ovi parametri se prikupljaju pomoću IoT modula povezanih sa elektronskom kontrolnom jedinicom na vozilu, a zatim se putem NB-IoT, LTE ili 5G mreže prenose u centralni oblak u kom se vrši obrada prikupljenih podataka kroz faze filtriranja, normalizacije i analize pomoću tip-2 fuzzy logičkog modela. Tip-2 fuzzy logika se pokazala naročito pogodnom jer omogućava kreiranje „nejasnih“ granica koje postoje između klasa (npr. između „umerenog“ i „agresivnog“ ubrzanja), što doprinosi pravednijoj oceni vozača.

Za potrebe istraživanja korišćeno je kombi vozilo *Renault Master* sa pogonom na dizel. Putem OBD-II porta direktnim čitanjem sa elektronske kontrolne jedinice vozila se prikupljaju: broj obrtaja motora ( $rpm$ ), položaj pedale gasa ( $ppg$ ) i ubrzanje ( $acc$ ). Korišćenjem standardizovanih PID komandi omogućava se eksternim IoT ili telematičkim uređajima da pristupe internim parametrima vozila. Ocena vožnje predstavlja kombinovani indeks koji izražava efikasnost vožnje i pridržavanje principa eko-vožnje. Računa se na osnovu prikupljenih parametara vožnje i eko-vremena. Vozač se u svakom trenutku nalazi u eko-zoni ako se svi parametri nalaze unutar definisanih intervala.

Podaci se tokom vožnje prikupljaju i prenose u sloj obrade u oblaku, nakon čega se u realnom vremenu pružanju povratne informacije vozaču. Sem toga rezultati se agregiraju na dnevnom, nedeljnom i mesečnom nivou. Matematička formulacija predloženog modela se može predstaviti sledećom formulom:

$$OcenaVožnje = w_1 \cdot f_{rpm} + w_2 \cdot f_{ppg} + w_3 \cdot f_{acc} + w_4 \cdot f_{ekoVreme} \quad (1)$$

gde su:

- $f_{rpm}$  - funkcija pripadnosti za broj obrtaja motora (usvojeno 1500–2500 rpm)
- $f_{ppg}$  - funkcija pripadnosti za pritisak pedale gasa (usvojeno 20–40%)
- $f_{acc}$  - funkcija pripadnosti za prosečno ubrzanje (usvojeno  $-1,0$  do  $1,5 \text{ m/s}^2$ ),
- $f_{ekoVreme}$  - procenat vremena vožnje u eko-zoni,
- $w_1, w_2, w_3, w_4$  - ponderi koji odražavaju relativni značaj svakog parametra.

Funkcije pripadnosti  $f_i$  se definišu kao normalizovane vrednosti u intervalu  $[0,1]$ , pri čemu je 1 idealna, a 0 najlošija vrednost. Na primer, ako vozač većinu vremena održava

obrta je motora između 1500 i 2500 rpm, njegova vrednost  $f_{rpm}$  biće između 0,8 i 1. Nasuprot tome, česte oscilacije iznad 3500 rpm snižavaju tu vrednost ispod 0,3.

$$f_{ekoVreme} = \begin{cases} 1 & \text{ako je } ekoVreme \geq 80\% \\ 0,5 + 0,5 \times \frac{ekoVreme - 50}{30} & \text{ako je } 50\% \leq ekoVreme < 80\% \\ 0 & \text{ako je } ekoVreme < 50\% \end{cases} \quad (2)$$

Na osnovu analize literature [5,13] kao i praktičnih primera u voznim parkovima, za posmatrano vozilo, može se videti da sistem najviše vrednuje trajanje eko-vožnje ( $w_4 = 0,30$ ), zatim brzinu rada motora i pritisak na pedal gasa ( $w_1 = w_2 = 0,25$ ), dok najmanju težinu ima parametar ubrzanja/usporenja ( $w_3 = 0,20$ ).

Nakon izračunavanja svih komponenti, sistem kombinuje vrednosti u jedinstvenu ocenu vožnje na skali od 0 do 5:

*Tabela 1. Granice ocenjivanja i interpretacija*

| <b>Klasa</b> | <b>Opseg ocene vožnje</b> | <b>Opis ponašanja</b>                                                       |
|--------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Zelena       | 4,5-5,0                   | Izuzetno efikasna i stabilna vožnja, optimalna potrošnja goriva             |
| Žuta         | 3,5-4,49                  | Umerena vožnja sa povremenim odstupanjima                                   |
| Crvena       | <3,5                      | Agresivna ili neujednačena vožnja, visoka potrošnja goriva i emisije gasova |

Predložene granice imaju ilustrativni karakter, a mogu se prilagoditi za konkretno vozilo. U zavisnosti od dugoročnih ciljeva kompanije na osnovu prosečnih ocena vožnje formiraju se nagrade, koje mogu biti pojedinačne i grupne. Pojedinačne mogu biti: mesečni bonus, tj. dodatak na platu u iznosu od 5% - 10% za taj mesec, dodatni slobodan dan koji kompanija poklanja kao znak zahvalnosti za ekonomičnu vožnju, mogućnost biranja rute ili novijeg vozila. Grupne nagrade bi podrazumevale tim vozača koji u određenom periodu (npr. tri meseca) ima najmanju prosečnu potrošnju goriva po kilometru i najveći procenat vožnji u eko-zoni, osvaja kompanijski izlet, zajednički ručak ili sportski dan o trošku kompanije.

#### 4. Diskusija i budući pravci

Integracijom parametara kao što su broj obrtaja motora, pritisak pedale gasa, prosečno ubrzanje i procenat vremena provedenog u eko-zoni, omogućeno je formiranje jedinstvenog indeksa – *Ocene vožnje*. Na taj način, ocenjivanje prestaje da bude subjektivno, a proces nagrađivanja dobija jasno definisane, merljive kriterijume. Predloženi sistem demonstrira da se kroz upotrebu IoT arhitekture može ostvariti dvosmerna komunikacija između vozila i centralne platforme, čime se omogućava obrada i analiza podataka u realnom vremenu. Ovakav pristup doprinosi bržem prepoznavanju neekonomičnih i rizičnih ponašanja, ali i trenutnom pružanju povratnih informacija vozaču. Time se ponašanje koriguje dok je vožnja još u toku, što dugoročno vodi ka stvaranju održivih obrazaca vožnje. Dodatno, model nagrađivanja baziran na kombinaciji pojedinačnih i grupnih stimulansa pokazuje se kao posebno efikasan u transportnim kompanijama, jer kombinuje individualnu odgovornost i timsku koheziju.

U praksi, predloženi sistem ima višestruke koristi: smanjuje potrošnju goriva, produžava životni vek vozila i njegovih komponenti, smanjuje emisiju zagađujućih materija i troškove održavanja, ali i poboljšava bezbednost saobraćaja. Poseban značaj ima parametar *eko-vreme*, koji odražava konzistentnost vozača u održavanju ekonomične vožnje. Ova metrika se pokazala kao ključna jer ne meri samo trenutne performanse, već i trajnu stabilnost ponašanja, što je od presudne važnosti za kompanije sa velikim voznim parkovima.

Ipak, implementacija ovakvih sistema suočava se sa određenim izazovima. Pre svega, potrebno je obezbediti pouzdanost senzorskih podataka i robustnost telekomunikacionih kanala u različitim uslovima eksploatacije. Drugi važan izazov odnosi se na privatnost i transparentnost algoritama – vozači moraju imati uvid u način na koji se ocene izračunavaju kako bi se izbeglo narušavanje poverenja i subjektivni osećaj nepravde. Dodatno, sistem mora biti dovoljno prilagodljiv da uzme u obzir kontekstualne faktore poput težine tereta, tipa rute, saobraćajnih uslova i vremenskih prilika, jer ti elementi direktno utiču na parametre vožnje.

Buduća istraživanja mogu se usmeriti na unapređenje algoritamskog modela ocenjivanja integracijom tehnika mašinskog učenja i veštačke inteligencije, čime bi se omogućilo automatsko prilagođavanje pondera i granica ocena različitim vozilima i uslovima saobraćaja. U razmatranje treba uključiti uticaj mase tereta, saobraćajnih uslova, vremenskih uslova, kao i uzdužnog nagiba puta. Potencijal leži i u razvoju personalizovanih preporuka za vozače, gde bi sistem, na osnovu prethodnih obrazaca vožnje, generisao individualne savete za poboljšanje performansi.

## 5. Zaključak

Primena IoT u sistemima ocenjivanja i nagrađivanja vozača predstavlja važan iskorak ka digitalnoj transformaciji transportnog sektora. Integracijom senzorskih uređaja, komunikacionih mreža i inteligentnih algoritama, moguće je kontinuirano prikupljati i analizirati podatke o ponašanju vozača u realnom vremenu. Time se omogućava objektivno i transparentno ocenjivanje vožnje, što doprinosi smanjenju potrošnje goriva, povećanju bezbednosti, kao i racionalnijem korišćenju resursa. Predloženi model, pokazuje da je moguće kvantifikovati stil vožnje prikupljanjem parametara iz vozila. Kombinovanjem ovih parametara dobija se objektivna ocena vožnje koja predstavlja osnovu za dodelu nagrada i podsticaja. Prednosti ovakvog pristupa ogledaju se u njegovoj prilagodljivosti i mogućnosti implementacije u različitim operativnim uslovima. Nagrađivanje vozača koji dosledno primenjuju principe eko-vožnje, bilo kroz individualne bonuse ili grupne stimulacije, stvara kulturu odgovornosti i saradnje unutar organizacije, dok se istovremeno podstiče održivo poslovanje.

Razvoj ovakvih sistema doprinosi stvaranju pametnog i bezbednog transportnog okruženja u kojem su tehnologija i ljudski faktor međusobno povezani. IoT-bazirani modeli evaluacije vožnje predstavljaju pouzdan temelj za buduće integracije sa veštačkom inteligencijom, mašinskim učenjem i blockchain-om, čime će se dodatno unaprediti tačnost, poverenje i motivacioni efekti sistema. Takvi pristupi ne samo da optimizuju troškove i povećavaju efikasnost, već i promovišu održivu kulturu vožnje – što je ključno za dugoročni razvoj savremenog transporta.

## Literatura

- [1] Maji, A., Shah, A., & Ghosh, I. (2025). Development of a driver safety reward system incorporating You Only Look Once (YOLO)-based traffic violation detection at roundabouts under highly heterogeneous traffic. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. DOI: 10.1177/03611981251343614
- [2] Elias, W. (2021). The effectiveness of different incentive programs to encourage safe driving. *Sustainability*, 13(6), 3398. DOI:10.3390/su13063398
- [3] Pentland, A., & Shmueli, E. (2018). *Incentivizing safer driving using peer-pressure* (MITR25-12). Massachusetts Institute of Technology
- [4] Meyer, L., Goedhals-Gerber, L. L., & De Bod, A. (2025). A systematic review of incentive schemes and their implications for truck driver safety performance. *Journal of Safety Research*, 92, 166–180. DOI:10.1016/j.jsr.2024.11.023

- [5] Jachimczyk, B., Wróbel, K., & Kmiec, M. (2018). IoT On-Board System for Driving Style Assessment. *Sensors*, 18(2), 403. DOI:10.3390/s18020403
- [6] Mattioli, V., et al. (2024). IoT-Based Assessment of a Driver's Stress Level. *Sensors*, 24(17), 5479. DOI:10.3390/s24175479
- [7] Amaxilatis, D., Tselios, C., Akrivopoulos, O., & Chatzigiannakis, I. (2019). On the design of a fog computing-based, driving behaviour monitoring framework. 2019 IEEE 24th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), 1–6. DOI:10.1109/CAMAD.2019.8858432
- [8] Ho, Y. J., et al. (2022). Is it all about you or your driving? Designing IoT-enabled risk assessments in auto-insurance. *Production and Operations Management*. DOI:10.1111/poms.13816
- [9] Karrouchi, M., Messaoudi, A., Kassmi, K., Nasri, I., & Atmane, I. (2023). Intelligent driver monitoring system: An Internet of Things-based system for tracking and identifying the driving behavior. *Computer Standards & Interfaces*, 84, 103704. DOI:10.1016/j.csi.2022.103704
- [10] Rudrusamy, B., Teoh, H. C., Pang, J. Y., Lee, T. H., & Chai, S. C. (2023). IoT-based vehicle monitoring and driver assistance system framework for safety and smart fleet management. *International Journal of Integrated Engineering*, 15(1), 391–403. DOI:10.30880/ijie.2023.15.01.035
- [11] Meyer, L., Goedhals-Gerber, L. L., & De Bod, A. (2025). A systematic review of incentive schemes and their implications for truck driver safety performance. *Journal of Safety Research*, 92, 166–180. DOI:10.1016/j.jsr.2024.11.023
- [12] Abbas, Q., & Alsheddy, A. (2021). Driver Fatigue Detection Systems Using Multi-Sensors, Smartphone, and Cloud-Based Computing Platforms: A Comparative Analysis. *Sensors*, 21(1), 56. DOI:10.3390/s21010056
- [13] Zdravković, S., Vujanović, D., Stokić, M., & Pamučar, D. (2021). Evaluation of professional driver's eco-driving skills based on type-2 fuzzy logic model. *Neural Computing and Applications*, 33(18), 11541–11554. DOI:10.1007/s00521-021-05823-z

**Abstract:** *The concept of sustainable transport represents a central topic in modern transportation and logistics systems, particularly regarding cost reduction and the decrease of harmful gas emissions. Driver reward systems offer significant advantages over traditional approaches, which often rely on vehicle monitoring and penalizing drivers for speeding. Such systems can create a hostile atmosphere of fear and resistance among drivers, whereas reward-based models focus on motivating drivers to adhere to speed limits and drive efficiently. In this way, drivers are encouraged to develop responsible driving habits, which simultaneously reduces the risk of accidents. This paper explores and analyzes existing driver reward systems, examining driving efficiency and motivation, and identifies key directions for their further development. Based on the application of IoT, the study proposes a driver assessment and reward system that evaluates driving efficiency. An additional contribution of this research is identifying a long-term strategy that motivates drivers by focusing on sustainable development and adaptability in a rapidly changing business environment.*

**Keywords:** *driver reward systems, driving assessment, IoT*

## **DEVELOPMENT OF A DRIVER ASSESSMENT AND REWARD SYSTEM USING IoT**

Stefan Zdravković, Marko Stokić



## **ORGANIZACIONA REKONFIGURACIJA POŠTANSKIH OPERATORA U EVROPI U SKLADU SA BUDUĆIM TRŽIŠNIM I TEHNOLOŠKIM TRENDOVIMA**

Nikola Knežević, Miloš Milenković, Nebojša Bojović  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,  
[n.knezevic@sf.bg.ac.rs](mailto:n.knezevic@sf.bg.ac.rs), [m.milenkovi@sf.bg.ac.rs](mailto:m.milenkovi@sf.bg.ac.rs), [nb.bojovic@sf.bg.ac.rs](mailto:nb.bojovic@sf.bg.ac.rs)

**Rezime:** *Poštanski sektor prolazi kroz duboku transformaciju pod uticajem digitalizacije, promenjenih očekivanja korisnika i ekoloških zahteva. Pad pismonosnih pošiljaka, rast e-trgovine, kao i pritisci finansijske održivosti, regulative i potreba za smanjenjem negativnih uticaja na životnu sredinu, čine jezgro izazova koji zahtevaju nove poslovne modele zasnovane na AI, IoT i automatizaciji. Evropski operatori poslednjih godina prelaze na fleksibilne, višeslojne i platformске strukture koje povezuju logistiku, finansije, digitalne i javne usluge. Za Poštu Srbije preporučuje se model višeslojne platforme koji uključuje poštansko-logističke, digitalne, finansijske, javno-servisne i inovacione funkcije radi povećanja efikasnosti, otpornosti i društvene vrednosti.*

**Ključne reči:** *strukturna transformacija, održivost, višeslojna struktura,*

### **1. Uvod**

Poštanski sektor u Evropi i Srbiji suočava se sa dubokom strukturnom transformacijom uzrokovanom tehnološkim napretkom, promenama u ponašanju korisnika, rastućom konkurencijom u segmentu paketskih usluga i ekološkim zahtevima. Pad obima pismonosnih pošiljaka, pritisci finansijske održivosti i regulative, kao i potreba za dekarbonizacijom, nameću potrebu za redefinisanjem tradicionalnog modela poslovanja. Istovremeno, tehnološke inovacije poput veštačke inteligencije (AI), interneta stvari (IoT) i automatizacije, zajedno sa rastom elektronske trgovine, otvaraju mogućnosti za razvoj novih poslovnih modela i povećanje vrednosti za korisnike i društvo.

Studija Evropske komisije prepoznaje pet scenarija budućeg razvoja poštanskog sektora do 2040. godine – od postepene evolucije i platformizacije usluga do scenarija ekološke discipline i društvene misije pošte. Zajedničko im je prelazak sa linearnih na integrisane, digitalne i održive modele poslovanja. Savremeni evropski poštanski operatori (La Poste Groupe, Deutsche Post DHL Group, Poste Italiane, PostNL) već primenjuju organizacione modele koji kombinuju tržišnu agilnost i javni interes: višeslojne platforme, segmentaciju po vertikalama, zajedničke servise i inovacione hubove.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom delu prikazana se osnovne karakteristike poštanskog sektora kao i prikaz mogućih putanja poštanskog sektora u Evropi do 2040. godine. Treći deo posvećen je pregledu organizacionih modela poštanskih operatora u Evropi. U četvrtom delu dat su preporuke za organizacionu transformaciju Pošte Srbije. Na kraju rada data su zaključna razmatranja.

## **2. Budućnost poštanskog sektora**

Poštanski sektor, nekada stub komunikacije i trgovine, prolazi kroz duboku strukturnu promenu pod uticajem tehnološkog napretka, promenjenih očekivanja korisnika, jačanja konkurencije u paketskim uslugama i rastućih ekoloških zahteva. Opadajući obim pismonosnih pošiljaka, pritisci finansijske održivosti i regulative, kao i potreba za smanjenjem negativnih uticaja na životnu sredinu, čine jezgro izazova. Istovremeno, inovacije (AI, IoT, automatizacija), partnerstva sa e-trgovinom i diverzifikacija portfolija otvaraju prostor da poštanske organizacije redefinišu ulogu i stvore novu vrednost za korisnike, zajednice i privredu.

Kao glavni pokretači promena u poštanskom sektoru mogu se izdvojiti sledeće karakteristike:

- Obim pismonosnih pošiljaka je u konstantnom padu, u EU u periodu 2017-2021. godine prosečno 6 % godišnje [1].
- Nasuprot tome, paketi i sektor elektronske trgovine brzo rastu (oko 14,6% godišnje u periodu 2017-2021. godina) [1].
- Digitalizacija i automatizacija (sortiranje, rute, praćenje) postaju imperativ. [6]
- Održivost i „zelena logistika” su sve važniji (električni vozni park, optimizacija rute) [7]
- Pritisak na univerzalnu poštansku uslugu i troškove fiksne infrastrukture u uslovima pada prihoda od pisama. [1].

Skorašnje istraživanje Evropske komisije pretpostavlja pet scenarija razvoja poštanskog sektora u EU do 2040. godine koji mapiraju moguće putanje sektora i pomažu u oblikovanju prilagodljivih strategija. [4]:

1. Scenario 1 (Bazični scenario) obuhvata najverovatniji razvoj osnovnih pokazatelja performansi (tražnja, cena, finansijski pokazatelji, konkurencija, zaposlenost, pristup, pokrivenost i drugi) na osnovu njihovih aktuelnih kretanja;
2. Scenario 2 (Eskalacija polikrizi) uzima u obzir potencijalne efekte neočekivanih kriza koje dovode do dramatičnih promena u poštanskom sektoru. Pogoršanje klime, tržišta i društveno-političkog poretka po ovom scenariju bi izvršilo pritisak na tražnju za poštanskim uslugama i na poslovanje poštanskih kompanija;
3. Scenario 3 (Platforme redefinišu poštu) zasnovan je na globalnim tehnološkim platformama koje raspolazu velikim količinama podataka i koje su proširive po veličini i obimu;
4. Scenario 4 (Post-karbonska disciplina) zasniva se na problemu zaštite životne sredine kao primarnoj temi i pokretačkoj snazi svih strategija razvoja poštanskog sektora;

5. Scenario 5 (Pošta društvene vrednosti) podrazumeva fokus pružalaca poštanskih univerzalnih poštanskih usluga na društvene funkcije.

### **Bazični scenario**

Glavna karakteristika bazičnog scenarija jeste postepena evolucija sektora kroz intenzivniju integraciju i saradnju poštanskih i logističkih operatora, zasnovanu na razvoju multimodalnog transporta i zajedničkih mreža paketomata. Proces standardizovane elektrifikacije voznog parka postaje široko rasprostranjen, dok se modeli dostave „out-of-home“ (OOH) brzo šire ka maloprodajnim objektima, radnim mestima i saobraćajnim čvorištima, kao održiva alternativa tradicionalnoj dostavi „do vrata“. U gusto naseljenim urbanim zonama postepeno se prelazi na grupne isporuke kako bi se smanjili troškovi i zagušenja u saobraćaju. Pismanasna pošta zadržava usku, pretežno javnu ulogu, dok se klasična marketinška pisma sve više zamenjuju hiperpersonalizovanim digitalnim marketingom, čime se tradicionalni komunikacioni modeli transformišu u potpuno digitalizovane oblike interakcije sa korisnicima

Implikacije za JPO obuhvataju nužnost strateškog preusmeravanja kapaciteta sa tradicionalnih poštanskih usluga ka rastućem segmentu paketa i modelima dostave „van mesta stanovanja“, što podrazumeva intenzivniju saradnju sa partnerskim maloprodajnim lancima i lokalnim samoupravama u uspostavljanju punktova za preuzimanje pošiljaka. Istovremeno, elektrifikacija voznog parka i optimizacija ruta postaju ključni instrumenti za smanjenje operativnih troškova i ekološkog otiska, iako u početnoj fazi zahtevaju značajna ulaganja. U okviru racionalizacije poslovanja, posebno u domenu pisama, primena *lean* principa i digitalizacija procesa omogućavaju očuvanje kvaliteta usluge uz smanjenje resursa. Ukupno gledano, ove transformacije vode ka fleksibilnijoj, efikasnijoj i održivijoj organizaciji JPO, sposobnoj da odgovori na izmenjene potrebe tržišta i korisnika.

### **Eskalacija polikrizi**

Sušтина je da kombinacija klimatskih rizika i fragmentacije digitalnog prostora („splinternet“) podriva globalnu i regionalnu interoperabilnost, dovodi do prekida lanaca snabdevanja i pojačava urbana zagušenja. Kao posledica, kvalitet poštanskih i logističkih usluga opada usled nepouzdanih saobraćajnica i sve češćih ekstremnih vremenskih događaja, dok periodične nestašice i panične kupovine uzrokuju nagle oscilacije potražnje. Istovremeno, sindikalni otpor usporava uvođenje fleksibilnijih modela rada neophodnih za prilagođavanje novim tržišnim uslovima, dok kapitalno snažni privatni operateri preuzimaju dominaciju u sektoru paketa. U pojedinim državama, kao rezultat finansijskih i organizacionih pritisaka, obim univerzalne poštanske usluge svodi se na minimalni nivo, što dodatno ugrožava pristupačnost i inkluzivnost komunikacione infrastrukture

Promene kod JPO podrazumevaju potrebu za jačanjem rezilijentnosti kroz ulaganja u otpornu infrastrukturu, planove kontinuiteta poslovanja i razvoj „climate-proof“ procesa koji omogućavaju stabilno funkcionisanje i u uslovima klimatskih i tržišnih poremećaja. Ključnu ulogu ima kooperacija sa privatnim operatorima kroz zajednička ulaganja u digitalne platforme, standarde interoperabilnosti i logističku infrastrukturu, čime se obezbeđuje efikasnija upotreba resursa i veća održivost sistema.

Istovremeno, neophodno je formirati fleksibilnu i digitalno osposobljenu radnu snagu, uz veću primenu automatizacije radi ublažavanja šokova u potražnji i stabilizacije operativnih kapaciteta. Na finansijskom planu, fokus se premešta ka precizno ciljanom smanjenju troškova, automatizaciji logističkih procesa i prilagođavanju obima univerzalne poštanske usluge realnim mogućnostima i potrebama tržišta.

### **Platforme redefinišu poštu**

Osnovno polazište je da tehnološke platforme zasnovane na veštačkoj inteligenciji (AI), internetu stvari (IoT), data-driven optimizaciji i 3D/4D štampi transformišu poštansko-logistički sektor u model „Sve-kao-uslugu“ (*Everything-as-a-Service*), omogućavajući personalizovane isporuke, dinamično određivanje cena i prilagođavanje usluga u realnom vremenu. Dominantne e-commerce platforme razvijaju složene „omnikanalne“ ekosisteme kojima preuzimaju kontrolne tačke korisničkog iskustva, povezujući maloprodaju, logistiku i digitalne servise u jedinstven tok vrednosti. Autonomna i multimodalna mobilnost, uključujući dronove u ruralnim područjima i automatizovana vozila u urbanim zonama, zajedno sa real-time analitikom, omogućavaju bržu, precizniju i energetski efikasniju isporuku. U takvom okruženju, pitanja privatnosti, bezbednosti i zaštite podataka postaju ključni regulatorni i etički okvir održivog razvoja poštanske i logističke infrastrukture..

Implikacije za JPO obuhvataju duboku tehnološku integraciju kroz primenu veštačke inteligencije (AI) za prognozu obima pošiljaka, optimizaciju teritorijalne pokrivenosti i precizno određivanje vremena isporuke (ETA), kao i korišćenje interneta stvari (IoT) i tagovanja radi transparentnog praćenja pošiljaka u realnom vremenu. Ključan pravac razvoja predstavlja uspostavljanje partnerstava sa e-commerce i logističkim platformama u oblastima fulfillmenta, povrata i preprodaje, uz uvođenje otvorenih API-ja i zajedničkih mreža paketomata koji podstiču interoperabilnost i smanjenje troškova. Inovacije u portfoliju proizvoda uključuju razvoj hibridnih usluga koje kombinuju lokalnu 4D izradu i isporuku, dinamično formiranje tarifa i vremenskih slotova isporuke prilagođenih korisnicima. Na planu radne snage, dolazi do prelaska sa tradicionalnih formi zapošljavanja ka digitalno podržanom, projektno orijentisanom angažmanu koji zahteva nove veštine, agilnost i sposobnost rada u integrisanim, tehnološki posredovanim okruženjima.

### **Post-karbonska disciplina**

Ovaj scenario se bazira na tome da klimatski ekstremi ubrzavaju sprovođenje Zelenog dogovora i podstiču strukturne promene u logističkim i poštanskim lancima vrednosti. Proces „on-shoringa“ proizvodnje i skraćivanja lanaca snabdevanja, u kombinaciji sa visokim porezima na emisije CO<sub>2</sub> i ograničenjima u avio-transportu, menja ekonomsku logiku isporuka i dovodi do pada obima B2C paketa male vrednosti, dok istovremeno raste značaj C2C pošiljaka i modela ekonomije deljenja. Usluge besplatnih povrata i dostave „od vrata do vrata“ postaju sve ređe i rezervisane za premium segmente, dok se konsolidovane, ređe i odložene isporuke sa niskim emisijama pretvaraju u novi tržišni i regulatorni standard održivog poslovanja.

Smernice za JPO podrazumevaju intenzivno sprovođenje dekarbonizacije kroz elektrifikaciju voznog parka, uvođenje principa „green procurement“ u nabavku i razvoj

nisko-karbonske infrastrukture zasnovane na obnovljivim izvorima energije. Modeli dostave transformišu se ka konsolidovanim rutama i redim, ali energetski efikasnijim isporukama, uz jačanje „out-of-home“ (OOH) kanala kao što su paketomati, lokalne prodavnice i zajednički punktovi za preuzimanje pošiljaka. U domenu javnih politika, JPO sve više integriše svoje delovanje sa lokalnim režimima cirkularne ekonomije kroz podršku popravkama, reciklaži i sekundarnim tržištima, čime doprinosi produženju životnog ciklusa proizvoda i smanjenju otpada. Paralelno, digitalizacija procesa omogućava potpuno transparentno praćenje pošiljaka i razvoj servisnih platformi koje povezuju korisnike, partnere i institucije u jedinstven, održiv i podatkovno zasnovan ekosistem.

### **Pošta društvene vrednosti**

Srž ovog scenarija je da javni interes, inkluzija i održivost postaju centralni stubovi razvoja poštanskog sistema, čime se mreža filijala transformiše iz tradicionalne infrastrukturne baze u multifunkcionalne centre javnih usluga. Poštanske filijale prerastaju u e-upravne šalter-centre, punktove za sprovođenje socijalnih programa poput banaka hrane, mikro-data centre i centre za zaštitu digitalnih prava građana. Dostavljači primaju novu društvenu ulogu – postaju aktivni akteri u podršci lokalnim zajednicama, programima preventivnog zdravlja i sprovođenju lokalnih klimatskih inicijativa, čime pošta postaje produžena ruka javne politike na terenu. Visoka digitalna pismenost stanovništva i napredne komunikacione mreže omogućavaju širok pristup e-javnim uslugama, dok sindikati, kao aktivni partneri u procesu tranzicije, imaju ključnu ulogu u organizovanju programa prekvalifikacija i očuvanju socijalne kohezije u procesu digitalne transformacije.

Implikacije za JPO odnose se na stratešku diversifikaciju misije poštanskog operatora, pri čemu mreža filijala postaje instrument za pružanje „usluga od opšteg javnog interesa“, uključujući e-upravne servise, digitalne i socijalne funkcije na lokalnom nivou. Ova transformacija zahteva razvoj novih kompetencija zaposlenih – od korišćenja AI-asistencije u radu sa korisnicima, preko upravljanja i analize podataka, do održavanja automatizovanih i robotskih sistema koji postaju sastavni deo savremene poštanske infrastrukture. Paralelno, neophodno je intenzivirati saradnju sa evropskim i međunarodnim telima za standardizaciju, kao što su CEN i srodne organizacije, radi ubrzanog prelaska na zajedničke tehničke norme i interoperabilne sisteme koji obezbeđuju usklađenost, efikasnost i pouzdanost javnog poštanskog servisa u digitalnoj i zelenoj tranziciji.

### **3. Modeli organizacione rekonstrukcije evropskih poštanskih operatora**

Evolucija tržišta i tehnološke promene poslednjih godina dovele su do redefinisanja organizacionih modela poštanskih operatora širom Evrope. Umesto tradicionalnih hijerarhijskih struktura zasnovanih na monolitnim funkcionalnim odeljenjima, savremeni operatori prelaze na fleksibilne, višeslojne i platformski orijentisane organizacione pristupe koji omogućavaju bržu prilagodljivost, diversifikaciju i održiv rast.

Nekoliko organizacionih modela se mogu izdvojiti kao dominantni modeli koji se primenjuju ili razvijaju u okviru evropskog poštanskog prostora:

1. Multiaktivni holding / „platforma grupa“ – Pošta se transformiše u grupu više poslovnih stubova (npr. pošta i paketi, logistika, digitalne i finansijske usluge), sa decentralizovanom operativnom autonomijom i centralizovanim strateškim funkcijama. Primeri uključuju La Poste Groupe i Deutsche Post DHL Group, koji primenjuju model više biznis-divizija uz zajednički korporativni centar.
2. Segmentacija po tržišnim vertikalama – Klasična pismonosna pošta zadržava regulatorni karakter, dok se segmenti paketa, e-trgovine i digitalnih servisa razvijaju kao tržišno konkurentni entiteti. PostNL i DHL Group uvode zasebne poslovne linije za e-commerce i platforme, usklađene sa promenama u ponašanju korisnika i rastom međunarodnih tržišta.
3. „Connecting platform“ pristup – Pošta se pozicionira kao integrisana nacionalna platforma koja povezuje logistiku, finansije, telekomunikacije i javne usluge. *Poste Italiane* kroz strategiju *The Connecting Platform* (2024–2028) povezuje svoje delatnosti u jedinstven servisni ekosistem, zasnovan na digitalnim kanalima i *SuperApp* konceptu.
4. Filijale kao multi-servisna javna infrastruktura – Mreža poštanskih filijala se transformiše u multifunkcionalne habove za e-upravu, finansijske i socijalne programe, digitalne servise i lokalne ekonomske inicijative. Projekat Polis italijanske pošte predviđa više hiljada digitalnih centara u ruralnim opštinama, čime se pošta reafirmiše kao temelj javnog interesa i inkluzije.
5. Ekosistemski / „asset-light“ model – Umesto potpunog vlasništva nad resursima, operatori ulaze u strateška partnerstva i zajedničke platforme, deleći troškove i pristup tržištima. PostNL razvija „Platforms“ segment sa partnerskim fulfillment mrežama, dok DHL Group kroz saradnju sa Evri u UK stvara hibridne platforme visokog obima.
6. *Shared services* i *Global Business Services* (GBS) model – Ključne podržavajuće funkcije (IT, HR, finansije, analitika) centralizuju se u zajedničke službe koje opslužuju sve poslovne jedinice. Ovaj model omogućava standardizaciju, integraciju AI rešenja i povećanje efikasnosti, kako to čini *Deutsche Post DHL Group* kroz GBS jedinice i *Customer Solutions & Innovation* centar.
7. Agilne digitalne jedinice i inovacioni habovi – Formiraju se posebne digitalne i inovacione jedinice koje rade po agilnim principima, razvijajući nove proizvode, digitalne platforme i servise izvan tradicionalnih poštanskih okvira. La Poste Groupe i Poste Italiane već su institucionalizovale takve digitalne „hubove“ kao deo svoje korporativne arhitekture.

Ključne karakteristike, primeri operatora, kao i usklađenost budućim tržišnim i tehnološkim trendovima za modele organizacione rekonstrukcije poštanskih operatora dati su u Tabeli 1.

Ono što je zajedničko za sve ove modele ja doni potvrđuju prelazak poštanskih operatora sa statičnih javnih sistema na dinamične, mrežno povezane i tehnološki integrisane organizacije. Njihova zajednička karakteristika jeste sposobnost da kombinuju javnu misiju i tržišnu konkurentnost, uz istovremeno očuvanje inkluzivnosti, otpornosti i održivosti kao temelja modernog poštanskog ekosistema.

**Tabela 1. Modeli organizacione rekonstrukcije evropskih poštanskih operatera**

| <i>Model</i>                                            | <i>Glavne karakteristike</i>                                                                                                                                        | <i>Primeri operatera</i>                                  | <i>Usklađenost sa budućim trendovima</i>                                                                                        |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Multiaktivni holding „platforma grupa“</i>           | Više poslovnih stubova (pošta i paketi, logistika, digitalne i finansijske usluge); decentralizovana operativna autonomija uz centralizovano strateško upravljanje. | <i>La Poste Groupe, Deutsche Post DHL Group</i>           | Omogućava diverzifikaciju rizika, fleksibilnost prema tržištu i stabilnost poslovanja u uslovima digitalne i zelene tranzicije. |
| <i>Segmentacija po tržišnim vertikalama</i>             | Odvajanje tradicionalne pošte od tržišno vođenih segmenata e-commerce i platformi; jasna podela odgovornosti i performansi.                                         | <i>PostNL, DHL Group</i>                                  | Usklađuje poslovanje sa promenama korisničkog ponašanja i rastom onlajn trgovine; povećava efikasnost i prilagodljivost.        |
| <i>„Connecting platform“ pristup</i>                    | Pošta kao integrisana nacionalna platforma koja povezuje logistiku, finansije, osiguranje, telekomunikacije i javne usluge; SuperApp i digitalni kanali.            | <i>Poste Italiane (The Connecting Platform 2024–2028)</i> | Podržava razvoj digitalne ekonomije i integraciju javnih i komercijalnih servisa; povećava društvenu vrednost pošte.            |
| <i>Filijale kao multi-servisna javna infrastruktura</i> | Transformacija poštanskih filijala u e-upravne, socijalne i digitalne centre; uključivanje lokalnih zajednica i partnerstava.                                       | <i>Poste Italiane – Polis Project</i>                     | Jača javnu ulogu pošte, inkluziju i pristup digitalnim uslugama u ruralnim i ranjivim sredinama.                                |
| <i>Ekosistemski / „asset-light“ model</i>               | Partnerstva, zajedničke platforme i outsourcing; smanjenje kapitalne zahtevnosti i povećanje tržišnog doseg.                                                        | <i>PostNL, DHL Group / Evri (UK)</i>                      | Povećava agilnost, smanjuje troškove, olakšava ulazak u nova tržišta i ubrzava digitalnu integraciju.                           |
| <i>Shared services / global business services (gbs)</i> | Centralizovane horizontalne funkcije (IT, HR, finansije, analitika) koje podržavaju sve divizije; standardizacija procesa i uvođenje AI.                            | <i>Deutsche Post DHL Group</i>                            | Omogućava integraciju tehnologija, ujednačen kvalitet usluga i smanjenje operativnih troškova kroz digitalnu efikasnost.        |
| <i>Agilne digitalne jedinice i inovacioni habovi</i>    | Posebne organizacione celine za digitalne inovacije, razvoj novih servisa i eksperimentisanje sa tehnologijama; rad po agilnim principima.                          | <i>La Poste Groupe, Poste Italiane</i>                    | Podstiče inovativnost, ubrzava razvoj novih proizvoda i digitalnih platformi, jača konkurentnost u AI i data-driven okruženju.  |

#### **4. Preporuke za organizaciono prilagođavanje Pošte Srbije**

Organizaciona transformacije Pošte Srbije u skladu sa budućim tržišnim i tehnološkim trendovima trebala bi da se zasniva se na konceptu višeslojne platforme koja objedinjuje ključne funkcije poštanskog sistema – logističke, digitalne, finansijske, javno-servisne i inovacione – u jedinstven, ali fleksibilan okvir. Suština ovog modela jeste prelazak sa tradicionalne linearne strukture na modularnu organizaciju koja omogućava veću prilagodljivost, diverzifikaciju prihoda i otpornost na tržišne i tehnološke promene.

**Prvi poslovni stub – Poštanske i logističke usluge** – predstavlja osnovu celokupnog sistema i obuhvata konsolidovanu mrežu za pakete i pisma optimizovanu po modelima D+2 i D+3. Ovaj stub integriše regionalne *fulfillment* centre i partnerske mreže, i na taj način bi se osigurali kraće rokovi dostave i veća logistička pokrivenost. Ključne tehnološke kompetencije uključuju automatizaciju sortiranja, IoT praćenje pošiljaka, elektrifikovanu flotu i primenu veštačke inteligencije (AI) u planiranju ruta i predviđanju obima. Ovim se postiže veća operativna efikasnost, smanjenje troškova i znatno niži ekološki otisak.

**Drugi stub – Digitalne i komunikacione usluge** – obuhvata razvoj digitalne infrastrukture i servisa kojima Pošta Srbije postaje deo nacionalnog digitalnog ekosistema. Ključne funkcije odnose se na e-dostavu dokumenata, digitalni identitet i potpis, sigurni klad i mikro-data centre, kao i blisku saradnju sa eUpravom. Ovaj segment zahteva primenu AI i Blokčejn tehnologija radi obezbeđenja bezbednosti i integriteta podataka, kao i punu interoperabilnost sa državnim informacionim sistemima, što Pošti daje ulogu pouzdanog digitalnog posrednika.

**Treći stub – Finansijske i platne usluge (*FinTech hub*)** – usmeren je na proširenje prisustva Pošte na tržištu finansijskih servisa. On uključuje mikrofinansiranje, platne usluge, digitalne novčanike i servise za dijasporu i lokalne zajednice, čime se doprinosi finansijskoj inkluziji stanovništva. Ovaj stub počiva na integrisanim API sistemima, usklađenosti sa PSD2 standardom, mobilnim aplikacijama i naprednim CRM platformama, što omogućava konkurentno pozicioniranje u segmentu digitalnog bankarstva i platnih rešenja.

**Četvrti stub – Javne i inkluzivne usluge („*Polis hub*“)** – pretvara poštanske filijale u lokalne multifunkcionalne centre. U okviru njih bi se pružale e-upravne i socijalne usluge, sprovodili programi digitalne edukacije i inicijative od javnog značaja poput banaka hrane ili lokalnih klimatskih projekata. Ovaj koncept zahteva interoperabilne informacione sisteme i tesnu saradnju sa lokalnim samoupravama, čime Pošta postaje ključni instrument teritorijalne i digitalne kohezije.

**Peti stub – Inovacije i razvoj (*Digital & Green Lab*)** – čini centralnu tačku buduće transformacije Pošte Srbije. Njegov zadatak je razvoj i testiranje novih proizvoda i tehnologija, uključujući upotrebu dronova, 4D štampe, automatizovanih procesa i cirkularnih ekonomskih modela. Ova jedinica funkcioniše po agilnim metodama rada, u partnerstvu sa univerzitetima, tehnološkim institutima i startap zajednicom, što omogućava brzo usvajanje inovacija i njihovu primenu u praksi.

**Funkcije podrške** (IT, finansije, HR, nabavke i održivi razvoj) treba organizovati kao horizontalne funkcije koje podržavaju sve poslovne stubove (*Shared Services*) Time se postiže standardizacija procesa, veća efikasnost, bolja kontrola troškova i mogućnost implementacije AI rešenja na nivou celog sistema.

Takođe, jedna od preporuka je i prelazak sa čisto teritorijalne podele na **funkcionalno-regionalni model**, u kojem bi regioni imali operativnu autonomiju u: planiranju dostave i mreže punktova (OOH mreža), saradnji sa lokalnim samoupravama i maloprodajnim lancima, primeni lokalnih programa cirkularne ekonomije i digitalne pismenosti. Regionalne direkcije bi mogle postati centri za razvoj usluga (npr. Novi Sad – e-commerce, Niš – logistika, Kragujevac – AI analitika). Na taj način bi se jačao regionalni balans i povećala operativna agilnost.

Svaki poslovni stub funkcioniše kao poluautonomna celina sa jasnim zadacima, odgovornostima i performansnim indikatorima dok zajedničke, horizontalne funkcije



(IT, finansije, HR, održivi razvoj) obezbeđuju sinergiju i standardizaciju procesa na nivou celog sistema.

Kombinovanjem ovih pet stubova u jedinstven, integrisani sistem, Pošta Srbije dobija strukturnu fleksibilnost, tehnološku agilnost i stratešku otpornost potrebnu za konkurentno delovanje u periodu digitalne i zelene transformacije. Višeslojna platforma omogućava istovremeno očuvanje javnog interesa, proširenje tržišnog potencijala i izgradnju održive komunikacione i logističke infrastrukture 21. veka.

## 5. Zaključak

Budućnost poštanskog sektora u Evropi i Srbiji oblikuje se na preseku tehnološke transformacije, tržišnih promena i društvene odgovornosti. U uslovima pada obima pismonosnih pošiljaka, rasta e-trgovine i rastućih ekoloških zahteva, poštanski operatori više ne mogu opstati u okviru tradicionalnih modela poslovanja. Pet evropskih scenarija razvoja do 2040. godine jasno ukazuju da će opstanak i održivost javnih poštanskih sistema zavisiti od njihove sposobnosti da se pravovremeno digitalizuju, diversifikuju i ekološki transformišu, pri čemu javni interes ostaje središnja misija.

Poštanski sektor se kreće od linearnog i hijerarhijskog ka platformskom i mrežno integrisanom modelu, gde se vrednost stvara kroz saradnju, podatke i interoperabilnost. Evropski operatori poput *La Poste Groupe*, *Deutsche Post DHL Group*, *Poste Italiane* i *PostNL* već su prešli na višeslojne, modularne organizacione strukture u kojima su poslovni stubovi jasno definisani, a horizontalne funkcije (IT, finansije, HR, inovacije) standardizovane i centralno upravljane. Ovi modeli omogućavaju veću fleksibilnost, brže usvajanje tehnologija i održiviji rast u skladu sa zelenom i digitalnom agendom EU.

Za Poštu Srbije to znači da mora evoluirati u integrisanu komunikaciono-logističku platformu koja objedinjuje poštanske, digitalne, finansijske, inovacione i javno-servisne funkcije u jedinstven sistem. Takva transformacija zahteva ulaganja u automatizaciju, elektrifikaciju i digitalnu infrastrukturu, jačanje partnerstava sa sektorom elektronske trgovine, uvođenje novih finansijskih i e-upravnih servisa, te razvoj novih veština zaposlenih.

Istovremeno, Pošta mora zadržati socijalnu i teritorijalnu funkciju, postajući stub digitalne inkluzije i održivog razvoja zajednica. Implementacijom modela „višeslojne platforme“ i uspostavljanjem pet strateških stubova (logistika, digitalne usluge, finansije, javne funkcije i inovacije), Pošta Srbije može postati moderan, konkurentan i društveno relevantan javni operator, sposoban da povezuje građane, privredu i državu u digitalnom dobu.

Budućnost poštanskog sektora, i u Evropi i u Srbiji, pripada onim organizacijama koje uspešno kombinuju tehnološku agilnost, zelenu održivost i javni interes.

## Literatura

- [1] CE Copenhagen Economics, “Main developments in the postal sector (2017-2021)“, European Commission, 2022.
- [2] Deutsche Post DHL Group, Corporate Presentation, 2016.

- [3] DHL Group, Corporate Divisions, dostupno na <https://group.dhl.com/en/about-us/corporate-divisions.html>
- [4] European Commission, „Prospective study on the future of the postal sector“, 2024.
- [5] La Poste Group, „La Poste 2030 committed for you“, La Poste Group, 2021.
- [6] McKinsey & Company „Preparing post for further parcel opportunities“, McKinsey Global Institute, 2024.
- [7] MRA, Europe Postal Services Market Market Demand and Consumption Trends: Outlook 2025-2033, 2025.
- [8] Poste Italiane, „Poste Italiane 2024 – 2028 Strategic Plan The Connecting Platform“, 2024.
- [9] PostNL, „Connected to deliver what drives us all forward Breakthrough 2028“, PostNL, 2025.

**Abstract:** *The postal sector is undergoing a profound transformation driven by digitalization, shifting customer expectations, and increasing environmental demands. The decline in letter mail, the growth of e-commerce, and pressures related to financial sustainability, regulation, and the need to reduce environmental impact constitute core challenges that require new business models based on AI, IoT, and automation. In recent years, European operators have transitioned toward flexible, multilayered, and platform-based organizational structures that integrate logistics, financial, digital, and public services. For the Serbian Post, a multilayered platform model is recommended - encompassing postal-logistics, digital, financial, public-service, and innovation functions - to enhance efficiency, resilience, and overall social value.*

**Keywords:** *Structural transformation, sustainability, multilayered structure*

## **ORGANIZATIONAL RECONFIGURATION OF POSTAL OPERATORS IN EUROPE IN ACCORDANCE WITH FUTURE MARKET AND TECHNOLOGICAL TRENDS**

Nikola Knežević, Miloš Milenković, Nebojša Bojović

# **POŠTANSKI SAOBRAĆAJ, MREŽE I SERVISI**



## **DIGITALNA TRANSFORMACIJA KAO STRATEŠKI PRAVAC POŠTE SRBIJE U SVETLU STRATEGIJE UPU IZ DUBAJA**

Jovanka Šević<sup>1</sup>, Biljana Grgurović<sup>2</sup>, Slavica Radosavljević<sup>2</sup>, Jelena Milutinović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JP “Pošta Srbije”, Beograd, jovanka.sevic@posta.rs

<sup>2</sup>Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija u Beogradu-Odsek Visoka škola za  
informacione i komunikacione tehnologije,  
biljana.grgurovic@ict.edu.rs, slavica.radosavljevic@ict.edu.rs,  
jelena.milutinovic@ict.edu.rs

**Rezime:** *Digitalna transformacija, standardizacija i usklađenost sa evropskom regulativom predstavljaju ključne osnove modernizacije poštanskog sektora. Pošta Srbije, u uslovima globalizacije, tehnološkog napretka i rastućih zahteva korisnika, kontinuirano ulaže u inovacije i digitalna rešenja s ciljem povećanja efikasnosti, održivosti i konkurentnosti na tržištu. U skladu sa Strategijom Svetskog poštanskog saveza za period 2026–2029, poznatom kao Dubai ciklus, Pošta Srbije postavlja digitalnu transformaciju kao jedan od strateških prioriteta, sa posebnim akcentom na integraciju sa e-trgovinom i primenu naprednih tehnologija.*

**Ključne reči:** *digitalna transformacija, strategija, UPU*

### **1. Uvod**

Svetski poštanski savez (UPU) se suočava sa izazovima digitalizacije i rasta e-trgovine koji menjaju tradicionalne modele poslovanja. Od 2000. do 2024. obim pismonosnih pošiljaka opao je za 55%, dok je promet paketa porastao više od 500%. Ovaj fenomen „poštanskog razdvajanja“, gde prihodi poštanskog sektora ne prate rast globalnog BDP-a, pokazuje potrebu za reformama. Dok je BDP porastao 2,4 puta od 1996. do 2022, prihodi poštanskog sektora su u istom periodu porasli samo 1,8 puta, usled digitalne transformacije i promena u korisničkom ponašanju. [1]

Zabrinjavajući je i pad obima međunarodnih poštanskih usluga, posebno u oblasti pismonosnog saobraćaja, koji nagoveštava njegov potpun nestanak u narednim decenijama u slučaju da se ne sprovedu temeljne transformacije.

Uprkos rastu e-trgovine i broja paketa, poštanski operatori nisu u dovoljnoj meri iskoristili nove mogućnosti. Uspešno povezivanje poštanskog sektora sa globalnom ekonomijom zahteva inovacije, tržišnu prilagodljivost i dublju integraciju u međunarodni sistem. Izazov nije samo adaptacija, već i temeljna promena modela poslovanja sektora kako bi postao oslonac inkluzivne i održive digitalne ekonomije, koja povezuje fizički i digitalni svet.

Evropska regulativa se stalno unapređuje u skladu sa tehnološkim inovacijama i zahtevima tržišta, posebno u kontekstu e-trgovine, što dodatno naglašava potrebu za digitalnom i standardizovanom poštanskom infrastrukturom.

Digitalna transformacija, standardizacija i usklađenost sa evropskom regulativom predstavljaju tri ključna stuba razvoja poštanskog sektora.

## **2. Strateški pravci razvoja Pošte Srbije u kontekstu globalne digitalizacije i smernica UPU-a**

U okruženju koje oblikuju globalizacija, brzi tehnološki napredak i sve zahtevnije potrebe korisnika, Pošta Srbije sistematski ulaže u inovacije, digitalna rešenja i modernizaciju usluga sa ciljem povećanja efikasnosti, održivosti i konkurentnosti na regionalnom i globalnom tržištu.

Postavljanjem digitalne transformacije kao strateškog prioriteta, Pošta Srbije gradi temelje za moderan i tehnološki napredan poštanski sistem, sposoban da odgovori na savremene izazove i istovremeno očuva univerzalnu poštansku uslugu kao društvenu vrednost. Primena naprednih IKT rešenja – kao što su veštačka inteligencija, blokčejn, Big Data analitika i praćenje pošiljaka u realnom vremenu – omogućava veću efikasnost, transparentnost i personalizaciju usluga.

Prateći Strategiju Svetskog poštanskog saveza (UPU) za period 2026–2029 [2] – tzv. Dubai ciklus – Pošta Srbije usmerava svoje poslovanje ka digitalnoj transformaciji i modernizaciji usluga. Strategija predviđa reforme, povezivanje sa e-trgovinom i napredne logističke procese. Usvajanje ovog progresivnog okvira omogućava Pošti Srbije, osim što će ponuditi savremenu, digitalnu i korisnički prilagođenu poštansku uslugu, da se istovremeno pozicionira i kao odgovoran inovativan akter u međunarodnoj poštanskoj mreži.

Ubrzana digitalna transformacija nije više samo tehnološki trend, već ključni preduslov za održivost i konkurentnost poštanskog sektora, kako u Srbiji, tako i u globalnim okvirima.

Na intenzivne promene u poštanskom sektoru utiču brojni globalni trendovi, među kojima se posebno izdvajaju:

- sveobuhvatna digitalizacija komunikacija i usluga,
- rastući značaj logistike i e-trgovine,
- promene u korisničkim navikama,
- potrebu za održivim i ekološki prihvatljivim modelima poslovanja.

Paralelno s tim, sektor se suočava sa kontinuiranim padom obima tradicionalnih pošiljaka, pritiskom da poveća efikasnost i pouzdanost usluga, kao i potrebom za bržim prihvatanjem novih tehnologija i digitalnih platformi.

U tom kontekstu, posebnu ulogu ima Svetski poštanski savez (UPU) koji, kao specijalizovana agencija Ujedinjenih nacija, služi kao globalni koordinator i regulator poštanskog sektora. UPU kreira univerzalne standarde, razvija strateške smernice i pruža tehničku i savetodavnu podršku državama članicama, uključujući i Republiku Srbiju, u procesima modernizacije, digitalizacije, standardizacije i inovacija.

U procesu prilagođavanja savremenim transformacijama poštanske industrije, Pošta Srbije se oslanja na tri ključna osnova:

- strateške dokumente UPU-a, poput *Istanbul Strategy*, *Abidjan Business Plan* i *Dubai Strategy 2026–2029*, koji naglašavaju digitalnu transformaciju, jačanje logističkih kapaciteta, održivo poslovanje i integraciju poštanskih operatera u globalnu e-trgovinu;
- globalne trendove koji usmeravaju razvoj bržih, sigurnijih i personalizovanih usluga, kao i uvođenje novih digitalnih i finansijskih proizvoda;

- potrebu za usklađivanjem sa evropskim i međunarodnim regulatornim okvirima i standardima, kao i primenu najboljih praksi u oblastima kvaliteta usluga, transparentnosti i društvene odgovornosti.

Ovim pristupom definiše se jasan putokaz za razvoj Pošte Srbije kao stabilnog, inovativnog i društveno odgovornog nacionalnog operatora. Fokus je na:

- obezbeđivanju univerzalne poštanske usluge širom Republike Srbije, u skladu sa zakonom i javnim interesom;
- podršci razvoju digitalne ekonomije i e-trgovine kroz napredne logističke i tehnološke platforme;
- unapređenju održivosti i ekološke odgovornosti kroz zelene tehnologije i racionalno upravljanje resursima;
- jačanju zadovoljstva korisnika putem podizanja kvaliteta i širenja portfolija usluga;
- doslednoj primeni međunarodnih standarda i aktivnom učešću u globalnim poštanskim inicijativama.

Konačan cilj jeste kreiranje strateškog pravca koji je ostvariv, inkluzivan i prilagođen budućim izazovima, čime Pošta Srbije ostaje relevantan i konkurentan akter u digitalizovanom poštanskom ekosistemu.

### 3. Zakonski i strateški okvir

Strateški razvoj Pošte Srbije zasniva se na važećim domaćim propisima i međunarodnim aktima koji uređuju funkcionisanje poštanskog sektora. Najznačajniji među njima su:

1. **Zakon o poštanskim uslugama** – uređuje pružanje poštanskih usluga u Republici Srbiji, uključujući univerzalnu uslugu, tržišnu konkurenciju i nadzor nad operatorima [3].
2. **Zakon o javnim preduzećima** – definiše status, upravljanje i poslovanje javnih preduzeća, među kojima je i JP „Pošta Srbije“, u skladu sa principima efikasnosti, transparentnosti i odgovornosti [4].
3. **Zakon o potvrđivanju akata Svetskog poštanskog saveza (UPU)** [5] – potvrđuje sledeće međunarodne dokumente:
  - Deseti dodatni protokol uz Ustav UPU,
  - Drugi dodatni protokol uz Opšti pravilnik UPU-a,
  - Dodatni protokol Svetske poštanske konvencije,
  - Završni protokol Dodatnog protokola Svetske poštanske konvencije, usvojen u Adis Abebi 7. septembra 2018. godine.

Ovi propisi i međunarodni akti stvaraju pravni okvir koji omogućava usklađivanje nacionalne poštanske politike sa globalnim standardima i praksama koje postavlja UPU.

#### 3.1. Međunarodna strateška dokumenta u oblasti poštanskog saobraćaja

Usklađenost sa strateškim dokumentima i inicijativama Svetskog poštanskog saveza predstavlja osnovu za planiranje i sprovođenje razvojnih aktivnosti Pošte Srbije. Posebno su relevantni sledeći dokumenti:

- **Istanbul World Postal Strategy (2017–2020)**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Od 20. septembra do 7. oktobra 2016. godine, održan je 26. Kongres Svetskog poštanskog saveza, na kom je usvojena Istanbul Strategy.

Fokusira se na digitalnu transformaciju i inovacije kao ključne preduslove za prilagođavanje savremenim potrebama korisnika. Strategija takođe naglašava značaj jačanja globalne povezanosti, unapređenja kvaliteta usluga i očuvanja univerzalnosti poštanskog sistema.

- **Abidjan Postal Strategy (2021–2025) i Abidjan Business Plan<sup>2</sup>**  
Ovi dokumenti stavljaju akcenat na unapređenje finansijske inkluzije, razvoj poštanskih usluga u oblasti e-trgovine i podršku digitalnoj ekonomiji. Istaknuta je i uloga poštanskog sektora u održivom razvoju, naročito u zemljama u razvoju.
- **Dubai Postal Strategy (2026–2029)<sup>3</sup>**  
Najnovija strategija UPU definiše ključne prioritete u oblasti digitalizacije, ekološke održivosti i modernizacije logističkih kapaciteta. Posebna pažnja posvećena je primeni naprednih tehnologija, uključujući:
  - veštačku inteligenciju (Artificial Intelligence, AI),
  - Internet stvari (Internet of Things, IoT),
  - održiva energetska i tehnološka rešenja, sa ciljem povećanja efikasnosti, kvaliteta i odgovornosti u pružanju poštanskih usluga.
- **Strategy 2030 [6]**

Zajednički strateški dokument evropskih tela za standardizaciju (**CEN** - European Committee for Standardization i **CENELEC** - European Committee for Electrotechnical Standardization) koji obuhvata period do 2030. godine. Njegov cilj je da usmeri razvoj evropske standardizacije u uslovima dvostruke tranzicije – digitalne transformacije i zelenog razvoja.

Aktivno praćenje, razumevanje i integracija ovih globalnih smernica omogućavaju Pošti Srbije da se pozicionira kao moderan, konkurentan i inovativan nacionalni operator, u potpunosti usklađen sa savremenim međunarodnim standardima i trendovima.

### **3.2. Nacionalni strateški okvir - Program razvoja poštanskih usluga u Republici Srbiji za period 2026–2030. godine**

Program razvoja poštanskih usluga u Republici Srbiji za period 2026–2030. godine predstavlja ključni strateški dokument kojim se definiše dugoročna vizija i prioriteti modernizacije nacionalnog poštanskog sistema. Njegov osnovni cilj jeste unapređenje kvaliteta i dostupnosti poštanskih usluga za sve građane, uz kontinuirano praćenje savremenih tehnoloških i društvenih trendova.

Program posebno naglašava razvoj digitalnih usluga i širenje portfolija poštanskih i logističkih rešenja, jačanje tehničke i organizacione infrastrukture. Usmerenje razvoja poštanskih usluga usklađeno je sa strateškim dokumentima Vlade Republike Srbije u oblastima digitalne transformacije i razvoja digitalne ekonomije, kao i sa nacionalnim strategijama u oblasti zaštite životne sredine i unapređenja energetske efikasnosti.

Sprovođenje Programa zasniva se na odgovarajućem pravnom i regulatornom okviru, koji obuhvata relevantne zakone i podzakonske akte, čime se obezbeđuje dosledna i održiva realizacija planiranih mera.

---

<sup>2</sup> Od 09. do 27. septembra 2021. godine održan je 27. Kongres Svetskog poštanskog saveza u Abidžanu koji je doneo Abidjan Business Plan.

<sup>3</sup> Od 8. do 19. septembra 2025. godine održan je 28. Kongres Svetskog poštanskog saveza na kom je usvojena Dubai Strategy 2026–2029.



#### 4. Prioritetne oblasti strateškog razvoja Pošte Srbije

Strateške oblasti razvoja Pošte Srbije usmerene su na jačanje konkurentnosti, efikasnosti i održivosti poslovanja. Njihova realizacija obezbediće modernizaciju usluga, unapređenje korisničkog iskustva i očuvanje visokih standarda u radu Preduzeća. Poseban akcenat stavljen je na primenu savremenih tehnologija, zaštitu životne sredine, razvoj ljudskih resursa i infrastrukture, kao i podizanje kvaliteta i dostupnosti usluga.

Cilj Strategije je integrisan i održiv razvoj, kojim će se Pošta Srbije pozicionirati kao pouzdan i inovativan partner u nacionalnom i međunarodnom poštanskom sistemu.

##### *Ključne prioritetne oblasti strateškog razvoja:*

##### 1. **Digitalina transformacija i tehnološka inovacija**

Uvođenje naprednih IT rešenja i digitalnih platformi, automatizacija poslovnih procesa, razvoj elektronskih usluga i integrisanih logističkih sistema predstavljaju ključne mere za povećanje efikasnosti i kvaliteta usluga. Plan obuhvata i razvoj mobilnih aplikacija, digitalnih kanala komunikacije i naprednih alata za upravljanje pošilkama i korisničkim zahtevima.

##### 2. **Održivost i ekološka odgovornost**

Primena zelenih tehnologija, optimizacija energetske potrošnje i smanjenje ugljeničnog otiska postaju sastavni deo poslovne politike. Ovo uključuje korišćenje ekoloških vozila, razvoj programa reciklaže i primenu ekoloških standarda u svim segmentima poslovanja.

##### 3. **Unapređenje kvaliteta i pristupačnosti usluga**

Proširenje pokrivenosti mreže, unapređenje brzine i pouzdanosti isporuke, kao i razvoj novih usluga prilagođenih potrebama različitih grupa korisnika usluga, kroz uvođenje programa obuke zaposlenih, poboljšanje komunikacije i razvoj sistema podrške korisnicima. Uspostavljanjem i primenom nacionalnih i međunarodnih standarda, Preduzeće se aktivno prilagođava najboljim evropskim praksama, podižući nivo efikasnosti, pouzdanosti i transparentnosti u pružanju usluga.

##### 4. **Jačanje organizacionih i kadrovskih kapaciteta**

Razvoj kadrova i poslovne etike, unapređenje sistema upravljanja i finansijske održivosti, kao i podsticanje inovacija i interne kulture usmerene ka kvalitetu. Plan predviđa i uvođenje savremenih alata za upravljanje performansama i kontrolu kvaliteta.

##### 5. **Razvoj infrastrukture i logistike**

Modernizacija i proširenje logističke mreže predstavljaju ključni oslonac strateškog razvoja. Unapređenje fizičke i digitalne infrastrukture – sortiranih centara, dostavnih kapaciteta, paketomata i sistema za praćenje – ima za cilj veću efikasnost, brzinu i pouzdanost usluga. Savremena logistička rešenja podržavaju rast e-trgovine, smanjuju troškove i unapređuju korisničko iskustvo. Investicije u pametnu, zelenu infrastrukturu i bolju povezanost sa globalnim lancima snabdevanja jačaju otpornost i konkurentnost poštanskog sistema.

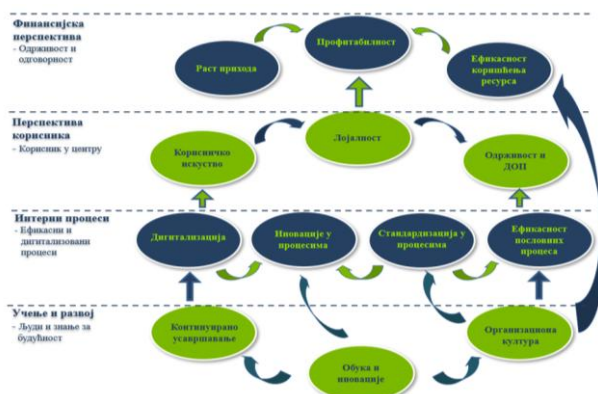
#### 4.1. Implementacija strategije u Pošti Srbije

Pošta Srbije je postavila jasnu korporativnu svrhu i definisala opšti cilj, sedam poslovnih strategija i deset strateških ciljeva koji će voditi razvoj i transformaciju u

naredne tri godine, oslanjajući se na analizu tržišnih trendova, potreba korisnika i tehnoloških mogućnosti. U složenom i stalno promenljivom poslovnom okruženju, uspešno sprovođenje strateških ciljeva zahteva dosledan i integrisan pristup. Balanced Scorecard (BSC) metodologija predstavlja pouzdan okvir koji omogućava organizacijama da na sistematičan način planiraju, mere i upravljaju svojim performansama. Strateški ciljevi Pošte Srbije razvijeni su kroz ova četiri stuba:

1. Finansijska perspektiva – održivost i odgovornost kao temelj stabilnog rasta,
2. Perspektiva korisnika – korisnik kao centralna vrednost i inspiracija,
3. Perspektiva internih procesa – inovativnost, efikasnost i digitalizacija u službi kvaliteta,
4. Perspektiva učenja i razvoja – ljudski kapital i znanje kao pokretači budućih uspeha.

Matrica balansiranih merila performansi (BMP) integriše sve aktivnosti definisane Akcionim planom, sistematski klasifikovane prema zadacima u okviru svake perspektive. Ovaj okvir omogućava precizno i kontinuirano praćenje realizacije strategije, kroz jasno definisane indikatore i merljive ciljeve, koji se izražavaju kako kvalitativno, tako i kvantitativno.



*Slika 1. Strateška mapa Preduzeća za period 2026-2028. godine*

Praćenje performansi u svim oblastima poslovanja obezbeđuje sveobuhvatan uvid, omogućavajući pravovremene intervencije i dosledno usmeravanje ka dugoročnom i održivom uspehu.

## 5. Digitalna transformacija – strateški pravac Pošte Srbije

Digitalna transformacija u uslovima ubrzanog tehnološkog razvoja, predstavlja sposobnost brze adaptacije i efikasnog korišćenja digitalnih alata i postaje osnovni preduslov za dugoročnu održivost, konkurentnost i kvalitet poslovanja.

Pošta Srbije prepoznaje digitalnu transformaciju kao priliku da se pozicionira kao lider u regionu u oblasti savremenih poštanskih i logističkih usluga.

### ***Ključni segmenti digitalne transformacije:***

1. Modernizacija IT infrastrukture – ulaganja u napredne IT sisteme, cloud tehnologije i moderne baze podataka omogućiće stabilnu i brzu podršku

složenim poslovnim procesima, uz povećanje fleksibilnosti, bezbednosti i efikasnosti.

2. Primena veštačke inteligencije (AI) – integracija AI rešenja omogućuje optimizaciju logističkih ruta, preciznije upravljanje resursima i unapređenje korisničkog iskustva kroz automatizovane procese i prediktivne analize.
3. Razvoj digitalnih servisa i komunikacionih kanala – dalje unapređenje elektronskih usluga, od e-dokumenata i praćenja pošiljki do mobilnih aplikacija, sa posebnim akcentom na digitalnu komunikaciju sa korisnicima preko platformi kao što je eUprava, kao i snažnu podršku razvoju e-trgovine.
4. Integracija sa platformama e-trgovine – razvoj i optimizacija logističkih sistema za efikasniju saradnju sa onlajn prodavnicama, uključujući praćenje pošiljki u realnom vremenu i bržu obradu narudžbina.

Uspešna digitalna transformacija Pošte Srbije zasniva se na kontinuiranim ulaganjima u IT infrastrukturu, stručnom usavršavanju zaposlenih, zaštiti podataka i usklađenosti sa savremenim digitalnim standardima.

Očekuje se unapređenje kvaliteta usluga kroz brže, preciznije i personalizovane sisteme, veća efikasnost, smanjenje troškova i razvoj inovativnih rešenja. Ovim pristupom Pošta jača svoju tržišnu poziciju i podiže nivo zadovoljstva korisnika, nudeći jednostavne i dostupne digitalne usluge. [7]

### 5.1. Nove usluge i tržišta

Digitalna transformacija i savremeni tržišni trendovi izdvajaju potencijalne pravce rasta inovativnih usluga i širenja poslovanja Pošte Srbije na nova tržišta kroz:

- Digitalne finansijske usluge – proširenje postojećeg portfolija na mobilna plaćanja, mikrokredite i e-novčanike, bilo u saradnji sa fintech<sup>4</sup> kompanijama ili kao samostalni provajder.
- Integracija sa e-trgovinskim platformama – strateška partnerstva sa domaćim i međunarodnim e-commerce operatorima radi ubrzanja isporuke, uključujući i „fulfillment“<sup>5</sup> usluge kao i preuzimanje povratne robe.
- Regionalno širenje logistike – razvoj logističkih kapaciteta van granica Srbije, posebno na tržištima Zapadnog Balkana, uz korišćenje geografske prednosti.
- Elektronski servisi javne uprave – pružanje digitalnih usluga institucijama i građanima kao što su: e-novac, e-recept, e-dostava, e-glasanje, digitalni identitet i elektronska dostava dokumenata putem portala eUprava.
- Zelene i ekološke dostave – razvoj zelenih logističkih zona u gradskim sredinama, upotreba električnih vozila i korišćenje održive ambalaže kao deo strategije održivog razvoja.

U centru digitalne transformacije kao odgovor na smanjenje obima tradicionalnog poštanskog saobraćaja i intenzivan rast e-trgovine i digitalnih usluga, nalaze se ljudi – zaposleni, korisnici i partneri, uz naglasak na odgovornost, inovacije i poverenje.

---

<sup>4</sup> Fintek kompanije (od angl. financial technology) su firme koje koriste nove tehnologije da bi poboljšale ili ubrzale pružanje finansijskih usluga, kao što su digitalna plaćanja, krediti, upravljanje novcem i druge inovacije u oblasti finansija

<sup>5</sup> „Fulfillment“ usluge podrazumevaju kompletan lanac aktivnosti koji obuhvata prijem i skladištenje robe, pakovanje porudžbina, kao i njihovu efikasnu i pravovremenu dostavu do krajnjeg korisnika.

## **6. Odgovorno poslovanje Pošte Srbije u službi održivog razvoja**

U eri klimatskih izazova i potrebe za socijalnom odgovornošću, Pošta Srbije dosledno gradi svoj korporativni identitet kao institucija koja spaja ekonomsku efikasnost sa održivošću, inkluzivnošću i brigom o zajednici. Ekološka tranzicija i društveno odgovorno poslovanje više nisu prateći, već centralni segmenti strategije razvoja.

### **6.1. Zaštita životne sredine**

Pošta Srbije sprovodi mere za praćenje i smanjenje uticaja svog poslovanja na životnu sredinu: kontrolu emisija iz kotlarnica, upravljanje otpadom i otpadnim vodama, dozimetrijski nadzor i bezbedno skladištenje radioaktivnih izvora.

Kao članica Svetskog poštanskog saveza, Pošta koristi alatku OSCAR (Online Solution for Carbon Analysis and Reporting) – zvanični mehanizam za merenje i izveštavanje o emisiji CO<sub>2</sub>. Na osnovu dobijenih podataka definišu se mere za unapređenje energetske efikasnosti i smanjenje uticaja na životnu sredinu. Paralelno, započeta je ugradnja solarnih panela na poštanskim objektima širom zemlje, kao i uvođenje mera za energetske efikasnosti – modernizacija rasvete, bolja termoizolacija, pametni sistemi grejanja i hlađenja. Ovim merama se istovremeno doprinosi smanjenju potrošnje energije i operativnih troškova.

### **6.2. Socijalna odgovornost i inkluzivnost**

Pošta Srbije ostaje oslonac građanima, naročito u ruralnim i demografski osetljivim područjima. Projekat „Paket usluga za ranjive kategorije stanovništva u ruralnim sredinama“ obezbeđuje dostupnost poštanskih i finansijskih usluga za građane u udaljenim i infrastrukturno nerazvijenim mestima.

Za mnoge korisnike, posebno u selima bez osnovne infrastrukture, poštari nisu samo službenici, već i simbol pažnje, sigurnosti i pripadnosti zajednici. Ovaj projekat oslikava ključne vrednosti Pošte Srbije – dostupnost, solidarnost, pouzdanost i humanost.

### **6.3. Podrška zaposlenima**

Unutar Preduzeća, kontinuirano se jačaju politike društvene odgovornosti – kroz podršku zaposlenima, unapređenje radnog okruženja, podsticanje ravnopravnosti i negovanje organizacione kulture zasnovane na empatiji, poštovanju i uzajamnoj saradnji. Sve aktivnosti realizuju se u skladu sa strateškim ciljevima, važećom regulativom i sistemom upravljanja rizicima, sa planiranim rokom završetka do kraja tekućeg planskog perioda.

## **7. Modernizacija automatizovanog sortiranja pošiljaka**

Razvoj moderne i efikasne infrastrukture predstavlja osnovni preduslov za unapređenje poštanskih usluga u savremenom poslovnom okruženju. Pošta Srbije usmerava svoje aktivnosti ka uvođenju naprednih tehnoloških rešenja i inovativnih pristupa koji će značajno podići kvalitet, brzinu i pouzdanost isporuke, istovremeno optimizujući troškove i bolji pristup povratnim informacijama kod korisnika usluga. Jedan od ključnih stubova ovog razvoja jeste uvođenje Robotizovanih poštanskih logističkih centara (RPLC), koji automatizuju i ubrzavaju proces sortiranja i obrade pošiljaka. Ova tehnologija ne samo da smanjuje mogućnost greške, već i značajno

ubrzavaju protok pošiljaka kroz sistem, omogućavajući Pošti Srbije da blagovremeno i precizno odgovori na rastuće zahteve tržišta. Unapređenje pristupa korisnicima ogleda se i u širenju mreže paketomata — samouslužnih uređaja koji omogućavaju preuzimanje pošiljki u bilo koje vreme, bez obzira na radno vreme odredišnih pošta. Ovaj savremeni model dostave donosi veću fleksibilnost korisnicima, smanjuje opterećenje dostavnih timova i unapređuje logističke procese, posebno u gusto naseljenim i prigradskim oblastima.

Pošta Srbije istovremeno ulaže u modernizaciju objekata sa fokusom na bezbednost i energetska efikasnost, primenjujući održiva i ekološka rešenja u skladu sa najvišim evropskim i svetskim standardima zaštite životne sredine. U decembru 2024. godine izvršena je primopredaja instalirane opreme za robotizovano sortiranje poštanskih pošiljaka u RPLC Novi Sad. Instalirana oprema poseduje 43 robota za sortiranje, 4 ulazne pozicije i 78 izlaza za sortiranje pošiljaka. Nakon izvršene primopredaje instalirane opreme, započete su aktivnosti na integraciji Sistema za robotizovano sortiranje u postojeći Sistem za automatizovano sortiranje poštanskih pošiljaka koji je povezan sa poštanskim informacionim sistemom (PostTIS-om).

### **7.1. Modernizacija automatizovanog uručenja pošiljaka**

Unapređenje procesa uručenja pošiljaka kroz primenu savremenih tehnoloških rešenja predstavlja jedan od ključnih koraka ka podizanju kvaliteta usluga i ispunjavanju sve većih očekivanja korisnika. Od 2022. godine, Pošta Srbije je nabavila 684 paketomata namenjenih isporuci pošiljaka primaocima koji nisu bili na adresi prilikom pokušaja dostave, ili ne žele da im se pošiljka uruči na taj način, omogućivši pristup pošiljkama 24 sata dnevno, svih 365 dana u godini. Međutim, pokazalo se da paketomati bez opcije plaćanja pri preuzimanju ne zadovoljavaju u potpunosti potrebe korisnika, koji sve češće očekuju i ovu funkcionalnost kao standardnu uslugu.

Imajući to u vidu, Poslovodstvo Preduzeća donelo je odluku o daljem razvoju i proširenju mreže paketomata, sa fokusom na uređaje koji podržavaju i opciju plaćanja prilikom isporuke.

U okviru trogodišnjeg planskog perioda, predviđeno je postavljanje još 300 paketomata, čime se nastavlja kontinuirana realizacija strategije širenja i modernizacije mreže za automatizovano uručenje pošiljaka. Cilj je da se korisnicima omogući brža, dostupnija i fleksibilnija isporuka, u skladu sa savremenim očekivanjima i sve većim obimom e-trgovine.

Strateškim širenjem mreže paketomata unapređuje se efikasnost i dostupnost poštanskih usluga, smanjuju se troškovi dostave, optimizuju logistički procesi i povećava ukupno zadovoljstvo korisnika. Pored brže isporuke, korisnicima se pruža veći stepen fleksibilnosti — mogućnost preuzimanja pošiljaka u vreme koje njima odgovara, bez čekanja u redovima i ograničenja u radnom vremenu. Ovo je naročito značajno u kontekstu ekspanzije e-trgovine, koja nameće potrebu za modernim, pouzdanim i automatizovanim rešenjima u dostavi. Ulaganjem u paketomate koji podržavaju i opciju plaćanja prilikom isporuke, Pošta Srbije dodatno unapređuje korisničko iskustvo i odgovara na savremene trendove na tržištu.

## **8. Zaključak**

Program razvoja poštanskih usluga u Republici Srbiji za period 2026–2030. godine jasno postavlja temelje transformacije Pošte Srbije u savremenu, održivu i digitalno orijentisanu instituciju. Strateška opredeljenja usmerena su ka unapređenju

kvaliteta i dostupnosti usluga, modernizaciji tehnološke i logističke infrastrukture, razvoju novih tržišta i usluga, kao i jačanju društvene odgovornosti i održivog poslovanja.

Kroz doslednu primenu Balanced Scorecard metodologije, Pošta Srbije obezbeđuje okvir za praćenje realizacije strateških ciljeva, balansirajući finansijske rezultate, zadovoljstvo korisnika, inovacije u internim procesima i razvoj ljudskog kapitala. Na ovaj način, ostvaruje se ne samo stabilnost i konkurentnost na domaćem i regionalnom tržištu, već i otpornost na globalne promene u oblasti poštanskih i logističkih usluga.

Poseban značaj ima digitalna transformacija, koja se ogleda u razvoju e-usluga, mreže paketomata i robotizovanih logističkih centara, dok se paralelno gradi identitet Pošte Srbije kao društveno odgovornog i ekološki svesnog preduzeća. Inicijative u oblasti zaštite životne sredine, socijalne inkluzije i podrške zaposlenima potvrđuju stratešku orijentaciju ka održivom razvoju i vrednostima zajednice.

Sveobuhvatnim pristupom – od inovacija u poslovnim modelima i digitalnim uslugama, do modernizacije infrastrukture i jačanja društvene odgovornosti – Pošta Srbije potvrđuje svoju ulogu pouzdanog partnera građanima, privredi i državi. Predstojeći period donosi izazove, ali i značajne prilike za unapređenje poslovanja i kreiranje nove vrednosti, kako za korisnike, tako i za društvo u celini.

## Literatura

- [1] UPU Strategy 2026–2029, Dubai cycle, Congress-Doc 13. Annex 1, Dubai 2025
- [2] <https://www.upu.int/en/universal-postal-union/about-upu/strategy>
- [3] Zakon o poštanskim uslugama, Sl.glasnik Republike Srbije, br 19/2025
- [4] Zakon o javnim preduzećima, Službeni glasnik Republike Srbije, br. 15/2016 i 88/2019.
- [5] Zakon o potvrđivanju akata Svetskog poštanskog saveza, Službeni glasnik Republike Srbije – Međunarodni ugovori, br. 12/2019.
- [6] [https://www.cencenelec.eu/Publications/cen-clc\\_strategy2030.pdf](https://www.cencenelec.eu/Publications/cen-clc_strategy2030.pdf)
- [7] <https://www.posta.rs/cir/o-nama/posta-danas.aspx>

**Abstract:** *Digital transformation, standardization, and alignment with European regulations are fundamental pillars in the modernization of the postal sector. In an era marked by globalization, rapid technological progress, and evolving customer expectations, Post of Serbia is continuously investing in innovation and digital solutions to enhance efficiency, sustainability, and competitiveness in the marketplace. Aligned with the Universal Postal Union's Strategy for 2026–2029, known as the Dubai Cycle Post of Serbia has placed digitalization among its top strategic priorities—particularly emphasizing integration with e-commerce and the adoption of cutting-edge technologies such as blockchain and artificial intelligence.*

**Keywords:** *digital transformation, strategy, UPU*

## DIGITAL TRANSFORMATION AS STRATEGIC PILLARS OF POST OF SERBIA IN THE CONTEXT OF THE UPU DUBAI STRATEGY

Jovanka Šević, Biljana Grgurović, Slavica Radosavljević, Jelena Milutinović

## **PRIMENA GEOGRAFSKO-INFORMACIONOG SISTEMA U REGULATORNE SVRHE**

Dragan Pejović, Ljubomir Ostojić, Mila Milošević  
Regulatorno telo za elektronske komunikacije i poštanske usluge (RATEL),  
dragan.pejovic@ratel.rs, ljubomir.ostojic@ratel.rs, mila.milosevic@ratel.rs

**Rezime:** *Primena GIS-a – geografsko-informacionog sistema u regulatorne svrhe na poštanskom tržištu je višestruka. Pomoću GIS-a se može simulirati uticaj regulatornih izmena na kvalitet dostupnosti poštanskih usluga, a samim tim i precizno propisati kriterijumi u podzakonskim aktima (dostupnost pristupnih tačaka za univerzalnu poštansku uslugu, izuzeci od petodnevnog dostave). GIS omogućava proveru implementacije propisanih kriterijuma a istovremeno predstavlja i alat za podsticanje konkurencije kao i svojevrzni digitalni atlas poštanskih usluga kojim se povećava transparentnost prikazivanja podataka od strane poštanskih operatera.*

**Ključne reči:** *GIS, analiza dostupnosti, regulator, GIS portal*

### **1. Uvod**

Regulatorne aktivnosti u poštanskom saobraćaju delom su usmerene ka upravljanju prostorom što podrazumeva detaljnu analizu geografskog područja i donošenje odluka zasnovanih na povezivanju njegovih karakteristika sa podacima o poštanskom tržištu i demografskim pokazateljima. Efikasno upravljanje prostorom nezamislivo je bez primene geografskih informacionih sistema (u daljem tekstu: GIS-a).

Geografski-informacioni sistem predstavlja alat za podršku odlučivanju koji omogućava integraciju prostornih podataka u poslovne procese radi rešavanja složenih zadataka. Analiza geoprostornih podataka u GIS okruženju pruža relevantne informacije koje služe kao osnova za donošenje kvalitetnih odluka.

Regulatorno telo za elektronske komunikacije i poštanske usluge (u daljem tekstu: RATEL) sa ciljem da ispuni svoje zakonske nadležnosti, primenjuje GIS u nekoliko segmenata i svaka od ovih primena je detaljno prikazana u ovom radu. Propisivanje različitih kriterijuma za funkcionisanje poštanskog tržišta, provera implementacije propisanih kriterijuma, sačinjavanje geografskog pregleda rasprostranjenosti poštanske mreže i teritorijalne dostupnosti usluga poštanskih operatera, objavljivanje podataka iz geografskog pregleda na svojoj internet stranici kao i unapređenje konkurencije na tržištu poštanskih usluga su nadležnosti koje RATEL, između ostalog, realizuje pomoću GIS-a.

GIS softver je jedna od osnovnih komponenata GIS-a. Postoji veliki broj GIS softverskih paketa (*MapInfo*, *ArcGIS*, itd.). U svojim aktivnostima, RATEL koristi QGIS (Quantum GIS) softver čija je velika prednost u tome što je to softver otvorenog koda, odnosno njegovo preuzimanje, instaliranje i korišćenje besplatno. Prostorne podatke (npr. pošta, PAK, reon, ulična mreža) i druge relevantne podatke (npr. podaci o broju stanovnika i domaćinstava) neophodne za analize, RATEL obezbeđuje kroz saradnju sa javnim poštanskim operatorom (JP “Pošta Srbije”) kao i sa institucijama koje u svom radu generišu navedene podatke (Republički geodetski zavod, Republički zavod za statistiku Srbije).

## **2. Primena GIS-a u propisivanju kriterijuma prilikom sačinjavanja regulatornih akata**

Univerzalnu poštansku uslugu, kao uslugu od opšteg interesa, neophodno je obezbediti na celokupnoj teritoriji Republike Srbije, pod jednakim uslovima za sve korisnike, po pristupačnim cenama i u okviru propisanog kvaliteta. Usklađivanje potreba korisnika za ovim uslugama, troškova koje one generišu i obavezu pružanja univerzalne poštanske usluge odnosno obezbeđivanje održivosti univerzalne poštanske usluge, predstavlja veliki izazov sa aspekta kako regulatora tako i sa strane javnog poštanskog operatora kao davaoca univerzalne poštanske usluge.

Kriterijumi koji se odnose na dostupnost pristupnih tačaka poštanske mreže, preko kojih je korisnicima omogućen prijem pošiljaka iz opsega univerzalne poštanske usluge, zatim, kvalitet rokova uručenja i sa njima povezani izuzeci od petodnevne dostave, su neki od kriterijuma koje RATEL definiše kroz podzakonska akta uz pomoć analiza u GIS-u.

### **2.1. Kriterijumi dostupnosti pristupnih tačaka za univerzalnu poštansku uslugu**

Bitan aspekt održivosti univerzalne poštanske usluge je dostupnost pristupnih tačaka poštanske mreže u kojima se korisnicima pruža usluga prijema poštanskih pošiljaka. RATEL je zadužen za definisanje kriterijuma na osnovu kojih se obezbeđuje dovoljna gustina pristupnih tačaka, koja je sa jedne strane usaglašena sa potrebama korisnika a sa druge strane obezbeđuje opštu dostupnost i održivost univerzalne poštanske usluge.

#### **2.1.1. Analiza dostupnosti pristupnih tačaka pomoću GIS-a**

Ispitivanje zadovoljenja potreba korisnika poštanskih usluga, između ostalog, prati očekivanja korisnika u pogledu blizine pristupne tačke (pošte), RATEL sprovodi na svake dve godine i prema poslednjim podacima 85% korisnika je bilo zadovoljno blizinom pošte<sup>1</sup>. Sa ciljem da se kriterijumi dostupnosti egzaktno utvrde, sprovedena je analiza dostupnosti poštanske mreže javnog poštanskog operatora posredstvom GIS softvera. Cilj analize je bilo utvrđivanje minimalnog rastojanja koje korisnici prelaze od

---

<sup>1</sup>Ispitivanje stepena zadovoljenja potreba korisnika poštanskih usluga (2024. godina)  
<https://www.ratel.rs/cyr/studije-i-istrazivanja>



svog domaćinstva do najbliže pristupne tačke (pošte), uličnom mrežom, na nivou opštine a nakon toga i postavljanje parametara dostupnosti mreže.

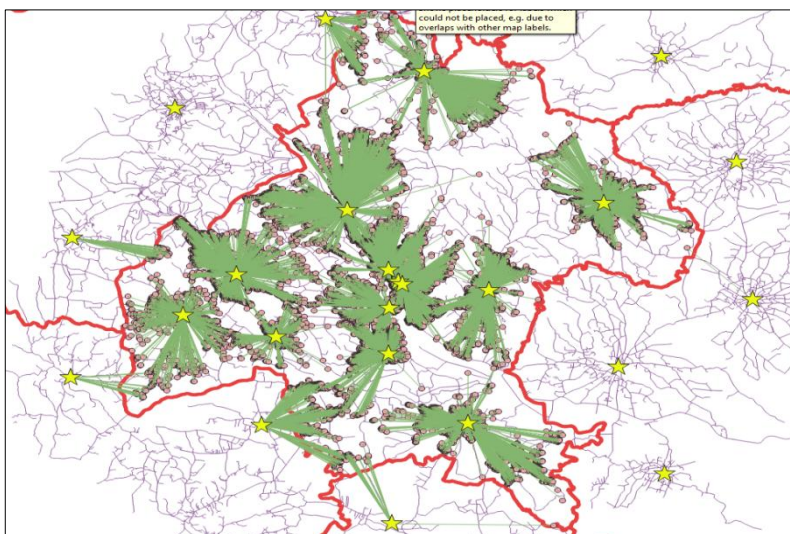
Da bi se uradio proračun rastojanja koje korisnici prelaze, kroz uličnu mrežu, do najbliže pošte, neophodno je obezbediti nekoliko prostornih slojeva (vektorskih podataka):

- sloj sa uličnom mrežom – *OpenStreet* mape;
- sloj kućnih brojeva – pozicije kućnih brojeva na nivou opštine preuzete su od Republičkog geodetskog zavoda;
- sloj popisnih krugova – podaci o broju domaćinstava i stanovnika na nivou popisnog kruga (iz poslednjeg popisa stanovništva iz 2022. godine) preuzeti su od Republičkog zavoda za statistiku;
- sloj sa pozicijama pristupnih tačaka poštanskoj mreži javnog poštanskog operatora – dostavljeni od strane javnog poštanskog operatora.

Za proračun najkraćeg rastojanja od pozicije kućnog broja do pristupne tačke koristi se programski dodatak (*plugin*) u QGIS-u za mrežne analize pod nazivom QNEAT3. QNEAT3 koristi set mrežnih podataka (npr. ulična mreža) i kroz svoj algoritam analizira putanje kroz tu mrežu. U proračun se mogu uzeti u obzir i različiti faktori kretanja, poput brzine, vremena kretanja ili rastojanja, sa ciljem da se pronađe optimalna ruta ili da se identifikuje određeno servisno područje.

Za propisivanje kriterijuma dostupnosti bilo je neophodno utvrditi koliki se procenat stanovnika nalazi u okviru određenog intervala udaljenosti od pristupne tačke (intervali udaljenosti do 2,5km, do 5km i do 10km odnosno vremenski intervali udaljenosti do 30 min, 60 min i 120 min pešačenja umerenim hodom kroz uličnu mrežu). Imajući u vidu set podataka sa kojim se raspolagalo, za pravilnu primenu mrežne analize prethodno je bilo potrebno prilagoditi podatke a nakon toga izračunati najkraća rastojanja od svakog kućnog broja do pristupne tačke:

- u prvom koraku, atributni podatak o broju stanovnika dodeljen je svakom kućnom broju, na nivou opštine, po osnovu prostorne pripadnosti kućnog broja popisnom krugu koji je nosilac podatka o broju stanovnika. Aproksimacija broja stanovnika na kućnom broju urađena je kao prosek broja stanovnika na jednom popisnom krugu i broja kućnih brojeva koji pripadaju tom popisnom krugu.
- u drugom koraku se izračunavaju rastojanja od svakog kućnog broja do svake pristupne tačke, kroz uličnu mrežu. Kao rezultat ovog algoritma dobijaju se ukupna rastojanja koja sabiraju put od kućnog broja do ulične mreže, put kroz uličnu mrežu i od ulične mreže do pristupne tačke.
- u trećem koraku se vrši odabir najkraćeg rastojanja od kućnog broja do pristupne tačke primenom SQL upita na dobijenu matricu rastojanja iz prethodnog koraka. Dobijen vektorski sloj je prikazan na *Slici 1*.
- na kraju, sloju sa kućnim brojevima i podatkom o broju stanovnika dodeljen je podatak o najkraćem rastojanju do pristupne tačke.



*Slika 1: Gravitiranje kućnog broja prema najbližoj pristupnoj tački*

## **2.1.2. Rezultati i benefiti primene GIS-a kod određivanja kriterijuma dostupnosti**

Primenom GIS-a u analizi dostupnosti pristupnih tačaka za univerzalnu poštansku uslugu, koja je korišćena prilikom izrade „Studije o održivosti univerzalne poštanske usluge i definisanje njene uloge u skladu sa promenljivim potrebama korisnika“, kao rezultat su utvrđeni kriterijumi implementirani kroz podzakonski akt koji bliže uređuje parametre kvaliteta, merila i kriterijume za obavljanje univerzalne poštanske usluge. Postavljanje kriterijuma za dostupnost pristupnih tačaka ostvaruje se analizom dobijenih procenata udaljenosti stanovnika od pristupne tačke kako na opštinskom nivou tako i na nacionalnom nivou i utvrđivanje optimalnih minimalnih pragova.

Javni poštanski operator je dužan da obezbedi dostupnost poštanske mreže za prijem pošiljaka iz opsega univerzalne poštanske usluge na način da procenat stanovnika koji gravitira uličnom mrežom do najbliže pošte, odnosno pristupne tačke JPO u kojoj se mogu pružiti sve usluge iz opsega univerzalne poštanske usluge, bude sledeći:

- 1) na nivou teritorije opštine:
  - (1) do 2,5 km udaljenosti potrebno je da bude obuhvaćeno minimalno 48% stanovnika;
  - (2) do 5 km udaljenosti potrebno je da bude obuhvaćeno minimalno 67% stanovnika;
  - (3) do 10 km udaljenosti potrebno je da bude obuhvaćeno minimalno 86% stanovnika.
- 2) na nivou Republike Srbije:
  - (1) do 2,5 km udaljenosti potrebno je da bude obuhvaćeno minimalno 71% stanovnika;
  - (2) do 5 km udaljenosti potrebno je da bude obuhvaćeno minimalno 83% stanovnika;
  - (3) do 10 km udaljenosti potrebno je da bude obuhvaćeno minimalno 98% stanovnika.

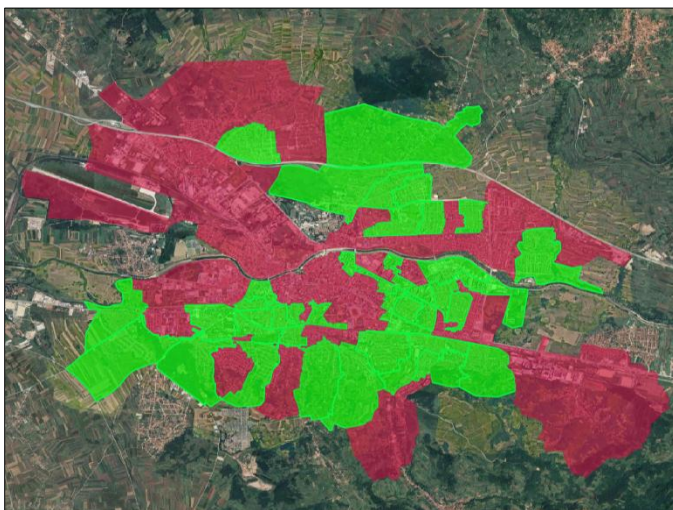
## 2.2. Kriterijumi za izuzetke od petodnevne dostave za univerzalnu poštansku uslugu

U zavisnosti od geografskih i demografskih karakteristika određenih područja, kao i drugih okolnosti, uručenje pošiljaka u okviru univerzalne poštanske usluge može biti organizovano i najmanje jednom nedeljno.

Pored navedenih okolnosti, usled kojih se mogu definisati izuzeci od petodnevne dostave, pomoću GIS-a izvršena je analiza dostavnih područja prema broju pošiljaka na nedeljnom nivou i broju domaćinstava na tim područjima koja je omogućila formiranje dodatnog kriterijuma.

### 2.2.1. Analiza broja pošiljaka po dostavnom reonu i domaćinstvu

Kako bi se odredio prosečan broj pošiljaka, iz opsega univerzalne poštanske usluge, na nedeljnom nivou, po dostavnom reonu i domaćinstvu, neophodno je povezati i prilagoditi sve potrebne podatke imajući u vidu način prikupljanja ovih podataka od strane JPO-a (podatak o reonu je prostorni podatak a podatak o broju pošiljaka na reonu je atributni podatak).



*Slika 2: Tematska mapa reona u odnosu na broj pošiljaka po reonu*

Prostorni podatak o reonu je, najpre, potrebno uvezati sa podatkom o broju domaćinstava koji se nalazi na tom reonu. Spajanje ova dva podatka, vektorska sloja, i istovremeno sabiranje broja domaćinstava koja se nalaze na kućnom broju, koji prostorno pripada odgovarajućem reonu, radi se pomoću QGIS funkcije „Join attributes by location (summary)“. Podaci o broju pošiljaka na jednom reonu posmatrani su na mesečnom nivou, za reprezentativni mesec u godini (mart, oktobar). Ovi podaci se iz Excel tabele na jednostavan način mogu učitati u QGIS a zatim se preko zajedničkog podatka o reonu formira sloj koji je nosilac svih potrebnih podataka za analizu – reon, broj domaćinstava i broj pošiljaka po reonu na mesečnom nivou odnosno nedeljnom nivou.

Na *Slici 2*. prikazan je primer dobijenog rezultata analize – reoni na kojima je prosečan broj pošiljaka po domaćinstvu, na nedeljnom nivou, manji od 2,5 pošiljke su

obojeni zelenom bojom a crvenom bojom reoni gde je broj pošiljaka veći od 2,5. Dobijanjem svih potrebnih podataka, putem GIS-a se na brz i jednostavan način mogu simulirati različite opcije za postavljanje kriterijuma za izuzetke od petodnevne dostave na osnovu prosečnog broja pošiljaka na reonu i sagledati kakav je uticaj na organizaciju dostave na reonima.

### **2.2.2. Rezultati i benefiti primene GIS-a za propisivanje kriterijuma za izuzetke od petodnevne dostave**

Primena GIS-a u analizi broja pošiljaka iz opsega univerzalne poštanske usluge omogućila je definisanje kriterijuma za izuzetke od petodnevne dostave, koji su implementirani kroz podzakonski akt koji bliže uređuje parametre kvaliteta, merila i kriterijume za obavljanje univerzalne poštanske usluge. Cilj ove analize je bio da se na reonima na kojima se uručuje manji broj pošiljaka po domaćinstvu, na nedeljnom nivou, omogućiti racionalnija organizacija dostave.

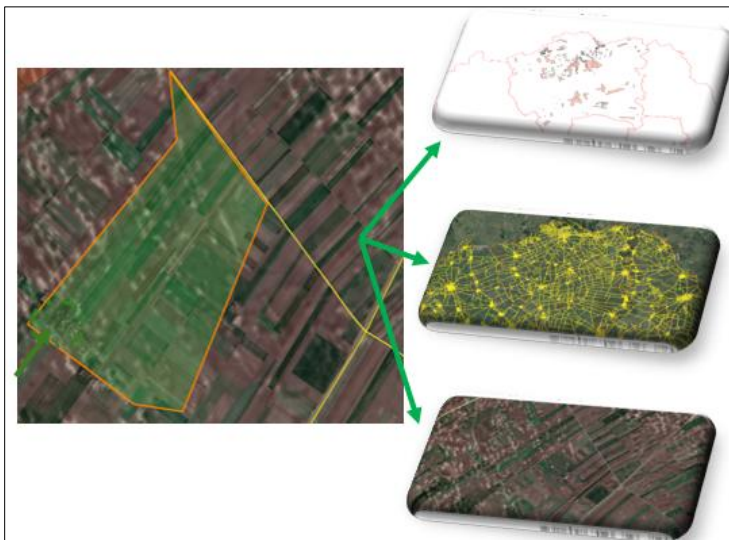
Izuzeci od petodnevne dostave pošiljaka u naseljenim mestima sa više od 1.000 domaćinstava, odnose se na delove dostavnih teritorija naseljenih mesta koja imaju prosečno manje od 2,5 pošiljke nedeljno po domaćinstvu iz opsega univerzalne poštanske usluge, gde se dostava pošiljaka može vršiti najmanje svaki drugi radni dan, odnosno najmanje u proseku dva i po dana radna nedeljno (naizmenično, prve nedelje tri, a druge nedelje dva radna dana).

### **3. Primena GIS-a u proveri implementacije propisanih kriterijuma**

U okviru svojih nadležnosti, RATEL pored definisanja propisa koji se odnose na tržište poštanskih usluga, istovremeno je odgovoran i za proveru njihove primene. Mnoge od ovih provera bi bile izuzetno zahtevne bez upotrebe GIS-a koji, proveru dostupnosti pristupnih tačaka poštanske mreže JPO-a ili definisanih izuzetaka od petodnevne dostave, u prostoru čini brзом i efikasnom.

Za proveru dostupnosti pristupnih tačaka (pošta) JPO-a, analiza i funkcije u QGIS-u koje se primenjuju su opisani u prethodnom poglavlju. Na osnovu dostavljenih podataka o lokacijama pošte, utvrđuje se da li prostorni raspored pristupnih tačaka ispunjava propisane kriterijume na nacionalnom i na opštinskom nivou (korišćenjem QNEAT3 analize).

Izuzetke od petodnevne dostave je, između ostalog, moguće definisati na osnovu geografskih kriterijuma - udaljenost domaćinstva od javnog puta veća od 500m, nepostojanje odgovarajuće saobraćajnice za nesmetani pristup zaposlenom kod poštanskog operatora, domaćinstva koja se nalaze u brdsko-planinskim područjima sa izuzetno otežanim slovima za pristup. JPO izuzetke od petodnevne dostave, po osnovu navedenih kriterijuma definiše na nivou PAK-a (poštanskog adresnog koda) i u prostornom formatu ih dostavlja RATEL-u na saglasnost. Ubacivanjem ovih podataka u QGIS, zajedno sa drugim slojevima koji su bitni za proveru, i na taj način prikazivanjem PAK-a sa ostalim podacima na samoj mapi, merenje udaljenosti od javnog puta ili provera da li u njegovoj blizini postoji odgovarajuća saobraćajnica se jednostavno uočava (Slika 3).



*Slika 3: Provera udaljenosti PAK-a od javnog puta u GIS-u*

Za proveru nadmorske visine na kojoj se PAK nalazi (utvrđivanje pripadnosti brdsko-planinskom području), QGIS poseduje opcije koje omogućavaju prebacivanje poligona, kao i drugih objekata, na Google Earth u okviru koga se prikazuje nadmorska visina tog poligona i lako uočava udaljenost između njega i drugih značajnih lokacija (razlika u nadmorskoj visini u odnosu na poštu ili u odnosu na javni put).

### **3.1. Rezultati i benefiti od primene GIS-a pri proveri implementacije propisanih kriterijuma**

Pravilna implementacija propisanih kriterijuma značajna je za zadovoljenje potreba korisnika poštanskih usluga, obezbeđivanje održivosti univerzalne poštanske usluge, odnosno očuvanja kvaliteta dostupnosti poštanske mreže ka korisnicima usluga.

Implementaciju svakog kriterijuma koji je u vezi sa geografskim područjima je moguće proveriti pomoću GIS-a na samoj mapi, sa jasnom slikom o geografskom području i jednostavnim primenama različitih alata kojima se mere rastojanja, nadmorske visine, izračunavanja ruta kroz uličnu mrežu i druge potrebne analize. GIS omogućava egzaktan, jednostavan i efikasan način provere primene propisanih kriterijuma.

## **4. GIS portal za poštanske usluge**

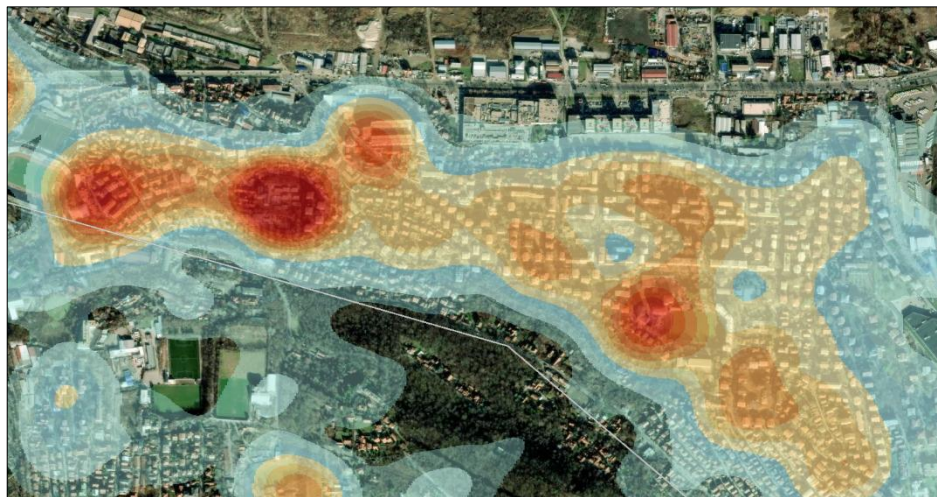
GIS portal za poštanske usluge<sup>2</sup> je web GIS aplikacija namenjena pregledu, analizi i ažuriranju prostornih podataka poštanskih operatora. Baziran je na *ESRI ArcGIS* platformi i prvenstveno je namenjen korišćenju putem interneta. Pozadinske mape koje se mogu koristiti u radu su: *ESRI*, *Open StreetMap* ili druge mape koje korisnik kreira.

<sup>2</sup> <https://gis.ratel.rs/smartViewer/#/postanskeUsluge/home>



Portal je kreiran kroz tri različite instance: korisnički interfejs ili javno dostupna instanca, instanca namenjena unosu prostornih podataka i administratorski deo. Ovakvom strukturom, GIS portal, kao svojevrsni digitalni atlas, obezbeđuje prikaz poštanske mreže svih operatera na jednom mestu, na način da oni sami unose i ažuriraju svoje podatke.

Na instanci GIS portala za unos i ažuriranje podataka, poštanskim operatorima omogućen je pristup dodatnim alatima za prostorne analize u cilju lociranja novih poslovnica i paketomata, organizaciju preuzimanja i dostave. Naime, poštanski operatori imaju pristup sloju popisnih krugova (41.647 popisnih krugova na području Republike Srbije) koji je nosilac informacije o broju domaćinstava i stanovnika na svakom popisnom krugu, prema podacima iz poslednjeg popisa stanovništva (*Slika 4*). Pored ovog sloja, operatorima se prikazuju i dinamičke mape, kreirane po principu “heat map” koje vizuelno, jasno označavaju zone određene teritorije sa većom odnosno manjom gustinom stanovništva (*Slika 4*). Dinamičke mape funkcionišu tako što se sa svakim većim zumiranjem u prostoru one menjaju i kreiraju se nove zone u odnosu na broj stanovnika u tim delovima teritorije. Pored njih, razvijene su i nedinamičke mape sa različitim radijusima uticaja (250m, 500m, 1.000m) koje, poput dinamičkih, oslikavaju gustinu stanovništva ali u samo jednom, tačno definisanom opsegu udaljenosti.

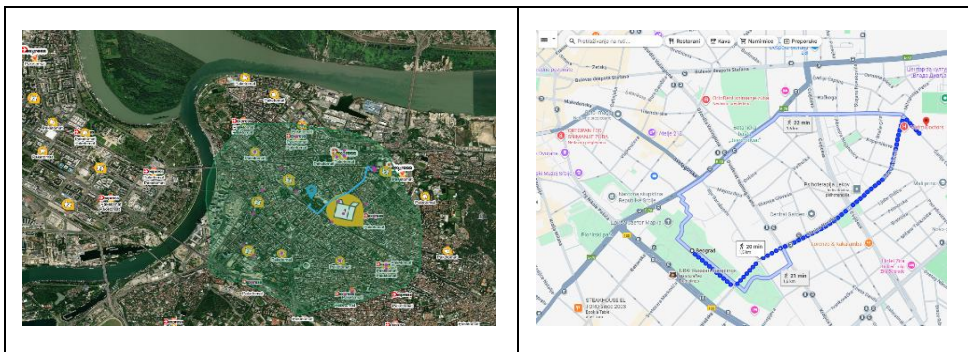


*Slika 4: Dinamičke mape za gustinu stanovništva*

Na GIS portalu korisnici mogu dobiti informacije o lokacijama poslovnica poštanskih operatera (univerzalna, ekspres i kurirska poštanska usluga), lokacijama poštanskih sandučića, lokacijama paketomata kao i prikazu organizacije dostave za univerzalnu poštansku uslugu, za ekspres usluge (dostava isti dan, dostava naredni ili određeni dan) i za kurirske usluge. Poštanski operatori unose i ažuriraju podatke na GIS portal i trenutno se na njemu nalazi 1.985 lokacija poslovnica (od čega je 1.558 poslovnica javnog poštanskog operatera) i 825 lokacija paketomata (542 paketomata su u vlasništvu javnog poštanskog operatera).

U odnosu na početnu verziju GIS portala, GIS portal je dobio nove funkcionalnosti koji pretragu podataka čine više korisnički orijentisanom. Korisnicima je, omogućen i alat pod nazivom „Analiza dosega vožnje – vremena do poslovnice ili

*paketomata*” koji omogućava pronalaženje najbliže poslovnice ili paketomata u odnosu na izabranu lokaciju kao i za izabrane kriterijume (unos jedinica vremena vožnje ili razdaljine). Na osnovu zadatih kriterijuma, kao rezultat se prikazuju objekti koji ispunjavaju zadate kriterijume, prikaz ruta i smernica do svakog od njih kao i mogućnost izbora prikazivanja rute na Google Maps-u (Slika 5).



*Slika 5: Primena alata za pronalaženje najbliže poslovnice/paketomata na GIS portalu i prikaz na Google Maps-u*

## 5. Zaključak

Upotreba GIS-a u regulatornim aktivnostima poštanskog tržišta predstavlja moćan alat za sprovođenje prostorne analize, čime se procesi regulacije značajno unapređuju. Primena GIS tehnologije omogućava brže, efikasnije i detaljnije prikupljanje, obradu i interpretaciju podataka, što regulatoru daje precizniji uvid u stanje poštanske mreže kao i samog tržišta.

Korišćenjem prostorne analize, moguće je sprovesti egzaktna i sveobuhvatna ispitivanja pre donošenja novih regulatornih propisa. Na taj način se ne samo smanjuje rizik od nepredviđenih posledica, već se omogućava i simulacija potencijalnog uticaja pojedinih odluka na funkcionisanje poštanske mreže a samim tim i na održivost poštanskog tržišta. Ovo je naročito značajno prilikom obezbeđivanja dostupnosti pristupnih tačaka i optimizacije dostave. GIS-a, takođe, pruža mogućnost detaljne i sistematske provere implementacije važećih regulatornih propisa kroz analizu geoprostornih podataka i njihovim poređenjem sa propisanim normama.

Kroz različite modele primene GIS, kao što je GIS portal za poštanske usluge, ova tehnologija doprinosi povećanju transparentnosti dostupnih podataka, jer omogućava korisnicima a i poštanskim operatorima uvid u relevantne prostorne i statističke podatke. Istovremeno, transparentnost i dostupnost informacija podstiču razvoj konkurencije na tržištu poštanskih usluga, što dugoročno vodi ka kvalitetnijim i pristupačnijim uslugama za krajnje korisnike.

## Literatura

- [1] Dr Ivan Novković, Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, „GIS ANALIZA PRAKTIKUM”, Beograd, 2022.

- [2] Cowen, D.J: „GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing”, 54 (11), 1988.
- [3] Heywood, I., Cornelius, S., Carver, S. (2011): An Introduction to Geographical Information Systems (Fourth edition). Pearson education Limited, Harlow.
- [4] D. Pejović, Lj. Ostojić, S. Gezović, M. Milošević: „Modeli za unapređenje konkurencije na tržištu poštanskih usluga”, XLI Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju - PosTel 2023, Beograd 2023.
- [5] RATEL: „Studija o održivosti univerzalne poštanske usluga u definisanje njene uloge u skladu sa promenljivim potrebama korisnika”, <https://www.ratel.rs/cyr/studije-i-istrazivanja>

**Abstract:** *The application of GIS - geographic information system for regulatory purposes in the postal market is multiple. It can be used to simulate the impact of regulatory changes on the quality of the availability of postal services and, therefore, the precise prescription of criteria in by-laws (availability of access points for universal postal service, exceptions to five-day delivery). GIS enables verification of the implementation of prescribed criteria and at the same time represents a tool for promoting competition as well as a kind of digital atlas of postal services that increases the transparency of publication of data by postal operators.*

**Keywords:** *GIS, availability analysis, regulator, GIS portal*

## **APPLICATION OF GEOGRAPHIC-INFORMATION SYSTEM FOR REGULATORY PURPOSES**

Dragan Pejović, Ljubomir Ostojić, Mila Milošević



## **POZICIONIRANJE BRENDJA JP POŠTA SRBIJE KOD FIZIČKIH LICA**

Bojan Jovanović<sup>1</sup>, Dragana Šarac<sup>1</sup>, Nataša Čačić<sup>1</sup>, Marina Marković<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka,  
bojanjov@uns.ac.rs, dsarac@uns.ac.rs, ncacic@uns.ac.rs

<sup>2</sup>Ministarstvo ekonomskog razvoja, Vlada Crne Gore,  
marina.markovic@mek.gov.me

**Rezime:** Nacionalni poštanski operatori, nakon višedecenijskog delovanja u uslovima tržišnog monopola, suočeni su sa brojnim izazovima usled procesa liberalizacije i deregulacije poštanskog sektora. Ove promene doprinele su preoblikovanju tržišne dinamike, uvođenju konkurencije i redefinisaju uloge tradicionalnih poštanskih operatora. U okviru ovog istraživanja, fokus je stavljen na percepciju brenda nacionalnog operatora u Srbiji – JP Pošta Srbije iz ugla krajnjih korisnika, tj. fizičkih lica. Istraživanje je sprovedeno putem ankete (snowball pristupom). Od 396 anketa na koje je odgovoreno, validno je bilo 391. Anketni podaci osvetlili su određene aspekte i prepoznali kako pozitivne, tako i negativne elemente pozicioniranja JP Pošte Srbije i njenog brenda.

**Ključne reči:** JP Pošta Srbije, brend, anketa, fizička lica

### **1. Uvod**

JP Pošta Srbije je poštanski operator s najdužom tradicijom u Srbiji, sa počecima koji datiraju od otvaranja prve pošte u Beogradu 7. juna 1840. godine [1]. Tokom istorije delila je sudbinu države, funkcionišući unutar poštanskih sistema Kraljevine Jugoslavije i SFRJ. Godine 1989. osnovano je JP PTT saobraćaja „Srbija“, a 1997. se izdvojio Telekom Srbija. U skladu s tržišnim promenama i pojavom konkurencije, 2002. je osnovan Post Express sa ciljem proboja na tržište kirurskih, ekspres i paketskih usluga (KEP).

Prema podacima Agencije za privredne registre JP Pošta Srbije u domenu KEP usluga po prihodu za 2023. god zauzima skoro 40% tržišta [2]. Međutim ovde treba uzeti u obzir komparativnu prednost JP Pošta Srbije, jer je u odnosu na konkurenciju oslobođena plaćanja PDV-a na KEP usluge, kao i to da i dalje ima ograničeni monopol u domenu pismonosnih pošiljaka kao kompenzaciju za univerzalnu uslugu.

Zadatak koji se postavio pred autore rada je da se sagleda percepcija brenda nacionalnog poštanskog operatora iz ugla fizičkih lica kao krajnjih korisnika. Istraživanje je realizovano u skladu sa izazovima koje nose liberalizacija i deregulacija tržišta, odnosno u skladu sa njihovim posledicama, tj. rastom konkurencije i promenjenoj

tržišnoj dinamici. Težilo se ka tome da se na bazi prikupljenih podataka prepoznaju prednosti i nedostaci u pozicioniranju ovog brenda. Kao rezultat toga, u radu se nastojalo omogućiti uvid prilike i izazvove u pravcu unapređenja celokupne slike o JP Pošti Srbije.

## **2. Teorijski okvir – Brend i lojalnost korisnika**

Brend predstavlja obećanje kvaliteta i ima ključnu ulogu u oblikovanju očekivanja korisnika. Eng. *Customer brand loyalty* je jedan od osnovnih koncepata kako u izučavanju marketinga, tako i u praksi [3]. Na lojalnost utiču konstrukti poput ljubavi prema brendu, povezanosti, identifikacije i poverenja, koji zajedno čine osnovu odnosa potrošača sa brendom [4].

U savremenom konkurentskom okruženju, gde korisnici mogu birati između više brendova, lojalnost je presudna za opstanak kompanije. Brend se ne gradi samo kroz naziv ili logo, već kroz celokupno korisničko iskustvo – kvalitet usluge, pouzdanost, preporuke, prethodna iskustva i korisničku podršku. Kada konkurentski brendovi nude slične ili niže cene, emocionalna povezanost može imati ključnu ulogu.

U poštanskom sektoru, poverenje i reputacija su glavni faktori koji diferenciraju brendove. Razumevanje percepcije brenda iz ugla korisnika pomaže kompanijama da preciznije definišu svoje marketinške strategije.

### **2.1. Analiza tržišta poštanskog sektora u Srbiji**

Tradicionalni nacionalni poštanski operatori imaju dugu istoriju i dugo su doživljavani kao deo nacionalnog ponosa. Međutim, liberalizacija i deregulacija tržišta dovele su do pojave konkurencije koja je ugrozila taj status. Novi brendovi, posebno u segment KEP usluga, uspešno su se pozicionirali. Neki, poput DHL-a, FedEx-a, UPS-a i TNT-a, preasli su nacionalne granice i postali globalni lideri.

Na tržištu Srbije, JP Pošta Srbije ima jaku konkurenciju u KEP sektoru od strane BexExpress, DExpress, AKS Express Kurir i City Express, čiji tržišni udeo varira između 10% i 25%. Kroz svoj brend PostExpress, Pošta Srbije nastoji da ostane konkurentna.

## **3. Metodologija**

Osnovno pitanje predstavlja pozicioniranje brenda JP Pošta Srbije kod korisnika (fizičkih lica), kao i pravci njegovog daljeg razvoja, 20 godina nakon donošenja prvog zakona [5] koji je zvanično regulisao poštanski sektor i otvorio vrata njegove liberalizacije. Očekivalo se da će se javni operator vremenom transformisati u održivu tržišnu kompaniju sa dominantnom pozicijom na domaćem tržištu.

U cilju utvrđivanja prolaznih vremena realizovano je istraživanje putem ankete, kako bi se dobili odgovori na određene otvorene teme od interesa za JP Poštu Srbije. Ispitivanje je obuhvatilo 391 ispitanika gde je učešće osoba ženskog pola 52.2% i osoba muškog pola 47.8%. Ispitanici su podeljeni u 9 starosnih kategorija (od 18 godina pa narednih 5 i tako do 66+) (Tabela 1). Najveći broj ispitanika spada u 4. kategoriju tj. u rasponu od 36-41 godine sa učešćem od 19.9%. Najmanje su zastupljene generacije 66+ sa 3.1%.

*Tabela 1. Starosna struktura ispitanika*

| <b>Godine</b> | <b>Učestanost</b> | <b>Procenat</b> | <b>Kumulativno %</b> |
|---------------|-------------------|-----------------|----------------------|
| 18-23         | 24                | 6.1             | 6.1                  |
| 24-29         | 38                | 9.7             | 15.8                 |
| 30-35         | 70                | 17.9            | 33.8                 |
| 36-41         | 77                | 19.7            | 53.5                 |
| 42-47         | 68                | 17.4            | 70.8                 |
| 48-53         | 45                | 11.5            | 82.4                 |
| 54-59         | 30                | 7.7             | 90.0                 |
| 60-65         | 27                | 6.9             | 96.9                 |
| 66+           | 12                | 3.1             | 100.0                |
| <b>Ukupno</b> | <b>391</b>        | <b>100.0</b>    |                      |

Realizacija ankete sprovedena je eng. *snowball metodom* [6], pri čemu je početni krug činilo 20 učesnika. Ravnomerno su uključene osobe oba pola i različitih starosnih grupa, sa ciljem da se obuhvati što šira geografska zastupljenost. Svaki učesnik je bio zamoljen da uključi još 5-6 ispitanika, koji su potom dalje upućivali nove učesnike, čime je proces postepeno rastao. Tokom desetodnevnog perioda prikupljeno je ukupno 396 popunjenih anketa, od kojih je 391 bilo validno (ankete su popunjavane elektronski, putem platforme Google Forms).

Problem kod ovakvog pristupa može biti da ukoliko ne postoji precizno definisana populacija, sam izbor učesnika u primarnom prstenu može biti pristrasan, što se može odraziti na konačan rezultat. Sa druge strane otvara se pitanje o slučajnosti uzorka ukoliko je on zasnovan na odnosima i preporukama, a ne na slučajnoj selekciji. Ipak, izbor primarnog kruga i uputstva za dalje širenje uzorka nastojali su da ublaže ovaj potencijalni problem.

Pitanja su podeljena u dva segmenta: zatvorenog i otvorenog tipa. U pogledu pitanja zatvorenog tipa nastojala se uvrđiti povezanost korisnika sa JP Poštom Srbije, dok otvorena pitanja su dozvolila korisniku da se slobodno izrazi i formuliše svoje viđenje spomenutom brendu, a što nije moglo da se iskaže kroz zatvorena pitanja. Za zatvorena pitanja obrada je realizovana pomoću kvantitativnih metoda, a otvorena pomoću kvalitativne metode.

#### **4. Analiza ankete – pitanja zatvorenog tipa**

U nastavku sledi analiza odgovora na zatvorena pitanja iz ankete, sa ciljem identifikovanja stavova i obrazaca ponašanja korisnika u vezi sa brendom JP Pošta Srbije.

##### **4.1. Percepcija poštanskih operatora kod fizičkih lica**

Pored snažne konkurencije u domenu KEP usluga, bito je napomenuti da JP Pošta Srbije, pored KEP usluga, pruža i univerzalnu poštansku uslugu, koja u određenim slučajevima može predstavljati supstitut za KEP usluge. Međutim, postavlja se pitanje

kako fizička lica – krajnji korisnici – doživljavaju poštanske operatore? Na pomen pojma "poštanski operator", dominantan broj korisnika i dalje prepoznaje JP Poštu Srbije kao primarnog pružaoca usluga (Tabela 2).

*Tabela 2. Prepoznatljivost poštanskih operatera kod fizičkih lica*

| Poštanski operator | Pozicioniranje operatera kod fizičkih lica |
|--------------------|--------------------------------------------|
| JP Pošta Srbije    | 37.3%                                      |
| PostExpress        | 27.1%                                      |
| BexExpress         | 16.1%                                      |
| AKS Express Kurir  | 9.2%                                       |
| D Express          | 4.3%                                       |
| DHL                | 3.8%                                       |
| PTT                | 1%                                         |
| City Express       | 0.8%                                       |
| Eko Kurir          | 0.3%                                       |

Brend JP Pošte Srbije među ispitanicima dominira u odnosu na ostala brendove sa 37.3%. Ovde se odvila jedna interesantna pojava a to je da korisnici delom pre percipiraju podbrend PostExpress, koji ima učeće u ispitivanju od 27.1% te se ta pojava naziva kanibalizacijom osnovnog brenda [7]. Naime, PostExpress je izgradio prilično jak brend u borbi sa privatnim KEP operatorima, tako da je došlo do toga da je verovatno pored novih korisnika privukao i priličan broj korisnika usluga JP Pošte Srbije. Samim tim došlo je do posmatranja JP Pošte Srbije kao operatora koji nudi usluge nižeg kvaliteta u odnosu na PostExpress bez obzira što su njegove usluge sa višom cenom. Taj problem u budućnosti može biti sve izraženiji ukoliko se ne preduzmu određene korektivne aktivnosti, gde će korisnici biti adekvatno upoznati sa razlikom između jednog i dugog brenda, kako u pogledu spektra usluga koje nude tako i sa jasnom cenovnom distinkcijom.

#### 4.2. Definisane hipoteze

U pogledu zatvorenih pitanja definisane su sledeće hipoteze od interesa za dalje istraživanje:

- H1: Starosna dob korisnika utiče na percepciju kvaliteta usluga JP Pošte Srbije
- H2: Korisnici loše percipiraju kvalitet usluga JP Pošte Srbije
- H3: Korisnici prepoznaju razliku u kvalitetu usluga između brenda JP Pošte Srbije i njenih konkurenata

**Hipoteza 1: "Starosna dob korisnika utiče na percepciju kvaliteta usluga JP Pošte Srbije".**

Prosečni ispitanik je starosti oko 45 godina (Tabela 3). Utvrđena je slaba korelacija između starosnih grupa i percipiranog kvaliteta usluga  $p=0.128$  (Tabela 4).

*Tabela 3. Deskriptivna statistika starsti korisnika ipercipiranog kvaliteta*

|                 | <b>Mean</b> | <b>Std. Deviation</b> | <b>N</b> |
|-----------------|-------------|-----------------------|----------|
| <b>Godine</b>   | 45.1        | 2.018                 | 391      |
| <b>Kvalitet</b> | 3.43        | .905                  | 391      |

*Tabela 4. Korelacija između godina i kvaliteta*

|                 |                     | <b>Godine</b> | <b>Kvalitet</b> |
|-----------------|---------------------|---------------|-----------------|
| <b>Godine</b>   | Pearson Correlation | 1             | .128*           |
|                 | Sig. (2-tailed)     |               | .011            |
|                 | N                   | 391           | 391             |
| <b>Kvalitet</b> | Pearson Correlation | .128*         | 1               |
|                 | Sig. (2-tailed)     | .011          |                 |
|                 | N                   | 391           | 391             |

Budući da ne postoji jasna percepcija u kvalitetu među starosnim grupama, može se reći da je to posledica tržišnog nastupa poštanskog operatora, koji se ne posvećuje starosnoj segmentaciji, već usluge usmerava na univerzalan način, znemarujući specifične potrebe starosnih grupa. Ovde postoji realna opasnost od konkurenata koji ukoliko to prepoznaju mogu da im preuzmu korisnike. Da li je u pitanju nedostatak resursa ili vremena ostaje otvoreno pitanje. Razlozi za izostajanje segmentacije korisnika mogu se tržiti i u uticaju države, tako da je izostalo aktivnije vođenje cenovne politike, te su usluge jednake za sve korisnike (a tu je i načelo za univerzalnu bez diskriminacije). Tako da se ovde još uvek mogu uočiti negativne posledice monopolskog položaja (koji i danas postoji u vidu rezervisanih usluga). Drugim rečima, starosne kategorije na osnovu sprovedene analize, su indiferentne u odnosu na ostvareni kvalitet usluga JP Pošte Srbije.

#### **Hipoteza 2: "Korisnici loše percipiraju kvalitet usluga JP Pošte Srbije".**

Prosečna ocena u pogledu kvaliteta je 3.43 (Tabela 5). To znači da korisnici osrednje percipiraju kvalitet i da ima prilično prostora za unapređenje. Zabrinjavajuće je da čak 12.5% fizičkih lica percipira kvalitet kao loš i veoma loš, dok svega 8.4% kvalitet doživljava kao veoma dobar (Tabela 6). Postavljena hipoteza 2 ne može biti potpuno potvrđena budući da najveći broj korisnika percipira kvalitet na prosečnom (36.8%) i dobrom nivou (42.2%). To znači da je kvalitet usluga dovoljno dobar da ne stvara negativne reakcije kod većine korisnika, ali ipak postoji prostor za poboljšanja kako bi se povećalo zadovoljstvo korisnika.

*Tabela 5. Statistika doživljenog kvaliteta*

| <b>Kvalitet</b> |         |      |
|-----------------|---------|------|
| N               | Valid   | 391  |
|                 | Missing | 0    |
| Mean            |         | 3.43 |

*Tabela 6. Učestanost procene kvaliteta usluga*

|              | Učestanost    | Procenat | Kumulativno % |
|--------------|---------------|----------|---------------|
| <b>Ocena</b> | 1 veoma loš   | 15       | 3.8           |
|              | 2 loš         | 34       | 12.5          |
|              | 3 prosečan    | 144      | 49.4          |
|              | 4 dobar       | 165      | 91.6          |
|              | 5 veoma dobar | 33       | 100.0         |
|              | Total         | 391      | 100.0         |

**Hipoteza 3: "Korisnici prepoznaju razliku u kvalitetu usluga između brenda JP Pošte Srbije i njenih konkurenata".**

Prosečna ocena od 2.77 (Tabela 7) i najčešće ocena od 3 (42.7%) (Tabela 8) govori da korisnici u pogledu kvaliteta ne uočavaju značajniju razliku po pitanju usluga koja pruža JP Pošta Srbije i njeni konkurenti, shodno tome hipoteza nije potvrđena. Ovde se otvara pitanje zašto korisnici ne primećuju komparativne prednosti JP Pošte Srbije i da li ih ona ima uopšte u poređenju sa konkurencijom. U ovoj situaciji, prosečna ocena 2.77 je bliža vrednosti koja bi označila da korisnici smatraju da je kvalitet sličan ili identičan u poređenju sa konkurencijom. Sve ovo ukazuje na **percepciju korisnika da nema značajnih razlika** u kvalitetu između JP Pošte Srbije i njenih konkurenata. Zašto korisnici ne prepoznaju komparativne prednosti JP Pošte Srbije u odnosu na konkurenciju, može ukazivati na nekoliko stvari:

1. Nedostatak inovacija ili diferencijacije u uslugama koje JP Pošta Srbije pruža u odnosu na konkurente.
2. Sličnost u kvalitetu usluga, što znači da korisnici ne vide značajnu razliku u korisničkom iskustvu.
3. Moguće slabo pozicioniranje brenda ili neadekvatna promocija prednosti koje JP Pošta Srbije može imati u odnosu na konkurenciju.

*Tabela 7. Ocena brenda JP Pošte Srbije u poređenju sa konkurentima*

|      |         |      |
|------|---------|------|
| N    | Valid   | 391  |
|      | Missing | 0    |
| Mean |         | 2.77 |
| Mode |         | 3    |

*Tabela 8. Raspodela korisnika po oceni u odnosu na konkurenciju*

|              | Učestanost      | Procenat | Kumulativno % |
|--------------|-----------------|----------|---------------|
| <b>Ocena</b> | 1 znatno bolji  | 53       | 13.6          |
|              | 2 malo bolji    | 92       | 23.5          |
|              | 3 isti          | 167      | 42.7          |
|              | 4 malo lošiji   | 48       | 12.3          |
|              | 5 znatno lošiji | 31       | 7.9           |
|              | Total           | 391      | 100.0         |

## 5. Analiza ankete – Kvalitativna analiza pitanja otvorenog tipa

Jedan od najvećih izazova na koje nailazi svako kvalitativno istraživanje je šta činiti sa podacima koji su prikupljeni [8]. O svakoj istraživačkoj temi se može očekivati širok spektar različitih odgovora koje je neophodno na neki način sistematizovati da bi se izveli određeni zaključci. Jedan od pristupa za kvalitativnu analizu otvorenih odgovora je eng. *thematic analysis*. Ona se može definisati kao metoda za identifikovanje i analiziranje obrazaca značenja u datom tekstu [9]. Zadatak koji se postavlja pred istraživače je kako kreirati odgovarajuće tumačenje na bazi izjava od interesa. Vrš se uočavanje obrazaca. Krajnji cilj koji se postavlja je da tematska analiza dovede do izbijanja u prvi plan najznačajnijih zaključaka u tumačenju raspoloživih tekstualnih zapisa [10].

Tematska analiza otvorenih pitanja u upitniku, grupisala je određene stratumne za pitanja otvorenog tipa koji se odnose na brend JP Pošte Srbije. Analiza je vršena uz pomoć NVivo softverskog paketa.

### 5.1. Šta vas asocira na brend JP Pošta Srbije?

Tematska analiza ovog pitanja došla je do sledećih segmenata (Tabela 9):

*Tabela 9. Asocijacije na brend JP Pošta Srbije*

| Redni broj | Teme                                      | Opis korisničke percepcije                                                                                                                                                                                    |
|------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1          | <b>Tradicionalnost i stabilnost</b>       | Pošta se doživljava kao institucija sa dugom tradicijom i stabilnošću, ali i kao zastarela i spora. Često se spominju pojmovi poput „državno preduzeće“ i „tromost“, što ukazuje na probleme u modernizaciji. |
| 2          | <b>Problemi sa efikasnošću i uslugama</b> | Korisnici su nezadovoljni brzinom i organizacijom usluga. Često se spominju pojmovi poput „sporost“, „kašnjenje“, „neprofesionalizam“, „gubitak pošiljki“. PostExpress se izdvaja kao pozitivniji primer.     |
| 3          | <b>Odnos prema korisnicima</b>            | Ljubaznost i uslužnost se povremeno spominju, ali u manjoj meri. To ukazuje na nedosledan kvalitet odnosa prema korisnicima.                                                                                  |
| 4          | <b>Bezbednost i pouzdanost</b>            | Korisnici cene sigurnost i tačnost, posebno pri slanju vrednih pošiljki. Dominiraju pojmovi kao što su „sigurno“, „pouzdanost“ i „tačno“.                                                                     |
| 5          | <b>Zadovoljstvo korisnika</b>             | I pored negativnih komentara, deo korisnika izdvaja pozitivna iskustva – posebno sa PostExpress uslugom. Pominju se pojmovi kao što su „kvalitet“, „praktično“, „pristupačno“.                                |

*Država, državno preduzeće, javni sektor, državni posao* i slični pojmovi ponovo ukazuju na to da korisnici percipiraju poštu kao deo državnog sistema, često sa negativnim konotacijama u vezi sa *neefikasnošću* i *neodgovornošću*.

*Paketi, pismo, poštar, koverta, marka* sugerišu na osnovne funkcije pošte – slanje paketa i pisama. Takođe, spominjanje *paketomata* i *kurirskih usluga* može

ukazivati na rastući trend korišćenja alternativnih metoda dostave, posebno za korisnike koji traže brže i modernije opcije.

Kvalitativna analiza navedenog pitanja ukazuje na to da korisnici poštanskih usluga u Srbiji imaju pomešane stavove: dok neki cene *tradiciju* i *sigurnost*, mnogi su *nezadovoljni* zbog *sporosti*, *neprofesionalizma*, *neorganizovanosti*, i *lošeg kvaliteta usluge*.

## 5.2. Da li postoji nešto što bi vas navelo da promenite brend?

U pogledu ovog pitanja otvorile su se sledeće teme (Tabela 10):

Tabela 10. Razlozi za moguću promenu brenda

| Redni broj | Teme                   | Opis korisničke percepcije                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1          | <b>Cena</b>            | Spominje se i <i>nizak kvalitet za visoku cenu</i> , što dovodi do nezadovoljstva korisnika u odnosu na vrednost koju dobijaju za novac.                                                                                                                                                                                                                                                |
| 2          | <b>Brzina</b>          | <i>Brzina isporuke i kašnjenje</i> su česti razlozi nezadovoljstva. Korisnici ističu <i>dugo čekanje</i> na dostavu, <i>sporost usluge</i> i <i>nisku efikasnost</i> u procesu isporuke kao ključne probleme. <i>Brzina</i> je česta tema u komentaru korisnika, jer mnogi traže <i>bržu isporuku</i> i <i>bolju organizaciju dostave</i> .                                             |
| 3          | <b>Kvalitet usluga</b> | Kvalitet usluga je često kritikovan, s naglaskom na <i>lošu uslugu</i> u smislu <i>neispunjenja očekivanja</i> , <i>neprofesionalizam</i> i <i>nedostatak efikasnosti</i> . Mnogi korisnici smatraju da konkurencija nudi kvalitetniju uslugu i bolje performanse. Takođe se spominje i <i>nepouzdanost usluge</i> kao značajan razlog za prelazak na konkurentne usluge.               |
| 4          | <b>Gužve</b>           | <i>Gužve na šalterskim mestima</i> i <i>dugo čekanje</i> na uslugu korisnicima stvaraju frustraciju. Ovaj problem se često pominje kao razlog za razmatranje drugih opcija koje mogu ponuditi brži i efikasniji servis.                                                                                                                                                                 |
| 5          | <b>Konkurencija</b>    | Mnogi korisnici veruju da bi <i>poboljšanje konkurencije</i> dovelo do boljih uslova i jače konkurencije na tržištu, što bi omogućilo <i> smanjenje cena</i> , <i>bržu dostavu</i> i <i>bolju uslugu</i> . S obzirom na to da konkurenti često nude <i>povoljnije uslove</i> , korisnici razmatraju mogućnost prelaska kod tih konkurenata u slučaju da Pošta ne unapredi svoje usluge. |
| 6          | <b>Reklamacije</b>     | <i>Komplikovan proces reklamacija</i> ili <i>nedostatak efikasne tehničke podrške</i> mogu dovesti korisnike do odabira konkurencije.                                                                                                                                                                                                                                                   |

Glavni faktori zbog kojih korisnici razmatraju promenu operatora su *cena*, *brzina dostave*, *kvalitet usluga*, *pouzdanost*, *nekvalitetni radnici*, *gubitak paketa* i *loša komunikacija*. Poboljšanja u ovim oblastima, uz veći fokus na efikasnost, ljubaznost i konkurentne cene, mogli bi značajno smanjiti broj korisnika koji razmatraju prelazak kod konkurencije.



## 6. Diskusija i zaključak

Dosadašnja analiza pruža uvid u trenutnu poziciju JP Pošte Srbije u tržištu poštanskih usluga, u kontekstu konkurencije i percepcije korisnika. Iako rezultati istraživanja pokazuju da korisnici ne percipiraju značajne razlike u kvalitetu usluga JP Pošte Srbije u poređenju s konkurencijom, visoka lojalnost korisnika i preporuke sugerišu da su emotivni faktori, tradicija i cena važni faktori koji utiču na njihov izbor.

Uprkos tome što mnogi korisnici ne primećuju značajne razlike u kvalitetu usluga, visok nivo lojalnosti brendu JP Pošte Srbije može se objasniti dugoročnim odnosom sa korisnicima, koji često podržavaju brend zbog emocionalne povezanosti, tradicije i poverenja koje je izgrađeno tokom godina.

JP Pošta Srbije se nalazi na raskrsnici – sa dobrom lojalnošću korisnika, ali i sa potrebom za unapređenjem kvaliteta usluga. Ako žele da zadrže i prošire svoj tržišni udeo, moraju uložiti napore u podizanje kvaliteta svojih usluga, kao i u unapređenje korisničkog iskustva.

## Literatura

- [1] JP Pošta Srbije(2025), retrieved June 5, 2025, from <https://www.posta.rs/eng/o-nama/istorijat.aspx>
- [2] APR. (2024). *Register*. Retrieved June 5, 2024, from <https://pretraga2.apr.gov.rs/unifiedentitysearch>
- [3] Khamitov, M., Wang, X., & Thomson, M. (2019). How well do consumer-brand relationships drive customer brand loyalty? Generalizations from a meta-analysis of brand relationship elasticities. *Journal of Consumer Research*, 46(3), 435-459
- [4] Albert, Noel and Matthew Thomson (2018), "A Synthesis of the Consumer-Brand Relationship Domain: Using Text Mining to Track Research Streams, Describe Their Emotional Associations and Identify Future Research Priorities," *Journal of the Association for Consumer Research*, 3 (2), 130-46.
- [5] „Službeni glasnik RS”, broj 18/05.
- [6] Goodman, L. A. (1961). Snowball sampling. *The annals of mathematical statistics*, 148-170.
- [7] Li, B., Li, X., & Liu, H. (2018). Consumer Preferences, Cannibalization, and Competition. *MIS Quarterly*, 42(2), 661-678
- [8] Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3, 77–101)
- [9] Guest, G., MacQueen, K. M., & Namey, E. E. (2012). *Applied thematic analysis*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- [10] Joffe, H. (2012). Thematic analysis. In D. Harper & A. R.Thompson (Eds.), *Qualitative research methods in mental health and psychotherapy* (pp. 209–223). Chichester, West Sussex, UK: Wiley-Blackwell

**Zahvalnica:** Ovo istraživanje je podržano od strane Departmana za saobraćaj Fakulteta Tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu u okviru projekta: „Razvoj i implementacija održivih saobraćajno - transportnih i logističkih tehnologija u nastavi i praksi”.

**Abstract:** *National postal operators, after decades of operating under market monopoly conditions, are now facing numerous challenges due to the processes of liberalization and deregulation of the postal sector. These changes have contributed to reshaping market dynamics, introducing competition, and redefining the role of traditional postal operators. This research focuses on the brand perception of the national postal operator in Serbia – PE Post of Serbia – from the perspective of end users, i.e., individual (physical) persons. The study was conducted through a survey using the snowball sampling method. Out of 396 completed surveys, 391 were valid. The survey data highlighted certain aspects and identified both positive and negative elements of PE Post of Serbia's brand positioning.*

**Keywords:** *PE Post of Serbia, brand, questionnaire, individuals*

## **BRAND POSITIONING OF PE POST OF SERBIA AMONG INDIVIDUAL CUSTOMERS**

Bojan Jovanović, Dragana Šarac, Nataša Čačić, Marina Marković

## **ULOGA MIKROHABOVA U UNAPREĐENJU URBANE DOSTAVE**

Milena Ninović, Slaviša Dumnić, Đorđije Dupljanin, Predrag Atanasković  
Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka,  
milenaninovic@uns.ac.rs, dumnic.s@uns.ac.rs,  
ddjordji@uns.ac.rs, predrag.atanaskovic@uns.ac.rs

**Rezime:** *Brz rast elektronske trgovine i povećani zahtevi korisnika za efikasnom dostavom doveli su do potrebe za novim dostavnim rešenjima u urbanim područjima. Mikrohabovi, kao manja distributivna čvorišta locirana bliže krajnjim korisnicima, izdvajaju se kao jedan od pristupa za unapređenje urbane dostave. Ovaj rad daje pregled koncepta mikrohabova, njihovih prednosti i izazova. Poseban akcenat stavljen je na doprinos mikrohabova održivoj i fleksibilnoj dostavi u urbanim sredinama.*

**Cljučne reči:** *mikrohabovi, prenos pošiljaka, dostava, održivost*

### **1. Uvod**

Razvoj elektronske trgovine i rast digitalnih platformi poslednjih godina značajno su povećali obim urbane dostave i pritisak na logistički sektor da poveća efikasnost i smanji negativne spoljne efekte, poput zagušenja saobraćaja, buke i emisija ugljen-dioksida [1]. Urbana distribucija robe (engl. *urban freight distribution – UFD*), koja je i pre pandemije COVID-19 predstavljala važan deo gradskog logističkog sistema, postala je još značajnija u postpandemijskom periodu, usled rasta potražnje za kućnim dostavama i individualnim porudžbinama [2].

Tradicionalni modeli dostave, oslonjeni na centralizovane preradne centre na periferiji gradova, nedovoljno su efikasni u uslovima sve veće urbanizacije i ograničenog pristupa gradskim jezgrima. Veliki broj dostavnih vozila u saobraćaju dovodi do povećanja zagušenja, potrošnje goriva i operativnih troškova [3]. Ovi izazovi zahtevaju inovativna rešenja koja omogućavaju održivije, brže i fleksibilnije modele dostave u okviru poslednje milje, faze dostave koja je najskuplja i ekološki najopterećujuća [4].

U tom kontekstu, mikrohabovi (engl. *microhubs*) predstavljaju perspektivno rešenje savremene urbane logistike. Mikrohabovi su manji, lokalizovani logistički centri postavljeni bliže krajnjim korisnicima, koji omogućavaju konsolidaciju pošiljaka i njihovo preusmeravanje na održivije oblike transporta, poput kargo-bicikala ili električnih dostavnih vozila [5]. Ovi mikrokonsolidacioni centri doprinose smanjenju ukupnog pređenog puta, broja vozila u centralnim gradskim zonama i emisija CO<sub>2</sub>, čime unapređuju efikasnost i održivost urbanog transporta. Mikrohabovi su u skladu sa evropskim politikama održive mobilnosti i zelenih gradova, kao i sa ciljem Evropske unije da do 2030. godine značajno smanji emisije štetnih gasova iz sektora transporta [6].

Istraživanje koncepta mikrohabova od posebnog je značaja jer oni predstavljaju spoj logistike, urbanističkog planiranja i politike održive mobilnosti – oblasti koje tradicionalno funkcionišu odvojeno, ali sada zahtevaju integrisani pristup.

Cilj ovog rada je da analizira ulogu mikrohabova u unapređenju efikasnosti, održivosti i dostupnosti urbane dostave, kroz pregled savremenih pristupa, modela i primera dobre prakse u Evropi, te da identifikuje ključne faktore koji utiču na njihovu uspešnu implementaciju.

## 2. Teorijski okvir i koncept mikrohabova

Rast urbanog stanovništva i brzi razvoj e-trgovine značajno su povećali potražnju za UFD-om, čime su istovremeno pojačani izazovi u pogledu zagušenja saobraćaja, emisije gasova sa efektom staklene bašte i buke [7]. Prema podacima iz 2018. godine, oko 55% svetskog stanovništva živelu je u gradovima, a procenjuje se da će taj udeo dostići 68% do 2050. godine [7]. Ovaj proces urbanizacije uzrokovao je povećano zagušenje u svim vidovima transporta, a naročito u oblasti UFD-a, što dodatno pojačava ekološke i društvene probleme [8].

Iako UFD čini tek 10–20% ukupnog drumskog saobraćaja, njen doprinos zagušenju je nesrazmerno veći, posebno u zonama sa ograničenom infrastrukturuom [9]. Pritom, učestalo zaustavljanje dostavnih vozila radi utovara i istovara na veoma aktivnim saobraćajnicama remeti protok vozila, povećava emisije štetnih gasova i buku, koji čine oko 25% i 30–50% ukupnih transportnih zagađenja [10].

U svetlu navedenih izazova, jedno od rešenja su mikrohabovi koji omogućavaju preтовar i distribuciju robe pomoću vozila sa niskim emisijama, poput električnih kombija ili kargo-bicikala [11]. Ovaj pristup može doprineti smanjenju prisustva dizel i benzin vozila u stambenim zonama, čime se umanjuje zagađenje, buka i broj saobraćajnih nezgoda, uz istovremeno omogućavanje brže i ekonomičnije dostave u gusto naseljenim, urbanim sredinama [12].

### 2.1. Definisanje mikrohabova

Prema [13], mikrohab predstavlja mali logistički prostor lociran unutar gradskog jezgra ili njegove neposredne okoline, namenjen različitim funkcijama urbane dostave: privremenom skladištenju i preтовaru robe, punjenju električnih vozila, deljenju voznog parka, zameni baterija i upravljanju reverznom logistikom. Ključna karakteristika mikrohaba jeste njihova kompaktna veličina, koja omogućava uklapanje u postojeću gradsku infrastrukturu – železničke i autobuske stanice, javne garaže, pijace ili tržne centre. Primer mikrohabova dat je na slici 1.



Slika 1. Primer mikrohabova [14]

Zbog ograničenog prostora u centralnim zonama, razvoj mikrohabova često zahteva kreativno korišćenje javnih površina i partnerstvo između lokalnih vlasti i privatnog sektora. Podrška gradskih institucija kroz regulative i javne politike od suštinskog je značaja za njihovu uspešnu implementaciju.

U pojedinim slučajevima, mikrohabovi funkcionišu kao deljeni prostori koje zajednički koriste različite dostavne kompanije. Ovaj model doprinosi smanjenju broja dostavnih vozila u saobraćaju, boljem iskorišćenju kapaciteta i većem stepenu bezbednosti u saobraćaju, dok se istovremeno smanjuju buka i zagađenje.

Tehnološki aspekt mikrohabova sve više uključuje principe tzv. „fizičkog interneta” (engl. *Physical Internet*), koji podrazumeva standardizovanu i umreženu razmenu resursa među partnerima. Na taj način se omogućava efikasnije planiranje, deljenje kapaciteta i koordinacija dostave u poslednjoj milji.

Kao fleksibilni elementi urbane dostave, mikrohabovi podstiču prelazak na održive oblike dostave i omogućavaju racionalnije korišćenje urbanog prostora. Njihova primena u različitim evropskim gradovima pokazuje visok potencijal za replikaciju i prilagođavanje lokalnim uslovima, čime postaju važan alat za stvaranje održivih i otpornih urbanih logističkih mreža.

## 2.2. Primeri dobre prakse

Evropski projekti finansirani iz programa Horizon Europe nude konkretne primere uspešne implementacije mikrohabova [13]:

- Logroño (Španija) – u okviru projekta DECARBOMILE, mikrohab je smešten u podrum lokalne pijace San Blas i koristi se za pretovar robe sa teretnih vozila na električne kargo-bicikle. Ovaj pilot projekat obuhvata i funkcije reverzne logistike, uključujući prikupljanje i reciklažu otpada i razvoj usluga zajedničke dostave osnovnih proizvoda ranjivim grupama stanovništva.
- Bolonja (Italija) – u sklopu projekta URBANE, testirana su tri mikrohaba u formi lokera koji omogućavaju prenos tereta sa konvencionalnih vozila na laka električna dostavna vozila. Projekat je pokazao da digitalni alati, poput *digital twins* modela, značajno doprinose optimizaciji planiranja i donošenja odluka.
- Atina (Grčka) – kroz projekat GREEN-LOG, grad uvodi mikro-konsolidacione centre i mobilne depoe u saradnji sa privatnim operaterima (npr. ACS i FedEx). Korišćenjem zajedničkih električnih vozila i pametnih lokera, projekat smanjuje redundantne rute i povećava efikasnost dostave, u skladu sa evropskim ciljevima zelene mobilnosti.

Značajan primer van ovih projekata predstavlja Hamburški model mikrohabova, koji je kompanija UPS razvila u saradnji sa Gradom Hamburgom. Još od 2012. godine, u centru grada postavljeno je više mini-distributivnih centara koji služe kao polazne tačke za dostavu paketa električnim kargo-biciklima, triciklima ili ručnim kolicima sa električnom asistencijom. Svakog jutra kamioni dopremaju kontejnere sa pošiljkama (oko 20 m<sup>2</sup>), koji ostaju parkirani tokom dana, čime se omogućava dostava bez emisija štetnih gasova i smanjuje saobraćajnu opterećenje u centru grada.

Slični mikrohab modeli razvijeni su i u drugim gradovima – poput Seattlea, gde je Univerzitet Vašington zajedno sa gradskom upravom sproveo pilot projekat dostave e-biciklima koji je smanjio emisije CO<sub>2</sub> za 30%, te Londona i Njujorka, gde su parking prostori i garaže transformisani u male centre za konsolidaciju pošiljki.

Ovi primeri potvrđuju da mikrohabovi mogu predstavljati tačku transformacije urbanih logističkih sistema, kroz sinergiju ekoloških ciljeva, efikasnosti i društvenih koristi.

### 2.3. Poslovni modeli i operativni pristupi

U okviru savremenih koncepata urbane logistike i ekonomije deljenja, mikrohabovi su postali element za razvoj novih poslovnih i operativnih modela. Njihova uloga prevazilazi klasične prerađne centre jer omogućavaju fleksibilnije, efikasnije i ekološki održive oblike dostave robe u urbanim sredinama [15].

Tipologija modela obuhvata više pristupa, u zavisnosti od strukture tržišta, nivoa digitalizacije i stepena saradnje među akterima. **Platforme koje povezuju više kurirskih operatera**, poput Urb-it i Stuart, funkcionišu po modelu „logističkog agregatora“ koji optimizuje tokove dostave, smanjuje broj vozila u centru grada i omogućava veću iskorišćenost resursa [16].

Drugi pristup predstavljaju **peer-to-peer modeli**, tj. modeli zasnovani na *crowdsipping* konceptu, gde pojedinci obavljaju dostavu koristeći lična vozila ili bicikle. Ovaj model se oslanja na fleksibilnost i digitalne platforme koje povezuju građane sa potrebama lokalne dostave, što smanjuje pritisak na postojeće logističke mreže i podstiče cirkularnu ekonomiju [17]. Ipak, ovi modeli često se suočavaju sa izazovima pouzdanosti i nedostatkom formalne regulative, što ograničava njihovu širu primenu.

Posebno značajni su **kooperativni modeli**, gde više logističkih kompanija koristi zajedničke mikrohabove i deljenu infrastrukturu. Takav pristup omogućava racionalnije korišćenje prostora, smanjenje troškova poslednje milje i bolje iskorišćenje vozila i ljudskih resursa [18].

Ekonomika mikrohabova zasniva se na **optimizaciji troškova** – smanjenju broja vozila u saobraćaju, smanjenju emisija CO<sub>2</sub> i povećanju efikasnosti poslednje milje [19]. Osim toga, mikrohabovi omogućavaju veću dostupnost i transparentnost podataka kroz digitalne alate, čime se poboljšava planiranje ruta i nadzor nad tokovima dostave [20].

**Lokalne samouprave i javno-privatna partnerstva** imaju važnu ulogu u uspešnoj implementaciji mikrohabova. Gradovi kao što su Bolonja i Atina pokazuju da zajednička ulaganja u infrastrukturu, regulativne olakšice i podsticaji za korišćenje električnih vozila doprinose uspehu projekata ovog tipa [13, 15].

### 3. Izazovi i ograničenja implementacije

Implementacija mikrohabova suočava se s brojnim izazovima, pre svega u identifikaciji optimalnih lokacija koje zadovoljavaju kriterijume efikasnosti i minimalnog narušavanja urbanog prostora [20]. Izbor lokacija obično se odvija u dve faze: analiza urbanih pokazatelja i tehnička evaluacija, uz primenu metoda kao što su *Delphi* analiza i *Data Envelopment Analysis (DEA)*, ali i drugih, što omogućava sistematičnu selekciju najpovoljnijih lokacija [20].

Integracija mikrohabova u postojeću infrastrukturu može smanjiti gužvu u saobraćaju, dok zajedničko korišćenje od strane više kurirskih operatera omogućava racionalnije upravljanje resursima i pravedniju raspodelu troškova [21-23].

Glavni izazovi uključuju nedostatak adekvatne infrastrukture i regulative, potrebu za standardizacijom procesa i interoperabilnošću digitalnih platformi, visoke inicijalne troškove opremanja i razvoja softverskih rešenja, kao i pravna i urbanistička pitanja vezana za korišćenje prostora [15, 19, 24, 25]. Nedostatak koordinacije među lokalnom samoupravom, logističkim kompanijama i društvenom zajednicom može ograničiti efikasnost i prihvaćenost projekata. Uspešna implementacija mikrohabova zahteva zajedničku viziju i dugoročne modele partnerstva [16].

Stoga, razvoj mikrohabova ne zavisi samo od tehnoloških i infrastrukturnih faktora, već i od sposobnosti gradova da uspostave inkluzivne, koordinisane i transparentne mehanizme saradnje između javnog i privatnog sektora.

#### 4. Zaključak

Mikrohabovi predstavljaju inovativno rešenje za izazove urbane logistike i dostave u poslednjoj milji, omogućavajući kombinaciju ekonomskih, ekoloških i društvenih koristi. Njihov značaj ogleda se u smanjenju emisija štetnih gasova, optimizaciji ruta i racionalnijem korišćenju urbanog prostora. Efikasnost mikrohabova zavisi od strateškog odabira lokacija, institucionalne podrške, digitalne povezanosti i spremnosti aktera na saradnju i deljenje resursa.

Pilot-projekti u evropskim gradovima pokazuju visok stepen prilagodljivosti i potencijal za replikaciju, što sugerise da mikrohabovi mogu biti uspešno integrisani i u složene urbane strukture. Gradovi u Srbiji i regionu imaju značajan potencijal da primene ovaj koncept, čime bi se smanjilo zagušenje, povećala efikasnost dostave i stvorile ekološki prihvatljivije i bezbednije urbane sredine.

**Zahvalnica:** Ovo istraživanje je podržano od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija kroz Ugovor br.: 451-03-136/2025-03/200156.

#### Literatura

- [1] Allen, J., Piecyk, M., Piotrowska, M., McLeod, F., Cherrett, T., Ghali, K., ... & Browne, M. (2018). Understanding the impact of e-commerce on last-mile light goods vehicle activity in urban areas: The case of London. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61, 325–338.
- [2] Castillo, C., Panadero, J., Alvarez-Palau, E. J., & Juan, A. A. (2024). Towards greener city logistics: an application of agile routing algorithms to optimize the distribution of micro-hubs in Barcelona. *European Transport Research Review*, 16(1), 44.
- [3] Cherrett, T., Allen, J., McLeod, F., Maynard, S., Hickford, A., & Browne, M. (2012). Understanding urban freight activity—key issues for freight planning. *Journal of Transport Geography*, 24, 22–32.
- [4] Melo, S., & Baptista, P. (2017). Evaluating the impacts of using cargo cycles on urban logistics: Integrating traffic, environmental and operational boundaries. *European Transport Research Review*, 9(2), 30.
- [5] Katsela, K., Güneş, Ş., Fried, T., Goodchild, A., & Browne, M. (2022). Defining urban freight microhubs: A case study analysis. *Sustainability*, 14(1), 532.
- [6] European Commission. (2020). *Sustainable and Smart Mobility Strategy – Putting European transport on track for the future*. Brussels: European Commission.
- [7] United Nations. (2019). *World urbanization prospects: The 2018 revision*. United Nations.
- [8] Kiba-Janiak, M. (2017). Urban freight transport in city strategic planning. *Research in Transportation Business & Management*, 24, 4–16.
- [9] Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J., & Rhoades, J. (2015). Sustainable city logistics – Making cargo cycles viable for urban freight transport. *Research in Transportation Business & Management*, 15, 50–57.
- [10] ALICE/ERTRAC Urban mobility WG. (2015). *Urban freight research roadmap*. Dostupno na: [https://www.ertrac.org/wp-content/uploads/2022/07/ERTRAC\\_Alice\\_Urban\\_Freight.pdf](https://www.ertrac.org/wp-content/uploads/2022/07/ERTRAC_Alice_Urban_Freight.pdf)
- [11] He, Z., & Haasis, H. D. (2019). Integration of urban freight innovations: Sustainable inner-urban intermodal transportation in the retail/postal industry. *Sustainability*, 11(6), 1749.
- [12] Browne, M., Brettmo, A., & Lindholm, M. (2018). Stakeholder engagement partnerships improved logistics urban. In *Urban logistics: Management, policy and innovation in a rapidly changing environment* (pp. 257–359).

- [13] European Commission. (2025). *Microhubs: The future of last-mile logistics*. Urban Mobility Observatory. Dostupno na: [https://urban-mobility-observatory.transport-ec.europa.eu/news-events/news/microhubs-future-last-mile-logistics-2025-04-14\\_en](https://urban-mobility-observatory.transport-ec.europa.eu/news-events/news/microhubs-future-last-mile-logistics-2025-04-14_en)
- [14] CityChangers. (2021). *How to deliver goods via a micro hub: Insights from a package delivery company*. Dostupno na: <https://citychangers.org/how-to-deliver-goods-via-a-micro-hub/>
- [15] EIT Urban Mobility. (2025). *Exploring the future of microhubs in last-mile logistics*. Marketplace Insights. Dostupno na: <https://marketplace.eiturbanmobility.eu/insights/exploring-the-future-of-microhubs-in-last-mile-logistics>
- [16] Dablanc, L., Morganti, E., Arvidsson, N., Woxenius, J., Browne, M., & Saidi, N. (2017). The rise of on-demand ‘instant deliveries’ in European cities. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 18(4), 203–217.
- [17] Allen, J., Browne, M., & Cherrett, T. (2012). Investigating relationships between road freight transport, facility location, logistics management and urban form. *Journal of Transport Geography*, 24, 45–57.
- [18] Crainic, T. G., Ricciardi, N., & Storchi, G. (2009). Models for evaluating and planning city logistics systems. *Transportation Science*, 43(4), 432–454.
- [19] Savelsbergh, M., & Van Woensel, T. (2016). 50th Anniversary Invited Article—City logistics: Challenges and opportunities. *Transportation Science*, 50(2), 579–590.
- [20] Kovač, M., Tadić, S., Krstić, M., & Veljović, M. (2023). A methodology for planning city logistics concepts based on city-dry port micro-consolidation centres. *Mathematics*, 11(15), 3347.
- [21] Aljohani, K., & Thompson, R. G. (2020). A multi-criteria spatial evaluation framework to optimise the siting of freight consolidation facilities in inner-city areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 138, 51–69.
- [22] Rudolph, C., Nsamzinshuti, A., Bonsu, S., Ndiaye, A. B., & Rigo, N. (2022). Localization of relevant urban micro-consolidation centers for last-mile cargo bike delivery based on real demand data and city characteristics. *Transportation Research Record*, 2676(1), 365–375.
- [23] Escuin, D., Larrodé, E., & Millán, C. (2016). A cooperative waiting strategy based on elliptical areas for the Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows. *Journal of Advanced Transportation*, 50(8), 1577–1597.
- [24] Lindholm, M., & Behrends, S. (2012). Challenges in urban freight transport planning – A review in the European context. In E. Taniguchi & R. G. Thompson (Eds.), *City logistics V* (pp. 119–132). Nova Science Publishers.
- [25] Taniguchi, E., Thompson, R. G., & Yamada, T. (2016). New opportunities and challenges for city logistics. *Transport Reviews*, 40(1), 1–25.

**Abstract:** *The rapid growth of e-commerce and increasing customer demands for efficient delivery have created a need for new solutions in urban logistics. Microhubs, as small distribution nodes located closer to end users, have emerged as a promising approach to enhancing urban delivery. This paper provides an overview of the microhub concept, its advantages, and associated challenges. Special emphasis is placed on the contribution of microhubs to sustainable and flexible delivery in urban environments.*

**Keywords:** *microhubs, parcel transfer, delivery, sustainability*

## **THE ROLE OF MICROHUBS IN ENHANCING URBAN DELIVERY**

Milena Ninović, Slaviša Dumnić, Đorđije Dupljanin, Predrag Atanasković



## **DOPRINOS UNAPREĐENJU ODRŽIVOSTI SISTEMA ZA PRENOS POŠILJAKA KROZ OPTIMIZACIJU PAKOVANJA**

Momčilo Dobrodolac<sup>1</sup>, Dragan Lazarević<sup>1</sup>, Aleksandar Trifunović<sup>1</sup>, Đorđe Popović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet,

m.dobrodolac@sf.bg.ac.rs, d.lazarevic@sf.bg.ac.rs, a.trifunovic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup>Univerzitet u Istočnom Sarajevu – Saobraćajni fakultet Doboj,

djordje.popovic@sf.ues.rs.ba

**Rezime:** Cilj ovog rada jeste da ukaže na značaj održivih pristupa i rešenja za pakovanje poštanskih pošiljaka, imajući u vidu da postoji direktna povezanost između ovog procesa i održivosti čitavog sistema za prenos pošiljaka. U radu je dat pregled doprinosa unapređenju održivosti za tri izdvojena pristupa: reciklabilna ambalaža, višekratna ambalaža i precizno dimenzionisana ambalaža (real-size). Dodatno, kroz islustrativni numerički primer pokazan je značajan potencijal za unapređenje održivosti sistema za prenos pošiljaka primenom optimizovanih rešenja pakovanja.

**Ključne reči:** održivost poštanskog sistema, optimizovana rešenja pakovanja, reciklabilna ambalaža, višekratna ambalaža, real-size ambalaža

### **1. Uvod**

Sistemi za prenos pošiljaka predstavljaju ključne subjekte u sektoru uslužnih delatnosti, jer za širok spektar poslovnih i privatnih korisnika obezbeđuju različite vrste poštanskih i logističkih usluga. Nudioci usluga nastoje da istovremeno ispune zahteve korisnika i ostvare što veći nivo profitabilnosti. Tehnološki proces prenosa pošiljaka obuhvata više uzastopnih faza, među kojima je dostava u okviru uručjenja jedna od tehnološki i finansijski najzahtevnijih [1], [2]. 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. Takođe, u praksi je sve više prisutno uvođenje samouslužnih mašina koje su dostupne korisnicima 24 časa dnevno, 7 dana u nedelji [3], [4]. Pored dostave, kao najzahtevnije faze, poštanski operatori kontinuirano teže optimizaciji celokupnog procesa prenosa pošiljaka, kako u pogledu smanjenja troškova, tako i u pogledu podizanja kvaliteta usluge. U dostupnoj literaturi mogu se pronaći brojna istraživanja koja se bave unapređenjem funkcionisanja poštanskih sistema, najčešće kroz analizu postojećeg stanja i identifikaciju pravaca daljeg razvoja [5].

Pored ekonomske održivosti, koja ima direktan interni uticaj na kompaniju, poštanski operatori su danas pod sve većim pritiskom da očuvaju i unaprede održivost i u društvenoj i u ekološkoj dimenziji. Društveni aspekt podrazumeva pre svega obezbeđivanje teritorijalne, vremenske i ekonomske dostupnosti poštanskih usluga za korisnike, kao i inkluziju različitih društvenih slojeva i grupa u poštanski sistem. Uticaji čoveka na životnu sredinu su različitog porekla, vrste i intenziteta, ali u mnogim oblicima izazivaju značajne negativne posledice. Njihovo ublažavanje ili eliminisanje predstavlja izuzetno aktuelan zadatak na globalnom nivou. Jedan od najznačajnijih negativnih uticaja odnosi se na emisiju štetnih gasova, nastalu kao produkt sagorevanja fosilnih goriva u transportu. Korišćenje fosilnih goriva predstavlja rastući problem, jer doprinosi visokom nivou emisije CO<sub>2</sub> i zahteva adekvatne korektivne mere i društvenu pažnju [6], [7]. Posebno je važno istaći da u logističkim i poštanskim sistemima i sam način pakovanja pošiljaka može imati indirektan, ali značajan uticaj na životnu sredinu: neadekvatne ili prevelike ambalaže povećavaju zapreminu i masu pošiljke, smanjuju iskorišćenost transportnog prostora i posledično dovode do angažovanja dodatnih resursa, a samim tim i većih emisija štetnih gasova. Ostaci korišćene ambalaže, doprinose zagađenju životne sredine. Dodatno, jasan je i negativan aspekt po pitanju uvećanja troškova. U skladu sa navedenim, fenomen koji se razmatra se može sagledati sa dva nezavisna stanovišta - kao problem pakovanja pošiljaka i iskorišćenja tovarnog prostora transportnog sredstva, odnosno kao problem iskorišćenja i korišćenja ambalaže za pošiljke. U oba slučaja, adekvatna rešenja mogu delovati pozitivno na održivost čitavog sistema za prenos pošiljaka. Kada govorimo o unapređenju iskorišćenja tovarnog prostora, zasniva se na primeni različitih algoritama, koji rešavaju zadatak koji je u literaturi poznat kao 3D bin packing problem. Cilj je da se što efikasnije rasporede, odnosno spakuju poštanske pošiljke u ograničen prostor kao što su tovarni prostor poštanskog vozila ili kontejnera, kako bi se smanjio broj tura, odnosno povećala efikasnost čitavog procesa prenosa [8].

U ovom radu, fokus je usmeren na pregled održivih rešenja ambalaže, sa ciljem podizanja svesti ka unapređenju održivosti i sagledavanju efekata u poštanskim sistemima. Prikazani su rezultati analize doprinosa unapređenju održivosti poštanskog sistema, za tri izdvojena rešenja održive ambalaže: reciklabilna ambalaža, višekratna ambalaža i precizno dimenzionisana ambalaža (real-size). Dodatno, prikazan je ilustrativni numerički primer kroz koga se može sagledati uticaj optimizovanih rešenja pakovanja.

## **2. Pregled literature i iskustava iz prakse**

Istraživačke studije u oblasti korišćenja održive ambalaže obuhvataju skup različitih tema. Istraživanja se uglavnom bave različitim vidovima optimizacije ambalaže, kao što su prilagođavanje dimenzija pakovanja, standardizacija, sastav materijala za izradu i reciklaža, višekratna ambalaža u logistici i sl. U literaturi se mogu pronaći brojna istraživanja koja se odnose na korišćenje reciklirane ambalaže, što je već duže vreme tendencija u logističkim lancima [9], [10]. Jedan od istaknutih trendova se odnosi i na koncept višekratne i povratne ambalaže. U nastavku je kratak prikaz pojedinih istraživanja, koji se odnose na korišćenje višekratne ambalaže u različitim oblastima logistike. Prethodno je potrebno definisati razliku odnosno povezanost između povratne i višekratne ambalaže. Višekratna ambalaža se može koristiti više puta, bez obaveznog povratka istom pošiljaocu ili operatoru. Sa druge strane, višekratna ambalaža koja se

vraća nazad u sistem (pošiljaocu, operatoru...) radi ponovne upotrebe je povratna ambalaža, pri čemu je od velikog značaja organizacija povratne logistike. Naime, svaka povratna ambalaža je višekratna, ali nije svaka višekratna ambalaža automatski i povratna.

U radu [11], autori su se bavili razvojem modela zatvorenog lanca snabdevanja za povratnu transportnu ambalažu izrađenu od samozaceljujućih polimera, sa ciljem unapređenja ekonomske i ekološke održivosti. Model koristi višekriterijumski pristup koji istovremeno maksimizuje profit i minimizuje emisije, uz primenu metaheurističkih metoda. U istraživanju [12] analizira se upotreba povratne ambalaže u automobilskom lancu snabdevanja i određuje optimalan broj povratne ambalaže u uslovima neizvesne tražnje i promenljivih vremenskih odrednica povratne logistike. Korišćenjem simulacionih eksperimenata i analize osetljivosti, utvrđeno je da je veća početna nabavka povratne ambalaže isplativija kada su operacije dugotrajnije, dok se korist smanjuje kada je period poslovanja kratak i neizvesnost velika. U istraživanju [13] se ide i korak dalje u eksploatacionom smislu, gde se analizira slučaj kompanija koje iznajmljuju višekratnu ambalažu. Naime, rad analizira upravljanje višekratnom ambalažom iz perspektive ovih kompanija, pri čemu se predlaže strategija deljenja za optimizaciju svakodnevnih procesa distribucije i rutiranja. Na osnovu studije slučaja jedne kineske kompanije, razvijen je okvir za podršku odlučivanju koji optimizuje tokove i rute vozila. Empirijski rezultati pokazuju da predloženi pristup smanjuje troškove transporta za 28,1% i istovremeno donosi ekološke i društvene koristi kroz kraće putne distance. Kada je reč o upravljanju povratnom ambalažom, u radu [14] korišćena je FlexSim simulacija i pokazano je da uvođenje povratne ambalaže i njen dobro organizovan prenos unapređuje efikasnost poslovanja i smanjuje troškove. Brojna istraživanja su posvećena uticaju povratne ambalaže na unapređenje održivosti u okviru logističkih sistema, naročito nakon ekspanzije e-trgovine [15]. Kada je reč o prenosu pošiljaka i višekratnoj ambalaži, istraživanja se uglavnom vezuju za prenos ekspres pošiljaka. U istraživanju [16], navodi se da prenos ekspres pošiljaka u Kini, kao i svuda u svetu, doživljava ekspanziju i da je samo u 2021. godini broj dostava iznosio preko 108 milijardi. Zbog rastuće potražnje za ambalažom i pratećih pritisaka na životnu sredinu, široka primena višekratne poštanske ambalaže postala je ključna za promovisanje koncepta „reduce, reuse, recycle“ (3R). U studiji je sprovedena analiza životnog ciklusa i izvršeno poređenje ekološkog uticaja višekratne ambalaže sa tradicionalnom ambalažom. Definisano je pet scenarija, uključujući klasične plastične kese i kartonske kutije, kao i višekratne kese i kutije. Rezultati su pokazuju da korišćenje višekratnih ambalažnih kesa, smanjuje negativan ekološki uticaj za 59% u odnosu na put spaljivanja otpada i 26% u odnosu na recikliranje plastičnih kesa. Višekratne ambalažne kutije imaju 63% manji negativni ekološki uticaj u odnosu na tradicionalne kartonske kutije. Rezultati studije pokazuju i da bi se smanjilo zagađenje i emisije gasova sa efektom staklene bašte, višekratne kutije i kese treba upotrebiti najmanje pet odnosno petnaest puta. U radu [17], autori takođe navode da e-trgovina značajno doprinosi zagađenju životne sredine usled velike količine ambalažnog otpada. Kao odgovor, takođe se predlaže primena višekratne ambalaže. Takođe, navodi se da se široka primena višekratne ambalaže suočava i sa značajnim izazovima, pre svega visokim početnim investicionim troškovima i reciklažom. Kako bi se ovi izazovi prevazišli, poboljšala efikasnost korišćenja resursa i smanjila neusklađenost između ponude i potražnje, deljenje zaliha (inventory sharing) ističe se kao efikasna mera. Ističe se da upravo deljenje višekratne ambalaže između operatora olakšava prevazilaženje

problema visokih početnih ulaganja i složenog procesa reciklaže, čime se podstiče šira primena i održivost ovog koncepta. Studija [18] se bavi razvojem modela za uporednu analizu emisija CO<sub>2</sub> kod jednokratne i višekratne ambalaže za prenos pošiljaka, koji je potom primenjen na dva sistema višekratne ambalaže trenutno dostupnih na tržištu. Rezultati pokazuju da postoje značajne razlike u izračunatim emisijama CO<sub>2</sub> analizirane jednokratne i višekratne ambalaže, gde višekratna ambalaža već nakon nekoliko upotreba postaje bolja opcija.

U nastavku su prikazani primeri iz prakse poštanskih operatora, uključujući i kompaniju Amazon, i njihova rešenja na polju održive ambalaže za prenos pošiljaka.

U okviru kompanije DHL, navode da globalno tržište održivog pakovanja očekuje da dostigne 418,6 milijardi dolara do 2027. godine, dok 85% potrošača navodi da održivo pakovanje utiče na njihove odluke o kupovini i korišćenju usluga. Regulatorni pritisci takođe rastu, jer vlade širom sveta uvode strože zahteve. Održivo pakovanje podrazumeva smanjenje uticaja na životnu sredinu tokom celog životnog ciklusa proizvoda – od nabavke i proizvodnje, do dostave i odlaganja. To znači upotrebu materijala i dizajna koji smanjuju otpad, emisije i zadržavaju resurse u opticaju što je duže moguće. Postoji više vrsta održivog pakovanja, uključujući reciklabilno, kompostabilno, biorazgradivo, višekratno, minimalističko i pakovanje sa recikliranim sadržajem. Ovakva rešenja pomažu da se smanji ekološki uticaj, privuku ekološki osvešćeni potrošači, umanju otpad i optimizuje upotreba prostora tokom transporta. Iako održivo pakovanje može delovati skuplje na početku, dugoročno donosi uštede kroz lakše materijale, manju količinu korišćenih materijala, izdržljivost višekratnih rešenja i izbegavanje kazni povezanih sa novim propisima. Kompanija nudi rešenja za optimizaciju pakovanja i pouzdane izvore održivih materijala eksternim partnerima, kako bi se prevazišle barijere poput cene, performansi materijala, skalabilnosti i dostupnosti.<sup>1</sup>

Kompanija FedEx aktivno razvija i koristi održiva pakovanja kao deo svoje strategije smanjenja emisija i unapređenja ekološke odgovornosti. Kompanija nudi ambalažu koja je u potpunosti reciklabilna, kao i proizvode izrađene od recikliranog sadržaja, čime doprinosi smanjenju upotrebe primarnih resursa. Poseban akcenat stavlja se na višekratna pakovanja, uključujući i scenario povratnog toka ambalaže, čime se smanjuje količina otpada i ukupni ekološki otisak. FedEx insistira na optimalnoj upotrebi materijala, dizajnirajući pakovanja sa minimalnom potrebnom količinom materijala (*right-size your packaging*) kako bi se smanjila masa, zapremina i potrošnja resursa, uz održavanje potrebnog nivoa zaštite sadržaja tokom transporta. Kompanija kroz svoj *Packaging Lab* omogućava korisnicima besplatna testiranja performansi pakovanja, čime osigurava da održiva ambalaža zadovoljava tehnološke i logističke zahteve u realnim uslovima prenosa. Sve ove aktivnosti deo su šire strategije FedEx-a usmerene ka postizanju neutralnosti emisija CO<sub>2</sub> do 2040. godine, u kojoj održivo pakovanje predstavlja jedan od ključnih elemenata.<sup>2</sup>

Kompanija UPS (*United Parcel Service*) je takođe posvećena unapređenju cirkularne ekonomije kroz održive prakse pakovanja. To podrazumeva smanjenje otpada, povećanje mogućnosti reciklaže i upotrebu obnovljivih materijala. Kompanija takođe radi na unapređenju svojih sistema reverzne logistike kako bi omogućila bolju ponovnu

---

<sup>1</sup> <https://www.dhl.com/discover/en-global/logistics-advice/sustainability-and-green-logistics/sustainable-packaging-in-logistics>

<sup>2</sup> <https://www.fedex.com/en-us/shipping/packing/supplies/sustainable-packaging.html#explorepackaging>

upotrebu ambalaže i efikasnije vraćanje materijala u tok reciklaže. Kina je postala prva država u okviru UPS mreže koja je uvela biorazgradive kese za pakovanje u svoje poslovanje, koje se razgrađuju u roku od 180 dana putem kompostiranja. Cilj kompanije je da zaključno sa ovom godinom 100% ambalaže bude reciklabilno.

Kompanija Amazon svakodnevno isporučuje veliki broj pošiljaka, pri čemu im je prioritet brza i bezbedna dostava sa što manje ambalaže. U cilju smanjenja otpada, koriste naučno zasnovane pristupe kako bi obezbedili ambalažu odgovarajućih dimenzija, reciklabilnu i skalabilnu. Strategija pakovanja, zasnovana je na četiri principa:

- Izbegavanje dodatne ambalaže, tako što proizvode šalju u originalnoj fabričkoj ambalaži kada god je to moguće - *Ships in Product Packaging* pristup. Koristeći mašinsko učenje, identifikuje se sve veći broj artikala pogodnih za ovaj pristup. U 2024. godini 12% svih paketa globalno, isporučeno je bez dodatne Amazon ambalaže. Više od 1 milijarde narudžbina globalno isporučeno je bez dodatne Amazon ambalaže od 2019. Od 2015. godine, programi smanjenja ambalaže pomogli su kompaniji Amazon da izbegne više od 4 miliona tona ambalažnog materijala;
- Kada je potrebna dodatna ambalaža, daje se prednost lakšim, kompaktnijim rešenjima. Koristi se i veštačka inteligencija za identifikovanje dodatnih mogućnosti optimizacije. U Evropi su instalirane automatske mašine za pakovanje koje kreiraju ambalažu po meri svake porudžbine. Ove mašine koriste senzore za merenje tačnih dimenzija proizvoda i formiraju prilagođenu papirnu kesu ili kutiju, u zavisnosti od nivoa potrebne zaštite. To znači manje praznog prostora, manje upotrebljenog materijala i ambalažu koju je lakše reciklirati. Mašina direktno nanosi transportnu etiketu, čineći pakovanje spremnim za trenutnu otpremu;
- Daje se prednost materijalima koji se mogu reciklirati u domaćinstvima i istovremeno se radi na smanjenju jednokratne plastike. 100% ambalažnog materijala u Evropi i Indiji može se reciklirati u domaćinstvu, dok je u SAD i Kanadi 99,7% poštanskih koverata zamenjeno reciklabilnim papirnim alternativama;
- Kontinuirana saradnja sa partnerima iz javnog i privatnog sektora kako bi se razvila i primenila održivija ambalažna rešenja i unapredila globalna infrastruktura za reciklažu.

Strategija optimizacije i unapređenja reciklaže obuhvata i ambalažu za Amazon uređaje<sup>34</sup>.

### 3. Analiza doprinosa unapređenju održivosti izdvojenih rešenja

U nastavku će biti prikazani rezultati analize doprinosa unapređenju održivosti poštanskog sistema, za tri izdvojena rešenja održive ambalaže: reciklabilna ambalaža, višekratna ambalaža i precizno dimenzionisana ambalaža (*real-size*). Važno je naglasiti

---

<sup>3</sup> <https://www.aboutamazon.eu/news/sustainability/how-amazon-is-reducing-packaging-in-europe-and-why-it-matters>

<sup>4</sup> <https://www.aboutamazon.eu/news/sustainability/how-amazon-is-reducing-packaging-in-europe-and-why-it-matters>

da se ovi pristupi međusobno dopunjuju. Poželjno je da višekratna i real-size ambalaža budu izrađene od reciklabilnih materijala, čime se dodatno povećava njihov pozitivan efekat na smanjenje otpada, troškova i ukupnog negativnog ekološkog uticaja. Analiza je strukturirana u skladu sa tri dimenzije održivosti – ekološkom, ekonomskom i društvenom, pri čemu je cilj sistematično sagledavanje direktnih i indirektnih efekata svakog od navedenih pristupa. Stavovi i mišljenja prikazani u narednim tabelama su rezultat procene autora, uzimajući u obzir relevantnu literaturu, primere dobre prakse i profesionalno iskustvo u oblasti poštanskih i logističkih sistema.

*Tabela 1. Pregled doprinosa unapređenju održivosti – reciklabilna ambalaža*

| <b>Dimenzija održivosti</b> | <b>Karakteristike i aktivnosti</b>                                                                                                                                                                      | <b>Efekti i doprinos održivosti</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ekološka</b>             | Ambalaža izrađena od papira, kartona ili plastike koja se lako reciklira;<br>Upotreba recikliranog materijala;<br>Sortiranje i odlaganje u postojeće tokove reciklaže.                                  | Manja potreba za primarnim sirovinama;<br>Manje otpada koji nije podložan reciklaži ili se teško reciklira;<br>Niže emisije CO <sub>2</sub> ;<br>Jačanje cirkulame ekonomije.                                                                                                                                                                   |
| <b>Ekonomska</b>            | Neretko niža cena nabavke u odnosu na višekratnu ambalažu;<br>Brza primena bez velikih infrastrukturnih promena;<br>Korišćenje potencijalnih subvencija i olakšica za nabavku reciklabilnih materijala. | Smanjeni troškovi odlaganja otpada;<br>Bez troškova povratne logistike;<br>Potencijalno niži ukupni troškovi zahvaljujući nižim cenama materijala, subvencijama, olakšicama i bonusima.                                                                                                                                                         |
| <b>Društvena</b>            | Transparentno i lako razumljivo održivo rešenje;<br>Upoznavanje korisnika usluga sa materijalima koji se koriste;<br>Promocije i uputstva za odlaganje ambalaže.                                        | Visok stepen prihvatanja od strane korisnika, jer znaju da doprinose očuvanju životne sredine;<br>Podsticanje navika pravilnog odlaganja otpada;<br>Smanjenje zagađenja u urbanoj sredini;<br>Pozicioniranje poštanskog operatora kao ekološki odgovornog;<br>Podizanje svesti u društvu o značaju procesa reciklaže i zaštite životne sredine. |

*Tabela 2. Pregled doprinosa unapređenju održivosti – višekratna ambalaža*

| <b>Dimenzija održivosti</b> | <b>Karakteristike i aktivnosti</b>                                                                                                                                                                       | <b>Efekti i doprinos održivosti</b>                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ekološka</b>             | Kutije, kese, koverta i torbe namenjene višestrukoj upotrebi;<br>Uspostavljanje povratnog toka ambalaže (prikupljanje, čišćenje, ponovna distribucija);<br>Smanjenje proizvodnje jednokratnih pakovanja. | Značajno smanjenje količine ambalažnog otpada;<br>Ukupno niže emisije CO <sub>2</sub> u odnosu na jednokratnu ambalažu nakon određenog broja ciklusa upotrebe;<br>Smanjenje negativnih efekata uništavanja ambalažnog otpada. |
| <b>Ekonomska</b>            | Viši početni trošak proizvodnje, ali raspodeljen na veći broj ciklusa upotrebe;<br>Povratna logistika;<br>Veća otpornost ambalaže smanjuje oštećenja sadržaja.                                           | Dugoročne uštede kroz višestruku upotrebu;<br>Smanjenje troškova reklamacija usled manje oštećenja pošiljaka;<br>Dobro organizovana povratna logistika, može imati pozitivan uticaj na troškove.                              |
| <b>Društvena</b>            | Ekološka posvećenost operatora;<br>Bolja zaštita pošiljke;<br>Edukacija o značaju ponovne upotrebe ambalaže.                                                                                             | Smanjenje otpada u lokalnim zajednicama;<br>Povećano poverenje u kompaniju;<br>Pozicioniranje poštanskog operatora kao ekološki odgovornog;<br>Podizanje svesti u društvu o značaju ponovne upotrebe ambalaže.                |

Tabela 3. Pregled doprinosa unapređenju održivosti – precizno dimenzionisana ambalaža (*real-size*)

| Dimenzija održivosti | Karakteristike i aktivnosti                                                                                                                              | Efekti i doprinos održivosti                                                                                                                                                                                             |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ekološka</b>      | Ambalaža dimenzionisana prema dimenzijama pošiljke;<br>Manja zapremina i masa upakovane pošiljke;<br>Manja količina materijala za popunjavanje ambalaže. | Efikasnije iskorišćenje tovarnog prostora – manje emisije CO <sub>2</sub> po pošiljci;<br>Ušteda materijala i manje otpada.                                                                                              |
| <b>Ekonomska</b>     | Manje potrebnog materijala.                                                                                                                              | Niži troškovi za nabavku materijala;<br>Efikasnije iskorišćenje tovarnog prostora – niži troškovi transporta i skladištenja.                                                                                             |
| <b>Društvena</b>     | Bolje korisničko iskustvo (kompaktniji paketi, manje otpada kod otvaranja);<br>Edukacija o značaju racionalnog korišćenja materijala.                    | Viši nivo zadovoljstva korisnika;<br>Pozicioniranje poštanskog operatora kao ekološki odgovornog;<br>Smanjenje otpada u lokalnim zajednicama;<br>Podizanje svesti u društvu o značaju racionalnog korišćenja materijala. |

U nastavku je prikazan ilustrativni numerički primer doprinosa održivosti poštanskom sistemu u slučaju primene pristupa precizno dimenzionisane ambalaže, izraženog kroz uštedu na materijalu za izradu, odnosno otpadu. Količina ovog materijala ima direktan uticaj na količinu otpada, kao i na troškove njegove nabavke. Za kalkulaciju ovako definisanog doprinosa, izvedena je formula za određivanje relativnog smanjenja mase ambalaže:

$$r_m = \frac{m_{\text{staro}} - m_{\text{novo}}}{m_{\text{staro}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

, gde je  $r_m$  relativno smanjenje mase ambalaže, izraženo u procentima,  $m_{\text{staro}}$  – masa prethodne (standardne) ambalaže pre uvođenja *real-size* rešenja, a  $m_{\text{novo}}$  – masa nove, precizno dimenzionisane (*real-size*) ambalaže.

Kako bi se odredio pokazatelj godišnje uštede materijala, odnosno otpada, izvedena je sledeća formula:

$$\Delta M_{\text{god}} = (m_{\text{staro}} - m_{\text{novo}}) \cdot N \quad (2)$$

, gde je  $\Delta M_{\text{god}}$  godišnja ušteda materijala ili otpada (u kilogramima ili tonama),  $m_{\text{staro}}$  – masa prethodne (standardne) ambalaže pre uvođenja *real-size* rešenja, a  $m_{\text{novo}}$  – masa nove, precizno dimenzionisane (*real-size*) ambalaže i  $N$  – broj posmatranih pošiljaka na godišnjem nivou.

Na osnovu formula (1) i (2), kao i usvojene vrednosti mase prethodne (standardne) ambalaže pre uvođenja *real-size* rešenja ( $m_{\text{staro}} = 60$  g), koja je usklađena sa zvaničnim informacijama poštanskih operatora za koverat dimenzija  $270 \times 350$  mm, kao i mase nove, precizno dimenzionisane *real-size* ambalaže (usvojena vrednost  $m_{\text{novo}} = 50$  g), izračunati su pokazatelji koji ilustruju doprinos unapređenju održivosti poštanskog sistema. Analizirane su ekspres pošiljke u domaćem saobraćaju, kojih je prema podacima

Svetskog poštanskog saveza za 2023. godinu bilo 11.967.142<sup>5</sup>. Za potrebe ovog proračuna usvojena je pretpostavka da se navedena *real-size* ambalaža može primeniti kod 30% pošiljaka, što iznosi  $N = 3.590.143$  pošiljke.

Na osnovu podataka u navedenom primeru, relativno smanjenje mase ambalaže iznosi:

$$r_m = 16,7\%,$$

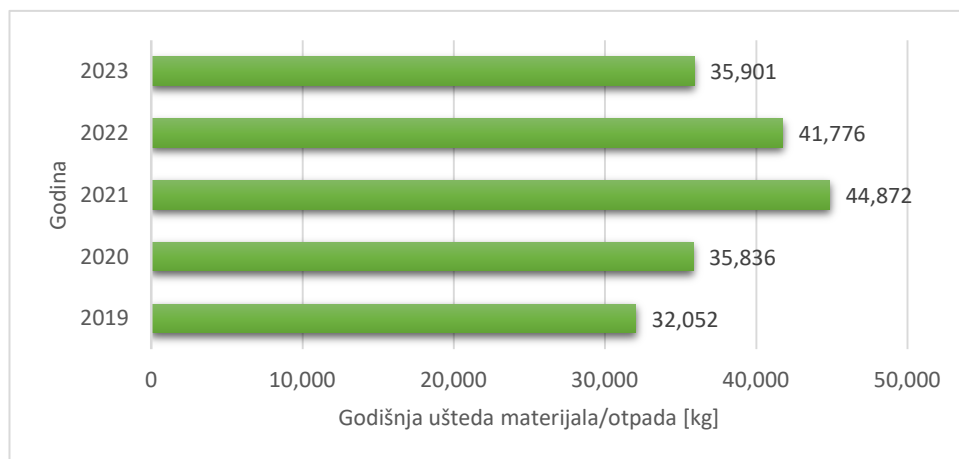
dok godišnja ušteda materijala ili otpada iznosi:

$$\Delta M_{\text{god}} = 35.901 \text{ kg},$$

odnosno približno 36 t.

Potrebno je još jednom naglasiti da je za proračun ovog pokazatelja uzeto u obzir samo 30% ekspres pošiljaka u domaćem saobraćaju. Stoga bi ukupne uštede bile značajno veće ukoliko bi se analiza proširila i na druge vrste pošiljaka i ambalaže. Dodatno, razlika između  $m_{\text{staro}}$  i  $m_{\text{novo}}$  u mnogim slučajevima može biti i veća, što bi dodatno povećalo ukupne uštede materijala i otpada.

Na osnovu dostupnih podataka Svetskog poštanskog saveza o broju ekspres pošiljaka u domaćem saobraćaju za petogodišnji interval od 2019. – 2023. godine, zadržavajući ostale parametre iz prethodnog primera (vrsta ambalaže,  $m_{\text{staro}}$ ,  $m_{\text{novo}}$ , 30% od broja ekspres pošiljaka u domaćem saobraćaju) dobijeni su pokazatelji godišnje uštede materijala ili otpada i prikazani su na narednoj slici.



Slika 1. Godišnje uštede materijala/otpada za period od 2019. – 2023. godine

Na osnovu dobijenih rezultata, jednostavno je zaključiti da bi u skladu sa definisanim parametrima, ukupne uštede u materijalu/otpadu za analiziranih pet godina iznosile 190.437 kg ( $\approx 190$  t). Kao što je u ranijoj diskusiji navedeno, uštede bi mogle biti znatno veće ukoliko bi se u obzir uzeli svi realni pokazatelji.

<sup>5</sup> [http://pls.upu.int/pls/ap/spp\\_report.CreateReport2020](http://pls.upu.int/pls/ap/spp_report.CreateReport2020)



#### 4. Zaključak

Uvođenje različitih rešenja održive ambalaže i optimizacije pakovanja u sisteme za prenos pošiljaka predstavlja veoma važan korak ka unapređenju održivosti čitavog sistema. Zahvaljujući ovakvom pristupu i implementaciji različitih rešenja, moguće je bolje planirati resurse, ostvariti ekonomske uštede, doprineti očuvanju životne sredine, što sve posredno ima pozitivan uticaj i na društvo u celini. Istovremeno, odgovornim ponašanjem, kompanija se bolje pozicionira na tržištu i kod korisnika ostvaruje dodatno poverenje. Sa druge strane, različita rešenja koja se mogu implementirati zahtevaju i određene dodatne aktivnosti, poput planiranja programa reciklaže, organizovanja povratne logistike, nabavku opreme i obuku kadrova za precizno pakovanje i sl. U radu je dat kratak pregled doprinosa unapređenju održivosti za tri izdvojena rešenja održive ambalaže: reciklabilna ambalaža, višekratna ambalaža i precizno dimenzionisana ambalaža (real-size). Dodatno, na islustrativnom numeričkom primeru, pokazan je značajan potencijal za unapređenje održivosti kroz optimizaciju pakovanja.

Buduća istraživanja mogu doprineti razvoju održivijih rešenja, što će dodatno oblikovati globalnu logistiku i odgovoriti na rastuće zahteve savremenog tržišta.

#### Literatura

- [1] M. Moshref-Javadi, S. Lee, and M. Winkenbach, "Design and evaluation of a multi-trip delivery model with truck and drones," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 136, p. 101887, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.TRE.2020.101887.
- [2] D. Lazarević, Đ. Popović, M. Y. Çodur, and M. Dobrodolac, "Fuzzy Logic Approach for Evaluating Electromobility Alternatives in Last-Mile Delivery: Belgrade as a Case Study," *Energies* 2024, Vol. 17, Page 6307, vol. 17, no. 24, p. 6307, Dec. 2024, doi: 10.3390/EN17246307.
- [3] A. Seghezzi, C. Siragusa, and R. Mangiaracina, "Parcel lockers vs. home delivery: a model to compare last-mile delivery cost in urban and rural areas," *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 52, no. 3, pp. 213–237, Mar. 2022, doi: 10.1108/IJPDLM-03-2020-0072.
- [4] D. Lazarević, M. Dobrodolac, M. Dobrodolac, and D. Marković, "Implementation Of Mobile Parcel Lockers In Delivery Systems-Analysis By The Ahp Approach", doi: 10.7708/ijtte2023.13(1).04.
- [5] D. Lazarević, M. Dobrodolac, L. Švadlenka, and B. Stanivuković, "A model for business performance improvement: a case of the postal company," *J. Bus. Econ. Manag.*, vol. 21, no. 2, pp. 564–592, Feb. 2020, doi: 10.3846/JBEM.2020.12193.
- [6] T. Peng, S. Zhou, Z. Yuan, and X. Ou, "Life Cycle Greenhouse Gas Analysis of Multiple Vehicle Fuel Pathways in China," *Sustain.* 2017, Vol. 9, Page 2183, vol. 9, no. 12, p. 2183, Nov. 2017, doi: 10.3390/SU9122183.
- [7] D. Lazarevic, L. Švadlenka, V. Radojicic, and M. Dobrodolac, "New Express Delivery Service and Its Impact on CO2 Emissions," *Sustain.* 2020, Vol. 12, Page 456, vol. 12, no. 2, p. 456, Jan. 2020, doi: 10.3390/SU12020456.
- [8] S. Martello, D. Pisinger, and D. Vigo, "The Three-Dimensional Bin Packing Problem," <https://doi.org/10.1287/opre.48.2.256.12386>, vol. 48, no. 2, pp. 256–267, Apr. 2000, doi: 10.1287/OPRE.48.2.256.12386.
- [9] H. Yan, L. Wu, X. Yi, D. D. Wang, and X. Li, "Discussion on Green Express

- Packaging,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 186, no. 4, Oct. 2018, doi: 10.1088/1755-1315/186/4/012062.
- [10] J. Mao, J. Cheng, X. Li, H. Zhao, and C. Lin, “Optimal Design of Reverse Logistics Recycling Network for Express Packaging Considering Carbon Emissions,” *Mathematics*, vol. 11, no. 4, Feb. 2023, doi: 10.3390/MATH11040812.
- [11] B. Sarkar, M. Tayyab, N. Kim, and M. S. Habib, “Optimal production delivery policies for supplier and manufacturer in a constrained closed-loop supply chain for returnable transport packaging through metaheuristic approach,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 135, pp. 987–1003, Sep. 2019, doi: 10.1016/J.CIE.2019.05.035.
- [12] B. Na, M. K. Sim, and W. J. Lee, “An optimal purchase decision of reusable packaging in the automotive industry,” *Sustain.*, vol. 11, no. 23, Dec. 2019, doi: 10.3390/SU11236579.
- [13] G. Liu, L. Li, J. Chen, and F. Ma, “Inventory sharing strategy and optimization for reusable transport items,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 228, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.IJPE.2020.107742.
- [14] T. Legiędź, “Trade of return packaging in the process of delivery of raw materials on the example of Kico-Polska Sp. Z O.O.,” *Acta Logist.*, vol. 8, no. 4, pp. 309–317, Dec. 2021, doi: 10.22306/AL.V8I4.229.
- [15] A. Kawa and B. Pierański, “Green logistics in E-commerce,” *Logforum*, vol. 17, no. 2, pp. 183–192, 2021, doi: 10.17270/J.LOG.2021.588.
- [16] K. Zhou *et al.*, “A comprehensive comparison of the life-cycle environmental impacts of traditional and returnable express delivery packaging in China,” *J. Clean. Prod.*, vol. 434, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2023.140017.
- [17] H. Sun, “Inventory control for reusable express packaging with under sharing policy,” *Manag. Decis. Econ.*, vol. 45, no. 6, pp. 3677–3689, Sep. 2024, doi: 10.1002/MDE.4213.
- [18] S. Raatz, Z. Lou, T. Zimmermann, and F. Hauschke, “Assessing Reusable Packaging: The Importance of Methodological Choices in Carbon Footprint Calculation,” *Sustain.* 2024, Vol. 16, Page 4723, vol. 16, no. 11, p. 4723, Jun. 2024, doi: 10.3390/SU16114723.

**Abstract:** *The aim of this paper is to highlight the importance of sustainable approaches and solutions for packaging postal items, given the direct connection between this process and the overall sustainability of the postal system. The paper provides an overview of the contributions to sustainability improvement through three selected approaches: recyclable packaging, reusable packaging, and precisely dimensioned real-size packaging. Additionally, an illustrative numerical example demonstrates the considerable potential for enhancing the sustainability of postal systems through the application of optimized packaging solutions.*

**Keywords:** *sustainability of the postal system, optimized packaging solutions, recyclable packaging, reusable packaging, real-size packaging*

## CONTRIBUTION TO IMPROVING THE SUSTAINABILITY OF THE POSTAL SYSTEM THROUGH PACKAGING OPTIMIZATION

Momčilo Dobrodolac, Dragan Lazarević, Aleksandar Trifunović, Đorđe Popović

## **PRIMENA WEB 4.0 TEHNOLOGIJA U RAZVOJU ODRŽIVIH LANACA SNABDEVANJA POŠTANSKE LOGISTIKE**

Svetlana Dabić-Miletić, Vladimir Simić  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,  
cecad@sf.bg.ac.rs, vsima@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Razvoj održivih lanaca snabdevanja u poštanskoj logistici predstavlja ključni izazov i prioritet u uslovima ubrzane digitalne transformacije. Primena Web 4.0 tehnologija, poput AI, IoT-a, blockchain-a i napredne analitike, omogućava prelazak sa tradicionalnih na inteligentne i fleksibilne procese koji kombinuju ekonomsku isplativost i ekološku odgovornost i socijalnu održivost. Ove tehnologije doprinose prediktivnom planiranju, optimizaciji ruta, transparentnosti i boljem upravljanju resursima, čime se smanjuju troškovi i emisija štetnih gasova, uz povećanje pouzdanosti i kvaliteta poštanskih usluga. Integracija sa održivim praksama, koje podrazumevaju korišćenje električnih vozila, pametnih skladišta i ekoloških pakovanja, stvara sinergijski efekat koji omogućava veću efikasnost, smanjenje ekološkog otiska i unapređenje korisničkog iskustva. Rad pruža sistematičan pregled tehnologija i održivih praksi u poštanskoj logistici, identifikuje njihove ključne prednosti i izazove, te pokazuje na koji način njihova sinergija obezbeđuje dugoročnu rezilijentnost, konkurentsku prednost i transformaciju poštanske logistike ka inteligentnim i održivim sistemima.*

**Ključne reči:** *Web 4.0 tehnologije, digitalizacija, lanac snabdevanja, poštanska logistika*

### **1. Uvod**

Savremeni poštanski sistemi suočavaju se sa višestrukim izazovima koji proizlaze iz rastućih zahteva korisnika, povećane konkurencije, kao i sve izraženijih zahteva za održivim poslovanjem [1]. Tradicionalne modele poštanske logistike uglavnom karakteriše rigidna struktura i ograničene mogućnosti optimizacije, što dovodi do povećane potrošnje resursa, povećanih operativnih troškova i većeg ekološkog otiska. U tom kontekstu, razvoj održivih lanaca snabdevanja (LS) u sektoru poštanskih usluga postaje imperativ, jer omogućava racionalizaciju procesa opsluge korisnika, smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte i unapređenje kvaliteta usluga, istovremeno balansirajući ekonomske i ekološke ciljeve poštanskih sistema [2]. Paralelno, digitalna transformacija i integracija naprednih tehnologija predstavljaju značajnu priliku za modernizaciju poštanskih operacija. Web 4.0 tehnologije, koje obuhvataju

decentralizovane digitalne platforme, veštačku inteligenciju (AI), napredne analitičke alate i blockchain, omogućavaju kreiranje adaptivnih, „pametnih“ LS [1]. Ove tehnologije omogućavaju prediktivno planiranje resursa, optimizaciju transportnih ruta, implementaciju autonomnih transportnih sistema i transparentno praćenje pošiljki, što značajno doprinosi operativnoj efikasnosti i ekološkoj održivosti poštanskih servisa.

Primena Web 4.0 tehnologija u poštanskoj logistici ne samo da poboljšava performanse i smanjuje troškove, već pruža i mogućnost integracije održivih praksi u svakodnevne operacije vezane za realizaciju stohastičnih zahteva u opsluzi korisnika. Transparentnost koju omogućava blockchain, kombinovana sa analitikom i AI, doprinosi boljem upravljanju resursima, smanjenju otpada i unapređenju energetske efikasnosti [3]. Istovremeno, integracija decentralizovanih platformi omogućava agilnije i fleksibilnije prilagođavanje promenama u potražnji, što je od posebnog značaja u globalnim poštanskim mrežama koje funkcionišu u dinamičnom i konkurentnom okruženju [1, 2]. Cilj ovog rada je da analizira mogućnosti primene Web 4.0 tehnologija u razvoju održivih LS poštanske logistike, identifikujući ključne prednosti, izazove i ograničenja njihove implementacije. Rad takođe formuliše smernice za stratešku digitalnu transformaciju u ovoj oblasti, naglašavajući sinergiju između tehnoloških inovacija i principa održivosti. Poseban fokus je stavljen na primenu prediktivne logistike, autonomnih transportnih sistema i blockchain tehnologija, sa ciljem stvaranja efikasnih, transparentnih i održivih LS poštanske logistike.

## **2. Implementacija održivih tehnologija i praksi u poštanskoj logistici**

Implementacija održivih tehnologija i praksi u poštanskoj logistici predstavlja ključnu fazu u prelasku sa tradicionalnih na inteligentne i ekološki odgovorne sisteme opsluge korisnika. Usklađivanje tehnoloških inovacija sa principima održivog razvoja, omogućava istovremeno unapređenje operativne efikasnosti i smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu [4]. U fokusu je integracija digitalnih rešenja, poput AI, IoT i blockchain tehnologije, sa „zelenim“ praksama koje uključuju optimizaciju energetskih resursa, održivi transport i upotrebu ekoloških materijala [2, 3]. Time se stvara osnova za razvoj poštanske logistike koja je sposobna da odgovori na zahteve modernog tržišta, poveća konkurentnost i obezbedi dugoročnu otpornost sistema. U okviru ovog dela biće detaljno opisane ključne tehnologije i prakse koje omogućavaju opisanu transformaciju, uz naglasak na njihove konkretne doprinose održivosti, efikasnosti i unapređenju kvaliteta poštanskih usluga.

### **2.1. Digitalizacija i Web 4.0 tehnologije**

Web 4.0 tehnologije predstavljaju temelj za transformaciju poštanske logistike ka inteligentnim, fleksibilnim i održivim sistemima. AI omogućava prediktivno planiranje, optimizaciju ruta isporuke i dinamičko prilagođavanje rasporeda transporta u realnom vremenu, što direktno smanjuje troškove transporta, potrošnju goriva i emisiju CO<sub>2</sub> [4]. Pored toga, AI i blockchain omogućavaju analizu velikih količina podataka o potražnji, sezonskim fluktuacijama i promenama u saobraćaju, što doprinosi smanjenju kašnjenja i povećanju pouzdanosti isporuka. Kompanije poput DHL i FedEx već koriste AI sisteme za balansiranje opterećenja vozila i prediktivno planiranje ruta, čime ostvaruju značajnu uštedu energije, smanjenje emisije štetnih gasova i efikasnije korišćenje svojih

transportnih kapaciteta [1]. IoT omogućava kontinuirano praćenje pošiljki, kontrolu temperature, vlažnosti i drugih parametara koji utiču na očuvanje integriteta proizvoda, posebno kod transporta hrane, lekova i drugih osetljivih proizvoda. IoT senzori omogućavaju operaterima da u realnom vremenu reaguju na potencijalne probleme, smanjujući gubitke i poboljšavajući kvalitet usluge. Blockchain tehnologija pruža visoku transparentnost i sigurnost podataka u LS [5]. Korišćenje blockchaina omogućava proveru autentičnosti i održivosti materijala, praćenje životnog ciklusa paketa i stvaranje digitalnih „zelenih sertifikata“ pošiljki. Ova tehnologija smanjuje rizik od grešaka, povećava poverenje korisnika i olakšava regulatornu usklađenost, posebno u kontekstu ekoloških standarda i sertifikacija. Napredna analitika, uključujući metode prediktivne i deskriptivne analize podataka, obezbeđuje optimizaciju skladišnih kapaciteta, precizno planiranje resursa i smanjenje otpada [6]. Analitički alati mogu identifikovati neusaglašenosti u toku pakovanja, skladištenja i transporta, što doprinosi boljem upravljanju resursima i smanjenju operativnih troškova. Integracija ovih tehnologija omogućava poštanskim operatorima da razviju inteligentne, fleksibilne i održive LS, povećavaju efikasnost i pouzdanost, smanjuju ekološki otisak, pružajući dodatnu vrednost korisnicima kroz transparentnost i kvalitet usluge.

Iako navedene tehnologije obezbeđuju brojne koristi, njihova implementacija nosi i određene izazove. Visoki troškovi uvođenja digitalne infrastrukture, potreba za stručnim kadrom, bezbednosni rizici vezani za syber napade, kao i regulatorna ograničenja mogu usporiti proces digitalne transformacije [7]. Pored toga, integracija različitih sistema i standarda zahteva značajnu koordinaciju među učesnicima u LS, dok otpor zaposlenih prema promenama i potreba za kontinuiranom obukom dodatno komplikuju proces prelaska na pametne logističke modele [1, 2].

## **2.2. Održivi transport i skladišni sistemi**

Električna i hibridna vozila sve više postaju standard u modernoj poštanskoj logistici, predstavljajući jedno od najefikasnijih rešenja za smanjenje emisije CO<sub>2</sub> i troškova goriva. Njihova primena naročito dolazi do izražaja u urbanim sredinama, gde se zbog velike gustine isporuka ostvaruju maksimalne uštede i ekološki benefiti. Na primer, Pošta Singapura i Deutsche Post DHL testiraju i uvode flote električnih vozila za dostavu u gradskim zonama, čime redukuju ekološki otisak, ali i unapređuju imidž socijalno održive kompanije [8]. Najveći značaj ovih tehnologija u poštanskoj logistici ogleda se u mogućnosti da se obezbedi održiv i pouzdan sistem isporuke, koji odgovara zahtevima regulatornih standarda i rastućim očekivanjima korisnika za „zelenim“ rešenjima. Međutim, jedan od ključnih izazova vezan je za značajne početne investicije, ograničenu dostupnost infrastrukture za punjenje i relativno manji domet vozila u poređenju sa klasičnim dizel rešenjima [9].

Pored transporta, pametna skladišta imaju izuzetno važnu ulogu u transformaciji poštanske logistike. Automatizovani sistemi, energetska efikasna rasveta, regulacija temperature i pametno upravljanje prostorom omogućavaju optimalno korišćenje resursa i smanjenje operativnih troškova [1, 9]. Senzori i digitalni sistemi omogućavaju precizno praćenje potrošnje energije, vlažnosti i temperature, što je posebno značajno za čuvanje osetljivih pošiljaka i smanjenje otpada. Ove inovacije doprinose smanjenju emisija štetnih gasova, povećavajući pouzdanost, brzinu i tačnost usluga. Ipak, implementacija

pametnih skladišta zahteva visoka početna ulaganja, složeno održavanje digitalnih sistema i kontinuiranu obuku zaposlenih [2, 8].

### **2.3. Održivo pakovanje i materijali**

Reciklirani i biorazgradivi materijali za pakovanje postaju nezaobilazan element u razvoju održive poštanske logistike, jer direktno doprinose smanjenju ekološkog otiska i podstiču cirkularnu ekonomiju [10]. Njihova primena predstavlja jednu od najočiglednijih i najvidljivijih promena za krajnje korisnike, budući da pakovanje često čini najveći deo otpada koji nastaje nakon dostave. Inovativna rešenja, poput papirnih i biorazgradivih jastuka za zaštitu proizvoda ili kompostabilnih kutija i kesa, omogućavaju lakšu reciklažu, smanjenje količine nerekiclabilnog otpada i rasterećenje deponija. Za poštansku logistiku, značaj ovih rešenja ogleda se u mogućnosti da se ispune regulatorni zahtevi, poboljša reputacija operatora i zadovolje rastuća očekivanja ekološki osvešćenih korisnika, što postaje ključni faktor konkurentnosti na globalnom tržištu. Dodatnu dimenziju održivosti donosi integracija pakovanja sa blockchain sistemima [11], koji omogućavaju transparentnu proveru porekla i održivosti materijala kroz ceo LS [12]. Na ovaj način poštanski operatori mogu da sertifikuju „zelene“ pošiljke, čime jačaju poverenje korisnika i omogućavaju praćenje ispunjavanja standarda održivosti u realnom vremenu [7]. Globalni lideri u sektoru pružanja poštanskih usluga već kombinuju inovativne materijale i digitalne tehnologije za postizanje višeg nivoa transparentnosti i odgovornosti.

Ipak, izazovi u široj primeni recikliranih i biorazgradivih materijala su brojni. Među njima se izdvajaju veća cena u odnosu na konvencionalna pakovanja, ograničena dostupnost određenih materijala, kao i potreba za standardizacijom i jasnim regulatornim okvirima [13]. Takođe postoje tehnička ograničenja u pogledu izdržljivosti i zaštite osetljivih proizvoda, što zahteva dodatna istraživanja i inovacije u pogledu primene održivih materijala.

### **2.4. Digitalne platforme i korisničko iskustvo**

Digitalne platforme predstavljaju ključan element modernizacije poštanske logistike jer omogućavaju visok nivo interakcije između korisnika i poštanskih operatora. Putem mobilnih aplikacija i web servisa korisnici danas mogu da prate pakete u realnom vremenu, zakazuju isporuke u skladu sa sopstvenim potrebama i komuniciraju direktno sa operaterom u slučaju problema ili dodatnih zahteva [14]. Ovakva rešenja značajno podižu kvalitet korisničkog iskustva, jer smanjuju nesigurnost, čekanje i broj neuspešnih isporuka. Primera radi, aplikacije za poštanske usluge nude precizne vremenske intervale isporuke i automatsko obaveštavanje korisnika, čime se optimizuje vremene usluge, smanjuje broj ponovljenih pokušaja dostave i povećava ukupna operativna efikasnost [4]. Najveći značaj digitalnih platformi u poštanskoj logistici ogleda se u njihovoj sposobnosti da objedine podatke iz različitih izvora (vozila, skladišta, korisničkih zahteva) i pretvore ih u alat za donošenje pametnih odluka. Na ovaj način postiže se bolja iskorišćenost resursa, smanjenje troškova, ali i ekološki efekti, jer smanjeni broj neuspešnih isporuka direktno doprinosi manjoj potrošnji goriva i smanjenju emisije CO<sub>2</sub>. Korisnicima ove platforme omogućavaju veću kontrolu dostave, a za poštanske operatere predstavljaju kanal za izgradnju održivog poverenja i lojalnosti [8].

Jedan od ključnih izazova je potreba za kompleksnom IT infrastrukturom, što zahteva značajna ulaganja i stručne kapacitete. Takođe, pitanje bezbednosti i zaštite podataka postaje izuzetno važno, jer veliki obim ličnih i logističkih informacija mora biti zaštićen od potencijalnih zloupotreba i sajber-napada. Osim toga, nejednak nivo digitalne pismenosti korisnika može ograničiti puni potencijal ovih rešenja, pa je edukacija i jednostavnost korišćenja jedan od prioriternih zadataka operatora.

### 3. Sinergija tehnologija i održivih praksi

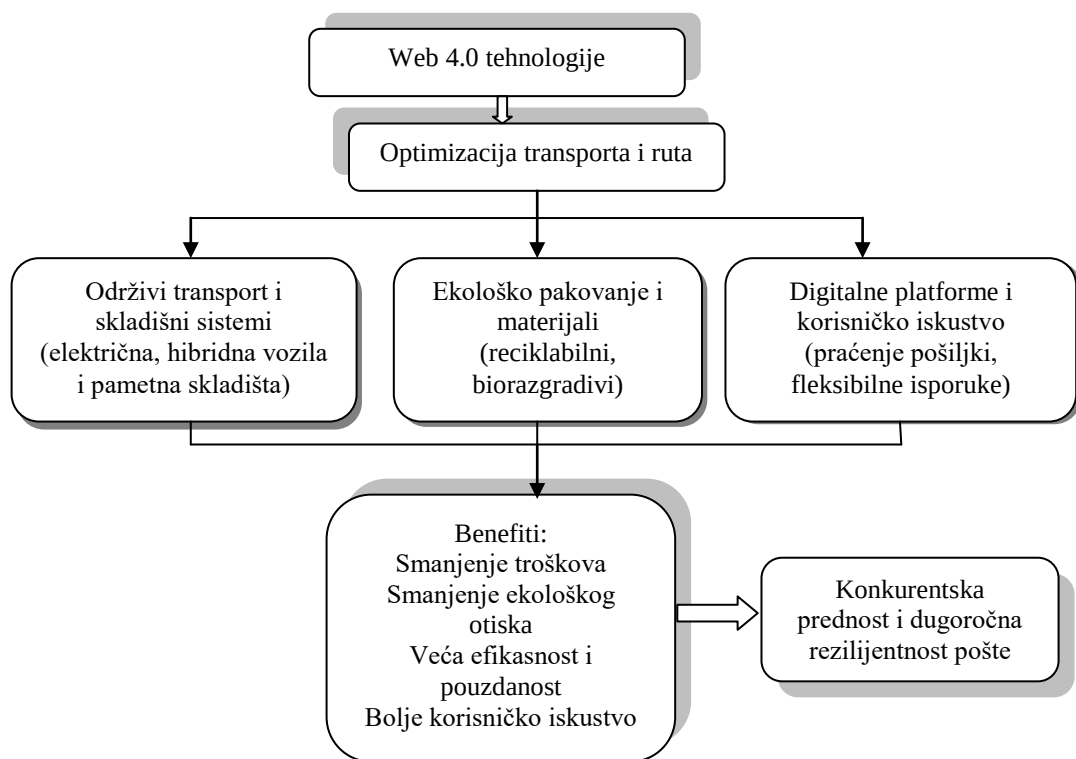
Kombinacija naprednih tehnologija i održivih praksi u poštanskoj logistici postaje ključni pokretač transformacije savremenih sistema isporuke pošiljaka. Ova sinergija unapređuje operativne performanse, smanjuje troškove i ekološki otisak. Integracija AI, blockchaina, IoT senzora i napredne analitike sa održivim rešenjima poput električnih i hibridnih vozila, energetske efikasne skladišta i ekološkog pakovanja stvara temelje za adaptivne, rezilijentne i održive LS [9, 10]. Tabela 1. i Slika 1. rekapituliraju benefite, izazove i ograničenja, ali i konkretne prednosti izdvojenih Web 4.0 tehnologija u domenu poštanskog sektora.

*Tabela 1. Benefiti, izazovi i prednosti implementacije naprednih tehnologija za poštu*

| <b>Kategorija</b>                               | <b>Benefiti</b>                                                               | <b>Izazovi i ograničenja</b>                                                               | <b>Konkretna prednost za poštu</b>                                                |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <u>Web 4.0 tehnologije (konkretna prednost)</u> | Optimizacija ruta, prediktivno planiranje, praćenje paketa, smanjenje grešaka | Visoki inicijalni troškovi, potreba za obukom osoblja, integracija sa postojećim sistemima | Smanjenje troškova transporta i skladištenja, veća pouzdanost isporuka            |
| Transport i vozila                              | Smanjenje emisije CO <sub>2</sub> , energetska efikasnost                     | Dostupnost infrastrukture, regulatorna ograničenja                                         | Smanjenje ekološkog otiska, ušteda energije                                       |
| Skladišni sistemi                               | Efikasno korišćenje prostora, optimizacija resursa                            | Potreba za nadogradnjom infrastrukture i softvera                                          | Manja potrošnja energije, veća efikasnost skladišnog poslovanja                   |
| Pakovanje                                       | Smanjenje otpada, cirkularna ekonomija                                        | Troškovi materijala, potreba za praćenjem i sertifikacijom                                 | Smanjenje ekološkog otiska, usklađenost sa standardima održivosti                 |
| Digitalne platforme i korisničko iskustvo       | Transparentnost, fleksibilne isporuke, efikasnije praćenje pošiljke           | Potreba za integracijom sa postojećim kanalima, sigurnost podataka                         | Veće zadovoljstvo korisnika, brža obrada reklamacija, jačanje poverenja korisnika |

Integracijom savremenih Web 4.0 tehnologija i postojećih praksi se oblikuje nova paradigma poštanske logistike, u kojoj tehnološki napredak i održivost funkcionišu kao međuzavisni faktori razvoja. Umesto posmatranja efikasnosti isključivo kroz prizmu brzine i troškova, savremeni pristup uključuje i kriterijume ekonomske isplativosti, ekološke odgovornosti, društvene koristi i dugoročne rezilijentnosti LS u poštanskom sektoru [2, 6]. Ovakvo usmerenje obezbeđuje stabilniji i fleksibilniji LS, doprinoseći

stvaranju vrednosti za društvo očuvanjem resursa i smanjenjem negativnog uticaja na životnu sredinu.



Slika 1. Ključne prednosti implementacije Web 4.0 tehnologija u poštanskoj logistici

#### 4. Diskusija

Primena Web 4.0 tehnologija u LS u poštanskom sektoru pokazuje značajan potencijal za unapređenje efikasnosti, smanjenje troškova i unapređenje svih aspekata održivosti. Međutim, proces njihove implementacije praćen je brojnim izazovima i zahteva sveobuhvatnu analizu različitih aspekata koje uključuju tehnološku, organizacionu, ekonomsku i regulatornu komponentu.

S jedne strane, prednosti su jasne: prediktivna logistika i optimizacija ruta vozila u isporuci poštanskih pošiljaka dovode do značajnog smanjenja potrošnje goriva, troškova održavanja i emisije CO<sub>2</sub>, dok autonomni transportni sistemi i blockchain tehnologija nude rešenja za najizazovnije segmente logistike, a to su poslednja faza dostave i transparentnost podataka. S tim u vezi, integracija digitalnih platformi dodatno unapređuje povezanost i komunikaciju između svih aktera u LS.

S druge strane, izazovi su višestruki, a neki od najznačajnijih su [4, 7]:

##### Tehnički izazovi:

- Visoka inicijalna ulaganja u infrastrukturu i tehnologiju.
- Potreba za obukom zaposlenih i prilagođavanjem postojećih procesa.



**Pravni i regulatorni izazovi:**

- Korišćenje autonomnih vozila i dronova.
- Zaštita podataka i privatnosti korisnika.
- Nedostatak međunarodnih standarda za interoperabilnost blockchain sistema.

**Organizacioni izazovi:**

- Otpor zaposlenih prema digitalizaciji.
- Potreba za promenom organizacione kulture i unapređenim upravljanjem promenama.

Izazovi se mogu ublažiti postepenom implementacijom Web4.0 tehnologija i strateškim partnerstvima koja smanjuju finansijski teret i olakšavaju tehnološku integraciju. Njihovo prevazilaženje zahteva i jaču saradnju sa regulatornim telima radi usklađivanja standarda, kao i efikasno upravljanje promenama kroz edukaciju i aktivno uključivanje zaposlenih u procese digitalne transformacije.

Implementacija Web 4.0 tehnologija u poštanskoj logistici ne može posmatrati i analizirati izolovano, već kao sastavni deo sveobuhvatne strategije digitalne transformacije i održivog razvoja pripadajućeg LS. To podrazumeva da poštanski operatori, pored usvajanja novih tehnoloških rešenja, moraju razvijati i integrisane modele saradnje sa poslovnim partnerima, regulatornim institucijama i krajnjim korisnicima [8]. Takav pristup omogućava ostvarivanje višestrukih koristi: smanjenje ekološkog otiska kroz optimizaciju resursa i smanjenje emisije štetnih gasova, unapređenje ekonomske održivosti kroz efikasnije poslovne procese i smanjenje operativnih troškova, kao i jačanje društvene odgovornosti kroz podizanje kvaliteta i dostupnosti poštanskih usluga [2]. Ovakav koordinisan i integrisan pristup omogućava obezbeđivanje dugoročne održivosti LS u sektoru poštanskih usluga, povećanje rezilijentnosti poštanske logistike i očuvanje njene konkurentnosti u sve dinamičnijem globalnom okruženju.

**5. Zaključak**

Razvoj održivih LS u poštanskoj logistici predstavlja ključni faktor za unapređenje operativne efikasnosti, konkurentnosti i otpornosti u uslovima ubrzane digitalne transformacije i rastućih zahteva korisnika. Primena Web 4.0 tehnologija omogućava prelazak sa tradicionalnih, rigidnih sistema na inteligentne, fleksibilne i adaptivne procese koji integrišu ekološku i socijalnu odgovornost sa ekonomskom održivošću. Tehnološki alati Web 4.0 kao što su AI, blockchain, IoT i napredna analitika podataka omogućavaju praćenje paketa u realnom vremenu, optimizaciju ruta isporuke, prediktivno održavanje transportnih sredstava i efikasno upravljanje skladišnim kapacitetima. Ovi pristupi povećavaju transparentnost i predvidljivost, smanjuju kašnjenja i operativne troškove, dok istovremeno doprinose smanjenju emisije CO<sub>2</sub> i potrošnje resursa.

Angažovanje električnih i hibridnih vozila, pametnih skladišnih sistema sa automatskim kontrolama temperature i energije, kao i korišćenje recikliranih i biorazgradivih materijala za pakovanje predstavljaju konkretne korake ka održivosti i smanjenju ekološkog otiska poštanske logistike. Primena digitalnih platformi za koordinaciju sa partnerima i korisnicima omogućava bolju komunikaciju, bržu obradu reklamacija i fleksibilno prilagođavanje usluga specifičnim zahtevima tržišta. Primeri iz prakse uključuju automatizovane skladišne sisteme koji optimizuju prostor i energiju,

pametne aplikacije koje korisnicima omogućavaju precizno praćenje pošiljki, kao i kompanije koje koriste blockchain za transparentno praćenje putanje paketa i materijala kroz čitav LS.

Maksimiziranje negativnih efekata održivih praksi moguće je jedino kroz integrisanu strategiju koja obuhvata saradnju sa regulatornim telima, dobavljačima i krajnjim korisnicima, uključujući kontinuirano praćenje performansi i unapređenje procesa. Takav holistički pristup omogućava sinergiju između inovacija i principa održivosti, podržava dugoročnu otpornost i fleksibilnost poštanske logistike, te stvara konkurentsku prednost u globalnom okruženju koje se karakteriše visokom dinamikom i neizvesnošću. Pravci budućih istraživanja trebalo bi da se fokusiraju na nekoliko ključnih oblasti, povezujući teoriju sa praktičnim primerima i aktuelnim trendovima (tabela 2):

*Tabela 2. Veza između tehnologija, održivih praksi i pravaca budućih istraživanja*

| <b>Kategorija</b>                         | <b>Primeri iz prakse</b>                       | <b>Benefiti</b>                                                     | <b>Pravci budućih istraživanja</b>                                                          |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>Web 4.0 tehnologije</u>                | AI, IoT, blockchain, analitika                 | Optimizacija ruta, praćenje paketa, efikasno skladištenje           | Razvoj AI za prediktivno upravljanje, blockchain za „zelene“ sertifikate, optimizacija ruta |
| Transport i vozila                        | Električna i hibridna vozila                   | Smanjenje CO <sub>2</sub> , efikasnost                              | Ispitivanje ekonomičnosti i skalabilnosti održivih vozila                                   |
| Skladišni sistemi                         | Pametna skladišta, automatizacija              | Manja potrošnja energije, bolja iskorišćenost prostora              | Energetski efikasna automatizacija, AI u upravljanju skladištima                            |
| Pakovanje                                 | Reciklirani i biorazgradivi materijali         | Smanjenje ekološkog otiska                                          | Novi materijali i tehnologije pakovanja, praćenje kroz blockchain                           |
| Digitalne platforme i korisničko iskustvo | Aplikacije za praćenje, digitalna komunikacija | Veće zadovoljstvo korisnika, brža obrada reklamacija, fleksibilnost | Uticaj digitalizacije na korisničko iskustvo i socijalnu održivost                          |

Savremena poštanska logistika sve više implementira konkretna tehnološka i organizaciona rešenja koja istovremeno doprinose efikasnosti i održivosti. Korišćenje električnih i hibridnih vozila smanjuje emisiju CO<sub>2</sub> u segmentu transporta, dok pametni sistemi za planiranje ruta, zasnovani na AI, omogućavaju kraće vreme isporuke i niže troškove goriva. IoT nalazi primenu u praćenju pošiljki u realnom vremenu, kontroli temperature i vlažnosti u transportu osetljivih proizvoda, kao i u optimizaciji skladišnih operacija. Upotreba blockchain tehnologije obezbeđuje veću transparentnost i sigurnost podataka, posebno kod međunarodnih pošiljki i procesa sertifikacije. Pored toga, ekološki prihvatljiva ambalaža i digitalizacija dokumenata smanjuju potrošnju resursa i otpad. Objedinjeno, konkretni benefiti implementacije Web 4.0 tehnologija u poštanskoj logistici su:

**Veća transparentnost i poverenje** – blockchain omogućava praćenje pošiljki u realnom vremenu i smanjuje rizik od prevara;

**Optimizacija resursa** – AI i analitika poboljšavaju planiranje ruta, iskorišćenost vozila i smanjuju potrošnju goriva;

**Smanjenje troškova** – automatizacija i prediktivna logistika skraćuju vreme isporuke i umanjuju operativne troškove;

**Fleksibilnost i agilnost** – decentralizovane platforme omogućavaju brzo prilagođavanje promenama u potražnji;

**Održivost** – Web 4.0 tehnologije doprinose smanjenju otpada, boljoj energetske efikasnosti i ekološki odgovornijim praksama.

Primena Web 4.0 tehnologija u poštanskoj logistici predstavlja strateški pravac ka povećanju efikasnosti, pouzdanosti i održivosti celokupnog LS. Kroz integraciju prediktivne logistike, autonomnih transportnih sistema i blockchain tehnologija, poštanski operatori mogu obezbediti preciznije praćenje pošiljki, optimizaciju ruta i resursa, smanjenje operativnih troškova i emisije štetnih gasova, kao i veći nivo sigurnosti i transparentnosti u opsluzi korisnika. Ovakav pristup ne samo da doprinosi smanjenju ekološkog otiska i racionalnijem korišćenju energije, već omogućava razvoj novih digitalnih poslovnih modela, unapređenje korisničkog iskustva i jačanje konkurentne pozicije poštanskih operatera u dinamičnom globalnom logističkom okruženju.

## Literatura

- [1] M. Baláž, J. Vaculík, & T. Corejova, T. “Evaluation of the impact of the internet of things on postal service efficiency in Slovakia”. *Economies*, Vol 12, No 10, 271. DOI:10.3390/economies12100271, 2024
- [2] S. Dabić-Miletić, S. Analiza nekih specifičnosti upravljanja rizicima u lancima snabdevanja u međunarodnom poštanskom saobraćaju. *Zbornik radova sa XXXVII Simpozijuma o novim tehnologijama u međunarodnom poštanskom saobraćaju–PosTel*, str. 21-30, Beograd, Srbija, 2019.
- [3] Hyder, J., & Hassini, E. “Optimizing warehouse space allocation to maximize profit in the postal industry”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 195, 103924. DOI: 10.1016/j.tre.2024.103924, 2025
- [4] A. Vorona, L. Istomin & S. Kalmykov “Peculiarities of international postal items logistics. *Transportation Research Procedia*, 63, pp. 1872-1880. DOI:10.1016/j.trpro.2022.06.207, 2022
- [5] H. Hasan, E. AlHadhrami, A. AlDhaheri, K. Salah, & R. Jayaraman “Smart contract-based approach for efficient shipment management”. *Computers & industrial engineering*, Vol 136, pp. 149-159. DOI: 10.1016/j.cie.2019.07.022, 2019
- [6] S. Tsiulin, K. H. Reinau, O. P. Hilmola, N. Goryaev, & A. Karam. “Blockchain-based applications in shipping and port management: a literature review towards defining key conceptual frameworks”. *Review of International Business and Strategy*, Vol 30, no 2, pp. 201-224. DOI: 10.1108/RIBS-04-2019-0051, 2020
- [7] L. Guo, J. Chen, S. Li, Y. Li, & J. Lu. “A blockchain and IoT-based lightweight framework for enabling information transparency in supply chain finance”. *Digital Communications and Networks*, Vol. 8, No. 4, pp. 576–587. DOI: 10.1016/j.dcan.2022.03.020, 2022.
- [8] Y. C. Yang, & Y. H. Hsieh. “The critical success factors of smart port digitalization development in the post-COVID-19 era”. *Case Studies on Transport Policy*, Vol. 17, 101231. DOI: 10.1016/j.cstp.2024.101231, 2024.

- [9] S. Iwan, M. Nürnberg, M. Jedliński, & K. Kijewska. "Efficiency of light electric vehicles in last mile deliveries – Szczecin case study". *Sustainable Cities and Society*, Vol. 74, 103167. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103167, 2021.
- [10] S. S. Srinivas, & R. R. Marathe. "Moving towards 'mobile warehouse': Last-mile logistics during COVID-19 and beyond". *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Vol. 10, 100339. DOI: 10.1016/j.trip.2021.100339, 2021.
- [11] C. Sitinjak, V. Simic, & W. F. Simanullang. "Promoting the Adoption Dynamics of Autonomous and Shared Autonomous Vehicles: A Scientific Mixed-Methods Approach". *International Scientific Spectrum*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-29, 2025.
- [12] M. Dobrodolac, D. Lazarević, A. Trifunović, & M. Petrović. "Exploring the Potential Applications of Artificial Intelligence in Parcel Delivery Systems". *Management Science Advances*, Vol. 2, No. 1, pp. 107-116, 2025. DOI: 10.31181/msa21202512.
- [13] A. Kumar, & Sunita. "E-Waste and the Telecommunication Industry: A 15-Year Bibliometric Mapping of Research Progress". *Applied Research Advances*, Vol. 1, No. 1, pp. 28-49. 2025. DOI: 10.65069/ara1120251.
- [14] R. Mustafovski. "State-of-the-Art Comparison of Sensors in Industry 4.0, Industry 5.0, and Low-Cost Monitoring Technologies". *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, pp. 1-14, 2025. DOI: 10.31181/sems41202658m.

**Abstract:** *The development of sustainable supply chains in postal logistics represents a key challenge and priority in the conditions of accelerated digital transformation. The application of Web 4.0 technologies, such as AI, IoT, blockchain and advanced analytics, enables the transition from traditional to intelligent and flexible processes that combine economic profitability and environmental responsibility and social sustainability. These technologies contribute to predictive planning, route optimization, transparency and better resource management, thereby reducing costs and emissions, while increasing the reliability and quality of postal services. Integration with sustainable practices, which include the use of electric vehicles, smart warehouses and ecological packaging, creates a synergistic effect that enables greater efficiency, reduction of the ecological footprint and improvement of the customer experience. The paper provides a systematic overview of technologies and sustainable practices in postal logistics, identifies their key advantages and challenges, and shows how their synergy ensures long-term resilience, competitive advantage and the transformation of postal logistics towards intelligent and sustainable systems.*

**Keywords:** *Web 4.0 technologies, digitization, supply chain, postal logistics*

## **APPLICATION OF WEB 4.0 TECHNOLOGY IN THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE POSTAL LOGISTICS SUPPLY CHAINS**

Svetlana Dabić-Miletić, Vladimir Simić

## **MEASURING THE QUALITY OF UNIVERSAL POSTAL SERVICE IN BOSNIA AND HERZEGOVINA: CHALLENGES OF A MULTI-OPERATOR ENVIRONMENT AND THE APPLICATION OF EUROPEAN STANDARDS**

Ermin Muharemović<sup>1</sup>, Amel Kosovac<sup>1</sup>, Nino Ćorić<sup>2</sup>, Nedim Moranjkić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Sarajevo, Faculty of Traffic and Communications,  
ermin.muharemovic@fsk.unsa.ba, amel.kosovac@fsk.unsa.ba

<sup>2</sup>Postal Regulatory Agency of Bosnia and Herzegovina,  
nino.coric@rap.ba, nedim.moranjkić@rap.ba

**Abstract:** *The pilot project for measuring the quality of the universal postal service in Bosnia and Herzegovina represents the first attempt to establish a national system for independent measurement of letter mail transit time in domestic postal traffic. The project was initiated by the Postal Regulatory Agency of Bosnia and Herzegovina with the support of GIZ and implemented through three independent measurement bodies — one for the area of each public postal operator. The uniqueness of the project lies in the fact that three public postal operators operate simultaneously within a single country, creating distinctive organizational and methodological challenges in harmonizing measurement processes. The measurement was conducted in accordance with the European standards BAS EN 13850 and BAS EN 14508, enabling the validation of their applicability within the complex postal environment of Bosnia and Herzegovina and establishing the foundation for a future system of universal postal service quality monitoring.*

**Keywords:** *universal postal service, service quality, transit time measurement, multi-operator environment, postal operators*

### **1. Introduction**

Postal services have an important social and economic role, as they ensure access to communication and basic services for all citizens, regardless of their location, social status, or economic capacity. The European regulatory framework for the postal sector is defined by Directive 97/67/EC of the European Parliament and of the Council, which establishes common rules for the development of the internal market for postal services and the improvement of the quality of the universal postal service. This directive sets the obligation for each Member State to ensure the availability of the universal postal service throughout its territory at affordable prices and with guaranteed quality standards.

Subsequent amendments, contained in Directive 2002/39/EC, further expanded the process of market liberalization and enabled the gradual opening of specific postal service segments to competition, while at the same time preserving the universal service as a basic public interest. Directive 2008/6/EC completes the process of full liberalization of the European Union postal market, emphasizing that liberalization must be accompanied by mechanisms for quality monitoring and user protection. Within this system, the measurement of letter mail transit time represents an important performance indicator of the universal service and is mandatory for all regulatory authorities supervising postal operators.

Bosnia and Herzegovina has a specific organization of the postal market, as three public postal operators operate within its territory: JP BH Pošta d.o.o. Sarajevo, Pošte Srpske a.d. Banja Luka, and Hrvatska pošta d.o.o. Mostar. Such a market structure makes the process of regulation, standardization, and quality measurement particularly complex. The Postal Regulatory Agency of Bosnia and Herzegovina acts as the regulator of the postal market, whose responsibilities include the establishment of a system for monitoring and evaluating the quality of the universal service in accordance with European standards and national regulations.

Previous research on user satisfaction with the universal postal service in Bosnia and Herzegovina indicated the need to establish an objective system for quality monitoring, which was confirmed through the results of this pilot project [1].

In 2024, a pilot project for measuring the quality of the universal postal service in Bosnia and Herzegovina was launched, representing the first attempt to establish a unified national system for independent measurement of letter mail transit time in domestic postal traffic. The project was initiated by the Postal Regulatory Agency of Bosnia and Herzegovina, in cooperation with the German Organization for International Cooperation – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH[2], and implemented by three independent measurers bodies:

- Faculty of Traffic and Communications, University of Sarajevo – for the area of JP BH Pošta,
- Faculty of Traffic Engineering, University of East Sarajevo – for the area of Pošta Srpske,
- Faculty of Natural Sciences, Mathematics and Education, University of Mostar – for the area of Hrvatske pošte Mostar.

The measurement was conducted in accordance with standards BAS EN 13850:2023 and BAS EN 14508:2017, which define the methodology for measuring transit time and statistical criteria for sample reliability. Within the project, 83 panelists participated, who handled a total of 900 non-priority letter mail items, evenly distributed across urban and rural areas of each operator. Based on the collected data, the transit time and cumulative quality indicators of the universal service were calculated at both national and inter-operator levels.

This paper presents the results of the pilot project, with a special focus on the challenges of a multi-operator environment within a unified regulatory framework, the analysis of the applicability of European standards in the domestic postal system, and recommendations for establishing a system for measuring the quality of the universal postal service in Bosnia and Herzegovina.

## **2. Regulatory and standardization framework**

The regulatory framework of the postal sector in Bosnia and Herzegovina is based on the Law on Posts of Bosnia and Herzegovina and the entity laws governing the organization, provision, and supervision of postal services — the Law on Postal Traffic of the Federation of BiH [4] and the Law on Postal Services of the Republic of Srpska [5]. These laws establish the fundamental principles of postal policy: accessibility of services to all citizens, equal treatment of users, protection of user interests, and alignment of technical standards with those of the European Union.

The establishment and supervision of the unified postal area of Bosnia and Herzegovina are entrusted to the Postal Regulatory Agency of Bosnia and Herzegovina, which holds regulatory authority for issuing licenses, monitoring the quality of the universal postal service, and harmonizing regulations with European standards. At the entity level, postal operators operate in accordance with rulebooks that define general and specific conditions for providing postal services, including the Rulebook on General Conditions for the Provision of Postal Services of the Federation of BiH [6] and the Special Conditions for the Provision of Postal Services of the Republic of Srpska [7].

The European regulatory framework is based on Directive 97/67/EC of the European Parliament and of the Council, which established common rules for the development of the internal market for postal services and the mandatory availability of the universal postal service throughout the territory of the Member States [8]. Directive 2002/39/EC gradually liberalized the postal services market and opened competition in segments that do not endanger the universal service [9]. Directive 2008/6/EC introduced full market liberalization, with an obligation for the Member States to ensure supervision of the quality and availability of the universal service [10].

The measurement of the quality of the universal postal service in the European Union is standardized through EN 13850 and EN 14508, which have been adopted in Bosnia and Herzegovina as BAS EN 13850:2023 and BAS EN 14508:2017. BAS EN 13850 defines the methodology for measuring end-to-end transit time for single-piece priority/first-class mail, using a representative sample, statistical reliability, and independent monitoring, while BAS EN 14508 defines the corresponding methodology for single-piece non-priority/second-class mail.

Bosnia and Herzegovina has not yet harmonized its legislation with the postal directives of the European Union. The new Law on Posts should ensure the gradual implementation of Directives 97/67/EC, 2002/39/EC, and 2008/6/EC, as well as the application of European standards BAS EN 13850 and BAS EN 14508 in the system for monitoring the quality of the universal postal service.

## **3. Organization and implementation of the pilot project**

The pilot project for measuring the quality of the universal postal service in Bosnia and Herzegovina was carried out during October and November 2024, with the aim of establishing a basis for independent and standardized monitoring of letter mail transit time in domestic postal traffic. The start of the measurement was postponed due to natural disasters that affected certain parts of the country during that period, which

influenced the planned timeline of project activities. The project was initiated by the Postal Regulatory Agency of Bosnia and Herzegovina, in cooperation with the German Organization for International Cooperation – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, as part of a broader support program for regulatory institutions in the postal and electronic communications sectors.

Within the project, three independent measurement bodies were established, each responsible for conducting measurements in the area of one public postal operator:

- Faculty of Traffic and Communications, University of Sarajevo – for the area of JP BH Pošta,
- Faculty of Traffic Engineering, University of East Sarajevo – for the area of Pošta Srpske,
- Faculty of Natural Sciences, Mathematics and Education, University of Mostar – for the area of Hrvatske pošte Mostar.

The total number of engaged panelists was 83, and they handled approximately 900 non-priority letter mail items within the measurement. The measurement covered all three public postal operators, with three postal areas defined for each operator, including both urban and rural postal regions. In this way, geographical representativeness of the sample and the possibility of analyzing results in relation to the territorial, organizational, and operational characteristics of each operator were ensured.

The measurement was conducted in accordance with the provisions of the European standards BAS EN 13850:2023 and BAS EN 14508:2017, which prescribe the method for end-to-end mail transit time measurement, applying a representative sample, unified accuracy criteria, and quality control procedures. This approach ensured that the measurement results were objective, comparable, and consistent with the methodology applied in the Member States of the European Union.

The pilot project also had an important coordination dimension, as for the first time in Bosnia and Herzegovina, the quality of the universal postal service was measured simultaneously across three public postal operators. This process identified numerous organizational and operational challenges, including the alignment of time schedules, the distribution of test mail items, data validation, and the development of consolidated national indicators.

The focus of this paper is not on the detailed presentation of the measurement methodology, which was defined in accordance with standards BAS EN 13850 and BAS EN 14508, but on the analysis of organizational challenges and the interpretation of results obtained during the pilot project.

Despite its complexity, the project was successfully implemented, thereby laying the foundation for establishing a national system for measuring the quality of the universal postal service in Bosnia and Herzegovina.

#### **4. Measurement results**

The measurement of the quality of the universal postal service was conducted in accordance with the requirements of the BAS EN 13850:2023 standard, which defines the service quality indicator based on the transit time of non-priority letter mail in domestic



postal traffic. The indicator is expressed as the percentage of mail items delivered within three working days (D+3) from the day of posting.

The measurement covered all three public postal operators, with each operator assigned an equal sample of 300 test mail items, which the panelists sent within and between postal areas. The number of mail items that panelists were expected to receive differed among operators, resulting from the methodological approach based on actual mail flows between operators and defined postal areas.

According to the measurement plan, panelists in the area of JP BH Pošta were expected to receive 383 mail items, panelists in the HP Mostar area a total of 221 items, while panelists in the area of Pošte Srpske were expected to receive 296 mail items. Such a distribution allowed the simulation of postal flows to reflect real operational relationships between networks and provided representative data for assessing transit times in both national and inter-operator postal traffic.

The results of the pilot project are presented for each public operator individually, with independent measurers bodies preparing and presenting reports for the areas assigned to them. The analysis particularly focused on the differences between internal (intra-operator) and inter-operator postal flows. Table 1 below presents the aggregate results of transit time measurement for non-priority letter mail by postal operators within the framework of the pilot project.

*Table 1. Results of transit time measurement for letter mail by postal operators*

| Postal Operator              | Number of Panelists | Planned Number of Sent Items | Actually Received | Average Transit Time (Days) | Delivered Within 3 Days (D+3) – (%) | Average Transit Time (Inter-Operator) (Days) | Delivered Within 3 Days (D+3) – Inter (%) |
|------------------------------|---------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| JP BH Pošta d.o.o. Sarajevo  | 34                  | 300                          | 383               | 3.34                        | 63%                                 | 3.98                                         | 52.31%                                    |
| Pošte Srpske a.d. Banja Luka | 27                  | 300                          | 221               | 2.64                        | 76.26%                              | 4.11                                         | 61.40%                                    |
| HP Mostar d.o.o. Mostar      | 22                  | 300                          | 296               | 2.87                        | 79.26%                              | 3.04                                         | 73.75%                                    |
| Total (BiH)                  | 83                  | 900                          | ~900              | -                           | 68.89% (D+3 average)                | -                                            | -                                         |

From the measurement results, differences can be observed in the transit time of mail between internal (intra-operator) and inter-operator postal flows. Such variations represent an expected consequence of different network configurations, geographical coverage, and operational procedures that characterize individual public postal operators. The results were also influenced by factors such as the distance between postal centers, the number of transport stages, and the way mail transit is organized and scheduled within each network. These findings highlight the importance of process standardization and the harmonization of technical parameters among operators to ensure a uniform level of quality of the universal postal service throughout the entire territory of Bosnia and Herzegovina.

When it comes to inter-operator postal flows, the results on average showed longer transit times compared to intra-operator flows, which is in line with expectations given the additional exchange stages and mail handling processes between different networks. These flows are particularly affected by coordination mechanisms between operators, synchronization of transport schedules, and mail exchange procedures at transition points. The findings confirm that, in order to improve the quality of the universal postal service, it is necessary to further standardize and optimize inter-operator protocols to reduce the difference between intra- and inter-operator transit times.

The aggregate measurement result at the level of Bosnia and Herzegovina shows that most mail items were delivered within three working days (D+3), confirming that the applied methodology enables reliable monitoring of the performance of the universal postal service in the national context. The obtained indicators represent a reference basis for future measurements and allow the identification of key areas where technical and organizational alignment of postal networks is needed to achieve a uniform standard of universal service quality in Bosnia and Herzegovina.

## **5. Challenges in the implementation of the measurement**

The implementation of the pilot project for measuring the quality of the universal postal service in Bosnia and Herzegovina encountered a number of challenges that reflected the complexity of an environment in which three public postal operators operate and the need to harmonize different network and organizational structures.

The first group of challenges relates to the organizational and coordination framework: the parallel implementation of measurements among the three operators required the alignment of panelists' schedules, the delivery of test mail between postal areas, as well as logistics and data validation across multiple independent measurers bodies.

The second type of challenges pertains to the technical and logistical dimension: differences in distances between postal centers, transport infrastructure in urban and rural areas, weather conditions, and natural disasters—all these factors affected the dynamics of sending and receiving test mail items.

The third challenge concerns the measurement methodology itself and the application of mail flow simulations. To make the simulation representative, the sample was defined according to the actual mail flows between operators and postal areas, which resulted in different planned numbers of received items for each operator. This approach provides an advantage in measurement accuracy but introduces additional complexity in coordinating and harmonizing procedures among the measurement bodies.

The fourth and particularly significant challenge relates to the inter-operator dimension. The exchange of mail between the networks of the three public operators introduces an additional layer of complexity in measuring the universal postal service. Harmonized exchange protocols, interoperable IT tracking systems, and unified standardized reporting formats are required. A specific challenge in this type of measurement lies in determining the exact moment when one network finishes and another takes over responsibility for a mail item—that is, the precise identification of the moment the item is received by the second operator. This stage of exchange is crucial for accurately determining the transit time, as it affects which operator is attributed with a

greater share of the total transport time and how each system's contribution to meeting the D+n standards is assessed. Without a clear and technically harmonized mechanism for recording the exchange moment, it is difficult to ensure a fully objective measurement of inter-operator postal performance.

The fifth group of challenges was related to the engagement and management of panelists, who represented an essential link in the process of measuring transit time. In some areas, particularly in rural zones, it was difficult to ensure a sufficient number of active panelists, which affected the even geographical coverage of the sample.

## 6. Conclusion

The pilot project for measuring the quality of the universal postal service in Bosnia and Herzegovina represented the first attempt to establish a national system for independent monitoring of letter mail transit time in domestic postal traffic. It was implemented in an institutionally and organizationally complex environment, in which three public postal operators simultaneously operate in a single market but within separate network structures.

Despite this complexity, the project was successfully implemented, and the methodology prescribed by the European standards BAS EN 13850 and BAS EN 14508 was fully applied. The conducted pilot project therefore has a dual significance: operational, as it demonstrated that it is possible to carry out reliable measurement in a complex multi-operator environment, and strategic, as it laid the foundations for future normative, technical, and institutional development of the system for monitoring the quality of the universal postal service in Bosnia and Herzegovina.

The project results provide a solid basis for future measurement cycles and for the further development of a unified system for monitoring the quality of the universal postal service in Bosnia and Herzegovina. Based on the experience gained, it is possible to improve coordination between operators and the regulator and to define target quality values in accordance with European postal regulation.

This project established the foundation for the creation of a transparent and internationally comparable system for measuring the quality of the universal postal service in Bosnia and Herzegovina.

## Literature

- [1] A. Kosovac, E. Muharemović, N. Čorić, and N. Moranjković, "POSTAL SERVICES IMPROVEMENTS IN BOSNIA AND HERZEGOVINA THROUGH USERS' PERSPECTIVE: A COMPREHENSIVE SURVEY ANALYSIS," in *ZBORNIK RADOVA ČETRDESET DRUGOG SIMPOZIJUMA O NOVIM TEHNOLOGIJAMA U POŠTANSKOM I TELEKOMUNIKACIONOM SAOBRAĆAJU – POSTEL 2024*, 2024, p. 10.
- [2] Agencija, "Mjerenje kvalitete univerzalne poštanske usluge u Bosni i Hercegovini," *Agencija za poštanski promet Bosne i Hercegovine*, 2024. [Online]. Available: [https://www.rap.ba/publication/read/Mjerenje\\_kvaliteta?lang=hr](https://www.rap.ba/publication/read/Mjerenje_kvaliteta?lang=hr).
- [3] *Zakon o poštama Bosne i Hercegovine*. B&H, 2005, p. 37.
- [4] *Zakon o poštanskom prometu Federacije Bosne i Hercegovine*. B&H, 2004.

- [5] *ZAKONA O POŠTANSKIM USLUGAMA REPUBLIKE SRPSKE*, no. 30. 2010, pp. 4–12.
- [6] SNFIB, *PRAVILNIK O OPĆIM UVJETIMA ZA PRUŽANJE POŠTANSKIH USLUGA*. 2007, pp. 1–44.
- [7] SGRS, *Posebni uvjeti za vršenje poštanskih usluga Republike Srpske*, no. 130. 2011, pp. 10–31.
- [8] Europski Parlament i Vijeće, *Direktiva 97/67/EZ o zajedničkim pravilima za razvoj unutarnjeg tržišta poštanskih usluga u Zajednici i poboljšanje kvalitete usluga*, no. 9. 1997, pp. 53–64.
- [9] EU, *DIREKTIVA 2002/39/EZ EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA*. EU, 2002, pp. 32–36.
- [10] E. P. i Vijeće, *DIREKTIVA 2008/6/EZ EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 20. veljače 2008. o izmjeni Direktive 97/67/EZ u pogledu potpunog postizanja unutarnjeg tržišta poštanskih usluga u Zajednici*, vol. 06/Sv. 9. SLUŽBENI LIST EUROPSKE UNIJE, 2008, pp. 214–230.

**Rezime:** Pilot-projekat merenja kvaliteta univerzalne poštanske usluge u Bosni i Hercegovini predstavlja prvi pokušaj uspostavljanja nacionalnog sistema za nezavisno merenje vremena prenosa pismonosnih pošiljaka u domaćem poštanskom saobraćaju. Projekat je pokrenula Regulatorna agencija za poštanski saobraćaj Bosne i Hercegovine uz podršku GIZ-a, a realizovan je kroz tri nezavisna tela za merenje — po jedno za područje svakog javnog poštanskog operatera. Jedinstvenost projekta ogleda se u tome što tri javna poštanska operatera deluju istovremeno unutar jedne države, što stvara specifične organizacione i metodološke izazove u usklađivanju procesa merenja. Merenje je sprovedeno u skladu sa evropskim standardima BAS EN 13850 i BAS EN 14508, čime je omogućena provera njihove primenljivosti u složenom poštanskom okruženju Bosne i Hercegovine i postavljen temelj za budući sistem praćenja kvaliteta univerzalne poštanske usluge.

**Ključne reči:** univerzalna poštanska usluga, kvalitet usluge, merenje vremena prenosa, višeoperatorsko okruženje, poštanski operateri

## MERENJE KVALITETA UNIVERZALNE POŠTANSKE USLUGE U BOSNI I HERCEGOVINI: IZAZOVI VIŠESTRUKOG OPERATORA I PRIMENA EVROPSKIH STANDARDA

Ermin Muharemović, Amel Kosovac, Nino Ćorić, Nedim Morajkić

## **IZAZOVI I PERSPEKTIVE RAZVOJA POŠTANSKE LOGISTIKE U DIGITALNOJ EKONOMIJI**

Mladenka Blagojević<sup>1</sup>, Aleksandra Urošević<sup>2</sup>, Dejan Marković<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,

m.blagojevic@sf.bg.ac.rs, mdejan@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup>Global Load Control, aleksandra.urosevic@globalloadcontrol.com

**Rezime:** Razvoj digitalne ekonomije značajno je uticao na transformaciju poštanske logistike, posebno kroz nagli rast e-trgovine. Tradicionalni poštanski operatori, suočeni sa promenjenim potrebama korisnika, morali su da prilagode svoje poslovne modele, tehnologije i usluge. Digitalizacija je omogućila povezivanje e-trgovinskih platformi i poštanskih mreža, čime se stvaraju jedinstveni lanci vrednosti koji korisnicima pružaju fleksibilnost i pouzdano uručenje. Cilj ovog rada je da prikaže međusobnu uslovljenost e-trgovine i poštanske logistike, izazove i šanse koje se javljaju u procesu digitalne transformacije, kao i da ukaže na strateški značaj ulaganja u inovacije i održivost. Zaključak je da e-trgovina ne samo da oblikuje nove standarde u poštanskoj industriji, već i da pokreće celokupan razvoj digitalne ekonomije kroz unapređenje logističkih procesa.

**Ključne reči:** poštanski operatori, logistika, e-trgovina, digitalna ekonomija

### **1. Uvod**

Digitalna ekonomija predstavlja oblik privrede u kojoj se informacione i komunikacione tehnologije (IKT) koriste kao osnovni resurs za stvaranje vrednosti, unapređenje poslovnih procesa i kreiranje novih modela poslovanja. Ona obuhvata sve ekonomske aktivnosti koje se odvijaju putem Interneta, mobilnih mreža, digitalnih platformi i softverskih alata, čime se brišu granice između tradicionalnih i savremenih tržišta. U savremenim uslovima, digitalna ekonomija nije više periferni segment privrede, već njen centralni pokretač.

Ključne karakteristike digitalne ekonomije jesu brzina, globalna povezanost i visok stepen prilagodljivosti. Brzina se ogleda u mogućnosti trenutne razmene informacija i podataka između učesnika tržišta, čime se smanjuju transakcioni troškovi i ubrzava donošenje poslovnih odluka. Globalna povezanost omogućava kompanijama da posluju na međunarodnom nivou, bez obzira na fizičku lokaciju, dok personalizacija i prilagodljivost usluga garantuju da korisnici dobijaju rešenja oblikovana prema njihovim individualnim potrebama. Pored navedenih odlika, digitalna ekonomija se oslanja i na korišćenje velikih količina podataka (*Big Data*), veštačke inteligencije i automatizovanih sistema za donošenje odluka. Na taj način poslovni subjekti nisu ograničeni samo na

tradicionalne oblike konkurencije, već mogu da se diferenciraju kroz inovacije i kvalitet usluga. Ova transformacija ima snažan uticaj na sve sektore, a posebno na trgovinu i logistiku, jer oni čine osnovu povezivanja proizvođača i krajnjih korisnika. Posebno treba istaći da se e-trgovina posmatra kao jedan od ključnih stubova digitalne ekonomije i kao glavni izazov za poštansku i logističku industriju [1].

Poštanska logistika ima izuzetnu važnost u digitalnoj ekonomiji jer obezbeđuje fizičku realizaciju procesa koji započinju u digitalnom okruženju. Dok e-trgovina obezbeđuje platformu za naručivanje i plaćanje, logistika je ta koja omogućava da proizvodi stvarno stignu do potrošača. Na taj način, poštanska logistika predstavlja „most“ između virtuelnog i realnog sveta, a njen značaj raste proporcionalno sa porastom broja online kupovina.

Tradicionalni poštanski operatori poput La Poste, Deutsche Post DHL ili PostNord morali su da redefinišu svoje poslovne modele. Umesto da budu samo pružaoци univerzalnih poštanskih usluga, oni danas postaju ključni logistički partneri e-trgovinskih platformi. Investicije u automatizovana sortirna postrojenja, pametne algoritme za optimizaciju ruta, kao i paketomate i *pick-up/drop-off* tačke postale su neophodne kako bi se odgovorilo na rastuće potrebe tržišta.

Pored efikasnosti, sve veći značaj ima i održivost poštanske logistike. U digitalnoj ekonomiji, gde korisnici postaju sve svesniji ekoloških pitanja, operatori ulažu u električna vozila, „zelena“ skladišta i optimizaciju pakovanja. Time se ne smanjuje samo negativan uticaj na životnu sredinu, već se istovremeno jača i brend imidž kompanija.

Značaj poštanske logistike ogleda se i u njenoj ulozi u *last mile delivery* (poslednja milja) segmentu, koji predstavlja najkritičniju fazu lanca snabdevanja. Brzina, tačnost i pouzdanost dostave direktno utiču na zadovoljstvo korisnika, pa se ovaj segment često posmatra kao presudan za uspeh e-trgovinskih modela. U tom smislu, poštanska logistika ne predstavlja samo prateću funkciju digitalne ekonomije, već njen ključni element [2], [3].

Takođe, važno je istaći da digitalna ekonomija ne samo da menja postojeće usluge, već i otvara prostor za nove modele poslovanja. Usluge kao što su elektronska naplata, digitalni potpis, e-arhiviranje i elektronske platforme za upravljanje dokumentacijom postaju deo ponude poštanskih operatora [4], [5]. Time se uloga pošte proširuje sa fizičke distribucije na digitalnog posrednika u komunikaciji i trgovini. Ovi procesi direktno utiču na redefinisane poštanskih operacija, prelazak sa fizičke na digitalnu komunikaciju i stvaranje hibridnih modela distribucije. Prema izveštaju [6], digitalna infrastruktura postaje ključni faktor otpornosti i konkurentnosti svih uslužnih sektora, uključujući poštanski. Slično, [7] naglašava da digitalna ekonomija generiše više od 70% novih inovacija u sektoru transporta i logistike.

## 2. Poštanska logistika u savremenim uslovima

Digitalizacija je radikalno promenila način funkcionisanja poštanskih operatora. Dok je u klasičnom modelu osnovni fokus bio na fizičkom prenosu dokumenata i robe, danas je u središtu digitalno umrežena logistička mreža koja kombinuje informaciono-komunikacione tehnologije, automatizaciju i inovativna rešenja za poslednju milju. Ključne promene pod uticajem digitalizacije uključuju:

- Automatizaciju i robotizaciju – savremeni distributivni centri koriste automatske sortirne linije, robote i skenere za brzo prepoznavanje i usmeravanje pošiljaka.

To omogućava višestruko veći obim obrade uz smanjenje grešaka i troškova. Na primer, DHL i UPS implementirali su potpuno automatizovane hub-ove u Evropi i SAD-u, dok Pošta Srbije modernizuje svoje poštansko-logističke centre;

- Sisteme za praćenje pošiljaka – digitalne platforme omogućavaju korisnicima uvid u status pošiljke u realnom vremenu. Time se povećava poverenje korisnika i smanjuje broj reklamacija;
- Pametnu logistiku i Big Data – ogromne količine podataka generisane kroz e-trgovinu koriste se za optimizaciju ruta, predviđanje tražnje i dinamičko raspoređivanje resursa. Algoritmi mašinskog učenja omogućavaju da se unapred predvide periodi povećanog obima što pomaže boljem planiranju kapaciteta;
- Digitalne kanale korisničkih usluga – umesto odlaska na šalter, korisnici danas koriste mobilne aplikacije, online portale i *chatbot* sisteme za slanje i praćenje pošiljaka, reklamacije ili plaćanja. Time se značajno smanjuje potreba za fizičkim prisustvom u jedinicama poštanske mreže za pružanje usluga korisnicima;
- Razvoj poslednje milje (*last mile delivery*) – digitalna ekonomija stavlja poseban akcenat na poslednji segment dostave. Paketomati, pametni ormarići i fleksibilne opcije dostave (odabir termina dostave, preusmeravanje pošiljke, dostava u realnom vremenu) postali su standard;
- Ekološku transformaciju – digitalna ekonomija povezana je sa održivošću. Elektronska dokumentacija smanjuje potrošnju papira, dok električna vozila i algoritamska optimizacija ruta doprinose smanjenju emisije CO<sub>2</sub>. Evropski poštanski operatori, poput PostNord-a i Deutsche Post DHL-a, aktivno ulažu u „zelenu logistiku“.

Na domaćem tržištu, Pošta Srbije uvodi softverska rešenja za planiranje ruta, automatsko evidentiranje pošiljaka i GPS praćenje u realnom vremenu, čime se znatno skraćuje vreme dostave i povećava pouzdanost sistema. Ovi procesi predstavljaju osnovu prelaska sa tradicionalnog ka potpuno digitalizovanom logističkom modelu.

Strukturne promene u obimu i vrsti poštanskih pošiljaka direktno se reflektuju na organizaciju i funkcionisanje logističkih mreža. Klasične mreže, koje su bile projektovane za masovnu obradu standardizovanih pisama, sada su suočene sa rastućim opterećenjem paketa, čija obrada zahteva drugačiju infrastrukturu, tehnologiju i poslovnu logiku.

Prva velika promena jeste potreba za prilagođavanjem kapaciteta distributivnih centara. Paketske pošiljke su fizički veće, raznovrsnijih dimenzija i zahtevaju više prostora za skladištenje i obradu. Za razliku od standardizovanih pisama koja su se mogla brzo sortirati manuelno, paketi zahtevaju sofisticirane automatizovane linije, skenere i robotske sisteme. To dovodi do značajnih investicija u modernizaciju postojećih centara i izgradnju novih objekata.

Druga promena odnosi se na tokove pošiljaka. Dok su pismo nosne pošiljke imale relativno ujednačen i predvidiv tok, pakete karakteriše sezonalnost i oscilacije. Tokom praznika, promotivnih perioda ili pandemijskih zatvaranja obim paketa višestruko raste u kratkom vremenskom intervalu. To stvara izazove u planiranju kapaciteta i raspoređivanju ljudskih resursa.

Treća važna promena jeste opterećenje duž poslednje milje. Pismo nosne pošiljke distribuirane su standardnim rutama poštoša koji su svakodnevno obilazili domaćinstva. Danas, rast paketskog saobraćaja zahteva fleksibilniju i personalizovaniju

dostavu – korisnici očekuju mogućnost izbora vremena dostave, preusmeravanja pošiljke ili preuzimanje u paketomatu. To menja samu logiku poslednje milje, uvodeći nove modele: dostavu u realnom vremenu, *crowdsourcing* dostavu (npr. Glovo i Wolt ulaze u segment paketa), kao i upotrebu novih tehnologija poput dronova i autonomnih vozila.

Četvrta dimenzija promene ogleda se u međunarodnim tokovima. Dok su pismoosne pošiljke uglavnom bile domaće ili regionalne, paketi u velikoj meri pristižu iz inostranstva, posebno iz Kine. To zahteva dodatnu koordinaciju sa carinskim službama, digitalizaciju procedura i uvođenje elektronske razmene podataka između zemalja. Evropska unija i Svetski poštanski savez aktivno rade na standardizaciji digitalnih carinskih deklaracija kako bi se ubrzala prekogranična e-trgovina.

Peta promena tiče se zaposlenih i organizacije rada. Poštari se često transformišu u kurire, čiji posao podrazumeva rukovanje paketima, plaćanje pouzecem, digitalnu evidenciju i rad sa mobilnim aplikacijama. To zahteva nova znanja i obuke, ali i promenu kulture poslovanja u samim poštanskim organizacijama.

U Srbiji se ove promene jasno vide kroz primer Pošte Srbije i kurirskih i ekspres službi. Dok je pismoosni saobraćaj u stalnom padu, usluga PostExpress beleži rast od preko 20% godišnje. Logistička mreža se preusmerava ka izgradnji paketomata, modernizaciji poštansko-logističkih centara i uvođenju digitalnih platformi za korisnike. Privatni kurirski i ekspres operatori investiraju u sopstvene distributivne centre i flote vozila, često nudeći inovativne opcije uručjenja.

Na globalnom nivou, promena tokova i opterećenja dovela je do kreiranja potpuno novih modela poslovanja. Amazon, na primer, razvija sopstvenu logističku mrežu, uključujući avio-flotu, kako bi smanjio zavisnost od tradicionalnih poštanskih službi i kurirskih i ekspres operatora. Alibaba u Kini poseduje Cainiao Network, koja povezuje e-trgovinu sa globalnim logističkim mrežama.

Poseban aspekt promene u opterećenju mreža jeste i ekološki faktor. Rast broja paketa znači i rast broja dostavnih vozila u urbanim sredinama, što stvara problem zagušenja saobraćaja i povećanja emisije štetnih gasova. Kao odgovor, operatori sve više investiraju u električna vozila, biciklističke kurirske službe i pametne sisteme planiranja ruta. Deutsche Post DHL, na primer, već koristi više hiljada električnih vozila u Evropi, dok GLS i DPD ulažu u razvoj ekoloških mikro-hubova u gradskim jezgrima.

Sve navedene promene ukazuju da poštanske logističke mreže prolaze kroz najdinamičniju transformaciju u svojoj istoriji. Iz modela stabilnog i predvidivog sistema za prenos pisama, prelazi se u kompleksnu i fleksibilnu mrežu namenjenu preradi i uručjenju uglavnom paketa, sa snažnim digitalnim i ekološkim komponentama.

### 3. Tehnološke inovacije u poštanskoj logistici

Tehnološke inovacije u poštanskoj logistici (automatizacija sortiranja, praćenje pošiljaka u realnom vremenu i upotreba *Internet of Things* – IoT i *Business Intelligence* – BI alata) fundamentalno menjaju način na koji funkcioniše čitav sektor. Automatizacija povećava kapacitet i tačnost obrade, praćenje u realnom vremenu donosi veću transparentnost i zadovoljstvo korisnika, dok IoT i BI alati omogućavaju inteligentno upravljanje i predviđanje trendova.

Automatizacija sortiranja danas je jedna od najznačajnijih inovacija u poštanskoj logistici. Savremeni distributivni centri koriste veoma napredne sortirne mašine koje pomoću optičkih skenera, bar-kod i QR čitača, kao i RFID (*Radio Frequency Identification*) tehnologije, prepoznaju i usmeravaju pošiljke ka odgovarajućim



destinacijama. Brzina ovakvih sistema meri se u hiljadama pošiljaka po satu, a stopa greške smanjena je na minimum. Prednosti automatizacije uključuju značajno povećanje kapaciteta obrade, smanjenje troškova radne snage, povećanje tačnosti i pouzdanosti, mogućnost obrade paketa različitih dimenzija i težina, integraciju sa informacionim sistemima za praćenje i planiranje. Automatizacija sortiranja ne samo da povećava efikasnost, već i otvara put ka daljoj digitalizaciji i povezivanju sa drugim inovacijama u logistici, poput praćenja u realnom vremenu i integracije sa IoT uređajima.

Jedna od najvećih promena u percepciji korisničkog iskustva u poštanskoj logistici jeste mogućnost praćenja pošiljaka u realnom vremenu. Dok je ranije korisnik bio u potpunom neznanju o statusu pošiljke od trenutka slanja do uručenja, danas gotovo svi operatori nude digitalne platforme i aplikacije koje omogućavaju kontinuiran uvid u lokaciju i status paketa. Praćenje u realnom vremenu zasniva se na kombinaciji tehnologija: bar-kod i QR kodova, RFID tagova, GPS sistema i mobilnih aplikacija. Moderni sistemi idu korak dalje – omogućavaju dinamičko praćenje kurira putem GPS-a, pa korisnici mogu da prate tačnu lokaciju vozila i vreme dolaska. Prednosti ovog sistema su višestruke: povećava se poverenje korisnika, smanjuje se broj reklamacija i upita o statusu pošiljaka, omogućava se bolje planiranje vremena preuzimanja, logistički operatori imaju detaljan uvid u efikasnost svojih mreža.

Amazon je uveo opciju „*Amazon Map Tracking*“, gde korisnici mogu u realnom vremenu videti gde se nalazi kurir i za koliko minuta će stići. DHL nudi „*On Demand Delivery*“ platformu koja omogućava korisnicima ne samo da prate pošiljke, već i da menjaju opcije dostave dok je paket već u transportu.

U Srbiji, Track&Trace sistem je uveden kod svih operatora. Praćenje u realnom vremenu nije značajno samo za korisnike, već i za same operatore. Integracija ovih podataka u logističke sisteme omogućava analitiku performansi – koliko dostava je obavljeno na vreme, koje rute su najopterećenije, gde dolazi do zastoja. Na taj način, praćenje pošiljaka postaje i alat za unapređenje kvaliteta usluge i optimizaciju procesa.

Razvoj IoT i BI alata donosi novu dimenziju u poštansku logistiku. IoT podrazumeva mrežu fizičkih uređaja povezanih putem Interneta koji prikupljaju i razmenjuju podatke u realnom vremenu. U logistici to obuhvata GPS uređaje, senzore temperature, vlažnosti, vibracije, pametne kontejnere i vozila opremljena telemetrijom. Primena IoT-a u poštanskoj logistici uključuje:

- praćenje uslova transporta – senzori u vozilima i kontejnerima prate temperaturu i vlažnost, što je ključno za farmaceutsku i prehrambenu industriju,
- prediktivno održavanje – telemetrija vozila omogućava da se kvarovi predvide i spreče pre nego što izazovu kašnjenja,
- optimizaciju ruta u realnom vremenu – povezani GPS uređaji analiziraju saobraćajne uslove i predlažu najbrže rute,
- sigurnost pošiljaka – pametni senzori detektuju otvaranje paketa ili pokušaje manipulacije.

BI alati omogućavaju prikupljanje, obradu i analizu podataka iz različitih izvora (narudžbine, Track&Trace sistemi, IoT uređaji). Na osnovu tih podataka menadžeri mogu donositi bolje odluke o alokaciji resursa, investicijama i strategijama.

Konkretni primeri uključuju:

- predikciju tražnje – algoritmi analiziraju istorijske podatke i sezonske trendove kako bi predvideli obim pošiljaka,
- analizu performansi kurira – BI alati prate vreme dostave, broj pokušaja dostave, korisničke povratne informacije,

- optimizaciju skladišta – analiza podataka pomaže da se identifikuju uska grla i poveća efikasnost obrade.

Globalni giganti već koriste ove tehnologije. DHL je razvio platformu „*DHL SmartSensor*“ koja omogućava praćenje temperature i lokacije pošiljaka u realnom vremenu, dok UPS koristi napredne BI sisteme za planiranje ruta i smanjenje potrošnje goriva. U Srbiji, primena IoT i BI alata još je u početnoj fazi. Privatni operatori uvode telemetriju u vozila, dok Pošta Srbije razvija projekte integracije Big Data alata za planiranje kapaciteta. Kompanija GLS implementirala je 2023. godine sistem IoT senzora u dostavnim vozilima radi praćenja temperature, potrošnje goriva i zadržavanja pošiljaka, dok Pošta Srbije razvija projekat analitike velikih podataka za predviđanje sezonskih pikova dostave. Time se ostvaruje prelazak sa reaktivnog na prediktivno upravljanje logistikom. U budućnosti se očekuje značajan porast ovih rešenja, naročito kako se tržište e-trgovine bude širilo, a što je prilično izvesno.

Ključne inovacije globalnih poštanskih operatora u poslednjih par godina prikazane su tabelom 1.

*Tabela 1. Ključne inovacije globalnih poštanskih operatora (2022–2024)*

| Operator                | Tehnološke inovacije                                    | Fokus održivosti                                  | Posebne usluge za e-trgovinu                                   |
|-------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>DHL Group</b>        | Automatizovani centri, AI za predikciju vremena dostave | 30.000 električnih vozila, <i>GoGreen</i> program | <i>DHL On Demand Delivery</i> , mreža paketomata               |
| <b>UPS</b>              | Dron dostava ( <i>Flight forward</i> ), BI analitika    | Biogoriva, hibridna vozila                        | <i>UPS My Choice</i> , B2B optimizacija                        |
| <b>FedEx</b>            | IoT senzori, prediktivno održavanje                     | Solarni centri, električni kombiji                | <i>FedEx Delivery Manager</i> , API integracije sa platformama |
| <b>Amazon Logistics</b> | Automatizovani „fulfillment“ centri, roboti Kiva        | Neutralna emisija do 2040.                        | <i>Prime same-day delivery</i> , <i>Amazon Locker</i>          |

#### 4. Ekološki aspekti i održivost

Ekološki aspekti i održivost postaju neizostavan deo savremene poštanske logistike. „Zelena logistika“ fokusira se na smanjenje emisije CO<sub>2</sub> i racionalno korišćenje resursa, alternativna vozila i optimizacija ruta donose konkretne rezultate u smanjenju zagađenja i troškova, dok digitalna rešenja omogućavaju inteligentno i održivo upravljanje celim procesom.

##### 4.1. „Zelena logistika“ i smanjenje emisije CO<sub>2</sub>

Ekološka dimenzija poštanske logistike dobija sve veći značaj u savremenom društvu. U vreme kada klimatske promene, globalno zagrevanje i zagađenje životne sredine predstavljaju ključne izazove za čovečanstvo, poštanski i logistički sektor suočava se sa pritiskom da uskladi poslovanje sa principima održivosti. Posebno je značajan koncept „zelene logistike“, koji podrazumeva primenu ekološki prihvatljivih tehnologija i metoda sa ciljem smanjenja negativnog uticaja transporta i distribucije na životnu sredinu.

Poštanske, kurirske i ekspres usluge direktno utiču na emisiju CO<sub>2</sub> jer uključuju ogroman broj vozila koja svakodnevno učestvuju u distribuciji pošiljaka. Prema podacima Evropske agencije za životnu sredinu, transport je odgovoran za oko 25% ukupne emisije gasova sa efektom staklene bašte u EU, a značajan deo otpada na dostavna vozila u urbanim sredinama. Brzi rast e-trgovine dodatno je povećao broj paketa, što znači i veće opterećenje na saobraćajnu i ekološku infrastrukturu.

Koncept zelene logistike ne podrazumeva samo smanjenje emisije gasova već i racionalno korišćenje resursa, reciklažu ambalaže, korišćenje održivih materijala, prelazak na digitalnu dokumentaciju kako bi se smanjila potrošnja papira, optimizaciju lanaca snabdevanja i distribucije. Globalni poštanski operatori ulažu značajne napore u zelenu transformaciju. Deutsche Post DHL postavio je cilj da do 2050. godine postane potpuno karbonski neutralna kompanija. PostNord u Skandinaviji već koristi električna vozila i biciklističke kurirske službe u urbanim centrima, dok UPS i FedEx uvode biogoriva i hibridne tehnologije u svoje flote. Neke od ekoloških inicijativa i ciljeva poštanskih operatora u Evropi prikazane su tabelom 2.

*Tabela 2. Ekološke inicijative i ciljevi poštanskih operatora u Evropi*

| Operator                         | Cilj smanjenja CO <sub>2</sub>  | Glavne mere                                          | Status realizacije (2024) |
|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Deutsche Post DHL</b>         | –50% do 2030.                   | Električna vozila, biogoriva, solarni centri         | 65% realizovano           |
| <b>PostNord (Švedska/Danska)</b> | 100% neutralna dostava do 2030. | Električni bicikli, konsolidacija dostave            | 58% realizovano           |
| <b>La Poste (Francuska)</b>      | –30% do 2025.                   | E-vozila, pametne rute, digitalna evidencija         | 72% realizovano           |
| <b>Pošta Srbije</b>              | –20% do 2027.                   | Električni skuteri, solarne pošte, optimizacija ruta | 25% realizovano           |

#### 4.2. Alternativna vozila i optimizacija ruta

Jedan od najvažnijih elemenata zelene logistike jeste prelazak sa klasičnih vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem na alternativna vozila – električna, hibridna, vozila na vodonik ili biogoriva. Ova tehnologija značajno smanjuje emisiju CO<sub>2</sub>, buku i druge oblike zagađenja, čineći gradove održivijim i zdravijim.

Električna vozila danas su najrasprostranjenija opcija. DHL koristi sopstvenu flotu električnih kombija „StreetScooter“, dok DPD i GLS ulažu u električne dostavne automobile i teretne bicikle za poslednju milju. U Kini, JD.com testira autonomna električna dostavna vozila, dok Amazon planira desetine hiljada električnih kombija proizvođača Rivian.

Biciklističke kurirske službe takođe dobijaju na značaju, posebno u centrima velikih gradova gde gužve i emisija predstavljaju ozbiljan problem. Ova vozila smanjuju emisiju, ne stvaraju buku i omogućavaju brzu dostavu u zonama gde automobilima nije dozvoljen pristup.

Pored alternativnih vozila, ključnu ulogu ima i optimizacija ruta. Korišćenjem naprednih algoritama i softverskih rešenja operatori mogu smanjiti broj pređenih kilometara, vreme provedeno u saobraćaju i potrošnju goriva. Big Data i AI (*Artificial Intelligence*) balati analiziraju saobraćajne obrasce, vremenske uslove i gustinu

naseljenosti kako bi kreirali najefikasnije rute. UPS je razvio sistem „ORION“ (*On-Road Integrated Optimization and Navigation*) koji optimizuje rute vozača u realnom vremenu. Prema njihovim podacima, ORION je smanjio pređene kilometre za više od 100 miliona godišnje, što znači ogroman pad emisije CO<sub>2</sub> i značajnu uštedu goriva.

U Srbiji i regionu optimizacija ruta tek dobija na važnosti. Većina operatora koristi osnovne GPS sisteme, ali sve češće se uvode i napredna softverska rešenja. Pošta Srbije testira sisteme za planiranje ruta bazirane na GIS tehnologiji, dok privatni operatori implementiraju alate koji prate performanse kurira i predlažu optimizovane rute. Optimizacija ruta ima i ekonomske i ekološke benefite: smanjuju se troškovi goriva, povećava se broj dostava po kuriru, smanjuje se emisija, a korisnici dobijaju bržu i pouzdaniju uslugu.

## **5. Izazovi razvoja poštanske logistike u digitalnoj ekonomiji**

Digitalna transformacija poštanske logistike donosi brojne koristi, ali i čitav niz izazova koji se odnose na zakonodavni okvir, tehnološku interoperabilnost, bezbednost podataka i ekološku održivost. U kontekstu globalne e-trgovine poštanski operatori suočavaju se sa potrebom usaglašavanja tradicionalnih regulatornih okvira sa brzim tehnološkim inovacijama, kao i sa rastućim pritiskom korisnika za bržom, jeftinijom i transparentnijom dostavom.

### **5.1. Regulatorni okvir i standardizacija**

Jedan od ključnih izazova u razvoju poštanske logistike u digitalnoj ekonomiji jeste usklađivanje regulatornog okvira i standardizacije. Poštanska industrija je visoko regulisana oblast jer se bavi uslugama od opšteg društvenog značaja, uključujući komunikaciju, prenos robe i osiguranje poverenja korisnika. Međutim, prelazak sa tradicionalnog na digitalni model poslovanja doneo je niz novih pitanja koja zahtevaju prilagođavanje postojećih propisa.

Na globalnom nivou regulatorni izazovi se odnose na:

- zaštitu podataka korisnika – digitalne platforme prikupljaju ogromne količine informacija o korisnicima, što nameće obavezu usklađivanja sa zakonima poput GDPR-a (*General Data Protection Regulation*) u Evropskoj uniji;
- digitalne ugovore i elektronski potpis – pravno priznavanje elektronske dokumentacije i potpisa postaje ključno u logistici;
- carinske procedure – prekogranična e-trgovina zahteva harmonizaciju carinskih pravila, digitalnih deklaracija i procedura za ubrzano oslobađanje pošiljaka,
- bezbednost elektronskih plaćanja – poštansko-logistički operatori često imaju ulogu posrednika u naplati pouzdanom ili online, što traži stroge standarde bezbednosti.

Poštanska direktiva uređuje obaveze u vezi sa univerzalnom uslugom i pravila konkurencije između nacionalnih i privatnih operatora. Međutim, dinamičan rast e-trgovine pokazao je da regulativa često kasni za praksom. EU je zato uvela i set pravila vezanih za prekograničnu e-trgovinu i transparentnost cena kako bi korisnici mogli da uporede troškove dostave i izbegnu neosnovane barijere.

Za Srbiju i region Zapadnog Balkana izazov je dvostruk. S jedne strane, potrebno je modernizovati regulatorni okvir u skladu sa evropskim standardima, a s druge strane očuvati univerzalnu uslugu dostupnu svim građanima, što zahteva balans između tržišne konkurencije i društvene funkcije pošte. Posebno je važno urediti oblast paketskih

usluga koja postaje dominantna u odnosu na pismonosne. Nedostatak harmonizacije može dovesti do sporijih procedura, dodatnih troškova i smanjenog poverenja korisnika.

Standardizacija je još jedno važno pitanje. Ona podrazumeva usklađivanje tehničkih, tehnoloških i proceduralnih normi u poštanskoj logistici. Uvođenje elektronske razmene podataka, univerzalnih bar-kodova i QR kodova, te digitalnih carinskih deklaracija predstavlja osnovu za interoperabilnost između različitih operatora. Bez standardizacije, međunarodni tokovi pošiljaka ostaju spori i neefikasni.

## **5.2. Konkurencija između nacionalnih i privatnih operatora**

Drugi veliki izazov jeste konkurencija između nacionalnih i privatnih operatora. Tradicionalno, nacionalne pošte imale su monopol ili dominantan položaj na tržištu, ali liberalizacija i digitalna ekonomija otvorili su prostor za ulazak privatnih kurira i globalnih logističkih kompanija. Ova konkurencija ima i pozitivne i negativne aspekte. S jedne strane, ona donosi povećanje kvaliteta i inovacija. Poštanski integratori i privatni operatori uvode nove tehnologije, aplikacije i fleksibilne opcije dostave kako bi privukli korisnike. To pritiska nacionalne operatore da modernizuju svoje sisteme i ponude konkurentne usluge. S druge strane, konkurencija može ugroziti finansijsku održivost nacionalnih pošta, koje imaju obavezu univerzalne usluge. Dodatni izazov je i globalna konkurencija. Amazon, Alibaba i slični giganti grade sopstvene logističke mreže i sve manje zavise od nacionalnih i lokalnih operatora. Time tradicionalni poštanski sistemi gube deo tržišta i postaju zavisni od saradnje sa globalnim akterima. Rešenje ovog izazova leži u pronalaženju modela koegzistencije i partnerstva. Nacionalni i privatni operatori moraju sarađivati u određenim segmentima (npr. prekogranična dostava, paketomati, zelena logistika) kako bi se obezbedila efikasnost sistema i očuvala univerzalna usluga.

## **5.3. Problemi u infrastrukturi i investicijama**

Treći ključni izazov odnosi se na infrastrukturu i investicije. Digitalna ekonomija i ekspanzivni rast e-trgovine značajno su promenili strukturu poštanskog saobraćaja. U mnogim zemljama infrastruktura poštanskih operatora nije prilagođena ovim promenama. Preradni centri često su projektovani za obradu pisama i ne mogu da podnesu rast paketa različitih dimenzija i težina. Automatizacija je skupa i zahteva ogromna ulaganja, a nacionalni operatori često nemaju dovoljno kapitala da modernizuju svoje sisteme bez podrške države ili međunarodnih partnera.

Drugi infrastrukturni izazov odnosi se na poslednju milju. Tradicionalni model poštara koji svakodnevno obilazi domaćinstva nije efikasan u uslovima rasta obima paketa. Potrebna je mreža paketomata, PUDO tačaka i pametnih dostavnih rešenja, ali njihovo implementiranje zahteva značajna ulaganja.

Treći problem su informacioni sistemi. Digitalna ekonomija zahteva integraciju e-commerce platformi, kurirskih službi, carine i korisnika kroz jedinstvene digitalne tokove. Bez snažnih IT sistema operatori ne mogu da pruže usluge u realnom vremenu, niti da konkurišu globalnim gigantima. Investicije u digitalnu infrastrukturu stoga postaju prioritet, ali zahtevaju znatne resurse i stručni kadar.

Pored tehničke infrastrukture, veliki izazov predstavljaju i ljudski resursi. Poštanska logistika prolazi kroz transformaciju od klasičnih poštoša ka kuririma i digitalno obučanim zaposlenima. Potrebna su kontinuirana ulaganja u obuke, digitalne

veštine i razvoj novih kadrova. U suprotnom, operatori rizikuju da zaostanu u inovacijama i kvalitetu usluge.

Za region Zapadnog Balkana specifičan izazov predstavlja i nedostatak kapitala za investicije. Dok globalni giganti ulažu milijarde dolara u infrastrukturu, nacionalne pošte u ovom regionu bore se sa ograničenim resursima i često zavise od državne pomoći. To dodatno produbljuje jaz između razvijenih i manje razvijenih tržišta.

## **6. Perspektive razvoja poštanske logistike u digitalnoj ekonomiji**

Perspektive razvoja poštanske logistike u digitalnoj ekonomiji su izrazito pozitivne. Digitalna transformacija poštanskih usluga, inovacije u poslednjoj milji i saradnja sa e-commerce platformama predstavljaju pravce u kojima će se industrija razvijati. Digitalizacija omogućava efikasnost, transparentnost i kontrolu, dok inovacije duž poslednje milje rešavaju najskuplji deo procesa i donose novu fleksibilnost korisnicima. Saradnja sa e-trgovinom stvara sinergiju koja je ključna za dalji rast i održivost celog sistema.

### **6.1. Digitalna transformacija poštanskih usluga**

Digitalna transformacija predstavlja jedan od najznačajnijih pravaca razvoja poštanskih usluga u narednim decenijama. Digitalna transformacija uključuje više dimenzija: automatizaciju i robotizaciju u sortirnim centrima, upravljačke informacione sisteme koji povezuju korisnike, operatore i e-commerce platforme, mobilne aplikacije kao glavni kanal komunikacije sa korisnicima, elektronsku dokumentaciju i digitalne potpise, analitiku podataka (Big Data, AI) za predikciju obima pošiljaka i optimizaciju kapaciteta.

Posebno važna dimenzija digitalne transformacije jeste orijentacija na korisnika. Moderne poštanske aplikacije omogućavaju korisnicima da sami upravljaju dostavom – da menjaju adresu, biraju paketomat, zakazuju vreme dostave ili biraju ekološki prihvatljive opcije. Na taj način korisnik postaje aktivan učesnik u procesu, a ne samo pasivni primalac pošiljke.

Deutsche Post, La Poste i PostNord već su implementirali ovakve digitalne platforme, dok Pošta Srbije i privatni operatori tek razvijaju slične servise. Perspektiva za region leži u usvajanju evropskih standarda i povezivanju nacionalnih sistema sa globalnim platformama. Digitalna transformacija je, dakle, ne samo tehnološka inovacija, već i strateški imperativ koji određuje konkurentnost operatora u digitalnoj ekonomiji.

### **6.2. Razvoj „last mile delivery“ inovacija**

Među perspektivnim rešenjima u ovoj oblasti izdvajaju se paketomati i pick-up punktovi, dostava dronovima, autonomna vozila i roboti, crowdsourced delivery modeli, ekološka rešenja za poslednju milju. Perspektiva razvoja „last mile“ inovacija leži u kombinaciji ovih rešenja. U urbanim centrima dominiraće paketomati, autonomna vozila i biciklističke dostave, dok će u ruralnim područjima značajnu ulogu imati dronovi i regionalni hubovi.

### 6.3. Potencijal saradnje sa e-commerce platformama

E-trgovina i poštanska logistika čine neraskidivo povezane sektore. Bez efikasne logistike nema uspešne e-trgovine, dok bez rasta e-trgovine nema ni potrebe za modernizacijom poštanskog sistema. Zato je saradnja između poštanskih operatora i e-commerce platformi jedna od najvažnijih perspektiva razvoja.

Najbolji primeri dolaze iz prakse Amazon-a i Alibaba koji su svoje logističke sisteme razvili u direktnoj vezi sa e-commerce platformama. Amazon je izgradio sopstvenu logističku mrežu, dok je Alibaba kroz Cainiao Network integrisao veliki broj kurirskih službi u jedinstveni sistem. Rezultat je efikasna, transparentna i brza dostava koja zadovoljava korisničke zahteve [5], [8], [7].

U Evropi, nacionalni operatori sarađuju sa domaćim e-commerce platformama. Deutsche Post i DHL nude direktne API integracije za e-trgovce, što omogućava automatsko generisanje nalepnica, digitalne fakture i praćenje pošiljaka iz same prodavnice. La Poste sarađuje sa platformama poput Cdiscount-a i Rue du Commerce-a, dok PostNord razvija rešenja prilagođena tržištima Skandinavije [5], [8], [7].

U Srbiji i regionu ova saradnja je u začetku, ali ima ogroman potencijal. Najveće domaće e-commerce platforme (Limundo, KupujemProdajem, Shoppster) već koriste usluge Pošte Srbije i privatnih operatora, ali integracija još uvek nije na nivou evropskih standarda. U praksi to znači da kupci i dalje nemaju potpuno transparentan i personalizovan doživljaj dostave. Perspektive saradnje uključuju:

- API integracije između e-commerce sajtova i kurirskih sistema;
- personalizovane opcije dostave direktno u checkout procesu (izbor pakatomata, vreme dostave, ekološka opcija);
- zajedničke promocije i programi lojalnosti;
- razvoj regionalnih logističkih hubova u saradnji sa velikim platformama;
- povezivanje sa međunarodnim tržištima kroz saradnju sa globalnim igračima.

Za e-commerce platforme ovakva saradnja znači bolje korisničko iskustvo i veću lojalnost kupaca. Za poštanske operatore ona otvara stabilan priliv pošiljaka i mogućnost širenja usluga. Za korisnike rezultat su brže, transparentnije i fleksibilnije dostave pošiljaka.

## 7. Zaključak

Razvoj digitalne ekonomije i eksplozivan rast e-trgovine poslednjih decenija fundamentalno su transformisali poštansku logistiku. Ova promena nije samo kvantitativna, već i kvalitativna jer podrazumeva nove tehnologije, nove poslovne modele i nove zahteve korisnika. Rad je ukazao na to da je digitalna ekonomija postala okvir u kome se poštanska logistika razvija. Analizom globalnih i evropskih primera pokazano je da uspeh zavisi od sposobnosti operatora da prihvate digitalnu transformaciju i uvedu inovacije. Kada je reč o Srbiji i regionu, rad je pokazao da postoji značajan napredak, ali i brojni izazovi. Zaključno, može se reći da poštanska logistika u digitalnoj ekonomiji predstavlja dinamičan i strateški važan sektor. Ona je ne samo infrastrukturna podrška e-trgovini, već i pokretač inovacija, digitalizacije i održivosti. Njena budućnost zavisice od sposobnosti operatora da balansiraju između tri osnovna zahteva: brzine i fleksibilnosti dostave, digitalne transformacije i ekološke odgovornosti. Oni akteri koji uspeju da objedine ova tri elementa biće lideri tržišta, dok oni koji zaostanu rizikuju da izgube relevantnost.

## Literatura

- [1] UNCTAD (2023). Digital Economy Report 2023: Development and Data Flows. United Nations Conference on Trade and Development. Dostupno na: <https://unctad.org>
- [2] Vakulenko, Y. (2023). Parcel locker policy: review and future directions. Lindholmen Science Park. Dostupno na: <https://aster.lindholmen.se/sites/default/files/2023-10/parcel-locker-policy-report.pdf>
- [3] Effigy Consulting. (2023). European Parcel Market – Preliminary Estimate 2023. Brussels: Effigy Consulting. Dostupno na: <https://www.effigy-consulting.com>
- [4] ERGP. (2023). Medium-Term Strategy 2023–2025. European Commission Docsroom. Dostupno na: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/53358>
- [5] The Future of Commerce. (2025). 5 Ways Postal Networks Can Get Ahead in the Parcel-First Economy. SAP Commerce Blog. Dostupno na: <https://www.the-future-of-commerce.com>
- [6] OECD. (2024). OECD Digital Economy Outlook 2024, Vol. 1. OECD Publishing. Dostupno na: <https://www.oecd.org/digital/>
- [7] World Economic Forum. (2024). Future of Digital Trade and E-Commerce. WEF Insight Report. Dostupno na: <https://www.weforum.org>
- [8] Damevski, D. (2025). The Postal Sector's Digital Transformation – A Multilateral Path Forward. Parcel & Postal Technology International. Dostupno na: <https://www.parcelandpostaltechnologyinternational.com>

**Abstract:** *The development of the digital economy has significantly influenced the transformation of postal logistics, especially through the rapid growth of e-commerce. Traditional postal operators, faced with the changed needs of users, had to adapt their business models, technologies and services. Digitization has made it possible to connect e-commerce platforms and postal networks, creating unique value chains that provide customers with flexibility and reliable delivery. The aim of this paper is to show the mutual dependence of e-commerce and postal logistics, the challenges and opportunities that arise in the process of digital transformation, as well as to point out the strategic importance of investing in innovation and sustainability. The conclusion is that e-commerce not only shapes new standards in the postal industry, but also initiates the entire development of the digital economy through the improvement of logistics processes.*

**Keywords:** *postal operators, logistics, e-commerce, digital economy*

## CHALLENGES AND PERSPECTIVES OF THE DEVELOPMENT OF POSTAL LOGISTICS IN THE DIGITAL ECONOMY

Mladenka Blagojević, Aleksandra Urošević, Dejan Marković



## **VIŠEKRITERIJUMSKO RANGIRANJE SISTEMA ZA AUTOMATSKU PRERADU POŠTANSKIH POŠILJAKA**

Igor Milanov, Branka Dimitrijević, Aleksandar Čupić  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,  
milanov2001@gmail.com, b.dimitrijevic@sfbg.ac.rs, a.cupic@sfbg.ac.rs

**Rezime:** U radu je izvršeno rangiranje pet karakterističnih sistema za preradu poštanskih pošiljaka iz ugla hipotetičkog poštanskog operatora koji je zbog porasta broja pošiljaka prinuđen da mehanizuje proces razvrstavanja. Analiza je zasnovana na primeni metoda višekriterijumskog odlučivanja, SAW (Simple Additive Weighting) i PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation). U analizi su razmatrane alternative koje predstavljaju različite tipove sistema za preradu pošiljaka, dok su kriterijumi definisani u skladu sa tehničko-eksploatacionim, ekonomskim i ekološkim zahtevima. Važnost samih kriterijuma koji su agregirani u jedinstvene težine je određivalo više donosilaca odluke. Za potrebe rangiranja i upoređivanja dobijenih rezultata korišćeni su i softverski alati RightChoice i Visual PROMETHEE. Rezultati ove analize mogu biti preporuke za strateško odlučivanje prilikom izbora sistema za automatizovanu preradu poštanskih pošiljaka.

**Ključne reči:** sistemi za preradu pošiljaka, višekriterijumska analiza, RightChoice, Visual PROMETHEE

### **1. Uvod**

Elektronska trgovina, njen rast i sveprisutnost u kombinaciji sa tehnološkim i sociološkim promenama na globalnom nivou doveli su do značajnih promena u savremenom poslovnom okruženju a naročito u oblasti logistike i poštanskog saobraćaja. Prema podacima Pintey Bowes i Red Stag Fulfillment u prethodnih pet godina, elektronska trgovina ostvarila je rast od 25%, dok rast poštanskih pošiljaka za isti period iznosi 37,4% [1,2]. Sličano stanje je i u Republici Srbiji gde se prema podacima Regulatorne agencije za elektronske komunikacije i poštanske usluge (RATEL) ukazuje na značajan rast paketskih pošiljaka od 2020. godine [3].

Rast broja pošiljaka, pokazalo se, utiče i na porast broja poštanskih operatora i dovodi do toga da oni koji su na tržištu ekspers usluga relativno kratak vremenski period brzo dolaze do situacije da zauzimaju određeni deo tržišta, za koji više nisu u mogućnosti da vrše preradu pošiljaka manuelno, tako da bivaju motivisani da implementiraju sisteme za automatizovanu preradu pošiljaka. Isto važi i za „tradicionalne” operatore koji su decenijama na tržištu prenosa pošiljaka, ali u njihovom slučaju odlučivanje je vezano za proširenje preradnih kapaciteta, obzirom da po pravilu već imaju neke sisteme sortiranja

koji su im manje ili više dovoljni u zavisnosti kada su ih instalirali i kakve su u međuvremenu imali promene u obimu i vrsti pošiljaka koje dominantno prenose. Cilj ovog rada je sprovođenje analize izbora najboljeg sistema za preradu pošiljaka, upravo za prethodno opisanu situaciju – operatora koji zauzima 10%, tržišta i koji nije vršio značajnu mehanizaciju i automatizaciju operacija razvrstavanja, uzimajući u obzir određene kriterijume kao što su kapacitet, troškovi nabavke, preciznost i druge.

## 2. Potreba za automatizacijom usled promena na tržištu ekspres usluga

Elektronska trgovina je zadnjih nekoliko godina postala glavni uzrok rasta u maloprodaji s tim da je pandemija COVID-19 ubrzala proces prelaska sa tradicionalne kupovine na elektronsku. Prema podacima iz različitih istraživanja, prihod od prodaje e-trgovinom je sa 3,35 biliona dolara 2019. godine porastao na 4,25 biliona dolara 2020. godine. Nakon ovog naglog rasta usled pandemije, rast je nastavio ali sporijim tempom: 2021. godine - 4,99 biliona dolara, da bi 2024. godine po procenama prihod bio oko 6,33 biliona dolara. Prema istraživanjima tokom 2024. godine, najveći udeo prihoda od e-trgovine dolazi iz Azije sa 47,9%, potom iz Amerike, 34,9% i Evrope 15,4% [4]. Pored porasta u prihodima od e-trgovine, važan je i udeo e-trgovine u ukupnoj maloprodaji. Prema [2] e-trgovina je u periodu 2019-2024. godina povećala svoje učešće u ukupnoj trgovini sa 16% na 20,1% što apsolutno objašnjava trendove u poštanskoj logistici. Prema pojedinim prognozama procenjuje se da će 2028. godine broj isporučenih pošiljaka dostići 225 milijardi uz godišnju stopu rasta od 6% [5].

Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku udeo građana koji su kupovali preko interneta je od 2020. do 2024. godine porastao sa oko 36% na 51,8% [6]. Ovi podaci ukazuju na to da većina internet korisnika u Srbiji povremeno ili redovno kupuje on-line.

### 2.1. Trenutno stanje ekspres usluga na teritoriji Srbije

Tržište ekspres usluga obuhvata širok spektar usluga koje se fokusiraju na brzi transport pošiljaka, uz garantovane rokove dostave. Kada je u pitanju stanje ekspres usluga u Republici Srbiji ovaj segment poštanskih usluga je u stalnom rastu - 76,35% u periodu 2017-2024 (Tabela 1) [3].

*Tabela 1. Obim ekspres usluga u R. Srbiji u periodu 2017-2024. godina (u hiljadama)*

| Godina         | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  | 2024  |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Broj pošiljaka | 30000 | 34340 | 37692 | 42628 | 47329 | 46339 | 46998 | 52902 |

Klasifikacija poštanskih pošiljaka po masi je jedan od bitnijih elemenata u organizaciji rada preradnih centara. Sama masa pošiljke utiče na način i sredstva manipulisanja istom, kao i mnoge druge elemente od prijema do dostave pošiljke. U tabeli 2 dat je obim pošiljaka za 2024. godinu u zavisnosti od mase pošiljke [3]. Na osnovu tabele može se videti da pošiljke do 1kg uzimaju udeo od čak 59% od ukupnog godišnjeg obima, a da pošiljke do 10kg obuhvataju 93% svih pošiljaka. Na osnovu ove tabele možemo zaključiti da je broj pošiljaka do 10kg, a slobodno možemo reći i do 5kg (86% ukupnog obima), dominantan u ukupnoj strukturi, što ukazuje na to da je najveći deo ekspres usluga vezan za lakše pošiljke koje zahtevaju brzu i preciznu preradu.

*Tabela 2. Obim pošiljaka po masi za 2024. godinu*

|        | Pošiljke<br>do 500g | Pošiljke<br>500g-1kg | Pošiljke<br>1kg-2kg | Pošiljke<br>2kg-5kg | Pošiljke<br>5kg-10kg | Pošiljke<br>preko 10kg | Ukupan<br>obim |
|--------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------------|----------------|
| Obim   | 21851               | 9265                 | 7984                | 6490                | 3455                 | 3857                   | 52902          |
| Učešće | 41%                 | 18%                  | 15%                 | 12%                 | 7%                   | 7%                     | 100%           |

U svrhe ovog rada napravljena je drugačija raspodela obima pošiljaka po masi gde je celokupan obim podeljen u pet kategorija i to: pošiljke do 1,5kg, pošiljke do 5kg, pošiljke do 10kg, pošiljke do 25kg i pošiljke do 50kg, što je i prikazano u tabeli 3.

*Tabela 3. Modifikovana raspodela pošiljaka po masi*

|                           | Pošiljke<br>do 1,5kg | Pošiljke<br>1,5kg-5kg | Pošiljke<br>5kg- 10kg | Pošiljke<br>10kg- 25kg | Pošiljke<br>25kg- 50kg |
|---------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Obim                      | 35108                | 10482                 | 3455                  | 2892                   | 965                    |
| Učešće u<br>ukupnom obimu | 66%                  | 20%                   | 7%                    | 5%                     | 2%                     |
| Kumulativan<br>obim       | 35108                | 45590                 | 49045                 | 51938                  | 52902                  |
| Kumulativno<br>učesće     | 66%                  | 86%                   | 93%                   | 98%                    | 100%                   |

### 3. Višekriterijumski zadatak izbora sistema za prerađu poštanskih pošiljaka

U ovom radu se neće razmatrati izbor sredstava za automatizaciju prerađe pošiljaka u kompanijama koje već imaju neki vid automatizovane prerađe, već je posmatran hipotetički poštanski operator koji je do sada čitav proces prerađe obavljao manuelno, bez ikakvih vidova automatizacije. Kako bi se na adekvatan i pouzdan način odredio najpogodniji sistem za automatizovanu prerađu pošiljaka za ovog hipotetičkog operatora, jedan od načina je da se primeni višekriterijumska analiza. Pretpostavka je da poštanski operator za koga se bira sistem prerađe ima udeo od na primer 10% u ukupnom obimu ekspres usluga na teritoriji Republike Srbije u prethodnih 5 godina.

Poštanski operator koji se posmatra, usled rasta elektronske trgovine, očekuje rast pošiljaka od 4% na godišnjem nivou. Ovaj podatak je dobijen ekspertskom prognozom/mišljenjem i važi za narednih 5 godina. Da bismo mogli da postavimo višekriterijumski problem izbora sistema za automatizovanu prerađu potrebno je da znamo broj pošiljaka koje taj sistem u narednom periodu treba da prerađuje, što je na bazi datih količina u tabeli 1 i prognozirano rasta određeno i prikazano u tabeli 4.

*Tabela 4. Prognoza broja pošiljaka hipotetičkog poštanskog operatora u narednih 5 godina*

| Godina         | 2025    | 2026    | 2027    | 2028    | 2029    |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Broj pošiljaka | 5501808 | 5721880 | 5950756 | 6188786 | 6436337 |

Klasifikacija prognozirano broja pošiljaka po masi sprovedena je pod pretpostavkom da će zastupljenost tj. procenat pošiljaka po masi biti isti kao što je prikazano u tabeli 3, odakle proizilazi raspodela prikazana u tabeli 5.

*Tabela 5. Prognozirani broj pošiljaka po masi za 2029. godinu*

| Masa                 | Pošiljke do 1,5kg | Pošiljke do 5kg | Pošiljke do 10kg | Pošiljke do 25kg | Pošiljke do 50kg |
|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Broj pošiljaka       | 4247983           | 5535250         | 5985794          | 6307610          | 6436337          |
| Kumulativni procenat | 66%               | 86%             | 93%              | 98%              | 100%             |

Za postavku problema izbora sistema za automatizovanu preradu pošiljaka značajan parametar je njihov dnevni preradni kapacitet. On je određen deljenjem ukupnog prognoziranog broja pošiljaka po masi za 2029. godinu, za svaku klasu pošiljaka, sa 250 radnih dana, pretpostavljajući da se ne želi proširenje odabranog sistema ili uvođenje dodatnog u posmatranih pet godina. Za određivanje dnevnog preradnog kapaciteta sistema usvojeno je radno vreme od 8 časova [7]. Potrebni dnevni preradni kapaciteti, u zavisnosti od mase pošiljaka, predstavljeni su u tabeli 6.

*Tabela 6. Potrebni dnevni preradni kapaciteti u zavisnosti od mase pošiljaka*

| Masa             | Pošiljke do 1,5kg | Pošiljke do 5kg | Pošiljke do 10kg | Pošiljke do 25kg | Pošiljke do 50kg |
|------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Dnevni kapacitet | 16992             | 22141           | 23943            | 25230            | 25745            |

### 3.1. Definisanje alternativa

U ovom radu alternative predstavljaju sistemi za preradu pošiljaka. U tom smislu, razmatrano je pet sistema koji su predstavnici različitih grupa po tipu i/ili preradnom kapacitetu. Skup alternativa čine:

1. Sistem LIBIAO Mini Bot (u daljem tekstu A1) – robot malih dimenzija (slika 1) koji je namenjen za preradu pošiljaka do 1,5 kilogram. Njegova kompaktnost omogućava rad i u sistemima gde je prostor ograničen. Jednostavno se mogu zameniti usled kvara, a sistem se može proširiti dodavanjem novih jedinica ukoliko je to potrebno. Više o ovom sistemu može se naći u [7,8,9]. Ovaj sistem treba da se sastoji od 46 autonomnih robota, koliko ih je potrebno da prerade oko 17000 pošiljaka po danu, u klasi pošiljaka do 1,5kg, koliko će te vrste pošiljaka imati hipotetički operator do 2029. godine. Ovaj broj robota određen je na osnovu činjenice da je JP „Pošta Srbije“ ove godine, za 56000 pošiljaka na dnevnom nivou, nabavila 153 LIBIAO Mini Bot-a [10]. U skladu sa tim, proporcionalno je određen broj ovih robota za hipotetičkog operatora.

2. Sistem LIBIAO Standard Bot (u daljem tekstu A2) – robot srednjih dimenzija (slika 2) namenjen je za pošiljke čija je masa do 5kg. Ovi roboti koriste algoritme za optimizaciju rute, što znači da oni određuju svoje kretanje u zavisnosti od zagušenja na platformi po kojoj se kreću. Praćenje svake pošiljke u realnom vremenu je omogućeno iz razloga što su roboti opremljeni RFID čitačima i senzorima opterećenja [9]. Da bi zadovoljio potrebe hipotetičkog poštanskog operatora ovaj sistem treba da se sastoji od 61 robota, jer tako može da preradi one pošiljke za koje je namenjen tj. oko 22200 pošiljaka mase do 5kg. Po istom principu kao i za LIBIAO Mini Bot-a određen je ovaj broj robota.

3. Fiksni robot DoraSorter (u daljem tekstu A3) – ovaj robot (slika 3) je rezultat zajedničkog projekta kompanija Dorabot i FedEx. Robot zajedno sa svojom opremom i izlazima za pošiljke zauzima oko 40 kvadratnih metara i namenjen je za preradu pošiljaka do 10kg. Više o ovom sistemu može se naći u [7, 8, 11]. Da bi ovaj sistem zadovoljio potrebe hipotetičkog poštanskog operatora koje su 24000 pošiljaka mase do 10kg, treba da se sastoji od 3 fiksna robota, jer je dnevni preradni kapacitet jednog fiksnog robota ovog tipa 8000 pošiljaka po danu.



*Slika 1. LIBIAO Mini Bot*

*Slika 2. LIBIAO Standard Bot*

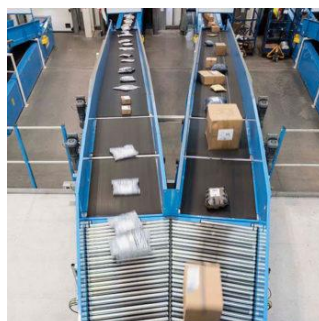
*Slika 3. DoraSorter*

4. BG Line Sorter (u daljem tekstu A4) – linijski kontinualni transporter (slika 4) koji koristi tehnologiju letvičasto kaišnih traka, umesto „klasičnih poprečnih” traka, za usmeravanje pošiljaka ka odredištima, kombinujući na taj način jednostavnost koju su imali tradicionalni trakasti transporteri sa manevarskim sposobnostima cross-belt sortera. Namenjen je za preradu pošiljaka do 25kg [12]. Preradni kapacitet ovog sortera je 10000 pošiljaka na sat što je i više nego dovoljno za preradu oko 25000 pošiljaka na dan posmatranog hipotetičkog operatora.

5. BG CB Sorter (u daljem tekstu A5) – cross-belt sorter (slika 5) namenjen za širok spektar pošiljaka do 50kg, detaljan opis ove porodice sortera dat je u [13]. Ovaj sorter je podržan AI analitikom za predviđanje kvarova kao i za planiranje održavanja sistema. Preradni kapacitet ovog sortera je do 18000 pošiljaka po satu (144000 po danu) u zavisnosti od broja izlaza i dužine [14]. Za potrebe hipotetičkog poštanskog operatora jedan sorter je dovoljan za 26000 pošiljaka po danu bez ograničenja u pogledu mase.



*Slika 4. BG Line Sorter*



*Slika 5. BG CB Sorter*

### 3.2. Definisanje kriterijuma

Kriterijumi su sredstva za vrednovanje alternativa i mogu biti kvalitativni ili kvantitativni, u zavisnosti od njihove prirode [15]. Kriterijumi za ovaj višekriterijumski problem su definisani na osnovu literature i znanja konsultovanih eksperata u oblasti automatizacije poštanskih procesa. Takođe, za svaki od kriterijuma je definisana skala pomoću koje će se vršiti vrednovanje alternativa. Skup kriterijuma čine:

1. Procenat pošiljaka koje sistem za automatizovanu preradu pošiljaka može da preradi u odnosu na ukupan obim pošiljaka (u daljem tekstu K1). Za vrednovanje alternativa po ovom kriterijumu korišćena je kardinalna skala i vrednosti su izražene u procentima. K1 se maksimizira.

2. Troškovi implementacije sistema za automatizovanu preradu pošiljaka, koji podrazumevaju cenu nabavke sistema, prateću opremu, kao i ostale troškove implementacije (u daljem tekstu K2). Za vrednovanje alternativa po ovom kriterijumu korišćena je kardinalna skala, a vrednosti alternativa su određene stavljanjem u odnos procenjenih troškova. K2 se minimizira.

3. Kapacitet sistema za automatizovanu preradu pošiljaka koji predstavlja maksimalan broj pošiljaka koje sistem može da preradi, u ovom slučaju na dnevnom nivou (u daljem tekstu K3). Za ovaj kriterijum korišćena je kardinalna skala, gde su sistemima dodeljeni dnevni preradni kapaciteti, odnosno mogući broj prerađenih pošiljaka po danu. K3 se maksimizira.

4. Troškovi eksploatacije koji obuhvataju sve troškove tokom korišćenja sistema za automatizovanu preradu pošiljaka, a to su troškovi rezervnih delova, troškovi električne energije, troškovi prerade pošiljaka neobuhvaćenih konkretnim sistemom prerade itd. (u daljem tekstu K4). Za ocenu alternativa po ovom kriterijumu korišćena je intervalna skala 1-5, gde je 1-veoma niski, 2-niski, 3-srednji, 4-visoki i 5-veoma visoki troškovi. K4 se minimizira.

5. Preciznost, odnosno tačnost, kojom automatizovani preradni sistem sortira pošiljke (u daljem tekstu K5). Za ocenu alternativa po ovom kriterijumu korišćena je intervalna skala 1-5, gde je 1-veoma niska, 2-niska, 3-srednja, 4-visoka i 5-veoma visoka preciznost. K5 se maksimizira.

6. Fleksibilnost, odnosno mogućnost sistema za automatizovanu preradu pošiljaka da se prilagodi obimu, specifičnostima i strukturi pošiljaka, kao i drugim preradnim sistemima koji će biti eventualno uvođeni u budućnosti (u daljem tekstu K6). Za ocenu alternativa po ovom kriterijumu korišćena je intervalna skala 1-5, po analogiji sa K5. K6 se maksimizira.

7. Negativan ekološki uticaj sistema za automatizovanu preradu pošiljaka na životnu sredinu (u daljem tekstu K7). Za ocenu alternativa po ovom kriterijumu korišćena je intervalna skala 1-5, po analogiji sa K5. K7 se maksimizira.

8. Pouzdanost sistema za automatizovanu preradu pošiljaka, odnosno otpornost sistema na kvarove, što se meri učestalošću kvarova, brzinom njihovog otklanjanja, otpornošću na preopterećenja i slično (u daljem tekstu K8). Za ocenu alternativa po ovom kriterijumu korišćena je intervalna skala 1-5, po analogiji sa K5. K8 se maksimizira.

U određivanju težinskih koeficijenata kriterijuma kao reprezenata njihovog značaja učestvovali su autori rada. Oni su pojedinačno ocenjivali težine kriterijuma, a potom su one agregirane ponderisanom aritmetičkom sredinom [15], pri čemu su ponderi dodeljeni autorima, u skladu sa iskustvom i znanjem, iznosili  $\beta_1=0,2$ ,  $\beta_2=0,4$  i  $\beta_3=0,4$  [7].

### 3.3. Postavka višekriterijumskog problema

U skladu sa prethodno navedenim, u tabeli 7 je data postavka višekriterijumskog problema izbora sistema za automatizovanu prerađu pošiljaka za posmatranog hipotetičkog poštanskog operatora.

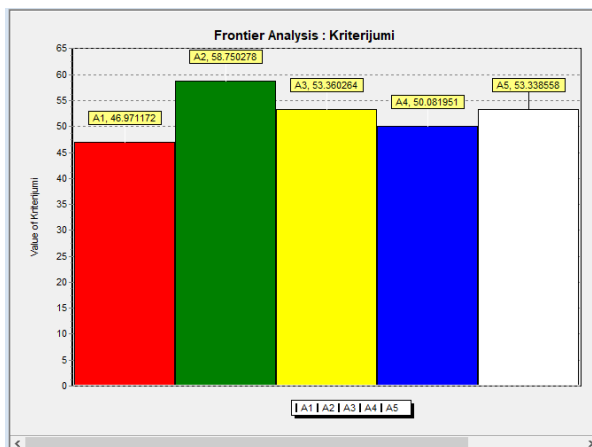
Tabela 7. Postavka višekriterijumskog problema

|         | K1    | K2    | K3     | K4    | K5    | K6    | K7    | K8    |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A1      | 66    | 1     | 17000  | 4     | 4     | 5     | 3     | 5     |
| A2      | 86    | 1,17  | 22200  | 4     | 4     | 5     | 3     | 5     |
| A3      | 93    | 1,67  | 24000  | 4     | 4     | 4     | 3     | 4     |
| A4      | 98    | 4,17  | 80000  | 3     | 5     | 2     | 2     | 3     |
| A5      | 100   | 7,5   | 144000 | 2     | 5     | 2     | 2     | 3     |
| min/max | max   | min   | max    | min   | max   | max   | Max   | max   |
| $w_j$   | 0,200 | 0,240 | 0,148  | 0,132 | 0,046 | 0,116 | 0,034 | 0,084 |

### 4. Rešavanje višekriterijumskog problema

Za rešavanje višekriterijumskog problema izbora sistema za automatizovanu prerađu pošiljaka, za posmatranog hipotetičkog poštanskog operatora, predstavljenog u tabeli 7, korišćene su SAW (Simple Additive Weighting) metoda i PROMETHEE I i II (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) metode, kao i korespondentni softveri RightChoice i Visual PROMETHEE [15].

Na slici 6 prikazano je rešenje problema primenom SAW metode, gde se vidi da je najbolje rangirana alternativa A2 sa ukupnom korisnošću od 0,59, a najlošije rangirana je alternativa A1 sa ukupnom korisnošću od 0,47.



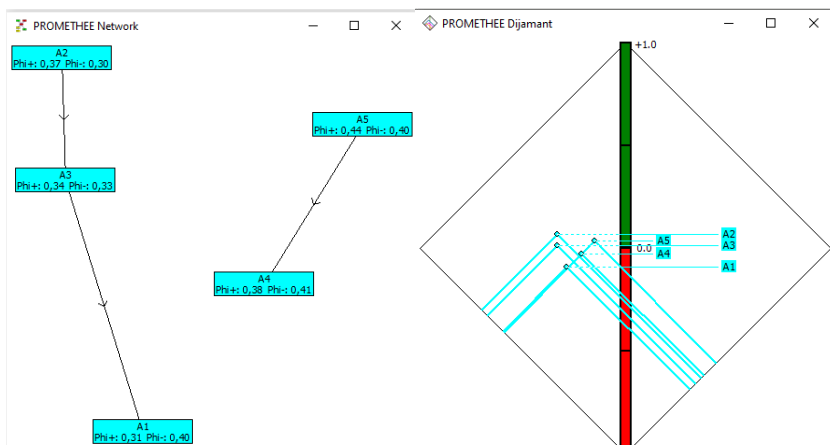
Slika 6. Rang alternativa dobijen SAW metodom iz Right Choice softvera

U tabeli 8 data je postavka problema sa izabranim funkcijama preferencija i pragovima preferencije, kao osnova za primenu PROMETHEE I i II metoda.

Tabela 8. Postavka problema sa izabranim funkcijama preferencije za PROMETHEE

|                | K1       | K2       | K3       | K4       | K5       | K6       | K7       | K8       |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| A1             | 66       | 1        | 17000    | 4        | 4        | 5        | 3        | 5        |
| A2             | 86       | 1,17     | 22200    | 4        | 4        | 5        | 3        | 5        |
| A3             | 93       | 1,67     | 24000    | 4        | 4        | 4        | 3        | 4        |
| A4             | 98       | 4,17     | 80000    | 3        | 5        | 2        | 2        | 3        |
| A5             | 100      | 7,5      | 144000   | 2        | 5        | 2        | 2        | 3        |
| max/min        | max      | min      | max      | min      | max      | max      | max      | max      |
| $w_i$          | 0,200    | 0,240    | 0,148    | 0,132    | 0,046    | 0,116    | 0,034    | 0,084    |
| F-je preferen. | Linearna | Linearna | Linearna | Linearna | Odskočna | Linearna | Odskočna | Linearna |
| $p$            | 10       | -1       | 8000     | -2       | /        | 2        | /        | 2        |

Parcijalni rang dobijen PROMETHEE I metodom i korišćenjem modula PROMETHEE Network u softveru Visual PROMETHEE prikazan je na slici 7 levo, dok je kompletan rang dobijen PROMETHEE II metodom i korišćenjem modula PROMETHEE Dijamant u softveru Visual PROMETHEE prikazan je na slici 7 desno.



Slika 7. Parcijalni rang (levo) i kompletan rang (desno) alternativa dobijen PROMETHEE I i II metodama iz Visual PROMETHEE softvera

Poređem rezultata dobijenih SAW i PROMETHEE II metodom zaključuje se da je u oba slučaja najbolje rangirana alternativa A2 (LIBIAO Standard Bot), dok je alternativa A1 (LIBIAO Mini Bot) najlošije rangirana.

Na osnovu ove analize osetljivosti rešenja na promenu težina kriterijuma koja je vršena za oba pristupa rešavanju problema zaključuje se da je ono prilično stabilno za slučaj primene SAW metode. U slučaju primene PROMETHEE metoda stabilnost rešenja je manja, što se moglo i očekivati imajući u vidu da je PROMETHEE I metoda dala parcijalni rang i veliki broj neuporedivosti među alternativama (neuporedive su alternative A1 i A4, A1 i A5, A2 i A4, A2 i A5, A3 i A4, A3 i A5). S obzirom na to da su prilikom određivanja težina kriterijuma učestvovala tri donosioca odluke i da su se njihove subjektivne procene u velikoj meri podudarale može se smatrati da su težine



kriterijuma adekvarno određene, te da su i dobijena rešenja u tom smislu prihvatljiva. Takođe, imajući u vidu da izabrane funkcije preferencije u PROMETHEE metodama i korespondentni pragovi preferencije takođe mogu imati uticaj na dobijeni rang alternativa, izvršena je i analiza osetljivosti rešenja na promenu pragova preferencije za slučaj kriterijuma kod kojih su za poređenje alternativa izabrane linearne funkcije preferencije. Ova analiza je pokazala da je rešenje stabilno na promenu pragova preferencije kod ovih funkcija preferencije.

## 5. Zaključak

Rezultati dobijeni SAW i PROMETHEE II metodama pokazuju da je primenom obe metode dobijeno isto najbolje rešenje, odnosno da je najbolje rangiran sistem LIBIAO Standard Bot koji prerađuje 86% svih pošiljaka. Takođe je utvrđeno da je najlošije rangiran sistem LIBIAO Mini Bot koji prerađuje 66% pošiljaka što je na neki način i očekivano obzirom da je trošak manuelne prerade 34% ostalih pošiljaka izrazito visok. Ova analiza treba da pruži hipotetičkom poštanskom operatoru konkretne smernice u procesu izbora sistema za preradu poštanskih pošiljaka.

Ovaj rad ima za cilj da doprinese razumevanju procesa odabira sistema za automatizovanu preradu i može poslužiti kao osnova za dalja istraživanja i razvoj daleko preciznijih modela odlučivanja. Dalji razvoj može da uključi više donosilaca odluke kombinacijom eksperata iz eksploatacije i akademske zajednice. Takođe može se uraditi detaljnija prognoza rasta poštanskih pošiljaka gde bi se videlo da li treba vršiti izbor sistema koji bi bio pogodan za period duži od pet godina. Mogu se uključiti i još neki sistemi za automatizovanu preradu koji se donosiocima odluke čine kao pogodna potencijalna rešenja.

## Literatura

- [1] Global Pacel Volume Exceeds 131 Bilion in 2020, up 27 Percent Year-Over-Year, Finds Pitney Bowes Parcel Shipping Index, link: <https://www.nasdaq.com/press-release/global-parcel-volume-exceeds-131-billion-in-2020-up-27-percent-year-over-year-finds> (pristupljeno: avgust 2025)
- [2] Red Stag Fulfillment, What share of global retail sales is ecommerce?, link: <https://redstagfulfillment.com/what-share-of-global-retail-sales-is-ecommerce/> (pristupljeno: avgust 2025)
- [3] Godišnji pregled tržišta, link: <https://www.ratel.rs/sr/godisnji-pregled-trzista> (pristupljeno: avgust 2024)
- [4] Mosby A., Global eCommerce Sales Growth From 2021-2027, 2025, link: <https://www.yaguara.co/global-ecommerce-sales-growth> (pristupljeno: avgust 2025)
- [5] Pitney Bowes Parcel Shipping Index Confirms Extended Effects of COVID-19 Lockdowns on Chinese Shipping Through 2022, link: <https://pitneybowes2023tf.q4web.com/news/news-details/2023/Pitney-Bowes-Parcel-Shipping-Index-Confirms-Extended-Effects-of-COVID-19-Lockdowns-on-Chinese-Shipping-Through-2022/> (pristupljeno: septembar 2025)
- [6] Republički zavod za statistiku, "Upotreba informacionih tehnologija – 2024.", link: <https://publikacije.stat.gov.rs/G2024/Pdf/G202416019.pdf> (pristupljeno: avgust 2025)

- [7] Milanov I., "Primena višekriterijumske analize u izboru sistema za automatizovanu preradu paketskih pošiljaka", *Master rad*, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 2025.
- [8] Čupić A., Blagojević M., Marković D., Popović Đ., "Primena robota u poštanskim preradnim centrima", *Zbornik radova XLII Simpozijuma o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2024*, 103-111, Beograd, 2024
- [9] LIBIAO robot product catalogue, link: [https://files.even-logistics.com/production/users/uploads/libiao/solution/3d-sorting-solutions/Libiao-robotics-product-catalogue\\_20251.pdf](https://files.even-logistics.com/production/users/uploads/libiao/solution/3d-sorting-solutions/Libiao-robotics-product-catalogue_20251.pdf), (pristupljeno: septembar 2025)
- [10] Logistics Market, Na 185. rođendan – Pošta Srbije pustila u rad najveći robotski sistem za sortiranje, link: <https://logisticsmarket.rs/na-185-rođendan-posta-srbije-pustila-u-rad-najveci-robotski-sistem-za-sortiranje>, (pristupljeno: septembar 2025)
- [11] FedEx Launches AI- powered Sorting Robot to Drive Smart Logistics, link: [https://newsroom.fedex.com/newsroom/asia-pacific/fedex-launches-ai-powered-sorting-robot-to-drive-smart-logistics?utm\\_source](https://newsroom.fedex.com/newsroom/asia-pacific/fedex-launches-ai-powered-sorting-robot-to-drive-smart-logistics?utm_source), (pristupljeno: septembar 2025)
- [12] BG Line Sorter for parcel and material handling, link: [https://www.beumergroup.com/products-systems/logistics-systems/bg-line-sorter/?utm\\_source](https://www.beumergroup.com/products-systems/logistics-systems/bg-line-sorter/?utm_source), (pristupljeno: septembar 2025)
- [13] Bukumirović M., Čupić A., Tehnologija mehanizovane prerade poštanskih pošiljaka, Beograd, Srbija, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, 2012
- [14] BG Sorter CB – High – Capacity Cross-Belt Sortation, link: <https://www.beumergroup.com/products-systems/logistics-systems/bg-sorter-cb-cross-belt/>, (pristupljeno: septembar 2025)
- [15] Dimitrijević B., Višeatributivno odlučivanje - primene u saobraćaju i transportu, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, 2023

**Abstract:** *The paper ranks five characteristic systems for the processing of postal parcels from the point of view of a hypothetical postal operator who, due to the increase in the number of shipments, is forced to mechanize the sorting process. The analysis is based on the application of multi-criteria decision-making methods, SAW (Simple Additive Weighting) and PROMETHEE I and II (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation). The analysis considered alternatives which represent different types of parcel processing systems, while the criteria were defined in accordance with technical-operational, economic, and environmental requirements. The importance of the criteria was determined by multiple decision-makers, whose inputs were aggregated into unified weights. For the purpose of ranking and comparing the obtained results, software tools RightChoice and Visual PROMETHEE were also used. The results of this analysis can serve as recommendations for strategic decision-making when choosing a system for automated parcel processing.*

**Keywords:** *parcel processing systems, multi-criteria analysis, RightChoice, Visual PROMETHEE*

## **MULTI-CRITERIA RANKING OF POSTAL PARCELS AUTOMATIC PROCESSING SYSTEMS**

Igor Milanov, Branka Dimitrijević, Aleksandar Čupić

**TELEKOMUNIKACIONI  
SAOBRAĆAJ, MREŽE I  
SERVISI**



## **PREDIKCIJA SNAGE SIGNALA U LTE MREŽAMA PRIMENOM MAŠINSKOG UČENJA**

Ivana Stefanović<sup>1</sup>, Valentina Radojičić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd – Odsek Visoka škola  
elektrotehnike i računarstva, ivanas@viser.edu.rs

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, valentin@sfbg.ac.rs

**Rezime:** *Upotreba mašinskog učenja za predikciju snage signala i propagacionih gubitaka u okviru bežičnih komunikacionih sistema je sve češća. Brojna istraživanja pokazuju da modeli mašinskog učenja omogućavaju znatno veću preciznost u poređenju sa klasičnim empirijskim propagacionim modelima. U okviru ovog rada izvršen je veći broj merenja različitih parametara u okviru LTE mreže, na dve trase sa sličnom topologijom terena i stepenom urbanosti. Rezultati merenja su iskorišćeni za obučavanje različitih regresionih modela mašinskog učenja radi predikcije snage signala na prijemu. Skup podataka koji je korišćen za predikciju sadrži samo 5 atributa. Rezultati najboljeg modela ukazuju na to da se izmerene vrednosti sa jedne lokacije mogu iskoristiti za predikciju snage signala u LTE mrežama na drugoj, sličnoj, lokaciji.*

**Ključne reči:** *LTE, RSSI, propagacioni gubici, mašinsko učenje, predikcija*

### **1. Uvod**

Mobilni operatori, regulatorna tela i agencije sprovode merenja snage signala na terenu radi ispitivanja performansi mreže. Dostupnost podataka ove vrste predstavlja ograničavajući faktor za istraživanja. Poslednjih godina razvijen je značajan broj aplikacija koje omogućavaju merenja na terenu pomoću pametnih telefona. Ranije je za merenje bila potrebna specijalizovana oprema, pri čemu je fizička postavka opreme ograničavala metodologiju istraživanja. Upotrebom aplikacija omogućeno je kreiranje *big data* skupova podataka sa različitim performansama mobilne mreže.

Merenja na otvorenom se obično sprovode iz vozila (*drive test*) ili pešice (*walk test*). Istraživači se češće odlučuju za pristup koji obuhvata merenja iz vozila, obično automobila, ali i iz drugih prevoznih sredstava. Odabir trase i metodologija merenja predstavlja prvi korak u okviru istraživanja. U okviru ovog istraživanja merenja su vršena pešice na dve slične lokacije u urbanom okruženju. Na svakoj lokaciji urađeno je po 10 merenja, zbog kraćih trasa i niže GPS tačnosti. Za predikciju snage signala na prijemu koristi se 5 atributa. To su rastojanje između predajnika i prijemnika, razlika visine između predajnika i prijemnika, azimut i ugao elevacije između predajnika i prijemnika, kao i frekvencija. Navedene promenljive predstavljaju kombinaciju promenljivih koje se koriste u okviru empirijskih i determinističkih propagacionih modela. Parametri

rastojanje i relativna visina između predajnika i prijemnika odgovaraju empirijskim modelima, dok azimut i elevacija spadaju u parametre koji se koriste u okviru determinističkih modela. Ugaona geometrija se sve češće koristi u okviru bežičnih komunikacionih sistema. Upotreba azimuta i elevacije naručito je izražena prilikom pozicioniranja u okviru WiFi mreže. Uzimajući u obzir značaj sektorisanja i *beamforming*-a u okviru 5G mreža upotreba azimuta i elevacije je sve češća prilikom procene propagacionih gubitaka u okviru mobilne mreže. Upotrebom navedenih parametara eliminiše se potreba za korišćenjem dodatnih izvora podataka. Svi parametri su poznati i dostupni mobilnim operatorima. Priprema podataka je jednostavna, a male dimenzije skupa podataka skraćuju vreme koje je potrebno za izvršenje modela i čine model pogodnim za testiranje.

U većini istraživanja prilikom predikcije koristi se jedan skup podataka koji sadrži objedinjene rezultate svih merenja. Deo podataka koristi se za treniranje modela, dok se drugi deo podataka koristi za testiranje modela. Ono što je specifično za ovo istraživanje je korišćenje dva zasebna skupa podataka za testiranje i treniranje modela. Rezultati merenja sa jedne trase korišćeni su za treniranje modela, dok su rezultati merenja sa druge trase korišćeni za testiranje modela. Cilj istraživanja je da se utvrdi da li se rezultati merenja sa jedne lokacije mogu iskoristiti za predikciju snage signala u LTE mrežama, na drugoj lokaciji sa sličnom topologijom terena i stepenom urbanosti.

Rad je strukturiran u pet poglavlja. Posle uvodnog dela, dat je pregled literature koji obuhvata relevantne radove iz razmatrane oblasti. U trećoj sekciji opisane su sve faze istraživanja. Rezultati prediktivne analize prikazani su u sekciji četiri. Na kraju rada, sumirani su rezultati istraživanja

## 2. Pregled literature

Jedna grupa radova, u koju spadaju radovi [1-3], fokusira se isključivo na merenje i poređenje mrežnih performansi, poput brzine prenosa podataka, različitih mobilnih operatora. Druga grupa radova, [4-11], obuhvata rezultate merenja koji se koriste za predikciju snage signala na prijemu i/ili propagacionih gubitaka. Pojedini radovi, poput [4], koriste tradicionalne empirijske propagacione modele, dok sve veći broj radova [5-11] za predikciju koristi mašinsko učenje. Prilikom predikcije koriste se različiti pristupi, uključujući regresione i klasifikacione modele i neuronske mreže.

Sa aspekta metodologije merenja, pregledom literature uočena su dva pristupa. Prvi pristup obuhvata veći broj merenja na istoj trasi. U radu [4] merenja su vršena na istoj trasi dva puta dnevno, tokom vremenskog perioda od čak 6 meseci. U okviru drugog pristupa izbegava se ponavljanje merenja na istoj trasi. Autori u [1] naglašavaju da je trasa odabrana tako da se minimizuje broj ponovljenih merenja. Prilikom odabire trase autori se takođe odlučuju za dva pristupa koji podrazumevaju merenja u jednoj zoni sa sličnom topologijom terena i stepenom urbanosti, odnosno za merenja u različitim zonama koje obično obuhvataju urbano, suburbano i ruralno okruženje.

Takođe, pregledom literature uočen je širok spektar različitih parametara koji se koriste za predikciju. Pojedini ulazni atributi, poput rastojanja između predajnika i prijemnika, su zajednički u većini istraživanja, dok se ostali atributi koji se koriste za predikciju međusobno razlikuju. Sve veći broj modela prilikom predikcije koristi podatke o topologiji terena koji obično podrazumevaju korišćenje različitih izvora prilikom prikupljanja podataka, što rezultuje zahtevnijom pripremom podataka. U radu [5] pored rastojanja i relativne visine između predajnika i prijemnika, kao ulazni atributi koriste se i parametri koje se odnose na relativnu visinu terena i prepreka, odnosno zgrada. Takođe,

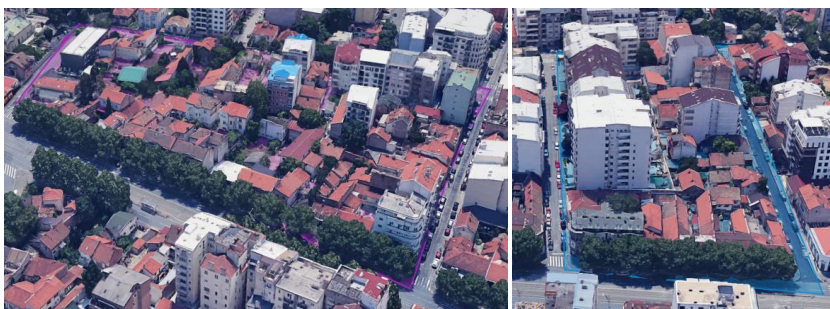
za svaku instancu merenja radi se provera da li postoji linija optičke vidljivosti između predajnika i prijemnika. Za predikciju propagacionih gubitaka koriste se različiti regresioni i klasifikacioni modeli. Slični ulazni parametri, bez provere linije optičke vidljivosti, koriste se i u [7] pri čemu se autori fokusiraju na optimizaciju hiperparametara različitih modela primenom neuronskih mreža. U slučaju radova [5] i [7] neophodno je korišćenje dodatnih izvora podataka radi pribavljanja dodatnih informacija o okruženju. Ovakav pristup produžava proces pripreme podataka i podrazumeva korišćenje novih ulaznih podataka svaki put kada se vrši testiranje modela, što bi naročito došlo do izražaja prilikom testiranja različitih položaja baznih stanica. Provera linije optičke vidljivosti vrši se i u okviru rada [8]. U radu [6] autori za procenu parametara okruženja koriste satelitske slike i duboke neuronske mreže kako bi numerički odredili različite karakteristike okruženja. Na ovaj način dobijaju se detaljne informacije o okruženja koje nije potrebno pribavljati svaki put prilikom testiranja različitih položaja baznih stanica. Prilikom predikcije u [6] koriste se tri različite mreže, što značajno uvećava kompleksnost sistema. Pri tome, druga mreža koja je zadužena za obradu satelitskih slika, za svaku instancu merenja formira podmatricu dimenzija 256x256. Novi alat za procenu pokrivenosti koji se bazira na upotrebi *Random Forest* algoritma za predikciju snage signala na prijemu, predložen je u [9]. Pored rastojanja, azimuta i elevacije, prilikom predikcije koriste se i drugi parametri, koji uključuju tip okruženja i liniju optičke vidljivosti. Autori u [10] za predikciju snage signala koriste još veći broj ulaznih parametara koji pored prosečne visine prepreka uključuju i visinu i udaljenost od najviše prepreke. Sa druge strane, autori u [11] za predikciju propagacionih gubitaka koriste isključivo 4 promenljive koje uključuju frekvenciju, rastojanje između predajnika i prijemnika, visinu predajne i prijemne antene, ukazujući na značaj smanjenja broja promenljivih koje se koriste za predikciju. Promenljive koje su odabrane za predikciju u radu [11] odgovaraju promenljivima koje se koriste u okviru klasičnih empirijskih propagacionih modela, dok promenljive u radovima [5-10] više odgovaraju determinističkim modelima kod kojih se u obzir uzima topologija terena.

### 3. Metodologija

U okviru ovog rada vrši se predikcija snage signala na prijemu u okviru LTE mreže. Prva faza istraživanja obuhvata merenja i pripremu podataka za proces mašinskog učenja. Treniranje i testiranje različitih regresionih modela mašinskog učenja najpre je sprovedeno na jednom skupu podataka, radi poređenja performansi sa modelima u okviru drugih istraživanja. Nakon podešavanja hiperparametara različitih modela, model sa najboljim performansama iskorišćen je za predikciju RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) pri čemu su za treniranje i testiranje korišćena dva zasebna skupa podataka.

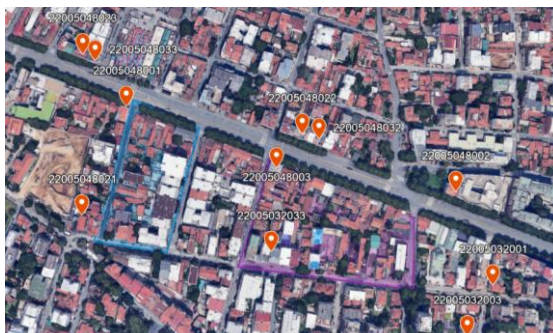
#### 3.1. Merenje i priprema podataka

Merenja su izvršena na 2 trase dužine 644 m (Trasa 1) i 521 m (Trasa 2). Trase su odabrane tako da je topologija terena i stepen urbanosti sličan, kao što se može videti na Slici 1.



Slika 1. Mape sa prikazom trasa merenja (Trasa 1 i Trasa 2)

Na svakoj trasi urađeno je 10 merenja. Trase su odabrane tako da prilikom merenja nema prelaska ulica i dodatnih zadržavanja. Brzina kretanja prijemnika tokom merenja je približno konstantna i iznosi 2.34 km/h za Trasu 1, odnosno 2.39 km/h za Trasu 2. Na Trasi 1 detektovan je signal sa 9 različitih baznih stanica, dok je na Trasi 2 detektovan signal sa 10 baznih stanica. Na Slici 2 dat je grafički prikaz mape sa naznačenim trasama i lokacijama baznih stanica.



Slika 2. Mapa sa prikazom lokacija baznih stanica

U okviru ovog rada za merenje korišćena je *G Net Track* aplikacija, koja je korišćena i za prikupljanje podataka u radovima [1-3]. *G Net Track* aplikacija omogućava merenje na otvorenom, kao i merenja u zatvorenom prostoru. Pored podataka o kvalitetu signala i brzini prenosa aplikacija omogućava i prikupljanje lokacijskih informacija. Za potrebe rada izdvojeni su sledeći atributi:

- *Timestamp* – datum i vreme kada je izvršeno merenje;
- *Operator* – kod operatora;
- *LAC (Location Area Code)* – kod lokalne oblasti;
- *CellID* – ID bazne stanice;
- *NetworkTech* – mrežna tehnologija;
- *Longitude* i *Latitude* – koordinate prijemnika (geografska dužina i širina) u stepenima;
- *Height* – nadmorska visina na kojoj se nalazi prijemnik u *m*;
- *Ground* – visina iznad zemlje na kojoj se nalazi prijemnik u *m*;
- *LongitudeBS* i *LatitudeBS* – koordinate bazne stanice (geografska dužina i širina) u stepenima;



- *GPSSAcc* – GPS tačnost u m;
- *RSSI (Received Signal Strength Indicator)* – nivo snage signala na prijemu u dBm;
- *Speed* – brzina kretanja prijemnika u km/h i
- *Frequency* – frekvencija na kojoj se emituje signal u MHz.

Prilikom merenja detektovan je signal isključivo u okviru LTE mreže, pri čemu je mobilni operator A1 Srbija. Parametri *Operator*, *LAC* i *CellID* se koriste za identifikaciju bazne stanice. Pored informacija o lokaciji prijemnika dostupne su i lokacijske informacije o baznim stanicama. Prilikom pripreme podataka uočena je neusaglašenost između koordinata istih baznih stanica. Uočena odstupanja koordinata posledica su promene tačnosti pozicioniranja prilikom merenja. Ovo su podaci koji su poznati mobilnim operatorima, ali ne i široj javnosti. Pojedina istraživanja, poput [12] ukazuju na ovaj problem i koriste *crowdsourced* skupove podataka radi određivanja lokacija baznih stanica. U okviru ovog rada za određivanje tačnih koordinata baznih stanica korišćena je *OpenCell* aplikacija koja sadrži najveći otvoreni skup podataka o baznim stanicama. Na osnovu prikupljenih podataka izvršena je korekcija koordinata baznih stanica. Takođe, registar evidentiranih radio-stanica u javnoj mobilnoj elektronskoj komunikacionoj mreži ne sadrži podatak o visini bazne stanice iznad zemlje. Visina bazne stanice iznad zemlje je procenjena pomoću *Google Earth Pro* mapa. Skup podataka je dopunjen sa atributom *GroundBS* koji odgovara visini bazne stanice iznad zemlje, kao i atributom *HeightBS* koji predstavlja nadmorsku visinu.

Kako su merenja sprovedena u urbanoj sredini, propagacija signala po višestrukim putanjama rezultuje smanjenom tačnošću pozicioniranja. Na pojedinim delovima trasa, poput ulice Bulevar kralja Aleksandra, ovaj efekat je izraženiji. Za svaku instancu merenja izvršena je provera koordinata prijemnika, kao i korekcija koordinata po potrebi radi smanjenja greške pozicioniranja. Pojedine instance kod kojih je zabeležena izuzetno niska GPS preciznost pozicioniranja su uklonjene iz skupa podataka. Nakon pripreme podataka konačan broj instanci za Trasu 1 iznosi 455, odnosno 306 instanci za Trasu 2.

Atributi koji su korišćeni za predikciju RSSI u okviru ovog rada su rastojanje, relativna visina, azimut i elevacija između bazne stanice i prijemnika, kao i frekvencija. Za procenu rastojanja između bazne stanice i prijemnika korišćena je Heversine formula koja je definisana izrazom (1)

$$d = 2 \cdot R \cdot \arcsin \sqrt{\sin^2 \left( \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} \right) + \cos \varphi_1 \cdot \cos \left( \varphi_2 \cdot \sin^2 \left( \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2} \right) \right)} \quad (1)$$

gde su:  $R$  – poluprečnik Zemlje, koji iznosi 6371000 m;  $\varphi_1, \lambda_1$  – koordinate prijemnika (geografska širina i dužina) u stepenima;  $\varphi_2, \lambda_2$  – koordinate bazne stanice (geografska širina i dužina) u stepenima.

Relativna visina između bazne stanice i prijemnika predstavlja razliku između visine bazne stanice i prijemnika i određuje se pomoću formule (2)

$$h_{eff} = h_2 - h_1 = (h_{BSa} + h_{BSg}) - (h_{Rxa} + h_{Rxg}). \quad (2)$$

Prilikom određivanja relativne visine u obzir se uzima nadmorsku visinu i visinu predajnika, odnosno prijemnika, iznad zemlje. Za određivanje azimuta koji predstavlja vertikalno ugaono rastojanje između prijemnika i bazne stanice korišćena je formula (3)

$$\varphi = 2 \cdot \operatorname{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}), \quad (3)$$

gde je  $a$  definisano izrazom (4)

$$a = \sin^2 \left( \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2} \right) + \cos \varphi_1 \cdot \cos \left( \varphi_2 \cdot \sin^2 \left( \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2} \right) \right). \quad (4)$$

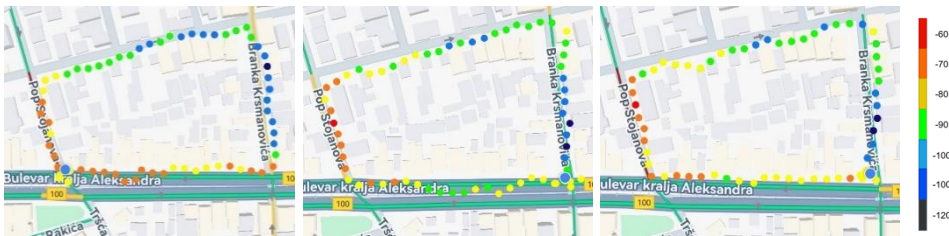
Elevacija, odnosno horizontalno ugaono rastojanje između bazne stanice i prijemnika određena je pomoću formule (5):

$$\theta = \operatorname{atan} \left( \frac{h_2 - h_1}{d} \right) \quad (5)$$

gde  $h_1$  i  $h_2$  odgovaraju visini prijemnika, odnosno visini bazne stanice iznad zemlje, uvećanim za nadmorsku visinu.

### 3.2. Istraživačka analiza kreiranih skupova podataka

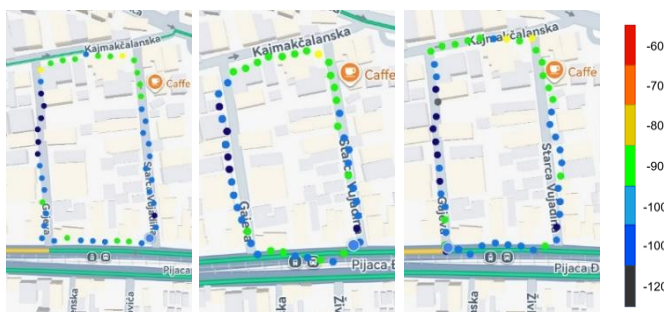
Merenja su sprovedena različitim danima u različito vreme. Takođe, merenja su započeta u različitim početnim tačkama sa promenom smera kretanja. Cilj većeg broja merenja je da se utvrdi da li postoje značajna odstupanja RSSI na istim lokacijama tokom različitih merenja. Na Slici 3 prikazani su rezultati tri merenja na Trasi 1. Sa Slike 3 mogu se uočiti blaga odstupanja RSSI tokom različitih merenja. Niža odstupanja RSSI su očekivana i mogu biti posledica različitih faktora poput saobraćaja, broja korisnika i njihovih aktivnosti, vremenskih uslova i sl. Takođe, sa Slike 3 se može uočiti da nema značajnih varijacija RSSI. U ulicama Pop Stojanova i Bulevar kralja Aleksandra zabeležen je najviši nivo snage signala na prijemu tokom svih merenja. U Kajmačalanskoj ulici dolazi do blažeg pada RSSI, dok je najznačajniji pad RSSI uvek zabeležen u ulici Branka Krsmanovića.



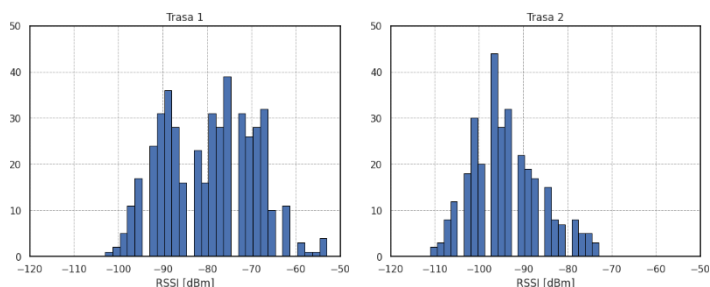
Slika 3. Mapa Trase 1 sa prikazom snimljenog RSSI tokom tri merenja

U slučaju Trase 2, takođe nisu uočene značajne varijacije RSSI tokom različitih merenja, kao što je i prikazano na Slici 4. Zabeležene vrednosti RSSI na Trasi 2, su značajno niže u odnosu na Trasu 1. Prilikom odabira trasa nije očekivano ovoliko odstupanje izmerenih RSSI vrednosti, obzirom na to da je rastojanje između trasa malo i da je okruženje u kojem se odvija propagacija slično po stepenu urbanosti i vegetacije. Na Trasi 1 zabeležene vrednosti RSSI nalaze se u opsegu od -103 dBm do -53 dBm, dok se zabeležene vrednosti RSSI na Trasi 2 nalaze u opsegu od -111 do -73 dBm.

Na Slici 5 dat je grafički prikaz raspodele zabeleženih vrednosti RSSI na Trasi 1 i Trasi 2 u vidu histograma. U Tabeli 1 dat je pregled minimalnih, maksimalnih i srednjih vrednosti atributa koji su korišćeni za predikciju RSSI. Pored velikog odstupanja RSSI na Trasi 1 i Trasi 2 zabeležena je i velika razlika između ulaznih atributa koji se koriste za predikciju.



Slika 4. Mapa Trase 2 sa prikazom snimljenog RSSI tokom tri merenja

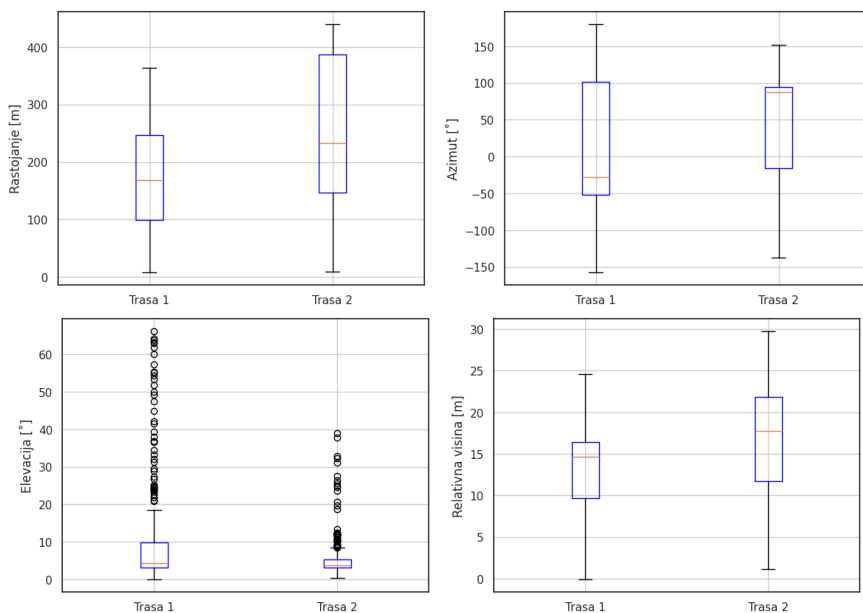


Slika 5. Raspodela snage signala na prijemu za Trasu 1 i Trasu 2

Tabela 1. Pregled minimalne, maksimalne i srednje vrednosti ulaznih atributa

| atribut             | Trasa 1      |              |                  | Trasa 2      |              |                  |
|---------------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|------------------|
|                     | min vrednost | max vrednost | srednja vrednost | min vrednost | max vrednost | srednja vrednost |
| rastojanje [m]      | 8.14         | 364.25       | 168.94           | 9.58         | 439.54       | 246.86           |
| azimut [°]          | -157.38      | 180.00       | 14.76            | -137.45      | 152.24       | 48.07            |
| elevacija[°]        | -0.02        | 66.19        | 8.96             | 0.29         | 39.07        | 5.62             |
| relativna visina[m] | -0.11        | 24.56        | 13.50            | 1.13         | 29.75        | 16.83            |
| frekvencija [MHz]   | 1755.10      | 1957.50      | 1820.00          | 1755.10      | 1957.50      | 1800.50          |

Iz Tabele 1 može se videti da su u slučaju Trase 2 zabeležena veća rastojanja između predajnika i prijemnika. Ovo je jedan od razloga zbog koga su izmerene vrednosti RSSI na Trasi 2 znatno niže u poređenju sa izmerenim vrednostima na Trasi 1. Atribut azimut uzima vrednosti od 0 do  $\pm 180^\circ$  u zavisnosti od položaja prijemnika u odnosu na baznu stanicu. Na osnovu Tabele 1 i Slike 6, na kojoj je prikazana raspodela ulaznih atributa, može se uočiti da se položaj prijemnika u odnosu na baznu stanicu značajno razlikuje u slučaju Trase 1 i Trase 2. U slučaju elevacije nisu uočena velika odstupanja između Trase 1 i Trase 2. Elevacija se nalazi u opsegu između 0 i  $90^\circ$ . Negativne vrednosti za elevaciju zabeležene su u slučaju Trase 1 kod nekoliko instanci, u slučaju kada je visina predajnika niža od visine prijemnika. U skladu sa elevacijom nisu zabeležene ni drastične razlike u slučaju relativne visine između Trase 1 i Trase 2. Potrebno je naglasiti da je u slučaju Trase 1 zabeležen veći broj instanci sa višim vrednostima relativne visine, što takođe može biti razlog zbog koga je nivo RSSI viši na Trasi 1.



Slika 6. Raspodela rastojanja, azimuta, elevacije i relativne visine za Trasu 1 i Trasu 2

Frekvencija emitovanja se nalazi u opsegu od 1755.1 do 1957.5 MHz u slučaju obe trase. Srednja vrednost frekvencije za Trasu 1 iznosi 1820 MHz, odnosno 1800.5 MHz za Trasu 2.

#### 4. Rezultati i analiza rezultata

Za predikciju RSSI u okviru ovog rada korišćeni su regresioni modeli mašinskog učenja. Testirano je nekoliko regresionih modela uključujući *Decision Tree*, *Random Forest*, *Gradient Boosting* i *SVR (Support Vector Regression)* model. Navedeni modeli se često koriste za predikciju snage signala na prijemu i u okviru drugih radova. Takođe, ovo su modeli koji su korišćeni i u okviru prethodnih istraživanja [13] prilikom predikcije RSSI kod digitalne televizije u zavisnosti od vremenskih uslova.

Modeli su prvo trenirani i testirani na skupu podataka koji obuhvata merenja isključivo na Trasi 1. Kao što je naglašeno u Sekciji 1, ovakav način obučavanja modela se primenjuje kod većine radova. Odnos podataka za testiranje i treniranje modela se razlikuje. Tipično se veći procenat podataka koristi za treniranje modela, a u pojedinim istraživanjima, poput [5], ovaj procenat je niži i iznosi 50%. Za treniranje modela, u okviru ovog istraživanja, korišćeno je 80% instanci, dok je preostalih 20% korišćeno za testiranje modela. Za ocenu performansi obučanih modela korišćena je RMSE (*Root Mean Squared Error*), MAE (*Mean Absolute Error*) i MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). RMSE, MAE i MAPE predstavljaju standardnu metriku za ocenu performansi regresionih modela. RMSE predstavlja razliku između izmerene RSSI vrednosti,  $y_i$ , i vrednosti dobijene predikcijom,  $\hat{y}_i$ . RMSE se određuje pomoću formule (6)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}. \quad (6)$$

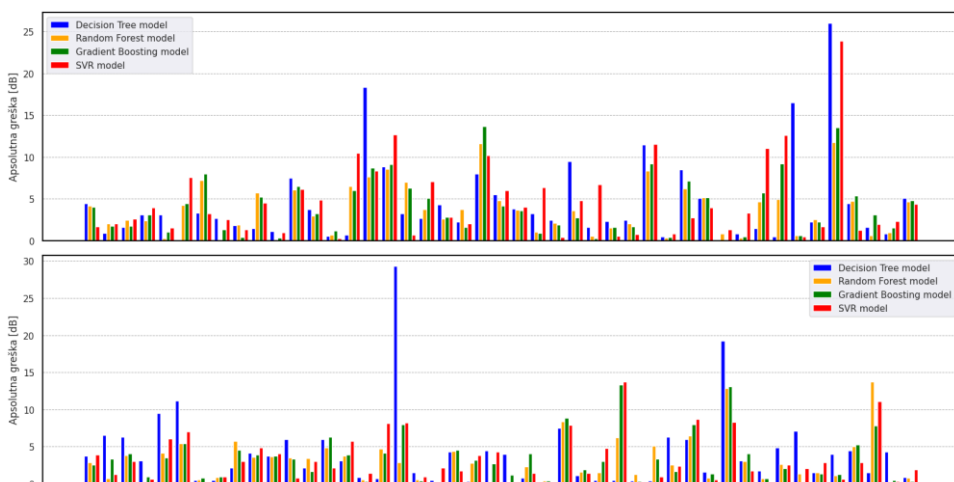
MAE predstavlja srednju apsolutnu razliku između tačne vrednosti i vrednosti dobijene predikcijom. Za proračun MAE korišćena je jednačina (7)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2. \quad (7)$$

Apsolutna razlika između tačne vrednosti i vrednosti dobijene predikcijom može se izraziti u procentima pomoću jednačine (8)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \cdot 100. \quad (8)$$

Primenom tehnike *RandomizedSearchCV* izvršeno je podešavanje hiperparametara modela. Na Slici 7 dat je grafički prikaz apsolutne greške između izmerene RSSI vrednosti i vrednosti dobijene predikcijom za primenjene modele. Zbog većeg broja instanci grafik je podeljen na dva dela. Sa Slike 7 se može uočiti da je najveća vrednost apsolutne greške zabeležena kod *Decision Tree* i *SVR* modela. Sa druge strane primenom *Random Forest* i *Gradient Boosting* modela apsolutna greška se smanjuje. Rezultati validacije različitih modela prikazani su u Tabeli 2. Najbolji rezultati predikcije, sa najnižom vrednošću RMSE od 4.533 dBm dobijeni su primenom *Random Forest* modela.



Slika 7. Apsolutna greška između izmerene RSSI vrednosti i vrednosti dobijene predikcijom za primenjene modele na Trase 1

Tabela 2. Ocena performansi primenjenog modela

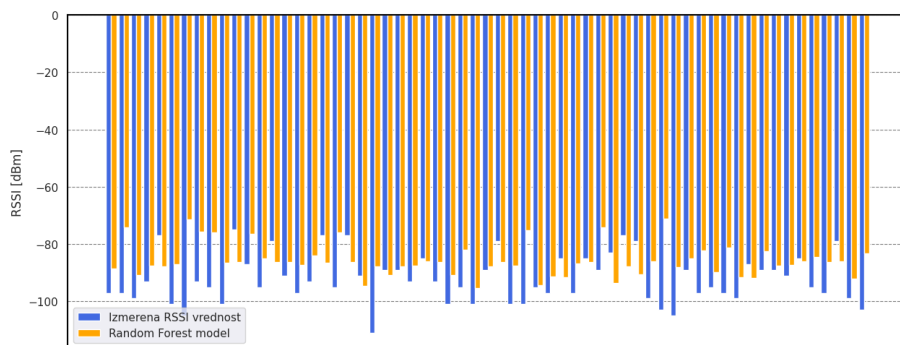
| Model mašinskog učenja   | RMSE [dBm] | MAE [dBm] | MAPE [%] |
|--------------------------|------------|-----------|----------|
| <i>Decision Tree</i>     | 6.696      | 4.322     | 5.40     |
| <i>Random Forest</i>     | 4.533      | 3.428     | 4.30     |
| <i>Gradient Boosting</i> | 4.934      | 3.725     | 4.66     |
| <i>SVR</i>               | 5.642      | 4.021     | 5.01     |

*Random Forest* model izdvojen je kao model sa najboljim performansama i mogućnošću detektovanja ekstremnih padova snage signala na prijemu i u slučaju istraživanja [13]. U okviru rada [5] prilikom predikcije propagacionih gubitaka primenom

regresionih modela RMSE najboljeg modela iznosi 7.3 dB. Autori u [5] naglašavaju da dobijeni rezultati zadovoljavajući za praktičnu primenu. Potrebno je naglasiti da se u radu [5] za svaku instancu merenja vrši provera linije optičke vidljivosti između predajnika i prijemnika. U radu [6] dobijene vrednosti RMSE i MAE iznose 4.32 dB i 3.45 dB prilikom procene propagacionih gubitaka. Kao što je navedeno u Sekciji 2, u istraživanju [6] autori koriste satelitske slike i tri različite mreže prilikom predikcije čime se povećava kompleksnost sistema. Autori u [11], koji za predikciju koriste sličan skup ulaznih atributa prijavljuju vrednosti za RMSE i MAE od 8.52 dB i 6.48 dB.

Propagacioni gubici definišu se kao razlika snage na predaji i prijemu. Kako nije poznata snaga signala na predaji u okviru ovog rada izvršena je isključivo predikcija snage signala na prijemu. Uzimajući u obzir da je snaga signala na predaji konstantna, možemo smatrati da su propagacioni gubici direktno proporcionalni promeni RSSI. Dobijene vrednosti za RMSE, MAE i MAPE od 4.533 dBm, 3.428 dBm i 4.30% respektivno, ukazuju na visoku tačnost predikcije. Model je precizniji u poređenju sa rezultatima istraživanja [5] i [11] za čak 37.97%, odnosno 46.88%. Sa druge strane, u poređenju sa istraživanjem [6] dobijeni rezultati su lošiji za samo 4.32%.

Nakon obučavanja modela korišćenjem podataka isključivo sa Trase 1 i poređenjem sa ostalim modelima izvršeno je i obučavanje modela korišćenjem podataka sa Trase 2. Ovakav pristup testiranja modela uočen je jedino kod istraživanja [6], gde je manji deo trase, dužine 110 m iskorišćen isključivo za testiranje modela. Sve instance merenja sa Trase 1 korišćene su za obučavanje modela, dok je 20% instanci sa Trase 2 korišćeno za testiranje modela. Izvršeno je obučavanje *Random Forest* modela kod koga su u slučaju Trase 1 zabeleženi najbolji rezultati. U ovom slučaju dolazi do značajnog smanjenje tačnosti predikcije RSSI. RMSE iznosi čak 12.528 dBm, dok MAPE iznosi 10.95 %. Na Slici 8 dat je uporedni grafički prikaz izmerenih RSSI vrednosti i RSSI vrednosti koje su dobijene predikcijom na Trasi 2.



Slika 8. Izmerene RSSI vrednosti i RSSI vrednosti dobijene predikcijom na Trasi 2

Prema [9] prihvatljive vrednosti RMSE za ruralnu i suburbanu sredinu nalaze se u opsegu od 10 do 15 dB, dok u slučaju urbane sredine RMSE treba da bude niži od 7 dB. Dobijeni rezultati u okviru ovog rada zadovoljavaju kriterijum za ruralnu i suburbanu sredinu, ali ne i za urbanu sredinu. Sa druge strane, autori u [4] porede izmerene vrednosti propagacionih gubitaka u okviru LTE mreže za propagacionim gubicima određenim pomoću klasičnih empirijskih modela, uključujući ECLI, ECC, COST 231 i ERICSSON propagacioni model. U slučaju ECLI, ECC i COST 231 modela dobijene vrednosti standardne devijacije iznose čak 29.24, 19.13 i 19.23 dB, dok je primenom

ERICSSON modela dobijena najniža vrednost standardne devijacije od 10.13 dB. U poređenju sa rezultatima istraživanja [4] kreirani model i pored smanjene tačnosti predikcije na Trasi 2 omogućava veću preciznost u poređenju sa većinom klasičnih empirijskih modela. U okviru studije [9] izvršeno je poređenje novog RF modela sa klasičnim empirijskim propagacionim modelima uključujući COST 231, ECC-33, ITM i SUI model. Na većini lokacija u urbanoj sredini zabeležene vrednosti RMSE klasičnih empirijskih propagacionih modela su znatno više od 15 dB. Takođe, RMSE novog RF modela je niži od 7 dB samo u slučaju jedne lokacije. U slučaju ostalih lokacija RMSE se nalazi u opsegu između 10 i 20 dB.

Uzimajući u obzir veliko odstupanje izmerenih vrednosti RSSI na Trasi 1 i Trasi 2, kao i razliku između vrednosti i raspodele ulaznih atributa smanjenje tačnosti predikcije je očekivano. Potrebno je proširiti skup podataka za treniranje modela, merenjem na znatno većem broju lokacija, kako bi se proširio opseg izmerenih RSSI vrednosti, kao i opseg vrednosti ulaznih atributa koji se koriste za predikciju. Očekuje se da bi proširenje skupa podataka za treniranje modela dovelo do pada RMSE i MAPE i u slučaju testiranja na različitim trasama.

## 5. Zaključak

Prilikom predikcije snage signala u okviru ovog istraživanja korišćen je drugačiji pristup obučavanja modela mašinskog učenja koji obuhvata korišćenje zasebnih skupova podataka, sa različitim lokacija, za treniranje i testiranje modela. Ovakav način predikcije bi omogućio znatno efikasnije planiranje infrastrukture mreže i smanjio potrebu za terenskim merenjima. Mobilni operatori bi mogli da testiraju različite raspodele baznih stanica u cilju pronalaska optimalnog plana raspodele uz značajno smanjenje troškova.

Rezultati ukazuju na veću tačnost predikcije u poređenju sa empirijskim propagacionim modelima, ali i sa drugim modelima mašinskog učenja koji su kreirani u okviru sličnih istraživanja. Osim toga, za predikciju snage signala korišćen je znatno manji broj ulaznih atributa koji ne zahtevaju kompleksne proračune i korišćenje dodatnih izvora podataka radi pribavljanja informacija o okruženju, što je značajno sa aspekta praktične primene modela.

## Literatura

- [1] A. A. El-Saleh, et al., "Measuring and assessing performance of mobile broadband networks and future 5G trends", *Sustainability*, vol. 14, no. 2, pp. 829, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14020829>
- [2] A. A. El-Saleh, et al., "Measurement analysis and performance evaluation of mobile broadband cellular networks in a populated city", *Alexandria Engineering Journal*, vol. 66, pp. 927-946, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.10.052>
- [3] D. Raca, J. J. Quinlan, A. H. Zahran and C. J. Sreenan, "Beyond throughput: A 4G LTE dataset with channel and context metrics", *In Proceedings of the 9th ACM multimedia systems conference*, pp. 460-465, June 2018.
- [4] C. Emeruwa and P. Iwuji, "Determination of a pathloss model for long term evolution (LTE) in Yenagoa", *Engineering and Science*, vol. 7, no. 10, pp. 38-44, 2018. DOI:10.9790/1813-0710033844

- [5] I. Iliev, et al., “A Machine Learning Approach for Path Loss Prediction Using Combination of Regression and Classification Models”, *Sensors*, vol. 24, no. 17, pp. 5855, 2024. <https://doi.org/10.3390/s24175855>
- [6] S. Zeng, et al., “Mobile Network Coverage Prediction Using Multi-Modal Model Based on Deep Neural Networks and Semantic Segmentation”, *Sensors*, vol. 24, no. 16, pp. 5178, 2024. <https://doi.org/10.3390/s24165178>
- [7] B. Kwon, and H. Son, “Accurate path loss prediction using a neural network ensemble method”, *Sensors*, vol. 24, no. 1, pp. 304, 2024. <https://doi.org/10.3390/s24010304>
- [8] N. Moraitis, L. Tsiipi, and D. Vouyioukas, “Machine learning-based methods for path loss prediction in urban environment for LTE networks”, *2020 16th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, IEEE, Thessaloniki, Greece, pp. 1-6, October 2020, DOI:10.1109/WiMob50308.2020.9253369.
- [9] M. F. A. Fauzi, et al., “Machine learning-based online coverage estimator (MLOE): Advancing mobile network planning and optimization”, *IEEE Access*, vol. 11, pp. 3096-3109, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3234566
- [10] K. Gideon, C. Nyirenda, and C. Temaneh-Nyah, “Echo state network-based radio signal strength prediction for wireless communication in northern namibia”, *Iet Communications*, vol. 11, no. 12, pp. 1920-1926, 2017.
- [11] H. S. Jo, et al., “Path loss prediction based on machine learning techniques: Principal component analysis, artificial neural network, and Gaussian process”, *Sensors*, vol. 20, no. 7, pp. 1927, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20071927>
- [12] M. Rahman, M. A. Hossain, and M. Yuksel, “Multi-operator cell tower locations prediction from crowdsourced data”, *2021 International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*, IEEE, pp. 1-9, Athens, Greece, July 2021. DOI: 10.1109/ICCCN52240.2021.9522192
- [13] I. Stefanovic, M. Malnar, S. Mladenovic, and M. Nesic, “Weather-Based Nonlinear Regressions for Digital TV Received Signal Strength Prediction”, *Elektronika ir Elektrotechnika*, vol. 30, no. 2, pp. 80-87, 2024. <https://doi.org/10.5755/j02.eie.36479>

**Abstract:** *The application of machine learning to forecast signal strength and propagation loss in wireless communication systems is becoming more common. Numerous studies indicate that machine learning models provide significantly higher predictive accuracy than traditional empirical propagation models. This study involved comprehensive measurements of multiple LTE network features, conducted over two routes with similar topographical topography and urban density. The measurement results were utilized to train several machine learning regression models for predicting signal strength. There are only five attributes in the predictive dataset. The results of the best model indicate that the recorded data from one location may be utilized to predict the signal strength of LTE networks at another, similar location.*

**Keywords:** *LTE, RSSI, path loss, machine learning, prediction*

## SIGNAL STRENGTH PREDICTION IN LTE NETWORKS USING MACHINE LEARNING

Ivana Stefanović, Valentina Radojičić



## **DETERMINISTIČKO MODELOVANJE RADIO KANALA ZA 6G OKRUŽENJA**

Milica Đorđević<sup>1</sup>, Nenad Jevtić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Austrian Institute of Technology, milica.djordjevic@ait.ac.at

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, n.jevtic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Istraživanje i razvoj bežičnih sistema šeste generacije zahteva precizno i realistično modelovanje radio kanala. U urbanim sredinama, planirani prelazak na više frekvencijske opsege donosi nove izazove, jer propagacija signala postaje izrazito zavisna od geometrije i elektromagnetnih svojstava površina. Standardni statistički modeli često nisu dovoljni da precizno obuhvate efekte višestrukih putanja, refleksija, difrakcija i difuznog rasejanja, što otežava realističnu procenu performansi. U ovom radu prikazana je primena softvera Sionna za determinističko modelovanje radio kanala zasnovano na metodologiji praćenja zraka (ray tracing). Analizirani su ključni propagacioni mehanizmi na primeru jednog tipičnog urbanog okruženja. Simulacioni rezultati omogućavaju izdvajanje standardnih metrika fizičkog sloja i pokazuju da determinističko modelovanje daje jasnu i lokacijski specifičnu sliku ponašanja radio kanala u urbanoj sceni. Ovakav pristup može poslužiti za povezivanje teorijskih modela i praktičnih istraživanja, sa potencijalom za proširenje na dinamičke scenarije i eksperimentalnu validaciju u okviru 6G istraživanja.*

**Ključne reči:** *determinističko modelovanje, praćenje zraka, 6G radio kanal, urbano okruženje, Sionna*

### **1. Uvod**

Kvalitet bežičnih komunikacionih sistema u velikoj meri zavisi od karakteristika okruženja u kojem se signal prostire. Precizan opis uslova prostiranja elektromagnetnih talasa je značajan za pouzdanost sistema, planiranje i optimizaciju bežičnih mreža, kao i za primenu u industriji i standardizaciji novih tehnologija. Modelovanje radio kanala predstavlja osnovni korak u istraživanju, razvoju i evaluaciji savremenih bežičnih komunikacionih tehnologija.

Razvoj modela radio kanala je povezan sa evolucijom generacija mobilnih komunikacionih sistema. U ranim fazama, kada su sistemi prve i druge generacije bili namenjeni prenosu govora, fokus istraživanja bio je na pokrivenosti i jačini signala. Kasnije, sa pojavom širokopojasnih sistema i povećanjem zahteva za brzinom prenosa, pažnja je usmerena na pojave višestrukih putanja (*multipath*) i vremensku disperziju signala. Tokom četvrte i pete generacije mobilnih sistema, uvedeni su geometrijski-stohastički modeli (*Geometry-Stochastic Channel Model, GSCM*) koji kombinuju

statističku prirodu višestrukih komponenti sa prostornom strukturom okruženja, obezbeđujući ravnotežu između tačnosti i složenosti. Ipak, sa prelaskom na više frekvencijske opsege, propagacija elektromagnetnih talasa postaje izuzetno osetljiva na fizičku strukturu i elektromagnetne karakteristike okruženja. Za razvoj šeste generacije mobilnih sistema, modeli zasnovani na statističkim aproksimacijama često nisu dovoljni da prikažu stvarne prostorne odnose između predajnika, prijemnika i okruženja. Zbog toga je potreban fizički utemeljen pristup koji omogućava detaljnu analizu interakcija signala u trodimenzionalnom prostoru. U tom kontekstu, determinističko modelovanje zasnovano na metodama praćenja zraka (*ray tracing*) postaje ključni alat za istraživanje i razumevanje radio kanala u budućim 6G (*Sixt Generation*) mrežama.

U ovom radu istražuje se primena Sionna *open-source* softvera za determinističko modelovanje radio kanala pomoću metoda praćenja zraka. Analiza je sprovedena na trodimenzionalnom modelu ulice Vojvode Stepe u Beogradu, kako bi se prikazali osnovni mehanizmi prostiranja elektromagnetnih talasa i procenile mogućnosti realističnog modelovanja u urbanim uslovima.

Rad je organizovan na sledeći način: nakon uvodnog dela, u drugom poglavlju predstavljene su teorijske osnove modelovanja radio kanala, zatim sledi opis osnovnih mehanizama propagacije, dok je u četvrtom poglavlju prikazana simulaciona analiza i rezultati dobijeni korišćenjem Sionna softvera. Zaključna razmatranja koja proizilaze iz istraživanja i sprovedenih simulacija data su u petom poglavlju.

## 2. Determinističko modelovanja radio kanala

Bežični kanal predstavlja fizički medijum kroz koji se elektromagnetni talasi prostiru između predajnika i prijemnika. On obuhvata sve procese koji utiču na prenos signala kroz prostor i određuje osnovne performanse komunikacionog sistema. Brzina prenosa, pouzdanost veze, propusni opseg i otpornost na degradaciju umnogome zavise od karakteristika kanala i od uslova okruženja. Zbog promenljivosti fizičkih uslova, ponašanje bežičnog kanala ne može se opisati jednostavnim analitičkim izrazima [1]. Geometrija prostora, elektromagnetne osobine materijala, položaj objekata i radna frekvencija sistema istovremeno utiču na način prostiranja signala. Kanal se zbog toga smatra složenim i nelinearnim sistemom, čije karakteristike variraju u vremenu i prostoru. Modelovanje kanala omogućava detaljnu analizu procesa prostiranja elektromagnetnih talasa i formira se tako da verno predstavi fizičke karakteristike okruženja i način na koji one utiču na prenos signala. Na osnovu toga moguće je proceniti gubitke, kašnjenja i promene faze signala i analizirati performanse sistema u različitim scenarijima. Razvijeni modeli kanala koriste se u istraživanju, planiranju mreža i standardizaciji jer omogućavaju optimizaciju fizičkog sloja, izbor antenskih konfiguracija i predviđanje pokrivenosti i kapaciteta sistema.

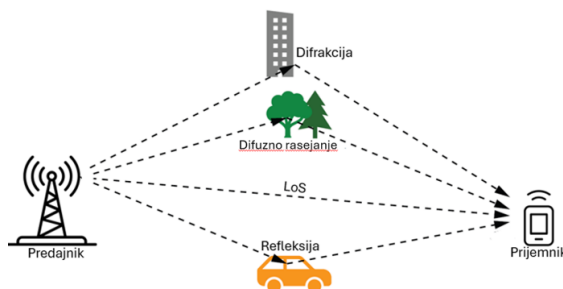
U zavisnosti od količine dostupnih informacija i nivoa fizičke tačnosti koji se želi postići, modeli bežičnih kanala najčešće se dele na statističke, geometrijski-stohastičke i determinističke [2]. Njihov izbor zavisi od cilja istraživanja i potrebnog balansa između realističnosti i računarske složenosti. Za razliku od statističkih i geometrijski-stohastičkih modela, koji se oslanjaju na verovatnoće raspodele, modeli koji se zasnivaju na fizičkim principima prostiranja elektromagnetnih talasa su deterministički. Ovaj pristup koristi zakone elektromagnetne teorije i tačne podatke o prostoru, čime se omogućava precizno računanje parametara kanala i postiže fizički veran prikaz propagacije signala. U osnovi determinističkih metoda nalaze se Maxwell-ove jednačine i granični uslovi koji opisuju interakciju talasa sa površinama i objektima u

prostoru. Zbog izuzetne računarske složenosti, u praksi se koriste njihove aproksimacije zasnovane na teoriji visokofrekventnog polja. U metodi praćenja zraka, talasni front se modeluje kao skup zraka koji se šire iz izvora i prate kroz interakcije sa površinama u sceni. Svaka interakcija može da rezultira refleksijom, difrakcijom ili rasejanjem signala, a doprinos svake putanje računa se prema Fresnel-ovim koeficijentima i geometrijskim odnosima između tačaka interakcije. Kombinovanjem doprinosa svih putanja dobija se ukupno elektromagnetno polje u tački prijema, koje omogućava analizu jačine signala, faze, kašnjenja i polarizacije.

Savremene implementacije determinističkih metoda koriste trodimenzionalne modele okruženja u formatu digitalnih mapa i objekata, kao što su OpenStreetMap, CityGML ili podaci dobijeni iz LiDAR-a. Razvoj GPU (*Graphics Processing Unit*) akceleracije i biblioteka kao što su CUDA, OptiX i Dr.Jit, omogućio je primenu metoda praćenja zraka i u složenim urbanim i industrijskim scenama koje obuhvataju veliki broj reflektujućih površina. Deterministički modeli omogućavaju detaljnu analizu pojedinačnih mehanizama propagacije, kao i prostornu vizualizaciju elektromagnetnog polja, što ih čini neophodnim alatom u savremenim istraživanjima radio sistema. Kombinovanjem ovih metoda sa tačnim podacima o materijalima i objektima, moguće je verno modelovati kompleksne scenarije i različita okruženja, što doprinosi efikasnijoj optimizaciji budućih bežičnih mreža.

### 3. Propagacija signala

Propagacija elektromagnetnih talasa u bežičnim komunikacionim sistemima odvija se u složenom i promenljivom okruženju. Signal se ne prostire isključivo pravolinijski od predajnika do prijemnika, već nailazi na različite prepreke, reflektujuće i difuzne površine, kao i na objekte koji menjaju pravac, fazu i intenzitet talasa. Kombinovano dejstvo ovih mehanizama dovodi do formiranja višestrukih propagacionih putanja, čije karakteristike direktno utiču na kašnjenje, jačinu i pouzdanost signala u prijemniku. Četiri osnovna mehanizma prostiranja elektromagnetnih talasa su direktna putanja (*Line-of-Sight*, LoS), refleksija, difrakcija i rasejanje [3] (slika 1).



Slika 1. Osnovni mehanizmi prostiranja elektromagnetnih talasa

Direktna putanja javlja se kada između predajnika i prijemnika ne postoji prepreka i kada je prostor između njih slobodan u okviru prve Fresnel-ove zone. U tom slučaju energija se širi kroz slobodan prostor i može se aproksimirati modelom slobodnog prostiranja, gde je jačina signala obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti između antena.

Refleksija nastaje kada elektromagnetni talas naiđe na površinu čije su dimenzije znatno veće od talasne dužine. Deo energije talasa se tada odbija nazad u prostor, a ugao refleksije jednak je uglu upada. Intenzitet reflektovanog talasa zavisi od frekvencije, polarizacije i kompleksne permitivnosti materijala. Na nižim frekvencijama refleksija predstavlja jedan od dominantnih mehanizama prostiranja, dok na višim frekvencijama postaje osetljivija na mikrostrukturu površine i hrapavost materijala.

Do difrakcije dolazi kada talas naiđe na ivicu ili prepreku iza koje ne bi trebalo da se prostire prema zakonima geometrijske optike. Zbog talasne prirode elektromagnetnog polja, deo energije se savija oko ivica i dopire do područja bez direktne vidljivosti. Difrakcija omogućava održavanje veze i u uslovima delimične okluzije, ali uz značajan pad jačine signala. Efekat difrakcije zavisi od talasne dužine i dimenzija prepreke i postaje sve slabiji pri prelasku na više frekvencije, gde prepreke efikasnije blokiraju signal.

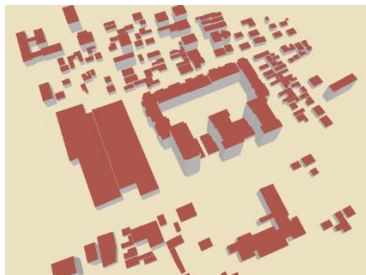
Rasejanje se javlja kada dimenzije objekata ili površina postanu uporedive sa talasnom dužinom, čime dolazi do odstupanja od idealne refleksije i pojave dodatnih komponenti talasa. U takvim uslovima energija se ne reflektuje u jednom dominantnom pravcu, već se raspodeljuje u više smerova. Rasejanje postaje izraženo u prisustvu neravnih i nepravilnih površina, vegetacije, grubih fasada, metalnih konstrukcija, staklenih površina i drugih elemenata. Intenzitet rasejanja zavisi od hrapavosti površine, električnih osobina materijala i ugla pod kojim talas pada na površinu. Iako pojedinačno slab, zbirni doprinos difuzno rasejanih komponenti može značajno uticati na ukupno polje i prostornu konzistentnost signala.

Kombinacija ovih efekata dovodi do veoma složenog prostiranja elektromagnetnih talasa, tako da se na mestu prijema dobija signal koji predstavlja superpoziciju višestrukih komponenti različitih amplituda, faza i kašnjenja. Njihova interferencija izaziva konstruktivne i destruktivne efekte koji uzrokuju brze fluktuacije jačine signala i vremensku disperziju. Ovakvo ponašanje kanala ima presudan uticaj na kvalitet veze i efikasnost prenosa informacija, zbog čega je precizno razumevanje ovih procesa ključno za realistično modelovanje radio kanala. U savremenim istraživanjima sve veću primenu nalaze deterministički pristupi zasnovani na metodi praćenja zraka. Time se ostvaruje fizički tačno praćenje signala i analiza doprinosa reflektovanih, difraktovanih i rasejanih komponenti u realnim trodimenzionalnim scenama. Ovi principi čine osnovu simulacione analize prikazane u narednom poglavlju, gde se koristi kombinovana primena alata Sionna, Mitsuba i Dr.Jit za modelovanje prostiranja signala u trodimenzionalnom okruženju.

#### **4. Simulaciona analiza radio kanala za 6G okruženja**

Simulaciona analiza determinističkog modelovanja radio kanala omogućava detaljno razumevanje prostiranja elektromagnetnih talasa u realnim urbanim scenarijima, relevantnim za istraživanje 6G sistema. U okviru ove studije korišćen je trodimenzionalni model dela ulice Vojvode Stepe, koji je prikazan na slici 2. Ovaj model omogućava vizuelnu i kvantitativnu analizu osnovnih propagacionih mehanizama. Eksperimenti su sprovedeni u okruženju Sionna softvera, koji omogućava simulacije prostiranja elektromagnetnih talasa pomoću metoda praćenja zraka [4]. Za efikasnu evaluaciju funkcija na GPU-u i procesiranje velikog broja uzoraka, Sionna koristi biblioteku Dr.Jit, koja obezbeđuje JIT (*Just-In-Time*) kompilaciju numeričkih operacija i njihovu optimizovanu paralelizaciju, čime se značajno ubrza izvođenje simulacija. Sionna je direktno integrisana sa Mitsuba 3 okvirom, koji je zadužen za geometrijsku

reprezentaciju i optički model scena, odnosno za fizički veran opis propagacije signala. Geometrija scena je kreirana u programu Blender, koji omogućava precizno definisanje struktura, dimenzija i materijala, a zatim se izvozi u Mitsuba format koji Sionna koristi tokom simulacije.

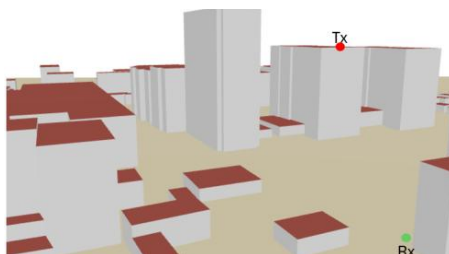


*Slika 2. Trodimenzionalni model ulice Vojvode Stepe u Beogradu*

U okviru sprovedenih simulacija analiziran je uticaj frekvencije i položaja prijemnika na distribuciju energije i karakteristike radio kanala u urbanom okruženju. Kako bi se prikazale razlike u prostiranju signala i identifikovali dominantni mehanizmi propagacije, ova analiza obuhvata scenarije sa i bez linije optičke vidljivosti, za dva frekventijska opsega - 5 GHz i 24 GHz. Dobijeni rezultati omogućavaju bolje razumevanje prostorne zavisnosti i interakcije elektromagnetnih talasa sa okruženjem, što predstavlja osnovu za preciznije modelovanje i optimizaciju 6G sistema. Izvorni kôd i rezultati izvršenih simulacija dostupni su na platformi Google Colab [5].

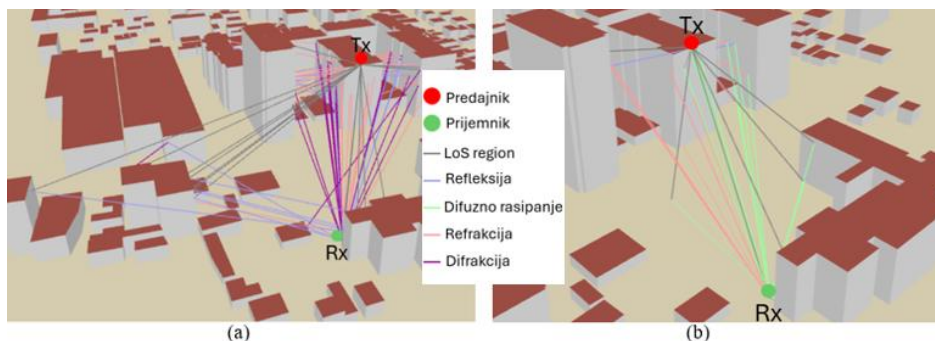
#### **4.1. Analiza scenarija sa optičkom vidljivošću**

U ovom delu je analiziran referentni slučaj koji služi za procenu osnovnih karakteristika radio kanala. Predajnik i prijemnik postavljeni su tako da postoji direktna linija vidljivosti (LoS), bez fizičkih prepreka između antena, kao što je prikazano na slici 3. Ovakva konfiguracija omogućava sagledavanje dominantnog doprinosa direktne putanje i reflektovanih komponenti u primljenom signalu. Simulacije su sprovedene u okruženju Sionna na frekvencijama od 5 GHz i 24 GHz, uz maksimalnu dubinu praćenja od pet refleksija. Analizirani su najvažniji procesi prostiranja elektromagnetnih talasa u urbanom okruženju, uključujući mehanizme direktnog prostiranja (LoS), refleksije, difrakcije, difuznog rasejanja i refrakcije. Korišćeni model materijala zasnovan je na ITU-R preporukama, dok su parametri antena i širine snopa definisani u skladu sa standardom 3GPP TR 38.901.



*Slika 3. LoS scenario*

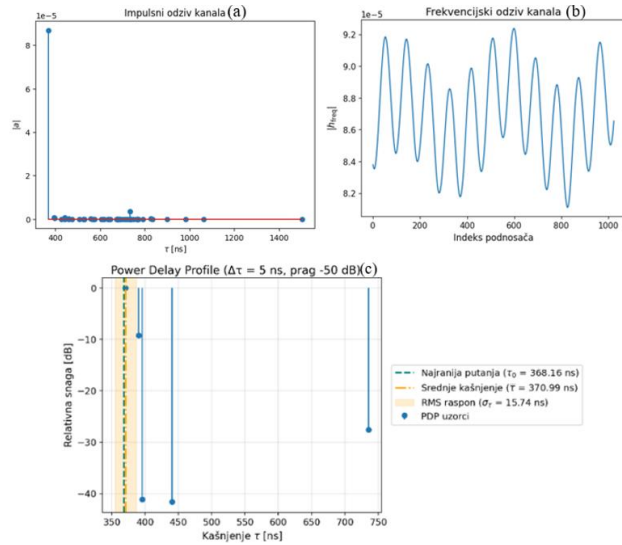
Uporedni prikaz prostiranja radio talasa u urbanom okruženju, dobijen pri istim parametrima simulacije, dat je za dve frekvencije - 5 GHz (slika 4a) i 24 GHz (slika 4b).



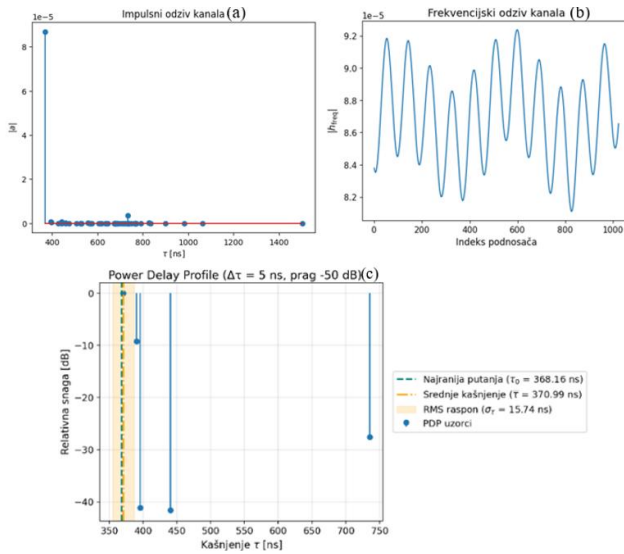
Slika 4. LoS - praćenje zraka 5 GHz (a) i 24 GHz (b)

Analiza rezultata simulacija za 5 GHz i 24 GHz omogućava jasan uvid u uticaj frekvencije na prostiranje elektromagnetnih talasa u urbanom okruženju. Na nižoj frekvenciji od 5 GHz identifikovano je 55 aktivnih putanja, dok je na 24 GHz zabeleženo 21 putanja. Veći broj putanja na 5 GHz posledica je manjeg uticaja apsorpcije i izraženije difrakcije, što omogućava šire prostiranje signala i prisustvo indirektnih komponenti koje doprinose ukupnom prenosu energije. Niže frekvencije imaju izraženiju sposobnost zaobilazanja prepreka, čime se obezbeđuje stabilniji prijem i u složenim urbanim geometrijama. Impulsni odziv kanala na 5 GHz (slika 5a) pokazuje više izraženih komponenti koje odgovaraju različitim reflektovanim, difraktovanim i refraktovanim putanjama. Frekvencijski odziv (slika 5b) sadrži izražene oscilacije amplitude usled interferencije između brojnih reflektovanih komponenti. Vremenska disperzija signala je izraženija, što potvrđuje veći RMS (*Root Mean Square*) *delay spread* i prisustvo višestrukih komponenti. Na slici 5c prikazan je PDP (*Power Delay Profile*) koji pokazuje širu distribuciju snage. Ove karakteristike ukazuju na veći stepen frekvencijske selektivnosti i izraženije višestruko prostiranje u kanalu.

Pri prelasku na više frekvencijske opsege, priroda prostiranja elektromagnetnih talasa se značajno menja. Zbog kraće talasne dužine, signal postaje osetljiv na mikrostrukturu površina i detalje okruženja. Na frekvenciji od 24 GHz broj aktivnih putanja je manji, a energija se koncentriše u užem vremenskom i prostornom intervalu. Impulsni odziv (slika 6a) pokazuje direktne veze i nekoliko difuzno rasejanih komponenti. Difrakcija, koja je na nižim frekvencijama omogućavala održavanje veze i pri delimičnoj okluziji, u ovom opsegu postaje znatno slabija. Frekvencijski odziv (slika 6b) je glatkiji, što potvrđuje smanjenu frekvencijsku selektivnost kanala. PDP (slika 6c) ukazuje na manju vremensku disperziju (RMS *delay spread*) u odnosu na 5 GHz. Viša frekvencija dovodi do izraženije apsorpcije i veće osetljivosti na karakteristike površina, zbog čega kanal postaje više zavisn od geometrije i direktne vidljivosti između predajnika i prijemnika.



Slika 5. LoS 5 GHz - impulsni odziv kanala (a), frekvencijski odziv kanala (b) i PDP (c)



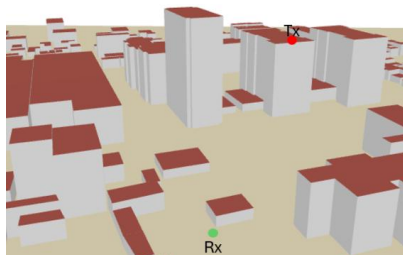
Slika 6. LoS 24 GHz - impulsni odziv kanala (a), frekvencijski odziv kanala (b) i PDP (c)

## 4.2. Analiza scenarija bez optičke vidljivosti

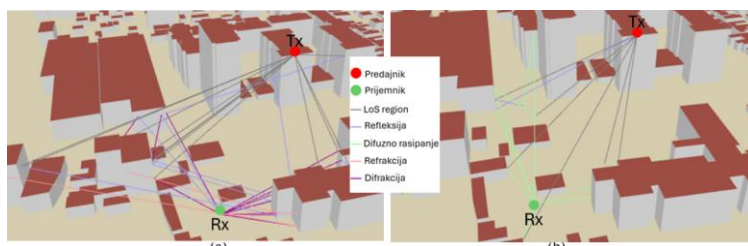
U ovom delu analiziran je scenario bez optičke vidljivosti između predajnika i prijemnika (NLoS), koji je prikazan na slici 7.

Prijem signala u NLoS scenariju se ostvaruje isključivo putem višestrukih komponenti. Ovakva konfiguracija je karakteristična za urbana okruženja gde objekti, poput zgrada, potpuno zaklanjaju direktnu liniju između antena. Cilj analize je da se ispita kako odsustvo direktne putanje i promena frekvencije utiču na raspodelu energije i

vremenske karakteristike kanala. Analiza obuhvata dva frekventijska opsega, 5 GHz i 24 GHz. Na slici 8 prikazani su rezultati praćenja zraka za oba slučaja, koji jasno ilustruju promenu prostorne raspodele putanja i mehanizama prostiranja.



Slika 7. NLoS scenario



Slika 8. NLoS - praćenje zraka 5 GHz (a) i 24 GHz (b)

Simulacije su sprovedene u istim uslovima kao u prethodnom primeru (LoS), uz korišćenje istog trodimenzionalnog modela scene i identičnih parametara. Aktivirani su isti mehanizmi prostiranja (LoS, refleksija, difrakcija, difuzno rasejanje i refrakcija), dok je maksimalna dubina praćenja zadržana na pet zraka. U ovom slučaju, međutim, direktna komponenta nije prisutna, pa ukupna energija zavisi od intenziteta i broja indirektnih putanja.

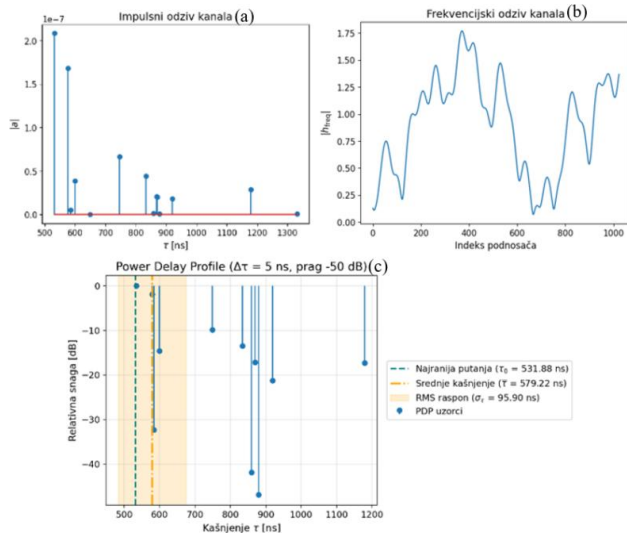
Na frekvenciji od 5 GHz registrovano je 14 aktivnih putanja, što ukazuje na izraženu *multipath* strukturu kanala. Impulsni odziv (slika 9a) i PDP (slika 9c) potvrđuju prisustvo brojnih reflektovanih i difraktovanih komponenti, sa velikim vrednostima za *RMS delay spread*. Frekventijski odziv (slika 9b) pokazuje nelinearne oscilacije koje potiču od interferencije više prostorno odvojenih putanja. Na ovoj frekvenciji difrakcija i refleksija dominiraju, dok je doprinos difuznog rasejanja ograničen, jer veće talasne dužine omogućavaju prostiranje i preko grubih objekata.

Na frekvenciji od 24 GHz, broj efektivnih putanja se smanjuje na 5, a difrakcija i refleksija više ne mogu u potpunosti da kompenzuju gubitak direktne vidljivosti. Impulsni odziv (slika 10a) pokazuje nekoliko dominantnih impulsa u užem vremenskom intervalu, dok *Power Delay Profile* (slika 10c) prikazuje manje vrednosti za *RMS delay spread* u odnosu na 5 GHz. Frekventijski odziv (slika 10b) ima pravilniju periodičnu strukturu, što ukazuje na ograničen broj koherentnih putanja. U ovim uslovima difuzno rasejanje postaje sve značajniji mehanizam, jer i najmanje nepravilnosti na površinama mogu doprineti dodatnim, iako slabijim, komponentama prostiranja.

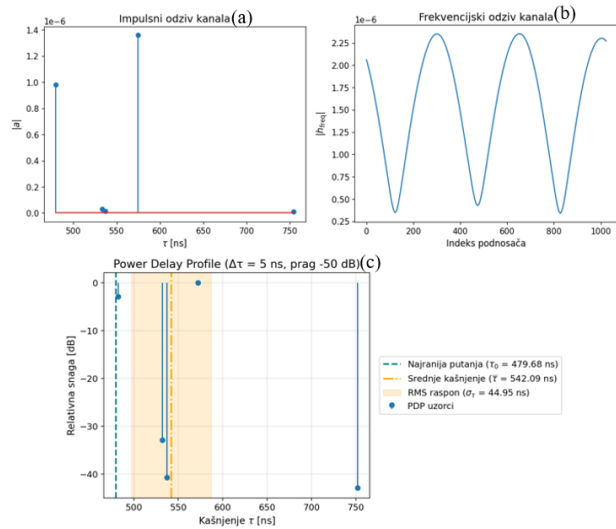
Ovi rezultati ukazuju da sa porastom frekvencije deterministički modeli moraju uključiti detaljnije elektromagnetne karakteristike materijala i difuzno rasejanje kako bi



precizno opisali prenos energije. U suprotnom, izostavljanje ovih efekata može dovesti do potcenjivanja ukupnog prijemnog nivoa signala i pogrešne procene pouzdanosti veze.



Slika 9. NLoS 5 GHz - impulsni odziv kanala (a), frekvencijski odziv kanala (b) i PDP (c)



Slika 10. NLoS 24 GHz - impulsni odziv kanala (a), frekvencijski odziv kanala (b) i PDP (c)

## 5. Zaključak

Sprovedena simulaciona analiza pokazuje mogućnosti determinističkog modelovanja radio kanala pomoću Sionna biblioteke, zasnovane na fizički utemeljenim mehanizmima prostiranja. U okviru rada prikazani su propagacioni mehanizmi signala,

uključujući LoS, refleksiju, difrakciju, refrakciju i difuzno rasejanje, kao i njihovu zavisnost od frekvencije i geometrije urbanog okruženja. Uporedna analiza rezultata za frekvencijske opsege od 5 GHz i 24 GHz pokazala je razliku u ponašanju kanala. Na nižim frekvencijama uočava se veći broj aktivnih putanja, izraženiji *multipath* efekti i šira vremenska disperzija snage. Na višim frekvencijama broj efektivnih putanja se smanjuje, a prenos energije se koncentriše u užem prostorno-vremenskom intervalu. Rezultati simulacija pokazuju da povećanje frekvencije ne utiče samo na broj aktivnih putanja, već i na način na koji se energija prostire kroz urbano okruženje. Povećanje frekvencije dovodi do smanjenja vrednosti za *RMS delay spread*, jače zavisnosti od linije vidljivosti i veće osetljivosti na elektromagnetne i geometrijske karakteristike okruženja. Opisana metodologija za istraživanje prostorno-vremenskih karakteristika radio kanala na bazi Sionna softverskog okruženja predstavlja efikasan alat koji se može direktno primeniti u analizi budućih 6G scenarija.

## Literatura

- [1] H. Jiang and G. Gui, *Channel Modeling in 5G Wireless Communication*. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-32869-6.
- [2] R. H. Ai Bo, *Wireless Channel Measurement and Modeling in Mobile Communication Scenario*. CRC Press, 2024. doi: 10.1201/9781032669793.
- [3] Sana Salous, *Radio Propagation Measurement and Channel Modelling*. John Wiley & Sons, Ltd, 2013. doi: 10.1002/9781118502280.
- [4] F. A. Aoudia, J. Hoydis, M. Nimier-David, S. Cammerer, and A. Keller, "Sionna RT: Technical Report" 2025. doi: 10.48550/arXiv.2504.21719.
- [5] M. Đorđević, "Simulaciona analiza radio kanala za 6G okruženja" [Online]. Available: [https://colab.research.google.com/drive/1Pw2H7m88DJaH0KLYaNmtWMQEBGHb3shl#scrollTo=AJ\\_gNuMwPQ3j](https://colab.research.google.com/drive/1Pw2H7m88DJaH0KLYaNmtWMQEBGHb3shl#scrollTo=AJ_gNuMwPQ3j)

**Abstract:** *The research and development of sixth-generation (6G) wireless systems require precise and realistic radio channel modeling. In urban environments, the planned transition to higher frequency bands introduces new challenges, as signal propagation becomes highly dependent on the geometry and electromagnetic properties of surrounding surfaces. Conventional statistical models are often insufficient to accurately capture the effects of multipath propagation, reflection, diffraction, and diffuse scattering, which complicates realistic performance assessment. This paper presents the application of the Sionna software for deterministic radio channel modeling based on ray tracing methodology. Key propagation mechanisms are analyzed through a representative urban environment. Simulation results enable the extraction of standard physical-layer metrics and demonstrate that deterministic modeling provides a clear and location-specific representation of radio channel behavior within an urban scene. Such an approach can bridge theoretical models and practical research, with potential extensions toward dynamic scenarios and experimental validation within 6G studies.*

**Keywords:** *deterministic modeling, ray tracing, 6G radio channel, urban environment, Sionna*

## DETERMINISTIC RADIO CHANNEL MODELING FOR 6G ENVIRONMENTS

Milica Đorđević, Nenad Jevtić

## **UNAPREĐENJE PREDIKCIJE ODLIVA KORISNIKA TELEKOMUNIKACIONIH OPERATORA POMOĆU TEHNIKA BALANSIRANJA KLASA**

Katarina Kukić, Ana Uzelac, Slađana Janković, Snežana Mladenović  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,  
k.kukic@sf.bg.ac.rs, ana.uzelac@sf.bg.ac.rs,  
s.jankovic@sf.bg.ac.rs, snezanam@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** U radu je prikazano unapređenje predikcije odliva korisnika telekomunikacionih operatora primenom tehnike sintetičkog naduzorkovanja SMOTE. Korišćen je javno dostupan Orange telecom churn skup podataka sa izraženoj neuravnoteženosti klasa (oko 14,5% odlazećih korisnika). Na neizbalansiranoj i na SMOTE-om balansiranoj skupu poređeni su klasični modeli mašinskog učenja (Decision Tree, k-Nearest Neighbors, Random Forest) i savremeni boosting algoritmi (XGBoost, LightGBM), a performanse su ocenjene metrikama accuracy, precision, recall i F1. Rezultati pokazuju da SMOTE značajno povećava recall za klasu odlazećih korisnika kod svih modela, dok boosting modeli i bez balansiranja postižu visoke performanse, a uz SMOTE dodatno unapređuju recall uz zadržavanje visoke tačnosti. SHAP analiza XGBoost modela otkriva da najveći uticaj na odlazak korisnika imaju broj poziva korisničkom servisu, ukupan broj potrošenih dnevnih i večernjih minuta, dostupnost međunarodnih razgovora i odsustvo glasovne pošte. Ovi nalazi potvrđuju da kombinacija SMOTE tehnike i naprednih modela omogućava pouzdaniju detekciju rizika odliva i identifikaciju ključnih faktora nezadovoljstva korisnika.

**Ključne reči:** SMOTE, odliv korisnika, mašinsko učenje, boosting algoritmi, SHAP analiza

### **1. Uvod**

U našem ranijem istraživanju [1] ispitivali smo predikciju odliva korisnika koristeći javno dostupan dataset Orange telecom churn [2]. Ovaj dataset sadrži 3333 zapisa o korisnicima i 21 atribut, od kojih približno 14,5 % predstavljaju zapise o korisnicima koji su prestali da koriste usluge operatora, što dovodi do izražene neuravnoteženosti klasa. U ranijem radu primenili smo nekoliko standardnih algoritama mašinskog učenja kao što su logistička regresija, Decision Tree, k-Nearest Neighbors i Random Forest. U fazi pripreme podataka sprovedeni su sledeći koraci: provera nedostajućih vrednosti (nije bilo potrebe za imputacijom), uklanjanje irelevantnih atributa, kodiranje kategoričkih promenljivih i podela skupa na trening (75 %) i test (25

%). Među primenjenim modelima *Random Forest* je postigao najbolje rezultate, sa tačnošću većom od 95 % i *F1*-merom od 0,83 na test skupu.

Iako su ovi rezultati ohrabrujući, u prethodnom istraživanju nije bila primenjena eksplicitna strategija za rešavanje neuravnoteženosti klasa, što može pristrasno da utiče na modele u korist većinske klase i da umanju njihovu sposobnost da pravilno identifikuju korisnike sklone odlasku.

Cilj ovog rada je prevashodno da prevaziđe ovo ograničenje primenom *Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE)*. *SMOTE* je široko prihvaćen pristup na nivou podataka za balansiranje skupova kod binarne klasifikacije. Ova metoda generiše sintetičke primere manjinske klase interpolacijom između postojećih instanci manjinske klase u prostoru atributa, čime se stvara uravnoteženiji skup za obuku bez prostog dupliranja postojećih uzoraka. Brojne studije o predikciji odliva korisnika pokazuju efikasnost ove i sličnih tehnika [3]–[8]; dosledno izveštavaju o poboljšanom otkrivanju pripadnika manjinske klase i o višim vrednostima mera *recall* i *F1* kada se neuravnoteženost klasa tretira sintetičkim naduzorkovanjem. Napomenimo da ćemo, kao posebno značajnu metriku posmatrati vrednost metrike *recall* za manjinsku klasu odlazećih korisnika koja pokazuje koliko ih dobro model prepoznaje, jer ako je *recall* nizak, znači da model ne detektuje veliki broj korisnika koji odlaze – što je za kompaniju “najskuplji” propust, jer kompanija neće reagovati i ti korisnici će zaista otići. Ukoliko model pogrešno označi neke korisnike kao odlazeće (*false positive*), to će za kompaniju predstavljati manji gubitak nego propust da model dobro prepozna one koji zaista odlaze (*false negative*).

Na osnovu ovih nalaza, ponovo analiziramo isti *Orange* skup podataka kako bismo procenili da li balansiranje podataka pomoću *SMOTE*-a može dodatno da poboljša prediktivne performanse naših modela odliva, posebno u pravilnom identifikovanju potencijalnih korisnika koji bi mogli da napuste operatora. Osim toga, u ovom radu će, pored klasičnih modela koji su se u prethodnom istraživanju pokazali kao najtačniji (*Decision Tree*, *k-Nearest Neighbors* i *Random Forest*), biti primenjeni i savremeni *boosting* algoritmi *XGBoost* i *LightGBM*. *Boosting* metode su izabrane jer omogućavaju postizanje veće tačnosti i bolje generalizacije, posebno na kompleksnim i potencijalno neuravnoteženim skupovima podataka. Daćemo i interpretaciju dobijenih rezultata za model sa najboljim performansama, kao i SHAP analizu iz koje ćemo zaključiti o ukupnom uticaju svakog atributa na predikcije modela.

Ovaj rad je organizovan na sledeći način: u drugom poglavlju dat je pregled relevantne literature o problemu predikcije odliva korisnika i tehnikama za balansiranje klasa. Treće poglavlje opisuje korišćeni skup podataka i postupak preprocesiranja. U četvrtom poglavlju predstavljena je metodologija, uključujući primenjene modele mašinskog učenja i metrike evaluacije. Peto poglavlje donosi eksperimentalne rezultate i diskusiju, dok su u šestom poglavlju izneti zaključci i predlozi za buduća istraživanja.

## 2. Pregled literature

Odliv korisnika predstavlja visoko neuravnotežen binarni klasifikacioni zadatak, u kojem je manjinska klasa - korisnici koji odlaze – uobičajeno relativno mala. Jednostavni modeli mogu postići visoku ukupnu tačnost, ali i dalje mogu propustiti da prepoznaju korisnike sklone odlasku. Zbog toga mnoge studije eksplicitno razmatraju

problem neuravnoteženosti klasa kako bi poboljšale metrike manjinske klase, posebno *recall* i *F1*.

Najčešći pristupi su ponovo uzorkovanje na nivou podataka – na primer *SMOTE* i njegove varijante – dok se ređe primenjuju pažljivo dizajnirane strategije poduzorkovanja. U radu [3] upoređeno je šest metoda naduzorkovanja, uključujući *SMOTE* i *ADASYN*, i pokazano je da ponovno uzorkovanje može značajno da poboljša detekciju manjinske klase, iako veličina dobitka zavisi od konkretne metode. Korak dalje napravljen je u radu [4], gde se, pored upoređivanja metoda naduzorkovanja (*SMOTE* i *ADASYN*), uvodi novi dvostepeni pristup: najpre se primenjuje klasterovanje radi uklanjanja šuma, a zatim se koristi ansambl metoda za generisanje uzoraka manjinske klase.

U [9] je predložen integrisani okvir koji povezuje predikciju odliva sa segmentacijom korisnika. Nakon što *SMOTE* poboljša ravnotežu klasa u fazi predikcije, primenjuje se Bajesova logistička regresija s ciljem da se identifikuju glavni faktori odliva, a potom se ti faktori koriste za *K-means* klasterovanje korisnika. Na ovaj način pokazano je da kombinovanje predikcije i segmentacije vodi ka konkretnijim i primenljivijim strategijama zadržavanja korisnika. Prednosti primene *SMOTE* tehnike potvrđene su i u drugim radovima [6, 7, 10]. U [11] je analizirano jedanaest klasifikatora i sedam pristupa uzorkovanju na šesnaest skupova podataka sličnih onima koji se koriste za predikciju odliva. Rezultati pokazuju da uzorkovanje može da poveća vrednosti metrika *recall* i *F1*, ali i da smanji performanse jakih klasifikatora kao što je *Random Forest* kada karakteristike skupa već idu u korist ovih modela, što ukazuje na potrebu pažljive evaluacije.

Pored naduzorkovanja, neka istraživanja beleže i različite pristupe poduzorkovanju [12, 13, 14], ali oni nisu predmet ovog rada. Takođe, neka istraživanja kombinuju naduzorkovanje i poduzorkovanje: na primer, u [8] primenjen je *ADASYN*, a zatim *NEASMISS* poduzorkovanje, čime je značajno poboljšan *recall* na višemilionskom *dataset*-u, dok je u [15] pokazano da *SMOTE* daje bolje rezultate od čistog poduzorkovanja.

Sve navedene studije ponovno uzorkovanje primenjuju isključivo na trening skupu, čime se izbegava curenje podataka (engl. *data leakage*) – isti protokol sledi i naše istraživanje. Velike komparativne studije potvrđuju da se efikasnost uzorkovanja razlikuje u zavisnosti od modela i samog skupa podataka. Ovo naglašava potrebu za kontrolisanim empirijskim poređenjima kakvo i mi predstavljamo. Na osnovu ovih nalaza ponovo analiziramo skup podataka *Orange telecom churn* iz našeg ranijeg rada i sistematski ispitujemo primenu *SMOTE* metode u istom okruženju mašinskog učenja. Cilj je da kvantifikujemo uticaj *SMOTE*-a na metrike detekcije manjinske klase, pri čemu se ponovno uzorkovanje, u skladu s dobrom praksom, primenjuje samo na trening skup radi fer poređenja.

### 3. Dataset i preprocesiranje

Za potrebe analize korišćen je javno dostupan *Orange telecom churn* skup podataka koji obuhvata 3333 zapisa i ukupno 21 atribut. Ciljna promenljiva „odliv korisnika“ (*churn*) označava da li je korisnik napustio operatora (1 – „Otišao“, 0 – „Ostao“). Da bi skup podataka bio pogodan za primenu algoritama mašinskog učenja, izvršena je transformacija u potpuno numerički *dataset* kroz sledeće korake:

- 1) Uklonjeni su atributi država u SAD, pozivni broj i broj telefona, jer nemaju uticaj na predikciju odliva.
- 2) Kategoričke promenljive plan međunarodnih poziva i mogućnost glasovne pošte kodirane su binarno (da = 1, ne = 0), a ciljna varijabla je takođe kodirana u formatu 1/0.

Nakon uklanjanja irelevantnih kolona i kodiranja kategoričkih promenljivih, kreirane su matrica atributa (**X**) i ciljna promenljiva (**y**). U numeričkom datasetu su zadržani sledeći atributi: *trajanje računa u danima, plan međunarodnih poziva (0/1), mogućnost glasovne pošte (0/1), broj glasovnih poruka, ukupan broj minuta dnevno, ukupan broj poziva dnevno, ukupna cena dnevnih poziva, ukupan broj večernjih minuta, ukupan broj večernjih poziva, ukupna cena večernjih poziva, ukupan broj noćnih minuta, ukupan broj noćnih poziva, ukupna cena noćnih poziva, ukupan broj međunarodnih minuta, ukupan broj međunarodnih poziva, ukupna cena međunarodnih poziva, broj poziva korisničkom servisu*.

Korišćeni *dataset* potiče iz ranijeg perioda (oko 1998–1999), pa pojedini atributi – poput broja glasovnih poruka ili međunarodnog plana – danas mogu biti prevaziđeni u savremenim telekom mrežama. Iako je skup i dalje koristan za metodološka poređenja i evaluaciju algoritama, rezultati bi bili zanimljiviji i praktično relevantniji kada bi se primenio noviji, lokalno prikupljen skup podataka.

Skup je podeljen na trening (75%) i test (25%) deo, a sve numeričke promenljive normalizovane su *min–max* metodom na opseg [0, 1] radi ujednačavanja skala i sprečavanja dominacije atributa sa većim apsolutnim vrednostima.

*SMOTE* je tehnika balansiranja podataka koja se koristi kada imamo neravnotežu klasa (kao što je slučaj u razmatranom skupu podataka gde klasa odlazećih korisnika ima udeo od oko 14.5% u celom skupu podataka). Ova tehnika ne duplira postojeće primere, već stvara nove, sintetičke uzorke na osnovu postojećih, što vodi do realističnijeg proširenja manjinske klase. *SMOTE* se sprovodi tako što se za svaki uzorak iz manjinske klase, traže njegovi najbliže susedi u istoj klasi (obično  $k=5$ ), a zatim se vrši interpolacija – nasumično bira jednog od tih suseda i pravi novi sintetički uzorak tako što ga postavlja negde između postojećeg primera i izabranog suseda. Proces se ponavlja dok manjinska klasa ne dostigne željenu veličinu (najčešće jednaku većinskoj). Na taj način dobija se balansiran *dataset* u kome su klase približno podjednako zastupljene, što omogućava da modeli budu obučeni na ravnotežnim podacima, bolje prepoznaju manjinsku klasu i obezbede pouzdaniju interpretaciju rezultata.

Dodatno, za interpretaciju modela primenjena je i *SHAP* (engl. *SHapley Additive Explanations*) analiza. *SHAP* metoda se zasniva na Šeprijevim vrednostima [16] iz kooperativne teorije igara i omogućava fer i konzistentno kvantifikovanje doprinosa svakog obeležja predikciji modela [17].

#### 4. Metodologija

Polazeći od rezultata dobijenih u prethodnom radu [1], odlučili smo se da odaberemo tri modela sa najboljim performansama među osam testiranih osnovnih modela mašinskog učenja. Pored njih najpre ćemo na neizbalansiranim, a zatim i na podacima balansiranim pomoću *SMOTE* tehnike primeniti još dva *boosting* modela:

*XGBoost* poznat po svojoj robusnosti i visokim performansama, kao i *LightGBM* koji obezbeđuje bržu i efikasniju obuku modela.

Pošto je *Orange telecom churn* skup podataka izrazito neuravnotežen, oslanjanje samo na ukupnu tačnost može biti varljivo: klasifikator koji bi sve korisnike predvideo kao one koji ne odlaze mogao bi da postigne visoku tačnost, a da pritom uopšte ne detektuje one koji odlaze. Zato, da bismo dobili uravnoteženiju sliku performansi modela, koristimo više komplementarnih metrika koje se uobičajeno preporučuju za neuravnotežene binarne klasifikacije:

**Tačnost** (engl. *accuracy*) – udeo ispravno klasifikovanih instanci u odnosu na ukupan broj uzoraka (1). Iako daje osnovnu informaciju o ukupnoj uspešnosti modela, tačnost treba tumačiti oprezno jer je snažno pod uticajem većinske klase i sama po sebi ne pokazuje koliko dobro model otkriva korisnike sklone odlasku.

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

**Preciznost** (engl. *precision*) – udeo korisnika koje je model predvideo kao korisnike koji žele da odu, a koji su zaista otišli (2). Visoka preciznost znači da, kada model predviđi odlazak korisnika, ta prognoza je uglavnom tačna.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

**Osetljivost** (engl. *recall*) – udeo stvarnih korisnika koji napuštaju operatora koje je model ispravno identifikovao (3). Za upravljanje odlivom *recall* je presudan, jer njegovo nedetektovanje znači gubitak korisnika koji je mogao da bude zadržan. Zato se posebno fokusiramo na vrednost *recall* metrike za klasu korisnika koji odlaze.

$$Recall (Sensitivity) = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

**F1-mera** (engl. *F1-score*) – harmonijska sredina preciznosti i osetljivosti (4). Ova jedinstvena metrika sažima odnos između otkrivanja što više stvarnih korisnika koji napuštaju operatora (visok *recall*) i izbegavanja lažnih alarma (visoka preciznost), pa daje uravnotežen prikaz performansi modela.

$$F1 Score = \frac{2*Precision*Sensitivity}{Precision+Recall} \quad (4)$$

U prethodnom radu koristili smo i meru specifičnost (engl. *specificity*), koja pokazuje koliko dobro model prepoznaje korisnike koji ostaju. Međutim, u ovom istraživanju fokus je na pravovremenom otkrivanju onih koji odlaze i poboljšanju detekcije manjinske klase. Zbog toga se sada naglasak stavlja na metrike osetljive na neuravnoteženost – pre svega *recall* i *F1*-meru – dok je specifičnost, iako i dalje informativna, za ovu analizu sekundarnog značaja i nije uključena u glavni skup metrika.

Napomenimo još da se performanse modela treniranih uz *SMOTE* tehniku uvek procenjuju na neizmenjenom test skupu, jer je cilj da se proverí kako se model generalizuje na realne, izvorne podatke. Ako bismo *SMOTE* primenili i na test skupu, došlo bi do veštačkog balansiranja i rezultati bi bili nerealno optimistični, što ne bi odgovaralo stvarnim uslovima. Na taj način obezbeđujemo da evaluacija modela verno odražava sposobnost predviđanja odliva korisnika u praksi.

## 5. Rezultati i diskusija

Napomenimo da prikazani rezultati verovatno nisu najbolji mogući jer u razmatranim modelima nije rađena optimizacija hiperparametara, iz razloga što je primarni cilj ovog rada bilo da se pokaže kako balansiranje klasa u podacima doprinosi poboljšanju performansi modela. U tom cilju hteli smo da modeli razmatrani sa i bez primene SMOTE tehnike budu uporedivi, dok bi optimizacija hiperparametara verovatno podrazumevala drugačije vrednosti hiperparametara u ova dva pristupa.

Rezultati svih primenjenih modela, sa i bez SMOTE tehnike balansiranja klasa, prikazani su u Tabeli 1:

*Tabela 1: Performanse modela sa i bez primene SMOTE tehnike*

| Model    | SMOTE | Accuracy (%) | Klase  | Precision (%) | Recall (%) | F1-score (%) |
|----------|-------|--------------|--------|---------------|------------|--------------|
| KNN      | Ne    | 88           | Ostao  | 89            | 98         | 93           |
|          |       |              | Otišao | 70            | 26         | 38           |
|          | Da    | 67           | Ostao  | 90            | 69         | 78           |
|          |       |              | Otišao | 23            | 56         | 33           |
| DT       | Ne    | 93           | Ostao  | 94            | 98         | 96           |
|          |       |              | Otišao | 85            | 66         | 74           |
|          | Da    | 92           | Ostao  | 95            | 96         | 96           |
|          |       |              | Otišao | 75            | 71         | 73           |
| RF       | Ne    | 91           | Ostao  | 91            | 100        | 95           |
|          |       |              | Otišao | 96            | 39         | 55           |
|          | Da    | 90           | Ostao  | 91            | 98         | 94           |
|          |       |              | Otišao | 77            | 46         | 58           |
| XGBoost  | Ne    | 94           | Ostao  | 95            | 98         | 97           |
|          |       |              | Otišao | 86            | 73         | 79           |
|          | Da    | 95           | Ostao  | 96            | 98         | 97           |
|          |       |              | Otišao | 85            | 78         | 81           |
| LightGBM | Ne    | 95           | Ostao  | 96            | 98         | 97           |
|          |       |              | Otišao | 87            | 74         | 80           |
|          | Da    | 94           | Ostao  | 96            | 97         | 97           |
|          |       |              | Otišao | 81            | 78         | 79           |

Analiza prikazanih rezultata u Tabeli 1 jasno pokazuje značaj primene SMOTE tehnike za balansiranje podataka u zadatku predikcije odliva korisnika. Kod modela treniranih na originalnom (neizbalansiranom) skupu podataka, uočava se visoka tačnost i odlični rezultati za klasu „Ostao“, dok je za klasu „Otišao“ *recall* izrazito nizak (npr. 26% kod KNN i 39% kod RF). Ovo znači da modeli često ne prepoznaju korisnike koji napuštaju kompaniju, iako je upravo ova klasa od ključnog značaja za donošenje poslovnih odluka. Primetimo i da *boosting* modeli XGBoost i LightGBM koji nisu bili primenjivani u prethodnom istraživanju daju značajno bolje rezultate i na neizbalansiranom skupu podataka, posebno po pitanju *recall* metrike, što ih čini svakako prvim izborom za dalju primenu i interpretaciju dobijenih rezultata. Napomenimo da je od primenjenih standardnih modela mašinskog učenja, stablo odlučivanja (DT) pokazalo



najbolje performanse, ali treba imati na umu da ovaj model ima tendenciju preprilagođavanja podacima, pa bi zahtevalo dodatno ispitivanje i izvesan oprez pri interpretaciji rezultata.

Primena *SMOTE* tehnike dovodi do poboljšanja *recall* vrednosti za klasu „Otišao“ kod svih modela. Posebno se ističe *KNN*, gde *recall* raste sa 26% na 56%, i *RF*, gde raste sa 39% na 46%. Time modeli uspešnije detektuju korisnike koji odlaze, što je u skladu sa ciljem istraživanja. Međutim, povećanje *recall*-a često dolazi po cenu smanjenja ukupne tačnosti (*accuracy*), jer se modeli suočavaju sa sintetički proširenim podacima i balansiranjem. Na primer, kod *KNN* tačnost opada sa 88% na 67%. Ipak, kod naprednijih modela kao što su *XGBoost* i *LightGBM*, primena *SMOTE* tehnike dovodi do balansiranijeg učinka, gde se *recall* za klasu „Otišao“ dodatno povećava (*XGBoost* sa 73% na 78%, *LightGBM* sa 74% na 78%), dok tačnost ostaje visoka (94–95%). Ovi modeli uspešno integrišu informacije iz proširenog skupa i pokazuju najbolji kompromis između detekcije odliva i ukupne tačnosti.

Da sumiramo, i na neizbalansiranim i na balansiranim podacima najbolje performanse pokazali su *boosting* modeli, ali je primena *SMOTE* tehnike poboljšala i njihove performanse, posebno po pitanju vrednosti *recall* metrike. U nastavku ćemo se fokusirati na *XGBoost* model sa primenom *SMOTE* tehnike, i dati interpretaciju zaključaka koji se mogu izvući iz modela.

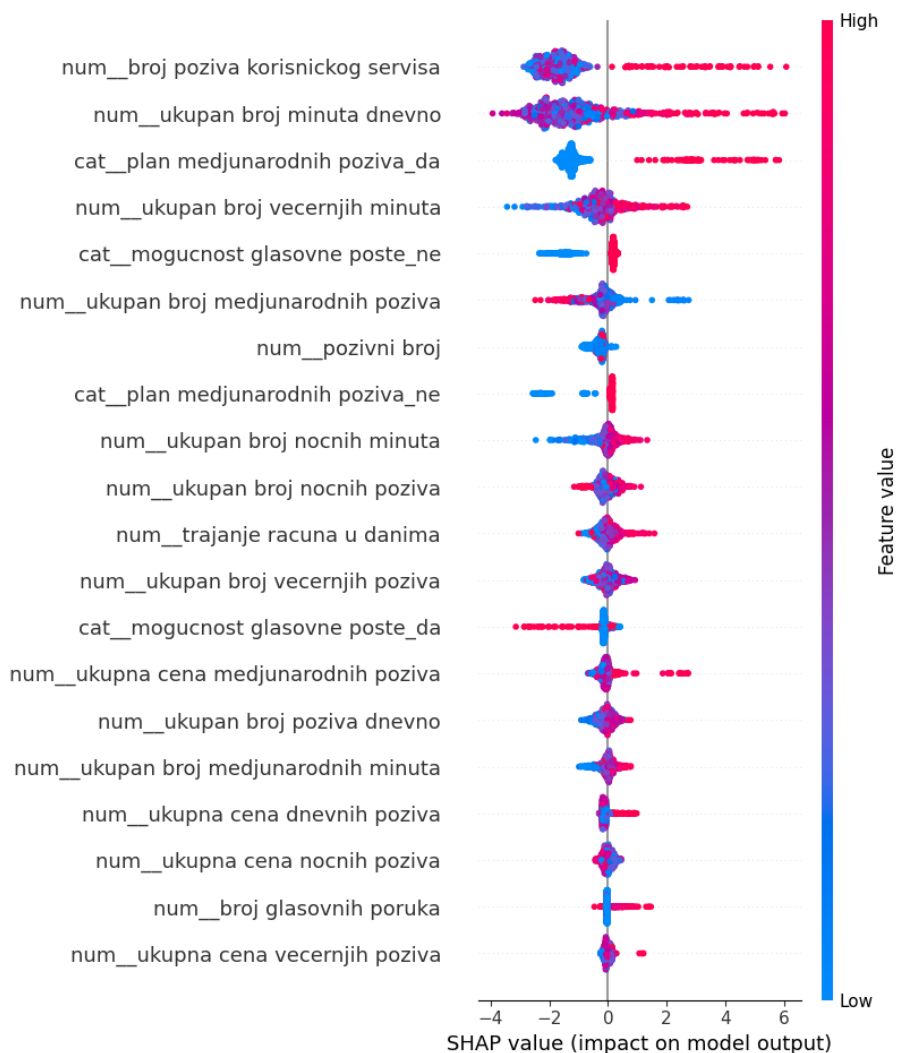
*XGBoost* model računa koliko puta i koliko efikasno je neki atribut korišćen za smanjenje greške i tako određuje važnost pojedinih atributa (engl. *feature importance*) – ako je atribut često korišćen za razdvajanje podataka i pritom značajno smanjuje grešku klasifikacije, njegova važnost biće visoka. Pored određivanja značaja atributa na ovaj način, moguće je izračunati i *SHAP* vrednosti. One ne samo da daju kvantitativnu meru doprinosa atributa predikciji, već kvalitativno pokazuju kako atribut utiče na izlaz modela: za svaki uzorak u skupu podataka određuje se da li atribut povećava ili smanjuje verovatnoću pripadnosti posmatranoj klasi i koliki je intenzitet tog uticaja. Ova tehnika obezbeđuje lokalnu tačnost, nulti doprinos obeležja bez uticaja i konzistentnost pri promeni značaja, pa se smatra jednom od najpouzdanijih metoda za interpretaciju kompleksnih modela. Njena primena omogućava i globalno sagledavanje značaja atributa i objašnjenje pojedinačnih predikcija.

Na Slici 1 prikazane su *SHAP* vrednosti za sve atribute, gde svaka tačka predstavlja jedan uzorak, intenzitet boje prikazuje vrednost *SHAP* vrednosti za posmatrani atribut, a položaj po horizontalnoj osi pomeran udesno ukazuje da atribut povećava verovatnoću da će uzorak pripadati klasi „Otišao“. Pet atributa koji najviše doprinose odluci redom su: *broj poziva korisničkom servisu*, *ukupan broj minuta dnevno*, *plan međunarodnih poziva (da)*, *ukupan broj večernjih minuta* i *mogućnost glasovne pošte (ne)*.

Detaljnija interpretacija rezultata prikazanih na Slici 1 ukazuje da atribut *Broj poziva korisničkom servisu* dominantno prikazan crvenim tačkama (mnogo poziva) koje se nalaze desno ukazuju da veliki broj poziva korisničkom servisu povećava šansu da korisnik ode. Slično, visoke vrednosti atributa *Ukupan broj minuta dnevno* (crvene tačke) takođe podstiču korisnika na odluku ka odlasku od operatora, dok niže vrednosti (plavo) podstiču odluku korisnika ka ostanku kod operatora.

Dalje, prisustvo plana međunarodnih poziva povećava šansu odlaska korisnika od operatora, dok njegovo odsustvo (plavo) znači veću verovatnoću ostanka. Po pitanju atributa *Večernji minuti*, vidi se da visoke vrednosti utiču da ishod predikcije bude

odlazak od operatora, što može ukazivati na specifičan tip potrošačkog ponašanja. Primećuje se i da su korisnici koji ne poseduju glasovnu poštu (crvene tačke) nešto češće vezani za odlazak od operatora.



Slika 1: SHAP dijagram značaja atributa u XGBoost modelu

## 6. Zaključak

Boosting algoritmi su se pokazali kao najefikasniji pristup za predikciju odliva korisnika, jer čak i bez balansiranja podataka postižu visoku tačnost i pouzdano identifikuju ključne attribute. Ipak, izrazita neuravnoteženost klasa – sa značajno manjim brojem korisnika koji napuštaju operatora – zahteva primenu tehnika kao što je SMOTE.

Naši rezultati pokazuju da *SMOTE* značajno povećava *recall* za manjinsku klasu, što je u praksi presudno jer smanjuje rizik da potencijalni odlazeći korisnici ostanu neprepoznati.

Dodatno, *SHAP* analiza pruža interpretabilnost modela i omogućava da se precizno identifikuju faktori rizika za odlazak korisnika. Veliki broj poziva korisničkom servisu, visok ukupan broj dnevnih i večernjih minuta, prisustvo međunarodnog plana i odsustvo glasovne pošte izdvajaju se kao najuticajniji prediktori odliva. Ovi nalazi mogu služiti kao osnova za proaktivne poslovne strategije – pravovremene mere za zadržavanje korisnika i unapređenje kvaliteta usluga.

Kombinovanjem *SMOTE* tehnike sa savremenim *boosting* algoritmima i interpretacijom rezultata putem *SHAP* analize, obezbeđuje se pouzdan i transparentan okvir za predikciju odliva. Buduća istraživanja trebalo bi da uključe novije i lokalno prikupljene skupove podataka kako bi se dodatno potvrdila generalizacija ovih nalaza i procenila primenljivost predloženog pristupa u savremenim telekomunikacionim okruženjima.

## Literatura

- [1] S. Janković, S. Mladenović, I. Stefanović, and A. Uzelac, “Predikcija odliva korisnika telekomunikacionih operatora primenom mašinskog učenja,” in *Proc. PosTel*, Beograd, Srbija, Nov. 2022, pp. 249–258.
- [2] Orange Telecom Churn Dataset. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/mnassrib/telecom-churn-datasets>
- [3] A. Amin, S. Anwar, A. Adnan, M. Nawaz, N. Howard, J. Qadir, A. Hawalah, and A. Hussain, “Comparing oversampling techniques to handle the class imbalance problem: A customer churn prediction case study,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 7940–7957, Oct. 2016. DOI: 10.1109/ACCESS.2016.2619719
- [4] S. J. Haddadi, A. Farshidvard, F. D. S. Silva, J. C. dos Reis, and M. da Silva Reis, “Customer churn prediction in imbalanced datasets with resampling methods: A comparative study,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 246, Art. no. 123086, Jul. 2024. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.123086
- [5] C. Rao, Y. Xu, X. Xiao, F. Hu, and M. Goh, “Imbalanced customer churn classification using a new multi-strategy collaborative processing method,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 247, Art. no. 123251, Aug. 2024. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.123251
- [6] S. Saha, C. Saha, M. M. Haque, M. G. R. Alam, and A. Talukder, “ChurnNet: Deep learning enhanced customer churn prediction in telecommunication industry,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 4471–4484, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3352221
- [7] O. Soleiman-garmabaki and M. H. Rezvani, “Ensemble classification using balanced data to predict customer churn: A case study on the telecom industry,” *Multimedia Tools Appl.*, vol. 83, no. 15, pp. 44799–44831, Oct. 2023. DOI: 10.1007/s11042-023-15264-9
- [8] J. B. G. Brito, G. B. Bucco, R. Heldt, J. L. Becker, C. S. Silveira, F. B. Luce, and M. J. Anzanello, “A framework to improve churn prediction performance in retail banking,” *Financial Innovation*, vol. 10, no. 1, pp. 1–29, Jan. 2024. DOI: 10.1186/s40854-023-00558-3
- [9] S. Wu, W.-C. Yau, T.-S. Ong, and S.-C. Chong, “Integrated churn prediction and customer segmentation framework for Telco business,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 62118–62136, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3073776

- [10] P. Jiang, Z. Liu, L. Zhang, and J. Wang, “Hybrid model for profit-driven churn prediction based on cost minimization and return maximization,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 228, Art. no. 120354, Oct. 2023. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.120354
- [11] L. Geiler, S. Affeldt, and M. Nadif, “A survey on machine learning methods for churn prediction,” *Int. J. Data Sci. Analytics*, vol. 14, no. 3, pp. 217–242, Sep. 2022. DOI: 10.1007/s41060-021-00274-7
- [12] K. Eria and B. P. Marikannan, “Systematic review of customer churn prediction in the telecom sector,” *J. Appl. Technol. Innov.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–14, 2018.
- [13] N. Edwine, W. Wang, W. Song, and D. Ssebuggwawo, “Detecting the risk of customer churn in telecom sector: A comparative study,” *Math. Probl. Eng.*, vol. 2022, pp. 1–16, Jul. 2022. DOI: 10.1155/2022/8115931
- [14] A. Idris, A. Iftikhar, and Z. U. Rehman, “Intelligent churn prediction for telecom using GP-AdaBoost learning and PSO undersampling,” *Cluster Comput.*, vol. 22, no. S3, pp. 7241–7255, May 2019. DOI: 10.1007/s10586-018-1849-7
- [15] W. H. Khoh, Y. H. Pang, S. Y. Ooi, L.-Y.-K. Wang, and Q. W. Poh, “Predictive churn modeling for sustainable business in the telecommunication industry: Optimized weighted ensemble machine learning,” *Sustainability*, vol. 15, no. 11, p. 8631, May 2023. DOI: 10.3390/su15118631
- [16] L. S. Shapley, “A value for n-person games,” in *Contributions to the Theory of Games*, vol. II, H. W. Kuhn and A. W. Tucker, Eds. Princeton, NJ, USA: Princeton Univ. Press, 1953, pp. 307–317.
- [17] S. M. Lundberg and S.-I. Lee, “A unified approach to interpreting model predictions,” *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 30, 2017. Available: <https://arxiv.org/abs/1705.07874>

**Abstract:** *This paper explores improving telecom customer churn prediction with the Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE). The publicly available Orange telecom churn dataset, which has a strong class imbalance (about 14.5% churners), was used. Classical machine-learning models (Decision Tree, k-Nearest Neighbors, Random Forest) and modern boosting algorithms (XGBoost, LightGBM) were evaluated on both the original and SMOTE-balanced data using accuracy, precision, recall, and F1 metrics. SMOTE markedly increases recall for the churn class in all models, while boosting algorithms perform well even without balancing and, when combined with SMOTE, further improve recall while maintaining high accuracy. SHAP analysis of the XGBoost model highlights the strongest churn drivers: number of customer-service calls, total daytime and evening minutes used, presence of an international calling plan, and lack of voicemail. These results show that combining SMOTE with advanced models enables more reliable churn detection and reveals key factors of customer dissatisfaction.*

**Keywords:** *SMOTE, customer churn, machine learning, boosting algorithms, SHAP analysis*

## **IMPROVING TELECOM CUSTOMER CHURN PREDICTION USING CLASS BALANCING TECHNIQUES**

Katarina Kukić, Ana Uzelac, Slađana Janković, Snežana Mladenović

## **ANALIZA EFIKASNOSTI JPEG I BPG METODA KOMPRESIJE SLIKE BEZ GUBITAKA VIZUELNIH INFORMACIJA**

Nenad Stojanović, Boban Bondžulić, Boban Pavlović  
Univerzitet odbrane u Beogradu – Vojna akademija,  
nivzvuk@hotmail.com, bondzulici@yahoo.com, bobanpav@yahoo.com

**Rezime:** *U radu je izvršena uporedna analiza JPEG i BPG metoda kompresije slike u slučaju kada se degradacije usled primenjene kompresije ne mogu uočiti. Za potrebe analize korišćena je javno dostupna baza slika koja sadrži podatke o komprimovanoj slici određenoj tako da predstavlja granicu do koje čovečiji vizuelni sistem ne može da uoči degradacije usled kompresije. Korišćena baza se sastoji od 35 originalnih slika u tri različita modaliteta, od čega su dva iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra i jedan iz infracrvenog. Slike iz ovih modaliteta prikazuju istu scenu i prostorno su usaglašene. Poređenje je vršeno kroz dva scenarija, fiksiranjem vrednosti objektivnog kvaliteta i fiksiranjem broja bita potrebnih za reprezentaciju jednog piksela. Pokazano je da je BPG tip kompresije efikasniji u odnosu na JPEG u oba razmatrana scenarija sa stanovišta kompresije bez uočljivih gubitaka i to u sva tri modaliteta slika.*

**Ključne reči:** *jedva uočljive razlike (JND), kompresija slike, JPEG, BPG*

### **1. Uvod**

Kompresija slike je široko rasprostranjena u različitim primenama. Uprkos tome što se u prethodnim godinama različite metode obrade slike koriste u širokom spektru primena, kompresija je i dalje jedna od najrasprostranjenijih metoda. Slike nose velike količine korisnih informacija uz visoke zahteve korisnika kada je u pitanju kvalitet. Jedno potencijalno rešenje predstavlja kompresija bez gubitaka (engl. *lossless*). Međutim, iako kompresija bez gubitaka u potpunosti zadržava zahtevani kvalitet i potpuno očuvanje informacija, često ne zadovoljava potrebe za uštedom resursa, bilo u pogledu memorije, bilo u pogledu kapaciteta telekomunikacionih kanala [1]. Zato se u praktičnim sistemima češće koristi kompresija sa gubicima (engl. *lossy*). Neke od oblasti u kojima se primenjuje kompresija sa gubicima su daljinsko osmatranje [2], medicina [3], vojne primene [4], poljoprivreda i šumarstvo [5], itd.

Nedostatak kompresije sa gubicima je taj što se njenom primenom narušava kvalitet. Degradacije izazvane kompresijom mogu biti različitih nivoa i karakteristika, što zavisi od mnogo činilaca. Neki od činilaca su priroda i složenost slike koja se komprimuje [6], tip primenjene kompresije [7], prisustvo šuma [8], itd. Na kraju, potrebno je pronaći kompromis ostvarenog stepena kompresije i kvaliteta komprimovane slike. Traženi

kompromis, opet, u skladu sa navedenim, može zavisiti od korišćenog tipa kompresije, mere za objektivnu procenu kvaliteta slike, računarske složenosti, veličine slike koja se komprimuje, itd. Bez obzira na potencijalne primene, jedno moguće kompromisno rešenje je kompresija bez gubitaka vizuelnih informacija (engl. *visually lossless*).

Kompresija bez gubitaka vizuelnih informacija podrazumeva tip kompresije sa gubicima, gde se kompresija vrši do granice do koje čovečiji vizuelni sistem ne može da uoči degradacije izazvane kompresijom. Na taj način se dobija slika kod koje je postignut maksimalan stepen kompresije uz očuvanje vizuelnog kvaliteta. Ovako dobijena komprimovana slika, gde su razlike u odnosu na nekomprimovanu sliku jedva uočljive (engl. *Just Noticeable Difference*, JND), naziva se prva JND tačka (JND#1) [9].

Izbor koda koji će se koristiti za kompresiju zavisi od njegove efikasnosti. Efikasnost različitih koda može se uporediti na nekoliko načina. Jedan od načina je da se analiziraju memorijski resursi potrebni za čuvanje slike. Takva analiza se može izvršiti kroz broj bita potrebnih za reprezentaciju jednog piksela (engl. *bit per pixel*, bpp) ili kroz dostignut stepen kompresije (engl. *Compression Ratio*, CR) u odnosu na nekomprimovanu sliku. Performanse koda mogu se analizirati i fiksiranjem vrednosti objektivnog kvaliteta slike ili fiksiranjem vrednosti bpp. Nakon definisanja konstantne vrednosti objektivnog kvaliteta korišćenjem neke od metrika za objektivnu procenu kvaliteta slike, vrši se merenje vrednosti bpp za sve kodere koji se analiziraju. Koder sa najboljim performansama ostvario bi najmanju vrednost bpp. Slična je procedura i kada se definiše konstantna vrednost bpp nakon čega se porede vrednosti objektivnog kvaliteta slike dobijene korišćenjem različitih metoda kompresije. Najbolji koder bi trebao da pokaže najveću efikasnost u svim navedenim scenarijima.

U radu je izvršena analiza efikasnosti dva tipa kompresije, JPEG [10] i BPG [11]. Za potrebe analize korišćena je javno dostupna baza slika pod nazivom *Just Noticeable Difference – Multispectral Image Dataset – Military Academy* (JND-MID-MA) i tri metrike za objektivnu procenu kvaliteta slike. Analiza je izvršena kroz pristup fiksiranja vrednosti bpp i objektivnog kvaliteta. Kao referentne vrednosti, prema kojima su definisane konstantne vrednosti bpp i objektivnog kvaliteta, korišćene su subjektivno određene JND#1 koje su sastavni deo baze JND-MID-MA.

U radu je izvršena uporedna analiza efikasnosti JPEG i BPG tipova kompresije na slikama iz više modaliteta, od kojih su dva u vidljivom i jedan u infracrvenom delu elektromagnetnog spektra, sa aspekta kompresije bez gubitka vizuelnih informacija. Cilj je izabrati efikasniji tip kodovanja radi optimalne upotrebe telekomunikacionih kapaciteta i smanjenja vremena radio emisije što je od posebnog značaja u vojnim radio-komunikacijama.

Rad je organizovan po sledećem. Nakon uvoda, u drugom odeljku opisana je korišćena baza slika. U trećem odeljku izvršena je analiza efikasnosti dva metoda kompresije kroz dva različita scenarija. U četvrtom odeljku dati su najvažniji zaključci.

## 2. Opis korišćene baze slika

Za potrebe analize efikasnosti dva metoda kompresije korišćena je baza slika JND-MID-MA, čije je ime poteklo kao akronim oblasti istraživanja, tipova slika koje sadrži u sebi i institucije kreatora. Baza slika se sastoji od 35 izvornih slika u tri modaliteta, što zapravo čini ukupno 105 izvornih slika. Slike iz različitih modaliteta su prostorno usaglašene i prikazuju istu scenu. Dva modaliteta su u vidljivom delu

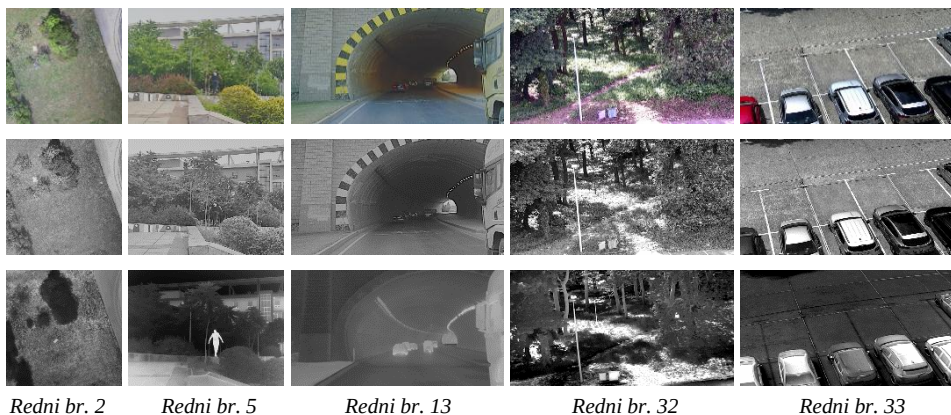
elektromagnetnog spektra, sa slikama u boji i njihovim monohromatskim verzijama. Jedan modalitet je u infracrvenom delu elektromagnetnog spektra, konkretnije u opsegu dugih talasnih dužina (engl. *Long-Wavelength InfraRed*, LWIR). Slike su različitih rezolucija.

Baza slika sadrži veliki broj komprimovanih slika. Za svaku od originalnih slika kreirano je 100 slika sa JPEG kompresijom i 52 slike sa BPG kompresijom, različitih vrednosti parametra koji kontroliše kompresiju. Ukupno je kreirano 10500 JPEG slika (po 3500 za svaki od modaliteta) i 5460 BPG slika (po 1820 slika za svaki od modaliteta).

Podaci o poziciji JND#1 su prikupljeni kroz subjektivne testove i ovi podaci su sastavni deo JND-MID-MA baze slika. U testovima je učestvovalo više od 150 ispitanika, od čega su većina bili laici (uglavnom studenti osnovnih akademskih studija na Vojnoj akademiji), ali je učestvovalo i 20 ispitanika sa visokim nivom znanja o obradi i kompresiji slike u vidljivom i infracrvenom spektru (nastavnici i studenti doktorskih akademskih studija na Vojnoj akademiji).

Kompletna baza slika je javno dostupna na *Mendeley Data* repozitorijumu kroz tri podskupa slika, JND-TV (slike u boji) [12], JND-GR (monohromatske slike) [13] i JND-IR (infracrvene slike) [14].

Na slici 1 prikazani su primeri originalnih slika iz korišćene baze u sva tri modaliteta. U prvom redu su slike u boji, u drugom monohromatske slike, dok su u trećem infracrvene slike. Prikazane slike su izabrane nasumično i dati su njihovi redni brojevi u bazi.



Slika 1. Primeri originalnih slika iz JND-MID-MA baze

Slika 2 ilustruje primer kompresije slike do praga jedva vidljivih degradacija, odnosno kompresije bez gubitaka vizuelnih informacija. Za primer je uzeta originalna slika pod rednim brojem 7 iz JND-MID-MA baze. Na slici 2a prikazana je ta slika na kojoj je označen region koji je uvećan i taj isečak je prikazan na slici 2b. Na slikama 2c i 2d prikazani su isečci istog regiona JPEG komprimovanih slika. Na slici 2c je prikazan isečak slike koja predstavlja JND#1 prema rezultatima subjektivnih testova, gde je za granicu određen faktor kvaliteta 48 (engl. *Quality Factor*, QF). Na slici 2d prikazan je isečak JPEG slike čiji je QF=10, kako bi se jasnije uočio blokovski efekat kao tipična

degradacija usled primene JPEG kompresije. Iz primera se uočava da je kod slike određene kao JND#1 jako teško uočiti degradacije u odnosu na originalnu sliku uprkos velikom uvećanju definisanog regiona, što ipak nije slučaj kod primera sa slike 2d, gde je kompresija izvršena ispod JND praga.



(a) originalna slika (broj 7 iz JND-MID-MA baze)



(b) isečak originalne slike



(c) JPEG slika za QF=48 (JND#1)



(d) JPEG slika za QF=10

Slika 2. Primer kompresije slike bez gubitaka vizuelnih informacija

### 3. Analiza efikasnosti metoda kompresije

Uporedna analiza efikasnosti JPEG i BPG tehnika kompresije izvršena je sa aspekta subjektivno određenih JND#1 na opisanoj JND-MID-MA bazi slika. Analiza je izvršena korišćenjem fiksnih vrednosti objektivnog kvaliteta i bpp. Objektivni kvalitet slike određen je korišćenjem tri metrike. Veliki broj metrika za objektivnu procenu kvaliteta koje postižu visok stepen slaganja sa subjektivno procenjenim kvalitetom, je predložen poslednjih godina. Korišćena je nezaobilazna i uprkos nedostacima najčešće korišćena metrika vršni odnos signal/šum (engl. *Peak Signal-to-Noise Ratio*, PSNR) [15]. Zatim, veoma često korišćena metrika zasnovana na strukturnoj sličnosti (engl. *Structural Similarity Index Metric*, SSIM) [16] i metrika *Two-step Quality Assessment* (2stepQA) [17] koja se pokazala pogodnom u primenama određivanja JND#1 [18].

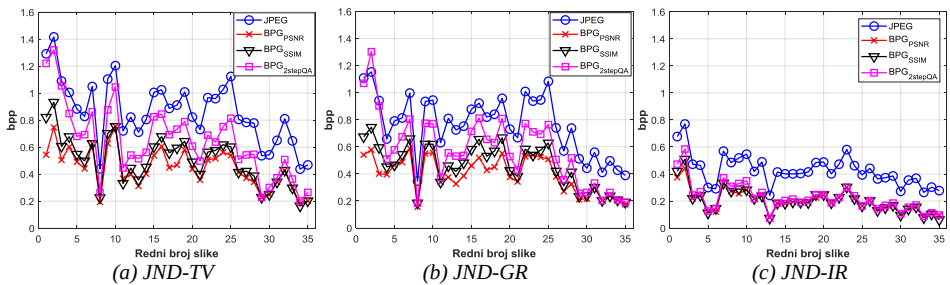
#### 3.1. Fiksna vrednost objektivnog kvaliteta

Prvi scenario, gde je fiksirana vrednost objektivnog kvaliteta i merena vrednost bpp, realizovan je kroz dva slučaja. U prvom slučaju su za određivanje referentne vrednosti objektivnog kvaliteta uzete JPEG JND#1 slike. Nakon što se odredi BPG slika sa najpribližnijim objektivnim kvalitetom (zbog konačnog broja nivoa kompresije prema



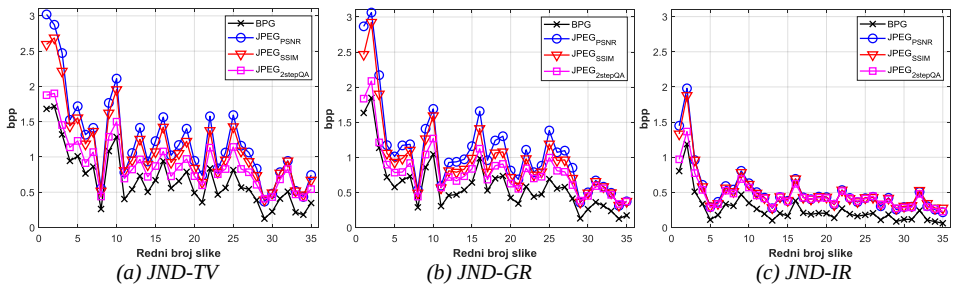
parametru koji kontroliše kompresiju), određena je njena vrednost bpp i upoređena sa JPEG bpp JND#1. Dobijeni rezultati prikazani su na slici 3.

Sa prikazanih grafika na slici 3, uočava se da je na sva tri podskupa slika BPG tip kompresije pokazao bolje performanse u odnosu na JPEG sa stanovišta bpp JND#1. Izuzetak se javlja kod samo jedne slike, i to slike pod rednim brojem 2 kod JND-GR podskupa slika, kada je primenjena 2stepQA metrika u analizi. Ono što se još može uočiti je da su vrednosti bpp za BPG slike dobijene korišćenjem metrike 2stepQA najbliže referentnim vrednostima JPEG bpp JND#1 kad se posmatraju JND-TV i JND-GR podskupovi slika. Takođe, ta razlika je najmanja za slike na rednim brojevima 1, 2 i 3 (gde se i pojavio izuzetak) koje predstavljaju snimak sa drona. Za druge dve metrike, ta razlika je izraženija u korist BPG kodera. Za podskup slika JND-IR, dobijene vrednosti bpp za BPG slike su kod sve tri testirane metrike veoma bliske i jasno je naglašena efikasnost BPG tipa kompresije u odnosu na JPEG za svih 35 slika iz LWIR opsega.



Slika 3. Vrednosti bpp za fiksne vrednosti objektivnog kvaliteta definisanog na osnovu JPEG JND#1 JND-MID-MA baze

U drugom slučaju, fiksirana je vrednost objektivnog kvaliteta prema BPG JND#1, a određivane vrednosti bpp za JPEG komprimovane slike. Dobijeni rezultati su prikazani na slici 4. I u ovom slučaju je BPG metoda kompresije pokazala veću efikasnost u odnosu na JPEG sa aspekta JND kompresije, na sva tri podskupa slika i za sve tri metrike za objektivnu procenu kvaliteta slike.



Slika 4. Vrednosti bpp za fiksne vrednosti objektivnog kvaliteta definisanog na osnovu BPG JND#1 JND-MID-MA baze

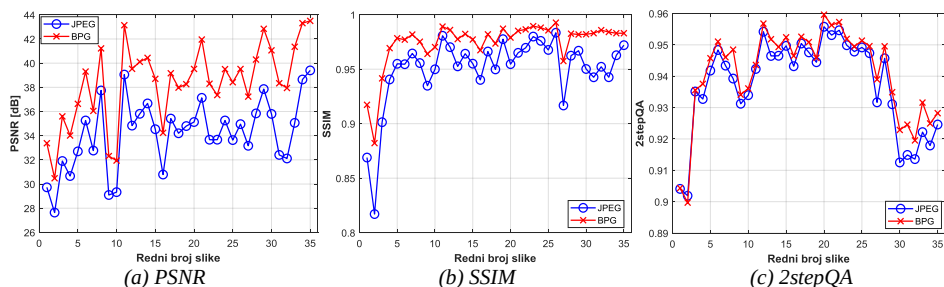
Sa slika 3 i 4 se vidi da je stepen kompresije, u skladu sa vrednostima bpp, u proseku za svaku od slika značajno viši kod slika iz IR opsega u odnosu na slike iz

vidljivog dela elektromagnetnog spektra. Razmatranjem samo bpp kao parametra za određivanje efikasnosti kodera, BPG koder u [19] nije postigao ovako dominantne rezultate u odnosu na JPEG (prema subjektivno određenim JND#1), kao što je u ovoj analizi.

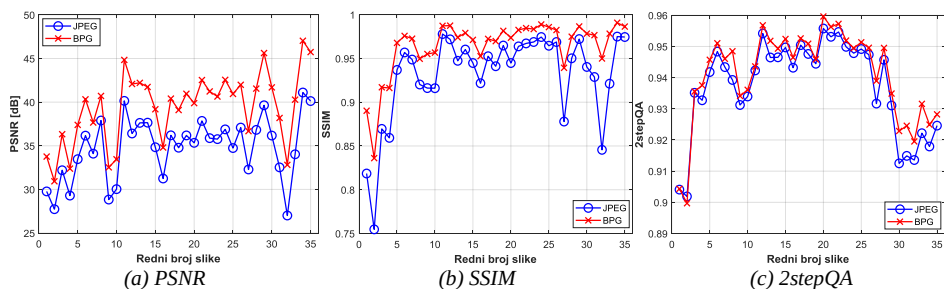
### 3.2. Fiksna vrednost broja bita po pikselu

Fiksiranjem bpp prema subjektivno određenim JND#1 uz izračunavanje objektivnog kvaliteta takvih slika, izvršena je još jedna uporedna analiza dva razmatrana metoda kompresije. Analiza je sprovedena na slikama iz JND-MID-MA baze slika u sva tri modaliteta, uz korišćenje tri metrike za procenu kvaliteta slike.

Na slikama 5-7 prikazani su rezultati dobijeni za slučaj kada je fiksirana vrednost bpp JPEG JND#1. I u ovom slučaju se odmah uočava da je efikasnost kompresije na strani BPG kodera. Prema PSNR i SSIM objektivnim metrikama, za sve slike u sva tri modaliteta, postignut je viši objektivni kvalitet kod BPG komprimovanih slika. Metrika 2stepQA je za svih 35 slika iz JND-IR podskupa slika dodelila bolji objektivni kvalitet za BPG komprimovane slike (slika 7c). Ipak, na druga dva podskupa slika iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra postoje određena odstupanja. Primenom metrike 2stepQA dobijen je viši objektivni kvalitet za JPEG slike, na rednim brojevima 2 i 3 na dva podskupa slika iz vidljivog dela spektra.

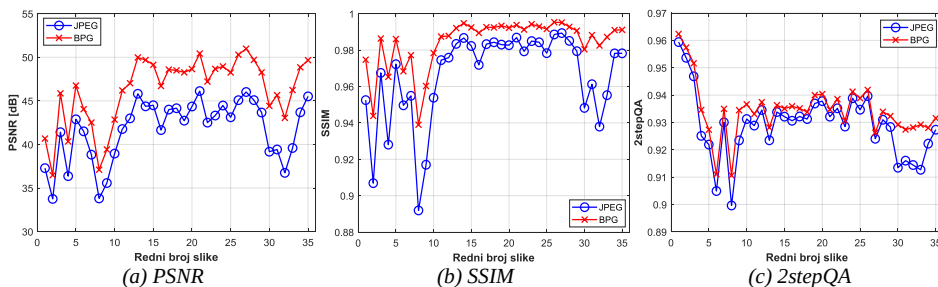


Slika 5. Vrednosti objektivnog kvaliteta za fiksne vrednosti bpp definisane na osnovu JPEG JND#1 kod JND-TV podskupa slika JND-MID-MA baze



Slika 6. Vrednosti objektivnog kvaliteta za fiksne vrednosti bpp definisane na osnovu JPEG JND#1 kod JND-GR podskupa slika JND-MID-MA baze

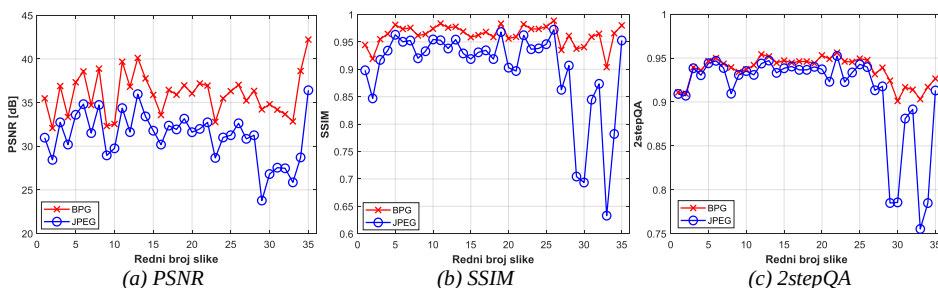
Sa slika 5-7 se može uočiti da je primenom 2stepQA objektivne metrike veoma blizak objektivni kvalitet JPEG i BPG slika, što je izraženije na podskupovima slika iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra. Najveća razlika u objektivnom kvalitetu slika iz JND-IR podskupa, prema 2stepQA metrici, dobijena je za slike pod rednim brojevima 30-33, koje su veće rezolucije u odnosu na ostale slike iz baze.



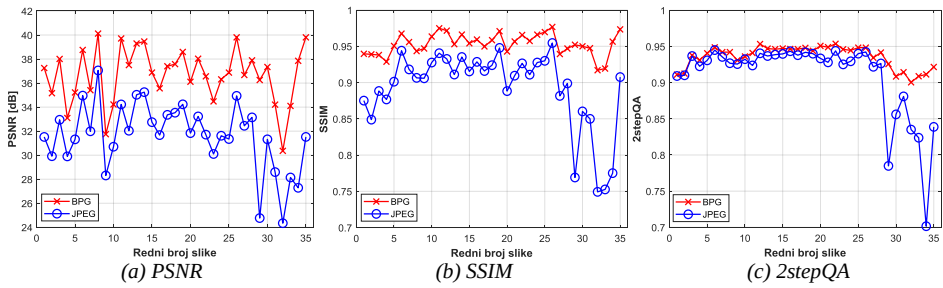
Slika 7. Vrednosti objektivnog kvaliteta za fiksne vrednosti bpp definisane na osnovu JPEG JND#1 kod JND-IR podskupa slika JND-MID-MA baze

Na slikama 8-10, prikazane su objektivne vrednosti kvaliteta komprimovanih slika za dva razmatrana kodera, za slučaj kada je fiksirana vrednost bpp određena na osnovu subjektivno određenih BPG JND#1. Sa prikazanih slika se može uočiti da je BPG metod kompresije efikasniji u odnosu na JPEG. Na svim slikama, kod sva tri modaliteta iz JND-MID-MA baze i kod sve tri objektivne metrike za procenu kvaliteta slike, bolji objektivni kvalitet dobijen je kod slika sa BPG kompresijom.

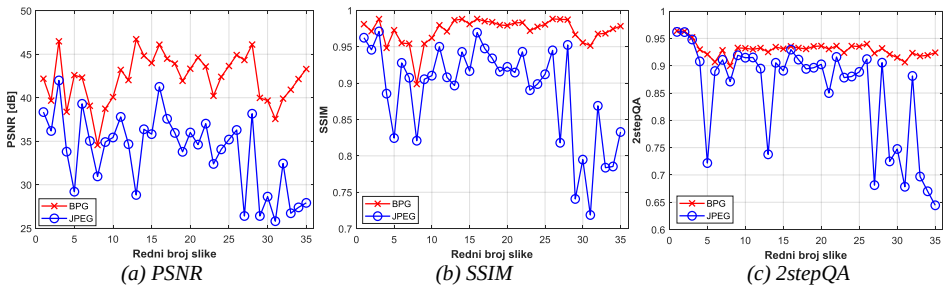
I ovde se mogu izdvojiti određene karakteristike, slične kao kod prethodnih analiza. Metrika 2stepQA ima najbliže objektivne vrednosti kvaliteta komprimovanih slika različitim metodama kompresije, dok u manjoj meri, za deo slika, to važi i za SSIM metriku. Takođe, najveća razlika između objektivnog kvaliteta dva metoda komprimovanih slika dobijena je na delu slika koje imaju najveću rezoluciju (slike sa rednim brojevima 30-33) za sve tri korišćene metrike, uz nešto veću izraženost kod 2stepQA i SSIM.



Slika 8. Vrednosti objektivnog kvaliteta za fiksne vrednosti bpp definisane na osnovu BPG JND#1 kod JND-TV podskupa slika JND-MID-MA baze



Slika 9. Vrednosti objektivnog kvaliteta za fiksne vrednosti bpp definisane na osnovu BPG JND#1 kod JND-GR podskupa slika JND-MID-MA baze



Slika 10. Vrednosti objektivnog kvaliteta za fiksne vrednosti bpp definisane na osnovu BPG JND#1 kod JND-IR podskupa slika JND-MID-MA baze

#### 4. Zaključak

U radu je izvršena detaljna analiza dva metoda kompresije fiksiranjem vrednosti broja bita za reprezentaciju jednog piksela i objektivnog kvaliteta slike gde su za referentne vrednosti uzete vrednosti praga jedva uočljivih degradacija. Za potrebe analize korišćena je baza slika JND-MID-MA koja u sebi sadrži rezultate subjektivno određenih pozicija JND#1. Takođe, navedena baza omogućila je analizu u višespektralnom okruženju.

Kroz analizu u dva različita scenarija, izvršeno je poređenje između JPEG i BPG metoda kompresije. Za potrebe uporedne analize korišćene su tri objektivne metode procene kvaliteta slike. Kod oba scenarija, u četiri različita slučaja, i za sve tri korišćene metrike za objektivnu procenu kvaliteta slike, analizirajući sva tri modaliteta, BPG kompresija se pokazala kao efikasnija u odnosu na JPEG, sa nekoliko sporadičnih izuzetaka.

Realizacija ove analize je proizašla iz potrebe za što efikasnijim korišćenjem telekomunikacionih kanala malog kapaciteta, karakterističnih za vojne taktičke radio-komunikacije. Pored brzog i efikasnog prenosa informacija, a zbog potencijalnog lociranja izvora zračenja, neophodno je skratiti i trajanje radio emisije. Pored svega navedenog, od vitalnog je značaja kvalitetan prenos bitnih informacija radi donošenja ispravne odluke u realnom vremenu. Kompresijom bez gubitaka vizuelnih informacija postiže se očuvanje informacija, a izborom adekvatnog kodera smanjuje se vreme emisije i postiže optimalno korišćenje telekomunikacionih kapaciteta.

U daljem radu planirano je proširenje analize korišćenjem drugih koderi za kompresiju slike. Akcenat bi bio na često korišćenim i računski efikasnim koderima. Takođe je planirana i praktična upotreba kroz realan prenos radio putem.

## Literatura

- [1] A. Altamimi and B. Ben Youssef, "Lossless and near-lossless compression algorithms for remotely sensed hyperspectral images." *Entropy*, vol. 26, no. 4, 316, 2024, doi: 10.3390/e26040316
- [2] J. Wei, L. Mi, Y. Hu, J. Ling, Y. Li and Z. Chen, "Effects of lossy compression on remote sensing image classification based on convolutional sparse coding." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 19, 8005605, 2021, doi: 10.1109/LGRS.2020.3047789
- [3] G. Dougherty, "Digital image processing for medical applications." Cambridge: Cambridge University Press, 2009, doi: 10.1017/cbo9780511609657
- [4] S. Doss, S. Pal, D. Akila, S. Jeyalakshmi, T. N. Jabeen and G. Suseendran, "Satellite image remote sensing for identifying aircraft using SPIHT and NSCT." *Journal of Critical Reviews*, vol. 7, no. 5, pp. 631-634, 2020, doi: 10.31838/jcr.07.05.130
- [5] M. Radosavljević, B. Brkljač, P. Lugonja, V. Crnojević, Ž. Trpovski, Z. Xiong and D. Vukobratović, "Lossy compression of multispectral satellite images with application to crop thematic mapping: A HEVC comparative study." *Remote Sensing*, vol. 12, no. 10, 1590, 2020, doi: 10.3390/rs12101590
- [6] S. Krivenko, O. Krylova, E. Bataeva and V. Lukin, "Smart lossy compression of images based on distortion prediction." *Telecommunications and Radio Engineering*, vol. 77, no. 17, 2018, doi: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i17.40
- [7] B. Bondžulić, N. Stojanović, V. Lukin and S. Kryvenko, "JPEG and BPG visually lossless image compression via KonJND-1k database." *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, vol. 72, no. 3, pp. 1214-1241, 2024, doi: 10.5937/vojtehg72-50300
- [8] S. Kryvenko, V. Lukin, B. Bondžulić and N. Stojanović, "Compression of noisy grayscale images with compression ratio analysis." *Advanced Information Systems*, vol. 9, no. 2, pp. 68-74, 2025, doi: 10.20998/2522-9052.2025.2.09
- [9] B. Bondžulić, B. Pavlović, N. Stojanović and V. Petrović, "Picture-wise just noticeable difference model for JPEG image quality assessment." *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, vol. 70, no. 1, pp. 62-86, 2022, doi: 10.5937/vojtehg70-34739
- [10] G. K. Wallace, "The JPEG still picture compression standard." *Communications of the ACM*, vol. 34, no. 4, pp. 30-44, 1991, doi: 10.1109/30.125072
- [11] <https://bellard.org/bpg/> (05.10.2025.)
- [12] N. Stojanović and B. Bondžulić, "JND-TV image dataset." Mendeley Data, V1, 2024, doi: 10.17632/537w5jhb7s.1
- [13] N. Stojanović and B. Bondžulić, "JND-GR image dataset." Mendeley Data, V1, 2024, doi: 10.17632/vzzgr62brk.1
- [14] N. Stojanović and B. Bondžulić, "JND-IR image dataset." Mendeley Data, V1, 2024, doi: 10.17632/x79wx5fz6b.1

- [15] Z. Wang and A. C. Bovik, "Mean squared error: Love it or leave it? A new look at signal fidelity measures." *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 1, pp. 98-117, 2009, doi: 10.1109/MSP.2008.930649
- [16] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: From error visibility to structural similarity." *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, 2004, doi: 10.1109/TIP.2003.819861
- [17] X. Yu, C. G. Bampis, P. Gupta and A. C. Bovik, "Predicting the quality of images compressed after distortion in two steps." *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 28, no. 12, pp. 5757-5770, 2019, doi: 10.1109/TIP.2019.2922850
- [18] B. Bondžulić, N. Stojanović, V. Lukin and S. Kryvenko, "Visually lossless image compression: From JPEG to BPG and vice versa." *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 32, pp. 2942-2946, 2025, doi: 10.1109/LSP.2025.3587601
- [19] N. Stojanović, B. Bondžulić, B. Pavlović, "Detekcija jedva uočljivih razlika na slikama sa kompresijom u infracrvenom delu elektromagnetnog spektra." *XLII Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju, PosTel 2024*, Zbornik radova, pp. 175-184, Beograd, Serbia, 26.-27.11.2024, doi: 10.37528/FTTE/9788673954899/POSTEL.2024.18

**Abstract:** A comparative analysis of JPEG and BPG image compression methods was performed in the case where degradation due to the applied compression is not perceivable. For the purposes of the analysis, a publicly available image dataset was used. This dataset contains data on a compressed image determined to represent the threshold up to which the human visual system cannot perceive compression-induced degradation. The used dataset consists of 35 original images in three different modalities, two of which are from the visible part of the electromagnetic spectrum and one from the infrared. The images from these modalities depict the same scene and are spatially aligned. The comparison was conducted through two scenarios: by fixing the value of the objective quality and by fixing the number of bits required to represent one pixel. It was demonstrated that the BPG compression type is more efficient than JPEG in both considered scenarios from the standpoint of compression without perceptible losses in all three image modalities.

**Keywords:** Just Noticeable Difference (JND), image compression, JPEG, BPG

## JPEG AND BPG VISUALLY LOSSLESS IMAGE COMPRESSION EFFICIENCY ANALYSIS

Nenad Stojanović, Boban Bondžulić, Boban Pavlović

## **PERFORMANSE STRIMINGA VIDEO SAOBRAĆAJA PREKO DASH.JS PROTOKOLA**

Aleksandar Luković, Bojan Bakmaz, Andreja Samčović  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,  
a.lukovic@sf.bg.ac.rs, b.bakmaz@sf.bg.ac.rs, andrej@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Striming video saobraćaja osetljiv je na kašnjenje, džiter, gubitak paketa i promene raspoloživog kapaciteta (opsega). U ovom radu predstavljena je platforma zasnovana na DASH.js protokolu, JavaScript i veb tehnologijama, koja u realnom vremenu meri ključne performanse reprodukcije: nivo bafera, protok, vreme reprodukcije, broj odbačenih frejmova i dužinu prenetih segmenata. Kao indikator dugoročnih zavisnosti saobraćaja uvodi se Hurst-ov parametar i određuju se njegove trenutne i srednje vrednosti. Prikazani su eksperimentalni rezultati pri različitim mrežnim uslovima (ograničenje protoka, džiter i gubici), kao i korelacija Hurst-ovog parametra sa robusnošću striminga. Na kraju, u radu se rezultati porede sa rešenjima iz dostupne literature radi evaluacije i testiranja predložene veb aplikacije.*

**Ključne reči:** *DASH.js, Hurst-ov parametar, JavaScript, multimedijalni saobraćaj, video striming.*

### **1. Uvod**

Striming video saobraćaja predstavlja dominantan oblik internet saobraćaja i ključnu komponentu multimedijalnih sistema. Savremene mreže su promenljive, sa varijabilnim protokom, džiterom i gubicima paketa, što utiče na kvalitet korisničkog iskustva (QoE, *Quality of Experience*).

Jedan od adaptivnih protokola koji dinamički menja kvalitet video sadržaja u zavisnosti od raspoloživog protoka (*throughput*) i nivoa bafera je DASH (*Dynamic Adaptive Streaming over HTTP*). Performanse striminga zavise od sposobnosti sistema da zadrži stabilan bafer, minimizira rebafering i osigura kontinualnu reprodukciju. U ovom radu predstavljena je aplikacija kreirana primenom programskog jezika *JavaScript*, veb tehnologija, DASH.js i Chart.js biblioteka, koja u realnom vremenu meri ključne parametre performansi: nivo bafera, protok, vreme reprodukcije, broj odbačenih frejmova i dužinu paketa.

Kao dodatna metrika uvodi se *Hurst-ov parametar ( $H$ )*, koji predstavlja meru dugoročne zavisnosti u mrežnom saobraćaju i može ukazati na stabilnost i predvidljivost toka podataka [1]. Struktura rada obuhvata pregled postojećih rešenja, metodologiju, eksperimentalne rezultate i poređenje sa aktuelnim pristupima. Na kraju, ukazano je na moguće pravce daljih istraživanja i izvedeni su odgovarajući zaključci.

## 2. Pregled postojećih rešenja

Brojna istraživanja bave se analizom performansi DASH protokola i njegovih adaptivnih algoritama. Autori u [2] analiziraju performanse DASH striminga sa stanovišta krajnjih korisnika, koristeći merenja sa različitih realnih mrežnih interfejsa primenom alata *Neubot*. Analiza uticaja vremenski promenljivih mrežnih uslova na adaptivni bitski protok (*bitrate*) i nivo bafera korišćenjem NS-3 simulatora sprovedena je u [3]. TFDASH (*Throughput-Friendly DASH*), algoritam koji kombinuje efikasnost, stabilnost i "ravnopravnost" raspodele resursa između više klijenata predložen je u radu [4]. Od značaja su i modeli za praćenje kvaliteta u realnom vremenu tokom DASH striminga u mobilnim mrežama [5]. Istaknuti primeri radova, koji se bave evaluacijom performansi različitih verzija DASH.js plejera u promenljivim mrežnim scenarijima su [6] i [7], dok je sveobuhvatan pregled savremenih izazova HTTP adaptivnog striminga i novih pristupa smanjenju kašnjenja prikazan u [8].

Većina navedenih radova fokusira se na merenje osnovnih metrika, kao što su protok, nivo bafera i QoE parametri, dok je ideja ovog rada uvođenje *Hurst*-ovog parametra kao statističkog indikatora samosličnosti i dugoročnih zavisnosti u video saobraćaju. Na ovaj način se omogućava analiza korelacija saobraćaja sa samim sobom (*self-similarity*), što pruža bolji uvid u stabilnost i predvidivost striminga, naročito u uslovima varijabilne propusnosti, kašnjenja i džitera.

## 3. Metodologija i arhitektura veb aplikacije

Razvijena veb aplikacija zasniva se na bibliotekama DASH.js za primenu funkcionalnosti DASH protokola i Chart.js za vizuelni prikaz performansi u vidu grafika, sa implementacijom u *JavaScript* jeziku.

DASH.js modul preuzima video segmente prema MPD (*Media Presentation Description*) manifestu i omogućava pristup metrikama u realnom vremenu pomoću naredbe `player.getDashMetrics()` [9]. Veb aplikacija omogućava praćenje performansi u realnom vremenu preko sledećih metrika:

- Nivo bafera (*buffer level*) – odnosi se na količinu preuzetog, ali nereprodukovanog sadržaja u sekundama.
- Protok (*throughput*) – računa se kao količina preuzetih okteta u okviru trajanja segmenta.
- Vreme reprodukcije (*playback time*) – trenutna pozicija video plejera.
- Odbačeni frejmovi (*dropped frames*) – broj neisporučenih video frejmova zbog zagušenja ili hardverskog opterećenja.
- Dužina paketa (*packet length*) – dužina prenetih DASH paketa (segmenta) u oktetima.
- *Hurst*-ov parametar (*H*) – izračunava se preko *R/S* statistike (*Rescaled Adjusted Range*) na osnovu relacije

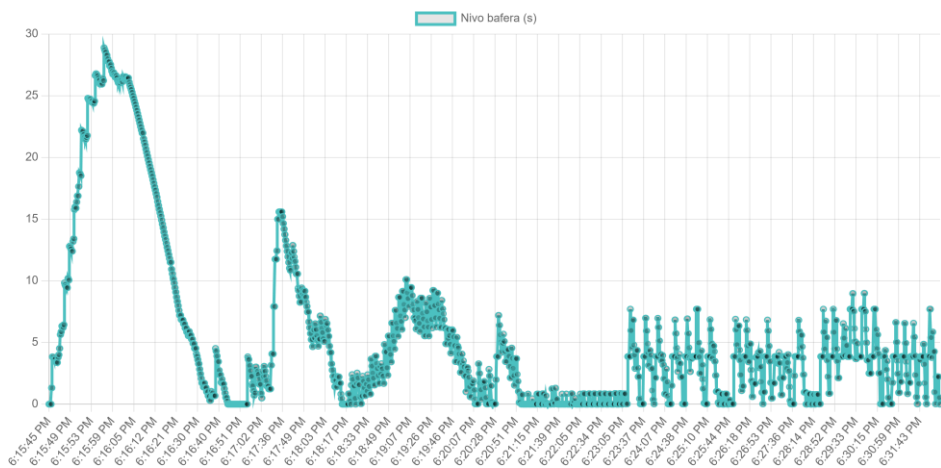
$$E\left[\frac{R(n)}{S(n)}\right] = Cn^H, \quad (1)$$

za vremensku seriju  $X_t$  ( $t = 1, \dots, n$ ), sa srednjom vrednošću uzorka  $X(n)$ , standardnom devijacijom  $S(n)$  i opsegom kumulativnih devijacija određenog relacijom



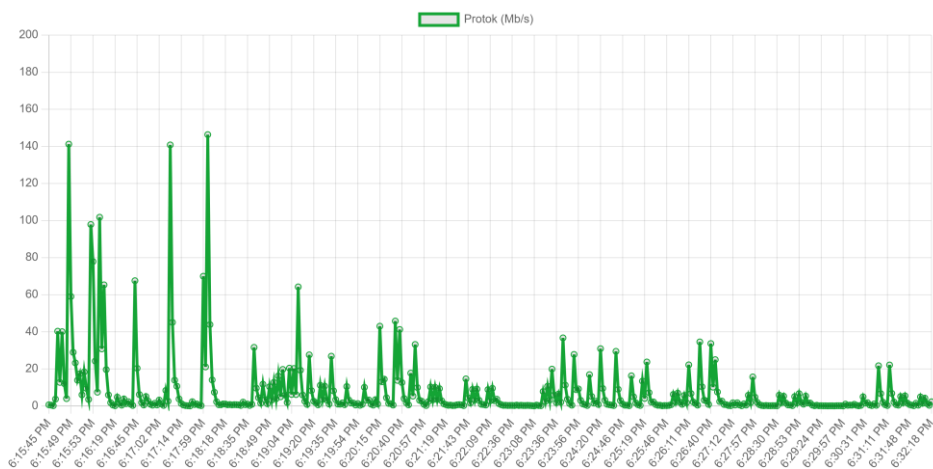


Pored prikaza numeričkih vrednosti posmatranih metrika, aplikacija obezbeđuje i grafičku prezentaciju rezultata merenja. Vrednosti nivoa bafera izraženog u sekundama prikazane su na slici 3. Nivo bafera je krucijalna metrika koja ukazuje na kvalitet video striminga sa adaptivnim protokom. Za brže konekcije i veći bitski protok, nivo bafera raste, dok prilikom usporavanja konekcije, tj. u slučaju nižeg bitskog protoka nivo bafera opada. Adekvatan nivo bafera obezbeđuje neprekidnost reprodukcije prilagođavajući kvalitet video striminga dinamičnim mrežnim performansama. Pikovi koji se mogu uočiti odražavaju "praskavu" (*bursty*) prirodu saobraćaja, koja je u skladu sa teorijskim pretpostavkama.



Slika 3. Nivo bafera tokom reprodukcije

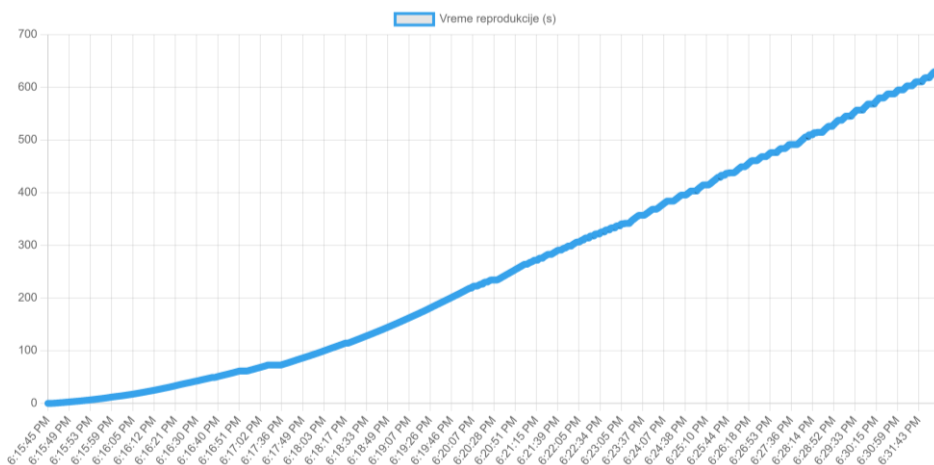
Varijabilnost protoka prikazana je na slici 4. Najveća vrednost protoka je na početku reprodukcije, a takođe se pojavljuju pikovi u toku reprodukcije sa uočljivim opadajućim trendom.



Slika 4. Varijacije protoka tokom reprodukcije

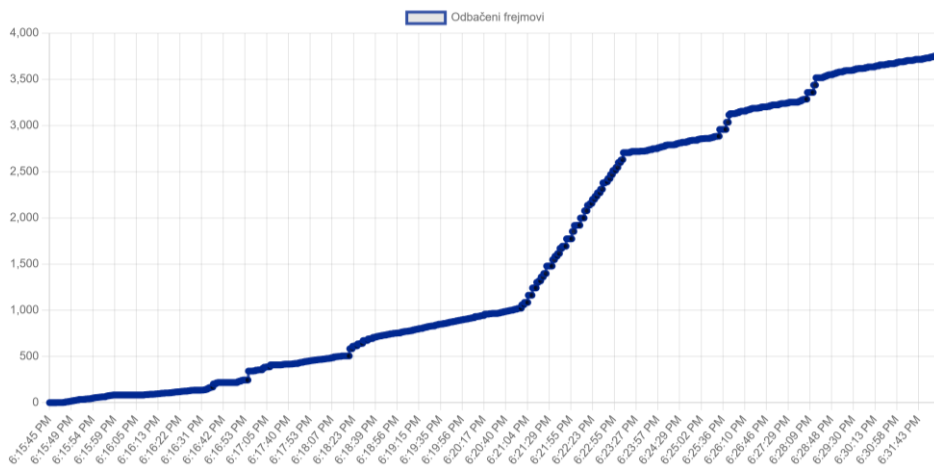
Protok pri preuzimanju određenog segmenta uslovljava bitsku brzinu sledećeg segmenta (*Throughput Rule*) [10]. Unapređenje adaptivnih algoritama bazirano na praćenju protoka i bafera čest je izazov za istraživače u ovoj oblasti [11].

Grafička interpretacija vremena reprodukcije prikazana je na slici 5. Vreme reprodukcije na grafiku raste ukoliko se video učitava neometano, usled stabilnosti konekcije. U slučaju nestabilne konekcije, nivo bafera se smanjuje i tada se na grafiku vremena reprodukcije mogu uočiti manja odstupanja. Ukoliko se bafer isprazni, reprodukcija se zaustavlja i dolazi do rebaferinga.



Slika 5. Reprodukcijska vremena tokom vremena

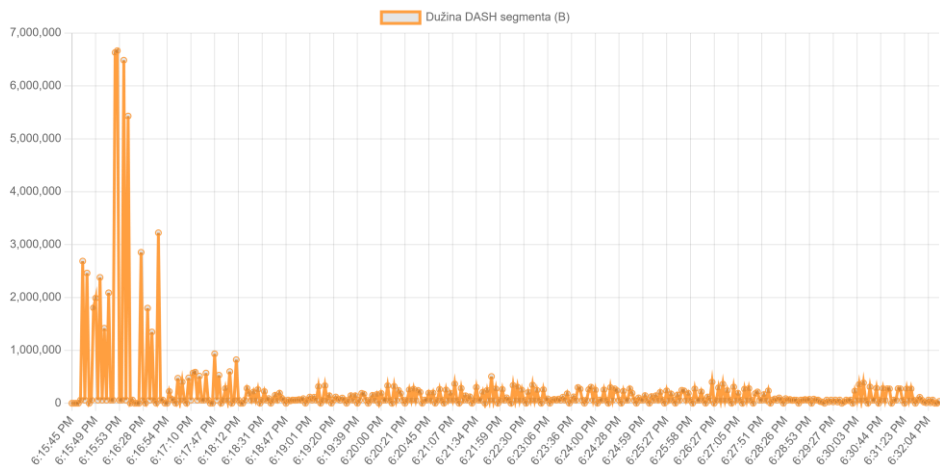
Broj odbačenih frejmova povećava se tokom reprodukcije, kao što se može uočiti na slici 6. Frejm se tretira kao odbačen u slučaju kada nije isporučen ili prikazan u toku reprodukcije videa.



Slika 6. Odbačeni frejmovi tokom reprodukcije

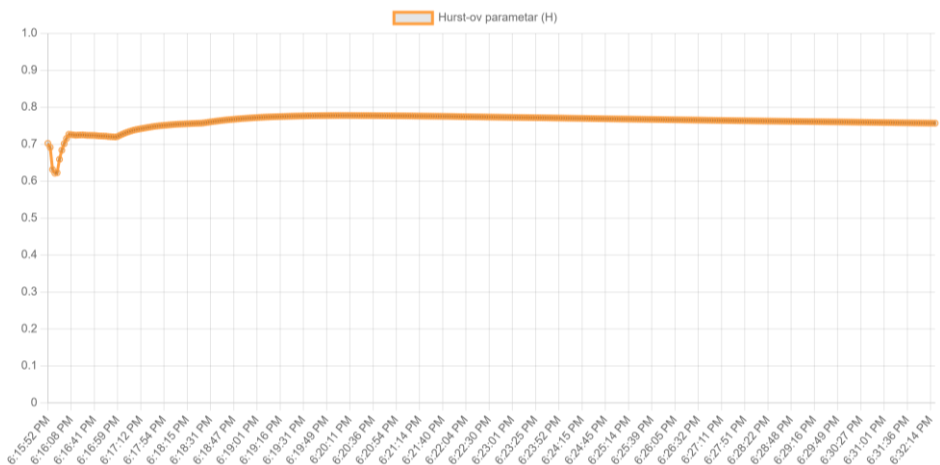
Veći broj odbačenih frejmova može prouzrokovati degradaciju QoE. Od značaja je praćenje odnosa broja odbačenih i ukupnog broja frejmova, na osnovu koga se može prilagoditi striming.

Vizuelni prikaz dužine DASH paketa (segmenta) od početka do kraja reprodukcije video sadržaja prikazan je na slici 7. Nakon početnih većih dužina paketa, one se redukuju procesom segmentacije, nakon čega njihova dužina ne prelazi 500 kB. Dužina DASH paketa je od značaja za proračun *Hurst-ovog* parametra.



Slika 7. Dužina DASH paketa (segmenta) tokom reprodukcije

Vrednosti *Hurst-ovog* parametra tokom trajanja reprodukcije prikazane su na slici 8. U ovom slučaju, niz vrednosti dužine DASH segmenata podeljen je u manje vremenske prozore radi izračunavanja parcijalnih vrednosti *Hurst-ovog* parametra za svaku sekvencu.



Slika 8. Hurst-ov parametar tokom reprodukcije

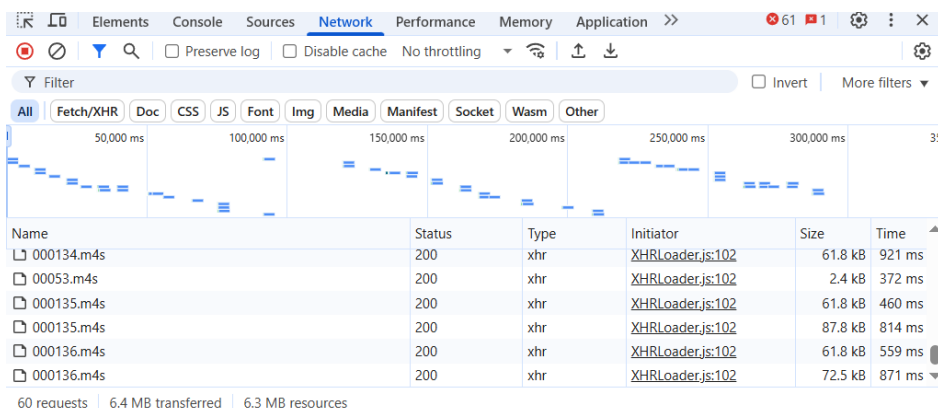
Na kraju izvršavanja programa prikazuje se srednja vrednost *Hurst*-ovog parametra, dobijena usrednjavanjem svih prethodno izračunatih vrednosti, koja predstavlja globalni pokazatelj samosličnosti i stabilnosti toka video saobraćaja. Usrednjavanje vrednosti parametra omogućava eliminaciju kratkoročnih fluktuacija izazvanih promenom dužine DASH segmenata, trenutnim mrežnim oscilacijama ili adaptivnim strimingom. Na taj način dobijena srednja vrednost parametra odražava dugoročnu strukturu korelacija u saobraćajnim tokovima, što omogućava pouzdaniju procenu stabilnosti i predvidivosti video striminga u celini.

## 5. Eksperimentalno okruženje i rezultati merenja performansi

Kreirana aplikacija je testirana u veb pregledaču *Yandex* na operativnom sistemu *Windows 10 Pro*. Korišćene su biblioteke *DASH.js* 4.7.4 i *Chart.js* 4.5.1, a testirani su sledeći MPD manifesti:

- 1) Video 1 - [https://rdmedia.bbc.co.uk/elephants\\_dream/1/client\\_manifest-all.mpd](https://rdmedia.bbc.co.uk/elephants_dream/1/client_manifest-all.mpd)
- 2) Video 2 - [https://dash.akamaized.net/akamai/streamroot/050714/Spring\\_4Ktest.mpd](https://dash.akamaized.net/akamai/streamroot/050714/Spring_4Ktest.mpd)
- 3) Video 3- [https://dash.akamaized.net/akamai/bbb\\_30fps/bbb\\_30fps.mpd](https://dash.akamaized.net/akamai/bbb_30fps/bbb_30fps.mpd)

Mrežne performanse su merene i preko *Yandex DevTools* – *Network* (slika 9). Pored njih, u konzoli veb pregledača se prikazuju metrike iz veb aplikacije odabirom tastera *Ctrl* + *Shift* + *I*. Sve metrike beležene su automatski u intervalima od 1 s i prikazane su na grafikonima u realnom vremenu.



Slika 9. Merenje mrežnih performansi preko *Yandex DevTools*

Video striming preko *DASH.js* protokola može se odvijati u manuelnom i adaptivnom režimu. Za manuelni režim, u kodu aplikacije se unapred definiše početni kvalitet video zapisa i može se ograničiti bitski protok. U adaptivnom režimu (*ABR* – *Adaptive Bitrate Streaming*), *DASH.js* automatski podešava kvalitet video sadržaja na osnovu trenutnih mrežnih uslova, nivoa bafera i raspoloživog protoka. Rezultati merenja *Hurst*-ovog parametra preko veb aplikacije za tri videa (MPD manifesta) bez adaptacije i sa adaptacijom protoka prikazani su u tabeli 1. Dobijene vrednosti *Hurst*-ovog parametra

predstavljaju meru samosličnosti i stabilnosti saobraćajnog toka u procesu video striminga.

*Tabela 1. Performanse striminga video saobraćaja*

| Naziv   | Dužina reprodukcije video sadržaja | Srednja vrednost $H$ bez ABR | Srednja vrednost $H$ sa ABR |
|---------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Video 1 | 10 min 31 s                        | 0,6723                       | 0,7610                      |
| Video 2 | 2 min 45 s                         | 0,5734                       | 0,6976                      |
| Video 3 | 10 min 34 s                        | 0,5121                       | 0,8084                      |

Za slučaj koji tretira reprodukciju videa bez adaptacije protoka, unapred su definisana kvantitativna svojstva video striminga, sa rezolucijom od 240p i ograničenjem bitskog protoka na 800 kb/s, što je približno 480p.

Video 1 pokazuje izraženu samosličnost sa  $H = 0,6723$ , tj. dugoročne korelacije u protoku segmenata, što ukazuje na stabilan striming sa ujednačenim protokom i manjim oscilacijama u baferu. Kada je mrežna konekcija stabilna, *Hurst*-ov parametar dostiže vrednosti između 0,7 i 0,8, što ukazuje na predvidiv tok podataka.

Kod Video 2 srednja vrednost  $H = 0,5734$  ukazuje na umerenu samosličnost i moguću pojavu kratkotrajnih oscilacija protoka, usled adaptacije segmenata ili promene kvaliteta.

Video 3 pokazuje najnižu srednju vrednost  $H = 0,5121$ , blisku stohastičkom ponašanju ( $H \sim 0,5$ ), što ukazuje na nestabilan tok podataka, česte promene dužine segmenata i izražene oscilacije bafera. Bafer pokazuje oscilacije u zavisnosti od mrežnih uslova, dok protok varira proporcionalno dužini segmenta i raspoloživom kapacitetu. Pri smanjenju kapaciteta (opsega, *bandwidth*), broj odbačenih frejmova raste, što rezultira smanjenjem *Hurst*-ovog parametra ( $H \rightarrow 0,5$ ), što ukazuje na nestabilnost i slabu autokorelaciju.

U adaptivnom režimu, kod svih video sadržaja zabeleženo je povećanje *Hurst*-ovog parametra, što ukazuje na stabilniji i samosličniji tok saobraćaja. ABR mehanizam omogućio je plejeru da automatski prilagođava kvalitet videa, čime se smanjuju oscilacije u baferu i varijacije protoka. Reprodukcijski video se odvijala bez prekida, a vremenska funkcija reprodukcije pokazuje veću glatkoću i manju varijabilnost u odnosu na prvi scenario. Vrednosti *Hurst*-ovog parametra iznad 0,7 ukazuju na visok stepen autokorelacije i stabilan striming.

## 6. Poređenje sa postojećim rešenjima

Postojeća rešenja, poput DASH-IF *Reference Player* obezbeđuju osnovne funkcionalnosti za merenje metrika kao što su protok, rezolucija i nivo bafera [12], ali ne obuhvataju analizu statističkih pokazatelja mrežne stabilnosti i *Hurst*-ovog parametra. Postoje i komercijalna rešenja, poput *Bitmovin Analytics* platforme, koja omogućava detaljno praćenje QoE metrika [13].

U poređenju sa ovim rešenjima, razvijena veb aplikacija zasnovana na DASH.js protokolu, meri i prikazuje u realnom vremenu ključne parametre performansi (nivo bafera, protok, odbačene frejmove, vreme reprodukcije, dužinu segmenata), uz

izračunavanje *Hurst*-ovog parametra, kao pokazatelja zavisnosti u dugom opsegu. Time se ostvaruje proširenje postojećih pristupa i obezbeđuje jednostavan, efikasan i transparentan način za eksperimentalno merenje performansi video striminga preko veb interfejsa, bez potrebe za dodatnom mrežnom infrastrukturom.

Rezultati eksperimentalnog merenja su u skladu sa rezultatima prethodnih studija [2]-[8], što potvrđuje validnost predloženog rešenja i njegovu primenljivost u analizi performansi adaptivnog video striminga.

## 7. Zaključak

U radu je predstavljena aplikacija za merenje performansi video striminga zasnovana na DASH.js protokolu, *JavaScript* i veb tehnologijama. Aplikacija meri nivo bafera, protok, vreme reprodukcije, broj odbačenih frejmova, dužinu DASH segmenata i *Hurst*-ov parametar. Rezultati pokazuju usku korelaciju ovog parametra sa stabilnošću i robusnošću striminga.

Predloženo rešenje omogućava praćenje performansi u realnom vremenu i može se koristiti za dalja istraživanja i edukaciju. Jedna od ideja za budući rad obuhvata uvođenje dodatnih QoE metrika, adaptivnih algoritama i integraciju sa uređajima interneta stvari (IoT, *Internet of Things*) za multimedijalni striming.

## Literatura

- [1] B. Bakmaz, *Kvalitet servisa u heterogenim bežičnim mrežama*, Zadužbina Andrejević, 2008.
- [2] S. Basso et al., "Measuring DASH streaming performance from the end users perspective using Neubot", *Proc. ACM MMSys*, Singapore, Mar. 2014, pp. 1-6, DOI: 10.1145/2557642.2563671.
- [3] A. Abdelsalam et al., "Analysis of DASH performance over time-varying end-to-end links", *Computers & Electrical Engineering*, vol. 84, June 2020, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106623>.
- [4] C. Zhou et al., "TFDASH: A fairness, stability, and efficiency aware rate control approach for multiple clients over DASH", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 29, no. 1, Jan. 2019, pp. 198-211, DOI: 10.1109/TCSVT.2017.2771246.
- [5] S. K. Mehr, P. Jogalekar, D. Medhi, "Moving QoE for monitoring DASH video streaming: Models and a study of multiple mobile clients", *Journal of Internet Services and Applications*, vol. 12, no. 1, Apr. 2021, pp. 1-26, DOI: 10.1186/s13174-021-00133-y.
- [6] P. O'Hanlon, A. Aslam, "Latency target based analysis of the DASH.js player", *Proc. ACM MMSys*, Vancouver, BC, Canada, June 2023, pp. 153-160, DOI: 10.1145/3587819.359097.
- [7] M. Crone, J. Henschel, "An analysis of adaptive video streaming with DASH", [Online]. Available at: <https://maxcrone.org/assets/docs/2019-adaptive-streaming-analysis.pdf>.
- [8] C. Timmerer, et al., "HTTP adaptive streaming: A review on current advances and future challenges", *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications*, vol. 21, no. 7, July 2025, pp. 1-27, DOI: 10.1145/3736306.

- [9] DASH Industry Forum, "DashMetrics - API Documentation", *dash.js Documentation* [Online], Available at: <https://cdn.dashjs.org/latest/jsdoc/module-DashMetrics.html>.
- [10] DASH Industry Forum, "ThroughputRule", *dash.js Documentation* [Online], Available at: <https://dashif.org/dash.js/pages/usage/abr/throughput-rule.html>
- [11] A. Yaqoob, T. Bi, G. -M. Muntean, "A DASH-based efficient throughput and buffer occupancy-based adaptation algorithm for smooth multimedia streaming", *Proc. 15th IWCMC*, Tangier, Morocco, June 2019, pp. 643-649, DOI: 10.1109/IWCMC.2019.8766648.
- [12] DASH Industry Forum, "DASH-IF Reference Player", *dash.js Documentation* [Online], Available at: <https://reference.dashif.org/dash.js/index.html>.
- [13] Bitmovin GmbH, *Real-Time Observability for Video Streaming*, Bitmovin Documentation [Online]. Available at: <https://bitmovin.com/video-analytics>.

**Abstract:** *Video streaming is sensitive to latency, jitter, packet loss, and fluctuations in available throughput. This paper presents a web application that measures in real-time key playback performance metrics: buffer occupancy, throughput, playback time, number of dropped frames, and segment sizes, and it is based on the DASH.js protocol, JavaScript, and web technologies. As an indicator of traffic long-range dependence, the Hurst exponent is introduced, showing both its instantaneous and average values. Experimental results under different network conditions (throughput throttling, jitter, and packet loss) are shown, as well as the correlation between the Hurst exponent and streaming robustness. At the end, the obtained results are compared with existing solutions from the literature to evaluate and test the proposed web application.*

**Keywords:** *DASH.js, Hurst exponent, JavaScript, multimedia traffic, video streaming.*

## TRAFFIC PERFORMANCE OF VIDEO STREAMING OVER DASH.JS PROTOCOL

Aleksandar Luković, Bojan Bakmaz, Andreja Samčović



## **POSSIBILITIES OF UNAUTHORIZED DATA COLLECTION IN THE SMART HOME ENVIRONMENT**

Ivan Cvitić, Dragan Peraković, Mihaela Maturanec  
University of Zagreb - Faculty of Transport and Traffic Sciences,  
[ivan.cvitic@fpz.unizg.hr](mailto:ivan.cvitic@fpz.unizg.hr), [dragan.perakovic@fpz.unizg.hr](mailto:dragan.perakovic@fpz.unizg.hr),  
[mihaela.maturanec@gmail.com](mailto:mihaela.maturanec@gmail.com)

**Abstract:** *The increasing adoption of Internet-connected devices exposes smart home users to security challenges and threats. Therefore, it is important to pay attention to the collection of user data in the smart home environment. The purpose of this research is to show smart home users in which ways it is possible to collect and use their data in such an environment. The research is based on the collection of data from IoT devices within the smart home environment and on the display of unauthorized data collection, that is, the display of attacks that can occur in the smart home environment. The data set on intrusions into the IoT network was used for research. For this network dataset, the authors created different types of network attacks in an IoT environment for academic purposes. Two typical smart home devices were used: an intelligent voice assistant and a smart camera. Research results show where: Man-in-the-middle attacks, SYN, UDP, ACK and HTTP flooding attacks occurred.*

**Keywords:** *data collection; smart home; Internet of Things; digital forensics; cyberthreats*

### **1. Introduction**

A smart home can be defined as a place that includes a series of sensors, systems, and devices that can be remotely accessed, controlled, and monitored via a communication network. However, the increasing use of internet-connected devices exposes smart home users to security challenges and threats. Therefore, it is important to pay attention to the collection of user data in the smart home environment.

In addition to the convenience and automation benefits, the integration of numerous IoT devices within smart homes introduces new layers of privacy and security risks. Many devices operate continuously, exchanging data with cloud platforms and external servers, often without the user's explicit awareness or consent. Even when encrypted communication is used, metadata such as connection timing, frequency of access, or device identifiers can be exploited to infer user behavior patterns and household activities. Furthermore, the lack of standardized security protocols and insufficient authentication mechanisms increase the potential for unauthorized data interception and misuse. Understanding these risks is crucial for designing safer smart

home ecosystems and raising awareness among users about possible forms of unauthorized data collection and surveillance. The purpose of this research is to show smart home users in what ways their data can be collected and used in such an environment.

Based on the identified challenges and security threats, the structure of this paper is designed to provide users and researchers with a comprehensive overview of the problem and the results of the conducted analysis. Following the introductory section, Chapter 2 presents an overview of previous research relevant to security and privacy in the smart home environment. Chapter 3 analyzes key vulnerabilities of typical smart home devices, with emphasis on smart cameras and intelligent voice assistants. Chapter 4 outlines the research methodology and presents the results of experimental attacks and network traffic analysis. Finally, the conclusion summarizes the main findings and highlights the need for enhanced security mechanisms and more responsible use of IoT technologies in smart homes.

## **2. Previous research**

IoT devices present security challenges because most of them do not have built-in encryption. In addition, they can serve as access points for sensitive data. Manufacturers of smart home devices and platforms collect consumer data to better customize their products and offer new and improved services to customers. However, many smart homeowners are concerned about the privacy of their data. As IoT devices become more ubiquitous, clarifying their privacy implications is of utmost importance so that users are aware of privacy risks and can minimize these risks [1].

Participants in research often assume that their privacy is protected by device manufacturers [2]. Other works highlight the privacy implications of the large volumes of data generated by smart devices in smart homes, frequently without explicit user consent or awareness of how this data is used [3]. It is said that information security has become a social problem because it is not so much what users use that causes difficulties, but the way they use devices. Video cameras are viewed as the most privacy-intrusive sensors, followed by microphones [4].

In addition to privacy concerns, several studies have examined security risks and vulnerabilities of IoT devices that may lead to unauthorized data access. A classification of IoT security risks by architectural layers identifies the physical, network, and application layers as the most exposed [5]. Detection approaches for DDoS (Distributed Denial of Services) attacks applicable to resource-constrained IoT devices such as smart cameras and voice assistants are also documented [6]. An overview of IoT-generated DDoS detection methods further emphasizes the importance of analyzing network-behavioral patterns to identify malicious communication from compromised smart devices [7].

This research aims to provide an overview of the vulnerabilities of smart devices in a smart home environment. As a result, malicious attacks on smart devices in the smart home environment that have been performed can be displayed.

## **3. Vulnerabilities of smart devices in a smart home environment**

This chapter provides an analysis of the vulnerabilities of smart cameras and intelligent voice assistants used in a smart home environment. The main types of threats

to smart cameras are unauthorized download of video surveillance, unauthorized intrusion into the smart camera, unauthorized account theft, and unauthorized data recording. The most common vulnerabilities of intelligent voice assistants are: constant listening to conversations, weak authentication, replay attacks and integration of IoT devices. The mentioned vulnerabilities of smart cameras and intelligent voice assistants will be described in more detail in the rest of this paper.

### 3.1. Smart camera vulnerabilities

Smart home surveillance cameras are widely used and come from various manufacturers. They are typically used to monitor a home while the users are not present. The cameras can be used for internal or external security. However, they can also cause harm to property or the lives of people using them. According to [8], the main types of threats in a smart camera system are shown in Table 1.

*Table 1. Main types of threats in a smart camera system [8]*

| <b>Threat</b>                               | <b>Threat description</b>                                                                                                              |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Unauthorized download of video surveillance | A malicious attacker can obtain video surveillance by capturing traffic exchanged between the smart camera and other destinations.     |
| Tampering with a smart camera               | A malicious attacker can collect information about the device, reboot it, access the device's system logs, or remove external storage. |
| Unauthorized account theft                  | A malicious attacker can access user account passwords through a brute force attack.                                                   |
| Unauthorized data recording                 | Poorly designed Android app can compromise personal data                                                                               |

*Table 2. Smart camera vulnerabilities [8]*

| <b>Vulnerability</b>                        | <b>Vulnerability description</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Unauthorized download of video surveillance | <ul style="list-style-type: none"> <li>- unencrypted video surveillance</li> <li>- encrypted video surveillance that has poor key management</li> <li>- launching a MiTM (Man in the Middle) attack.</li> </ul>                                                                                                                                                 |
| Tampering with a smart camera               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- open port running an outdated version of dnsmasq, accessible websites revealing system information</li> <li>- use of default credentials with username = "admin"; password = "admin" during setup</li> <li>- user videos exposed via external removable storage, devices may be put into an insecure state.</li> </ul> |
| Unauthorized account theft                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- No password policies and no-account lockout mechanisms</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Unauthorized data recording                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- incorrect implementation of the SSL (Secure Socket Layer) protocol that caused video surveillance to be exposed and enabled MiTM attacks</li> <li>- data revealing the user's identity was leaked due to poor developer logging mechanisms.</li> </ul>                                                                 |

The first and fourth threats represent a breach of user confidentiality and privacy, while the second and third threats jeopardize the availability of smart cameras as well as user confidentiality. Table 2 will show the vulnerabilities discovered in the research [8] according to the above types of threats.

When they are connected, the vulnerabilities allow an attacker to remotely control the camera, download images and decrypt them. Exploitation of these vulnerabilities can pass authentication and potentially execute code remotely, further compromising the integrity of affected cameras.

### **3.2. Vulnerabilities of intelligent voice assistants**

Intelligent Voice Assistants (IVAs) are Internet-connected devices that listen to their environment and respond to the user's spoken commands to retrieve information from the Internet, control household devices, or notify the user of incoming messages and reminders. Although they are ubiquitous in the smart home environment, their presence raises concerns about user security and privacy as they monitor the user in their smart home. To justify the trust placed in the devices, they must be secure from unauthorized access. The backend infrastructure responsible for speech analysis and conversion to text, interpretation of commands, and connectivity to other services and devices must maintain data confidentiality [9].

The most common vulnerabilities of intelligent voice assistants are constant listening to conversations, weak authentication, replay attacks and integration of IoT devices [9].

Research [9] has revealed that continuous monitoring of sound through the integrated microphones of intelligent voice assistants creates a potential violation of the user's personal privacy. Although a device that supports intelligent voice assistants records the user's voice and transmits the recording to the cloud only when the wake word is spoken, i.e., when the assistant is launched, the device still continuously monitors conversations and typical sounds around the device. If a malicious attacker gains access to a compromised, enabled intelligent voice assistant, all recorded sounds or voices can be sent to the attacker in real time. Continuous recording of sounds surrounding an intelligent voice assistant allows for non-attack-based intrusion. Although Amazon, Apple, Google, and Microsoft claim that their devices record only when users speak a command to wake up the assistant, according to [7] there has been at least one incident where the device recorded and sent recordings back to the vendor at times when the user did not use the wake word to wake the device. In such cases, it is easy for the vendor to analyze the user's conversations and create a profile of the user's typical daily activities using household noise analysis. It is even possible to associate a user's location using IP address and geolocation data.

Due to weak authentication, intelligent voice assistants do not have the ability to determine whether they are being operated by the owner or another authorized party with a wake word. Anyone with access to a voice-activated device could ask it questions and collect information about the services and accounts associated with the device. A malicious attacker who comes close to a targeted intelligent voice assistant can potentially trick the system into believing that the real owner is speaking to it. This allows the attacker to access calendar details, email, and other personal information [10].

A consequence of weak authentication of an intelligent voice assistant can be that synthesized speech imitating a legitimate user makes the device vulnerable to replay

attacks. Replay attacks can be achieved by recording authorized users or synthesizing a reasonable approximation of their voice. This works in such a way that silent signals can be incorporated into the audio signal of a TV or radio broadcast to attack multiple targets simultaneously. These attacks can be used to take control of a user's device and perform unauthorized actions, such as making phone calls, thereby allowing personal information to be sent to a medium controlled by the malicious attacker [10].

According to research [10], vulnerabilities arising from the integration of IoT devices with intelligent voice assistants are considered. When the network is attacked, an attacker can direct the infected device to send spoofed Address Resolution Protocol (ARP) messages. The goal is to associate the MAC address of the smart mobile device with the IP address of the default gateway and direct the network traffic to be sent to the attacker. In this way, the attacker can inspect packets and collect information without being detected, by sending traffic to the real default gateway. After a software agent is installed on a personal computer to access the surveillance system from the web interface, the credentials are sent over the network without HTTPS encryption. This allows the malicious gateway to access the credentials and allows the attacker to access the surveillance system. The attacker can change the configuration of the surveillance system so that it can be accessed from the Internet [10].

#### **4. Research methodology and results**

The research is based on the collection of data from IoT devices within the smart home environment and on the display of unauthorized data collection, i.e. the display of attacks that can occur in the smart home environment. The IoT network intrusion dataset was used for research. For this network dataset, the authors created different types of network attacks in an IoT environment for academic purposes. Two typical smart home devices were used: SKT NUGU (NU 100), an intelligent voice assistant and EZVIZ Wi-Fi smart camera (C2C Mini O Plus 1080P). All devices used, including some laptops or smart mobile devices, were connected to the same wireless network. The network data set consists of 42 raw network packet files (eng. Packet Capture - pcap) at different time points. Packet files were collected using wireless network adapter mode and wireless headers are stripped by Aircrack-ng. All attacks except the Mirai Botnet category are packets captured during attack simulation using the Nmap software tool. In the case of the Mirai Botnet category, attack packets were generated on a laptop and then manipulated to appear to originate from an IoT device [11].

##### **4.1. Man-in-The-Middle – ARP spoofing attacks**

A MiTM attack was carried out on the example of the EZVIZ smart camera. By analyzing network traffic, it is possible to show that such an attack has occurred. The attack was analyzed in the Wireshark program and the packets representing the attack are displayed. The EZVIZ smart camera has its IP address: 192.168.0.13 and MAC address: bc:1c:81:4b:ae:ba. When a MiTM attack occurs, it is visible that the MAC address has changed. This is visible in Figure 1. The warning that one IP address has two MAC addresses is shown in yellow, which is usually not the case except in the case of a MiTM attack.

```

  v Address Resolution Protocol (reply)
    Hardware type: Ethernet (1)
    Protocol type: IPv4 (0x0800)
    Hardware size: 6
    Protocol size: 4
    Opcode: reply (2)
    Sender MAC address: Apple_5e:ff:9f (f0:18:98:5e:ff:9f)
    Sender IP address: 192.168.0.16
    Target MAC address: Sichuanilink_4b:ae:ba (bc:1c:81:4b:ae:ba)
    Target IP address: 192.168.0.13
  v [Duplicate IP address detected for 192.168.0.16 (f0:18:98:5e:ff:9f) - also in use by 48:4b:aa:2c:d8:f9 (frame 1322)]
    > [Frame showing earlier use of IP address: 1322]
      [Seconds since earlier frame seen: 1]
  v [Duplicate IP address detected for 192.168.0.13 (bc:1c:81:4b:ae:ba) - also in use by f0:18:98:5e:ff:9f (frame 1322)]
    v [Frame showing earlier use of IP address: 1322]
      v [Expert Info (Warning/Sequence): Duplicate IP address configured (192.168.0.13)]
        [Duplicate IP address configured (192.168.0.13)]
        [Severity level: Warning]
        [Group: Sequence]
      [Seconds since earlier frame seen: 1]

```

*Figure 1. Man in The Middle attack [11]*

In addition to the EZVIZ smart camera, the MiTM attack was also carried out on the SKT NUGU intelligent voice assistant. SKT NUGU device has IP address: 192.168.0.24 and MAC address: 04:32:f4:45:17:b3. When the packets are filtered, it can be seen that the source address is: 88:36:6c:d7:1c:56, and the destination address is from the SKT NUGU device. In Figure 2, the conversations option is visible, where it is visible that the MAC address: f0:18:98:5e:ff:9f appears, which represents a MiTM attack, i.e. that communication is now transmitted via the last-mentioned MAC address.

| Ethernet · 3      |                   | IPv4 · 17 | TCP · 107 |  |
|-------------------|-------------------|-----------|-----------|--|
| Address A         | Address B         | Packets   | Bytes     |  |
| f0:18:98:5e:ff:9f | db:3b:f4:45:17:b3 | 1         | 2 kB      |  |
| f0:18:98:5e:ff:9f | 04:32:f4:45:17:b3 | 13.208    | 13 MB     |  |
| 88:36:6c:d7:1c:56 | f0:18:98:5e:ff:9f | 2         | 3 kB      |  |

*Figure 2. Conversations option [8]*

## 4.2. DoS SYN flooding attacks

By analyzing the network traffic of the EZVIZ smart camera, it is possible to demonstrate the SYN flooding attack method. In a SYN flooding attack, the attacker sends many SYN packets to the server, using different, fake IP addresses. This is visible in Figure 3. It can be seen that many SYN packets are sent in a very short period of time to the same port 554, to the destination address of the smart camera.

The SYN flooding attack method was also implemented on the SKT NUGU intelligent assistant. In addition to the previously mentioned methods, a SYN flooding attack can also be recognized using the TCP Retransmission option in the Wireshark program. In this attack, TCP Retransmission means the attacker resends the TCP SYN packet to the target device without completing the TCP three-way handshake. In this case, it refers to the NUGU device located on port 19 604. This is shown in Figure 4.

| ipsrc == 222.0.0.0 and tcp.flags.syn == 1 and ipdst == 192.168.0.13 and tcp.dport == 554 and tcp |           |                 |              |          |        |                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|--------------|----------|--------|---------------------------------------|
| No.                                                                                              | Time      | Source          | Destination  | Protocol | Length | Info                                  |
| 2063                                                                                             | 20.554004 | 222.12.223.55   | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 6618 → 554 [SYN] Seq=0 Win=6081 Len=0 |
| 2064                                                                                             | 20.554167 | 222.44.9.103    | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 8101 → 554 [SYN] Seq=0 Win=1701 Len=0 |
| 2065                                                                                             | 20.554239 | 222.139.215.174 | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 5226 → 554 [SYN] Seq=0 Win=2015 Len=0 |
| 2066                                                                                             | 20.554312 | 222.58.34.21    | 192.168.0.13 | TCP      | 102    | 4219 → 554 [SYN] Seq=0 Win=3080 Len=0 |
| 2070                                                                                             | 20.555128 | 222.182.62.39   | 192.168.0.13 | TCP      | 102    | 6696 → 554 [SYN] Seq=0 Win=7996 Len=0 |
| 2074                                                                                             | 20.556082 | 222.156.90.220  | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 5121 → 554 [SYN] Seq=0 Win=2189 Len=0 |
| 2075                                                                                             | 20.557052 | 222.190.6.128   | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 6643 → 554 [SYN] Seq=0 Win=3154 Len=0 |
| 2085                                                                                             | 20.563905 | 222.153.211.4   | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 5814 → 554 [SYN] Seq=0 Win=3556 Len=0 |
| 2086                                                                                             | 20.563978 | 222.229.214.32  | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 1718 → 554 [SYN] Seq=0 Win=7411 Len=0 |
| 2087                                                                                             | 20.564050 | 222.94.180.116  | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 2170 → 554 [SYN] Seq=0 Win=1740 Len=0 |
| 2088                                                                                             | 20.564122 | 222.161.231.60  | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 5252 → 554 [SYN] Seq=0 Win=1182 Len=0 |
| 2089                                                                                             | 20.564193 | 222.26.254.124  | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 1080 → 554 [SYN] Seq=0 Win=1107 Len=0 |
| 2090                                                                                             | 20.564263 | 222.56.223.169  | 192.168.0.13 | TCP      | 102    | 7918 → 554 [SYN] Seq=0 Win=6270 Len=0 |
| 2091                                                                                             | 20.564879 | 222.4.247.209   | 192.168.0.13 | TCP      | 102    | 3480 → 554 [SYN] Seq=0 Win=1166 Len=0 |
| 2095                                                                                             | 20.568037 | 222.134.139.210 | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 7291 → 554 [SYN] Seq=0 Win=1061 Len=0 |
| 2096                                                                                             | 20.568616 | 222.147.241.4   | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 3222 → 554 [SYN] Seq=0 Win=7388 Len=0 |
| 2097                                                                                             | 20.568809 | 222.246.167.104 | 192.168.0.13 | TCP      | 102    | 7278 → 554 [SYN] Seq=0 Win=1853 Len=0 |
| 2099                                                                                             | 20.569649 | 222.3.162.139   | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 6119 → 554 [SYN] Seq=0 Win=0753 Len=0 |
| 2109                                                                                             | 20.579141 | 222.84.46.42    | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 8635 → 554 [SYN] Seq=0 Win=1376 Len=0 |
| 2110                                                                                             | 20.579209 | 222.203.194.120 | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 4105 → 554 [SYN] Seq=0 Win=7882 Len=0 |
| 2111                                                                                             | 20.579362 | 222.244.161.16  | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 5922 → 554 [SYN] Seq=0 Win=8089 Len=0 |
| 2112                                                                                             | 20.579402 | 222.29.44.168   | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 3184 → 554 [SYN] Seq=0 Win=2084 Len=0 |
| 2113                                                                                             | 20.579503 | 222.98.54.130   | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 8476 → 554 [SYN] Seq=0 Win=4157 Len=0 |
| 2114                                                                                             | 20.579574 | 222.243.109.43  | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 6146 → 554 [SYN] Seq=0 Win=8908 Len=0 |
| 2115                                                                                             | 20.579646 | 222.43.168.118  | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 3019 → 554 [SYN] Seq=0 Win=8029 Len=0 |
| 2116                                                                                             | 20.579717 | 222.167.227.228 | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 3798 → 554 [SYN] Seq=0 Win=8188 Len=0 |
| 2117                                                                                             | 20.579789 | 222.52.46.57    | 192.168.0.13 | TCP      | 102    | 6698 → 554 [SYN] Seq=0 Win=1586 Len=0 |
| 2118                                                                                             | 20.580406 | 222.197.157.247 | 192.168.0.13 | TCP      | 102    | 2430 → 554 [SYN] Seq=0 Win=8976 Len=0 |
| 2122                                                                                             | 20.583078 | 222.15.190.223  | 192.168.0.13 | TCP      | 98     | 1713 → 554 [SYN] Seq=0 Win=4106 Len=0 |
| 2123                                                                                             | 20.583157 | 222.121.124.228 | 192.168.0.13 | TCP      | 102    | 2920 → 554 [SYN] Seq=0 Win=2506 Len=0 |

Figure 3. SYN flooding attack [11]

|       |           |                |              |     |     |                                                              |
|-------|-----------|----------------|--------------|-----|-----|--------------------------------------------------------------|
| 10436 | 45.170457 | 111.70.83.13   | 192.168.0.24 | TCP | 98  | [TCP Retransmission] 3948 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=2641 Len=0 |
| 10437 | 45.170531 | 111.186.67.139 | 192.168.0.24 | TCP | 98  | [TCP Retransmission] 6784 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=3522 Len=0 |
| 10438 | 45.170605 | 111.137.251.90 | 192.168.0.24 | TCP | 98  | [TCP Retransmission] 6030 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=4999 Len=0 |
| 10439 | 45.170675 | 111.26.156.231 | 192.168.0.24 | TCP | 102 | [TCP Retransmission] 1447 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=5045 Len=0 |
| 10440 | 45.170746 | 111.70.83.13   | 192.168.0.24 | TCP | 98  | [TCP Retransmission] 3948 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=2641 Len=0 |
| 10441 | 45.170820 | 111.196.67.139 | 192.168.0.24 | TCP | 98  | [TCP Retransmission] 6784 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=3522 Len=0 |
| 10442 | 45.170893 | 111.137.251.90 | 192.168.0.24 | TCP | 98  | [TCP Retransmission] 6030 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=4999 Len=0 |
| 10443 | 45.170966 | 111.26.156.231 | 192.168.0.24 | TCP | 102 | [TCP Retransmission] 1447 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=5045 Len=0 |
| 10444 | 45.171148 | 111.70.83.13   | 192.168.0.24 | TCP | 98  | [TCP Retransmission] 3948 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=2641 Len=0 |
| 10445 | 45.171221 | 111.196.67.139 | 192.168.0.24 | TCP | 98  | [TCP Retransmission] 6784 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=3522 Len=0 |
| 10446 | 45.171294 | 111.137.251.90 | 192.168.0.24 | TCP | 98  | [TCP Retransmission] 6030 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=4999 Len=0 |
| 10447 | 45.171368 | 111.26.156.231 | 192.168.0.24 | TCP | 102 | [TCP Retransmission] 1447 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=5045 Len=0 |
| 10448 | 45.171441 | 111.70.83.13   | 192.168.0.24 | TCP | 98  | [TCP Retransmission] 3948 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=2641 Len=0 |
| 10449 | 45.171514 | 111.196.67.139 | 192.168.0.24 | TCP | 98  | [TCP Retransmission] 6784 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=3522 Len=0 |
| 10450 | 45.171595 | 111.137.251.90 | 192.168.0.24 | TCP | 98  | [TCP Retransmission] 6030 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=4999 Len=0 |
| 10451 | 45.171669 | 111.26.156.231 | 192.168.0.24 | TCP | 102 | [TCP Retransmission] 1447 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=5045 Len=0 |
| 10452 | 45.171793 | 111.70.83.13   | 192.168.0.24 | TCP | 79  | [TCP Retransmission] 3948 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=2641 Len=0 |
| 10453 | 45.175688 | 111.196.67.139 | 192.168.0.24 | TCP | 79  | [TCP Retransmission] 6784 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=3522 Len=0 |
| 10454 | 45.176459 | 111.137.251.90 | 192.168.0.24 | TCP | 79  | [TCP Retransmission] 6030 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=4999 Len=0 |
| 10455 | 45.177139 | 111.26.156.231 | 192.168.0.24 | TCP | 79  | [TCP Retransmission] 1447 → 19604 [SYN] Seq=0 Win=5045 Len=0 |

Figure 4. TCP retransmission [11]

### 4.3. UDP flooding attack

By analyzing network traffic, it is possible to see where and how a UDP flooding attack occurred on the example of a smart camera. A UDP flooding attack attempts to saturate the bandwidth in order to deny service on the network. This DoS (Denial of Service) attack is usually performed by sending a rapid series of UDP datagrams with spoofed IP addresses to a server within the network via different ports, forcing the server to respond with ICMP traffic. Bandwidth saturation occurs in both the inbound and outbound directions. An unexpected increase in UDP packets can be an indicator of an attack. In Figure 5, it is possible to see that out of a total of 417,863 packets, 404,863 contain the attack, which is 96.9% of the total packets [12].

#### Statistics

| Measurement            | Captured | Displayed        |
|------------------------|----------|------------------|
| Packets                | 417863   | 404863 (96.9%)   |
| Time span, s           | 122.115  | 77.992           |
| Average pps            | 3421.9   | 5191.1           |
| Average packet size, B | 96       | 74               |
| Bytes                  | 40026650 | 29959862 (74.8%) |
| Average bytes/s        | 327 k    | 384 k            |
| Average bits/s         | 2622 k   | 3073 k           |

Figure 5. UDP flooding attack [12]

## 4.4. ACK flooding attack

ACK is an abbreviation for Acknowledgment. An ACK packet is any TCP packet that acknowledges the receipt of a message or sequence of packets. ACK flooding attacks target devices that need to process every packet they receive. Legitimate and illegitimate ACK packets tend to look the same, making ACK flooding attacks difficult to stop without using the content delivery network to filter out unnecessary ACK packets. ACK flooding attack can also be detected via RST packets. When the server receives unsolicited ACK packets, it may respond with RST packets, which means that there is no active connection. In order to identify such packets in research, the filter: `tcp.flags.reset==1` will be used. Figure 6 shows such packages. In Figure 6, the packet numbered 41436 is marked and it is evident that it is an RST packet, and that the marked packet indicates that the segment does not contain a full TCP header, which means that perhaps Nmap or someone else is sending unusual packets on purpose.

| No.   | Time       | Source         | Destination     | Protocol | Length | Info                                                                                                        |
|-------|------------|----------------|-----------------|----------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6495  | 58.888978  | 192.168.0.16   | 25.154.102.71   | TCP      | 54     | 52847 → 443 [RST] Seq=348 Win=0 Len=0                                                                       |
| 33422 | 88.718086  | 25.154.102.71  | 192.168.0.16    | TCP      | 54     | 443 → 52848 [RST] Seq=3873 Win=0 Len=0                                                                      |
| 33423 | 88.718169  | 25.154.102.71  | 192.168.0.16    | TCP      | 54     | 443 → 52848 [RST] Seq=3873 Win=0 Len=0                                                                      |
| 34050 | 89.918196  | 192.168.0.16   | 25.154.102.71   | TCP      | 54     | 52849 → 443 [RST] Seq=348 Win=0 Len=0                                                                       |
| 34051 | 89.918445  | 192.168.0.16   | 25.154.102.71   | TCP      | 54     | 52849 → 443 [RST] Seq=348 Win=0 Len=0                                                                       |
| 35215 | 98.477812  | 104.74.152.109 | 192.168.0.16    | TCP      | 54     | 443 → 56339 [RST] Seq=7030 Win=0 Len=0                                                                      |
| 35911 | 91.185225  | 192.168.0.16   | 52.85.231.143   | TCP      | 54     | 56343 → 443 [RST] Seq=16038 Win=0 Len=0                                                                     |
| 35912 | 91.185249  | 192.168.0.16   | 52.85.231.143   | TCP      | 54     | 56343 → 443 [RST] Seq=16038 Win=0 Len=0                                                                     |
| 35913 | 91.185424  | 192.168.0.16   | 54.252.215.194  | TCP      | 54     | 56343 → 443 [RST] Seq=2213 Win=0 Len=0                                                                      |
| 40910 | 184.310009 | 118.76.141.37  | 192.168.0.16    | TCP      | 54     | 443 → 56344 [RST] Seq=4993 Win=0 Len=0                                                                      |
| 40910 | 184.310106 | 118.76.141.37  | 192.168.0.16    | TCP      | 54     | 443 → 56344 [RST] Seq=4993 Win=0 Len=0                                                                      |
| 41436 | 115.227238 | 192.168.0.24   | 104.110.198.184 | TCP      | 70     | 27730 → 27937 [SYN, RST, FIN, ACK, URG, ECE, CWR, Reserved] Seq=770016569 Ack=755879063 Win=16775 Urg=11291 |

| Source Port: 27730                                                                                                                                                       |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Destination Port: 27937                                                                                                                                                  |  |
| [Stream index: 7897]                                                                                                                                                     |  |
| [Conversation completeness: Incomplete (34)]                                                                                                                             |  |
| Short segment. Segment/fragment does not contain a full TCP header (might be NMAP or someone else deliberately sending unusual packets)                                  |  |
| [Expert Info (Warning/Warning): Short segment. Segment/fragment does not contain a full TCP header (might be NMAP or someone else deliberately sending unusual packets)] |  |
| [Short segment. Segment/fragment does not contain a full TCP header (might be NMAP or someone else deliberately sending unusual packets)]                                |  |
| [Severity Level: Warning]                                                                                                                                                |  |
| [Group: Half-formed]                                                                                                                                                     |  |
| Sequence Number: 770016569 (relative sequence number)                                                                                                                    |  |
| Sequence Number (raw): 770016569                                                                                                                                         |  |
| Acknowledgment Number: 755879063 (relative ack number)                                                                                                                   |  |
| [Expert Info (Note/Sequence): TCP SYN-ACK accepting TFO data]                                                                                                            |  |
| [TCP SYN-ACK accepting TFO data]                                                                                                                                         |  |
| [Severity Level: Note]                                                                                                                                                   |  |
| [Group: Sequence]                                                                                                                                                        |  |
| Acknowledgment number (raw): 755879063                                                                                                                                   |  |
| 1111.... = Header length: 60 bytes (12)                                                                                                                                  |  |
| Flags: none [SYN, RST, FIN, ACK, URG, ECE, CWR, Reserved]                                                                                                                |  |

Figure 6. TCP header [11]

## 4.5. HTTP flooding attacks

HTTP flooding attacks target web servers and applications. These attacks are designed to overwhelm a web server's resources by continuously requesting one or more Uniform Resource Locators (URLs) from many source attack machines. Such machines simulate HTTP clients, such as web browsers. An HTTP flooding attack can consist of: GET – images and scripts, POST – files and forms, or a combination of GET and POST requests. When the server's concurrent connection limits are reached, the server can no longer respond to legitimate requests from other clients attempting to connect, causing a denial of service. HTTP flooding attacks use standard URL requests, so it can be quite difficult to distinguish from legitimate traffic [13].

In Figure 7, it is evident that an HTTP flooding attack is being carried out because a large amount of HTTP traffic is coming to the same server in a very short period of time. It can also be seen that the attack is occurring due to the warning marked yellow, which indicates excess data after the body that is neither a request nor a response.



| No.  | Time      | Source       | Destination   | Protocol | Length | Info                        |
|------|-----------|--------------|---------------|----------|--------|-----------------------------|
| 6728 | 56.013924 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6729 | 56.013952 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6731 | 56.022406 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6732 | 56.022498 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6733 | 56.023455 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6736 | 56.027064 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6738 | 56.028487 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6742 | 56.033019 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6745 | 56.039752 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6746 | 56.040051 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6759 | 56.048465 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6760 | 56.048908 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6763 | 56.054883 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6765 | 56.059670 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6774 | 56.065203 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6775 | 56.065362 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6788 | 56.073152 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6781 | 56.072217 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6789 | 56.073475 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6792 | 56.079505 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6793 | 56.079716 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6796 | 56.083524 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |
| 6799 | 56.084653 | 192.168.0.13 | 210.89.164.90 | HTTP     | 74     | GET / HTTP/1.0 Continuation |

Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.13, Dst: 210.89.164.90  
 Transmission Control Protocol, Src Port: 59420, Dst Port: 80, Seq: 3, Ack: 1, Len: 20  
 Hypertext Transfer Protocol  
 GET / HTTP/1.0  
 User-Agent: [HTTP request 1/1]  
 Expert Info (Hypertext Transfer Protocol): Excess data after a body (not a new request/response), previous Content-Length bogus?

Figure 7. HTTP flooding attack [11]

## 5. Conclusion

By analyzing the vulnerabilities of various IoT devices, such as smart cameras and intelligent voice assistants, it was determined that user data is easily accessible if the devices are not properly protected. Research has shown that users on IoT devices do not use adequate security measures, such as weak authentication, unencrypted communication and inappropriate software upgrades. This further increases the risk of unauthorized data collection.

As part of the research, a synthesis of the results collected during network traffic analysis and experimental attacks on the EZVIZ smart camera and the SKT NUGU intelligent voice assistant was carried out. Emphasis is placed on: Man-in-The-Middle attacks, DoS SYN flooding attacks and Mirai Botnet attacks. It has been observed that the above-mentioned attacks can be carried out very easily if IoT devices are not properly protected, and this indicates the need to improve security mechanisms.

Although smart homes bring numerous advantages in terms of comfort and energy efficiency, it is necessary to introduce comprehensive security measures to ensure the safety and privacy of users. Continuous research of new threats and development of advanced security solutions are key factors in reducing unauthorized data collection in the smart home environment.

## Literature

- [1] TechTarget. Smart home. Available: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/smart-home-or-building> [Accessed: June 2024]
- [2] Zheng S, Apthorpe N, Chetty M, Feamster N. User Perceptions of Smart Home IoT Privacy. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction. 2018;2(200): 1-20. Available: [https://www.researchgate.net/publication/345546605\\_User\\_Perceptions\\_of\\_Smart\\_Home\\_IoT\\_Privacy](https://www.researchgate.net/publication/345546605_User_Perceptions_of_Smart_Home_IoT_Privacy) [Accessed: June, 2024]
- [3] Arabo A, Brown I, El-Moussa F. Privacy in the age of Mobility and Smart Devices in Smart Homes. International Conference on Privacy, Security, Risk and Trust and International Conference on Social Computing. 2012: 819-826. Available: [https://www.researchgate.net/publication/254934189\\_Privacy\\_in\\_the\\_Age\\_of\\_Mobility\\_and\\_Smart\\_Devices\\_in\\_Smart\\_Home](https://www.researchgate.net/publication/254934189_Privacy_in_the_Age_of_Mobility_and_Smart_Devices_in_Smart_Home) [Accessed: June, 2024]
- [4] Bugeja J, Jacobsson A, Davidsson P. On Privacy and Security Challenges in Smart Connected Homes. Internet of Things and People Research Center and Department of Computer Science. 2016: 172-175. Available:

- [https://www.researchgate.net/publication/314266078\\_On\\_Privacy\\_and\\_Security\\_Challenges\\_in\\_Smart\\_Connected\\_Homes](https://www.researchgate.net/publication/314266078_On_Privacy_and_Security_Challenges_in_Smart_Connected_Homes) [Accessed: June, 2024]
- [5] Cvitić I, Vujic M, Husnjak S. Classification of Security Risks in the IoT Environment. Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium, 2016, p. 0731–40. <https://doi.org/10.2507/26th.daaam.proceedings.102>.
  - [6] Cvitić I, Peraković D, Periša M, Botica M. Novel approach for detection of IoT generated DDoS traffic. Wireless Networks 2019. <https://doi.org/10.1007/s11276-019-02043-1>.
  - [7] Cvitić I, Peraković D, Periša M, Husnjak S. An overview of distributed denial of service traffic detection approaches. Promet - Traffic - Traffico 2019;31:453–64. <https://doi.org/10.7307/ptt.v31i4.3082>.
  - [8] Alharbi R, Aspinall D. An IoT Analysis Framework: An Investigation of IoT Smart Cameras' Vulnerabilities. Living in the Internet of Things: Cybersecurity of the IoT. 2018. Available: <https://chooser.crossref.org/?doi=10.1049%2Fcp.2018.0047> [Accessed: February 2024]
  - [9] Sharif K, Tenbergen B. Smart Home Voice Assistants: A Literature Survey of User Privacy and Security Vulnerabilities. Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly. 2020;(24): 15-30. Available: <https://csimq-journals.rtu.lv/csimq/article/view/csimq.2020-24.02> [Accessed: February, 2024]
  - [10] Hoy S.M.B. Alexa, Siri, Cortana, and more: an introduction to voice assistants. Medical reference services quarterly 2018;37(1): 81-88. Available: <http://dx.doi.org/10.1080/02763869.2018.1404391> [Accessed: February 2024]
  - [11] IEEEDataPort. IoT network intrusion dataset. Retrieved from: <https://iee-dataport.org/open-access/iot-network-intrusion-dataset> [Accessed: February 2024]
  - [12] Mazebolt. UDP Flood. Available: <https://kb.mazebolt.com/knowledgebase/udp-flood/> [Accessed: February 2024]
  - [13] Mazebolt. HTTP Flood. Available: <https://kb.mazebolt.com/knowledgebase/http-flood/> [Accessed: February 2024]

**Rezime:** *Sve veća upotreba uređaja povezanih na internet izlaže korisnike pametnih kuća bezbednosnim izazovima i pretnjama. Stoga je važno obratiti pažnju na prikupljanje korisničkih podataka u okruženju pametne kuće. Cilj ovog istraživanja je da se korisnicima pametnih kuća pokaže na koje načine je moguće prikupljati i koristiti njihove podatke u takvom okruženju. Istraživanje se zasniva na prikupljanju podataka sa IoT uređaja unutar okruženja pametne kuće i na prikazu neovlašćenog prikupljanja podataka, tj. prikazu napada koji se mogu dogoditi u okruženju pametne kuće. Za istraživanje je korišćen skup podataka o upadima u IoT mrežu. Za ovaj skup podataka mreže, autori su kreirali različite vrste mrežnih napada u IoT okruženju u akademske svrhe. Korišćena su dva tipična uređaja pametne kuće: inteligentni glasovni asistent i pametna kamera. Rezultati istraživanja pokazuju gde su se dogodili: napadi „čovjek u sredini“, SYN, UDP, ACK i HTTP poplave.*

**Ključne reči:** *prikupljanja podataka; pametna kuća; Internet stvari; digitalna forenzika, kibernetičke ugroze*

## **MOGUĆNOSTI NEOVLAŠĆENOG PRIKUPLJANJA PODATAKA U OKRUŽENJU PAMETNIH KUĆA**

Ivan Cvitić, Dragan Peraković, Mihaela Maturanec

## **ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА КАО КЉУЧ ЗА ПОБОЉШАЊЕ ЕФИКАСНОСТИ РАДА БРОДОВА У ЦИЉУ УНАПРЕЂЕЊА ПЛОВИДБЕ**

Александар Радоњић, Данијела Пјевчевић, Владислав Мараш, Анита Абођи  
Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет,  
a.radonjic@sf.bg.ac.rs, danijela@sf.bg.ac.rs,  
v.maras@sf.bg.ac.rs, a.abodji@sf.bg.ac.rs

**Резиме:** Током протеклих неколико година, морски и речни бродови били су одговорни за приближно 3% укупних емисија  $\text{CO}_2$ . Као такви, ови бродови били су предмет доношења регулатива за смањење емисије  $\text{CO}_2$ . Развојем регулатива повећала се потреба за истраживањима, а самим тим и за прецизним подацима, заснованим на алатима за подршку енергетској ефикасности у циљу смањења емисија гасова. Једна од стратегија за смањење емисија је ограничење снаге на пропелерском вратилу и потрошње горива и обухвата традиционалне методе прорачуна. С обзиром да се традиционалне методе ослањају на поједностављене претпоставке и нису довољно прецизне у сложеним условима пловидбе, последњих година појављују се модели на бази вештачке интелигенције. У овом раду биће разматрани ови модели и резултати њихове примене.

**Кључне речи:** Вештачка интелигенција, Снага на пропелерском вратилу, Енергетска ефикасност, Потрошња горива

### **1. Увод**

Поморски транспорт заједно са речним транспортом представља кичму глобалне економије, обављајући приближно 90% међународне трговине. Тренутно, дизел мотори као доминантан погон бродова учествују значајно у укупним емисијама гасова на годишњем нивоу. Погонски и помоћни мотори бродова емитују следеће најзначајније штетне гасове у атмосферу: угљен-диоксид ( $\text{CO}_2$ ), оксиди азота, оксиди сумпора и честице чађи [1]. Поменути гасови представљају гасове са ефектом стаклене баште и представљају издувне гасове са брода. При сагоревању горива, у атмосферу се емитује количина штетних гасова пропорционална потрошњи горива.

Године 2018. поморски транспорт био је одговоран за приближно 1,076 милиона тона  $\text{CO}_2$ , што је око 2,9% укупних емисија од људских активности. На нивоу Европске Уније (ЕУ) током 2021. године, поморски транспорт је допринео са око 3% до 4% укупних емисија  $\text{CO}_2$ , што је еквивалентно 124 милиона тона  $\text{CO}_2$ . Због тога је од јануара 2024. године, Систем трговине емисијама Европске уније

проширио своје регулаторне оквири како би обухватио емисије CO<sub>2</sub> свих великих бродова који пристају у луке ЕУ. Ова иницијатива допуњује Стратегију Међународне поморске организације (МПО) за смањење гасова стаклене баште којом се предвиђа смањење за најмање 20% до 2030. и 70% до 2040. године у међународном бродском саобраћају у поређењу са 2008. годином.

Ако се погледа даље у прошлост, МПО је почетком 2000-их година почела да разматра техничке и оперативне мере за побољшање енергетске ефикасности бродова чиме је покушала да смањи емисије издувних гасова. Године 2011., МПО усвојила је амандмане на Прилог VI Међународне конвенције о спречавању загађења мора са бродова (MARPOL) како би увела обавезне техничке и оперативне мере енергетске ефикасности у циљу смањења емисије CO<sub>2</sub> са бродова. Од 1. јануара 2013. године ступили су на снагу Индекс енергетске ефикасности брода (EEDI) и План управљања енергетском ефикасношћу брода (SEEMP).

Директивом из 2022. године за развој SEEMP-а дају се смернице за економичан рад брода и, између осталог, оне обухватају План управљања бродом ради побољшања енергетске ефикасности. Заједно са Директивом за ограничавање снаге вратила/мотора ради усклађивања са захтевима Индекса енергетске ефикасности постојећих бродова (EEXI) и употребе резервне снаге, поменути регулаторни оквири повећали су потребу за прецизним, на подацима заснованим алатима за подршку енергетској ефикасности у поморству, укључујући моделе за планирање рута, управљање потрошњом горива (PG) и смањење емисија гасова стаклене баште. Такође, овим прописима Међународне поморске организације ограничење снаге на пропелерском вратилу је уврштено као метод за смањење емисија CO<sub>2</sub>.

Осим ових директива, за одређивање снаге на пропелерском вратилу од 2015. године постоји, и употребљава се, међународни стандард ISO 15016 Међународне организације за стандардизацију. Према овом стандарду примарна сврха експерименталних испитивања јесте да се утврде перформансе новог брода у погледу брзине, снаге и броја обртаја пропелерског вратила у прописаним условима рада брода и тиме верификује брзина брода прописана EEDI регулативом.

Током експерименталних испитивања брзине и снаге на пропелерском вратилу, не мери се само снага на пропелерском вратилу и брзина брода, већ и релевантни утицајни фактори везани за пропелерску брзину и услове пловидбе. Резултат експерименталних испитивања по овом стандарду је крива односа снаге пропелерског вратила и брзине кретања брода. Током вишегодишње експлоатације брода, ипак, долази до промене односа снаге пропелерског вратила и брзине кретања брода и због тога је Међународна организација за стандардизацију увела стандард ISO 19030 2016. године којим се прописују практичне методе за мерење промена у перформансама трупа и пропелера. Такође, дефинишу се битни показатељи одржавања, поправке и реконструкције трупа и пропелера.

Поред експерименталних испитивања, у оквиру стандарда и стратегија, предлажу се традиционалне методологије које обухватају коришћење емпијских образаца сваки пут када се услови експерименталних испитивања не слажу са прописаним условима. Традиционалне методе ослањају се на поједностављене претпоставке и често нису довољно тачне у сложеним условима пловидбе и због тога се последњих десетак година све више појављују методе засноване на

вештачкој интелигенцији. Ове методе су прилагодљивије и дају прецизније резултате од традиционалних чиме, у ствари више доприносе напорима за смањење емисија [2]–[5].

Такође, уколико се у резолуцијама МПО за прорачун EEDI индекса погледа како изгледа израз за прорачун јасно је да се већа енергетска ефикасност, између осталог, може постићи смањивањем губитака у пропулзији брода и применом савремених решења против обраштања трупа брода.

Уколико се примене све наведене процедуре и методологије, јасно је да методе вештачке интелигенције за предвиђање снаге на пропелерском вратилу брода имају значајну улогу како у повећању енергетске ефикасности брода, тако и у развоју SEEMP-а.

У овом раду акценат ће бити на снази на пропелерском вратилу и потрошњи горива као кључним показатељима помоћу којих је могуће смањити емисије издувних гасова и повећати енергетску ефикасност брода. Разлог за то је не мали број радова у стручној и научној литератури, као и експериментална испитивања које је обавила Лабораторија за испитивање бродова и пловних путева при Саобраћајном факултету.

Током протеклих десетак година, објављено је доста радова који се баве предвиђањем снаге на пропелерском вратилу и потрошње горива помоћу метода вештачке интелигенције. Циљеви њихових истраживања били су усредсређени на откривање веза између измерених података тј. утицајних фактора и снаге на пропелерском вратилу, односно потрошње горива и на откривање функционалних зависности између промена услова под којима се одигравају експериментална испитивања те самим тим и промена утицајних фактора и услова задатих поменутих прописима.

Овај рад пружа преглед примењених метода вештачке интелигенције за прорачун снаге на пропелерском вратилу и потрошње горива и самим тим повећање енергетске ефикасности и смањење емисија гасова стаклене баште са бродова. Циљ рада је да се прикажу узрочно-последичне везе између утицајних фактора унапред одређених при експерименталним мерењима и метода и модела вештачке интелигенције и да се резултати прорачуна повежу са енергетском ефикасношћу бродова и смањењем емисија гасова стаклене баште са бродова.

Поред тога, циљ у овом раду је и да се истакну предности и ограничења различитих метода и модела вештачке интелигенције у одређивању снаге на пропелерском вратилу и потрошње горива, чиме се доприноси унапређењу модела вештачке интелигенције примењених за потребе пловидбе.

Путем синтезе приказаних истраживања, овај рад наглашава значајан допринос вештачке интелигенције енергетској ефикасности и смањењу гасова стаклене баште са брода.

Оно што спаја све приказане научне радове је измерена снага на пропелерском вратилу и потрошња горива, као и покушај да се прикаже значај ове снаге у савременом водном транспорту. С обзиром да је снага на пропелерском вратилу увек била део истраживања, у овом раду се очекује потврда да је она утицајан фактор рада брода у функцији потрошње горива, енергетске ефикасности, а самим тим и смањења емисије гасова стаклене баште са брода.

Преглед истраживања завршава се навођењем изазова и ограничења примене метода вештачке интелигенције у решавању проблема енергетске ефикасности и смањења емисија гасова стаклене баште.

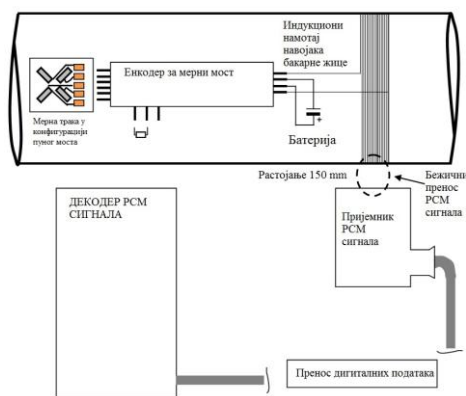
Остатак овог рада подељен је на следећи начин: у поглављу 2 дат је пример експерименталног мерења снаге на пропелерском вратилу брода и употребе вештачке интелигенције, у поглављу 3 дат је преглед научних радова у којима је вршено мерење снаге на пропелерском вратилу, док поглавље 4 даје дискусију у вези изазова и ограничења примене вештачке интелигенције у смањењу емисије гасова стаклене баште. На крају истраживања у поглављу 5 дата су закључна разматрања.

## 2. Пример мерења снаге на пропелерском вратилу брода и употребе вештачке интелигенције

За мерење момента на пропелерском вратилу користе се сензори напрезања, познати као мерне траке. Оне раде тако што мењају свој електрични отпор када дође до напрезања површине вратила услед дејства обртног момента.

Мерна трака се састоји од четири отпорника повезана у Витстонов мост [1], [6]. Ове траке се лепе на чисту и глатку површину осовине под углом од  $\pm 45^\circ$  у односу на осу вратила. Мост се напаја једносмерним напоном. Ако нема увијања осовине, на излазу моста нема напона. Када дође до деформације услед момента, појављује се напон пропорционалан снази увијања и напајању.

Електрични отпор мерне траке расте сразмерно деформацији [1]. Током пловидбе, снага и вибрације мотора прелазе на осовину, што изазива њено увијање и деформацију површине. Сигнал из мерне траке се затим појачава, претвара у дигитални облик помоћу импулсне кодне модулације (PCM), и преноси на стационарни пријемник. На крају, тај сигнал се поново претвара у аналогни напон који је пропорционалан моменту који делује на вратило. Приказ комплетног система за телеметријско мерење момента дат је на слици 1.



Слика 1. Приказ комплетног система за телеметријско мерење момента [6]

Приликом мерења снаге на пропелерском вратилу, подаци са мерења скупљају се у једну базу података, а затим се користе у моделу вештачке интелигенције за обучавање, валидацију и тестирање. По завршетку обучавања модел је у стању да прорачуна снагу на пропелерском вратилу. На основу снаге пропелерског вратила прорачунава се потрошња горива, а потом и количина издувних гасова, те оцењује енергетска ефикасност брода. На слици 2 дат је уопштени приказ како се оцењује енергетска ефикасност брода помоћу вештачке интелигенције.



Слика 2. Оцена енергетске ефикасности брода помоћу вештачке интелигенције

### 3. Примењене методе и модели вештачке интелигенције у смањењу гасова стаклене баште

На основу прегледане литературе, наредни корак обухватио је постављање следећег истраживачког питања: да ли снага на пропелерском вратилу и смањење потрошње горива утичу на смањење количине издувних гасова и енергетску ефикасност брода? Као одговор на ово питање постављена је следећа хипотеза: правилно израчуната снага на пропелерском вратилу и правилно употребљена током пловидбе брода може да повећа енергетску ефикасност брода и смањи количину издувних гасова.

Постављена је још једна хипотеза и она гласи: Методе вештачке интелигенције могу брже и ефикасније од традиционалних метода да допринесу откривању утицајних фактора на смањење количине издувних гасова, као и да тачније предвиде снагу на пропелерском вратилу, потрошњу горива и брзину пловидбе. Провера тачности хипотеза извршена је излиставањем добијених резултата из прегледане научне литературе.

У радовима који се баве овим проблемом, постоје различити модели вештачке интелигенције. Осим разлике у моделима, постоје и разлике у циљевима радова. Када су разматрани радови у којима се прорачунавала само снага на пропелерском вратилу, а не и потрошња горива, претпостављено је да је прорачуном снаге на пропелерском вратилу омогућен и прорачун потрошње горива, а самим тим и потенцијално смањење гасова стаклене баште.

У табели 1 дат је преглед само одабраних истраживања чији је заједнички циљ био примена метода вештачке интелигенције за прорачун снаге пропелерског вратила.

Табела 1. Преглед наведених истраживања: проблеми и методе вештачке интелигенције за њихово решавање

| Лите-<br>ратура    | Метода                             | Улазне величине                                                                                                                     | Изразне<br>величине |
|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| [7]                | Вештачке неуронске мреже (ВНМ)     | $\sqrt[3]{V/L}$ , $L/B$ , $T/B$ , $F_r$                                                                                             | $N_v$               |
| [8]                | ВНМ                                | $v$ , RPM, $T_s$ , $t$ , $Q$ , ветар, море                                                                                          | PG                  |
| [9]                | Регресија (P), машинско учење (МУ) | $v$ , $V$ , $L$ , $B$ , $T_p$ , $T_k$ , $S$ , $\zeta$ , <b>Error!</b> , $\beta$ , $\phi$ , CVPR                                     | PG                  |
| [10]               | ВНМ, P                             | $v$ , $H_w$ , $v_w$ , $d_w$ , $T_s$ , $t$                                                                                           | $N_v$               |
| [11]               | P                                  | RPM мотора, $v$ , $t$ , $T$ , време                                                                                                 | $N_m$               |
| [12]               | ВНМ, P                             | RPM, $T_s$ , $t$ , $v_m$ , $\theta$ , $v_w$ , $d_w$ , $H_w$ , $d_{wave}$                                                            | PG                  |
| [13]               | ВНМ                                | RPM мотора, $P$ , $d_w$ , $v_w$ , $\theta$ , $v_m$ , $t_d$                                                                          | $v$ , PG            |
| [14]               | МУ                                 | $v$ , $T$ , RPM, $h$ , $v_m$ , $H_w$ , $d_w$                                                                                        | $N_v$               |
| [15]               | МУ, P                              | $N_v$ , RPM, $\tau$ , параметри рада мотора                                                                                         | PG                  |
| [16]               | P, МУ, ВНМ                         | $v_t$ , $v_w$ , $t_{water}$ , $t$ , $T$ , $F_r$ , $H_w$ , $t_{clean}$                                                               | $N_v$               |
| [17]               | ВНМ                                | RPM, $H_w$ , $t_w$ , $\phi$                                                                                                         | $v$ , $N_v$ , PG    |
| [18]               | ВНМ                                | $v$ , $v_w$ , $d_w$ , $T$ , $t$                                                                                                     | $N_v$               |
| [19]               | МУ, ВНМ P                          | $v_t$ , $T_s$ , $t$ , $K$ , $H_w$ , $t_w$ , $d_{waves}$ , $v_w$                                                                     | $N_v$               |
| [20]               | ВНМ                                | $v_t$ , $T_s$ , $t$ , $t_{water}$ , $v_w$ , $d_w$ , стање мора, $\theta$ , $H_w$ , $d_{wave}$ , $t_{clean}$ , $t_{pclean}$          | $N_v$               |
| [21]               | ВНМ                                | RPM, $a$ , $\alpha$ , $v$ , $v_t$ , $T$ , $t$ , $v_w$ , $H_w$ , $t_w$ , $d_{waves}$ , струјања воде, $t_{water}$ , $t_{wind}$ , atm | $v$ , $N_v$ , PG    |
| [22] <sup>*)</sup> | МУ                                 | неважно                                                                                                                             | $N_v$               |

<sup>\*)</sup> – модели вештачке интелигенције направили су побољшање у односу на традиционалне методе

Као што се може видети, експериментална испитивања снаге на пропелерском вратилу брода представљају изузетно напоран посао у оквиру кога постоји истовремено мерење и праћење великог броја утицајних фактора, без којих анализа резултата мерења не би била остварива.

У табели 1, све улазне величине у моделе вештачке интелигенције могу се сматрати утицајним факторима и могу се разврстати у следећих неколико категорија:

1. Геометријски фактори: дужина брода ( $L$ ), ширина брода ( $B$ ), гажење брода ( $T$ ), гажење на прамцу ( $T_p$ ), гажење на крми ( $T_k$ ), средње гажење ( $T_s$ ), коефицијент пуноће главног ребра ( $\beta$ ), коефицијент финоће бродског трупа ( $\phi$ ), коефицијент облика прамца (CVPR),
2. Навигаоциони фактори: Фрудов број ( $F_r$ ), брзина пловидбе ( $v$ ), брзина у односу на воду ( $v_t$ ), курс брода ( $K$ ), убрзање брода ( $a$ ), угао закретања кормила ( $\alpha$ ),
3. Техничко-наугички фактори: претега ( $t$ ), запремина истиснине бродског трупа ( $V$ ), тежиште истиснине по дужини ( $\zeta$ ), угао бочног нагиба брода ( $\phi$ ),
4. Фактори носивости: количина превезеног терета ( $Q$ ),
5. Фактори погона: број обртаја пропелерског вратила у минути (RPM), оквашена површина бродског трупа ( $S$ ), корак пропелера ( $P$ ), снага на пропелерском

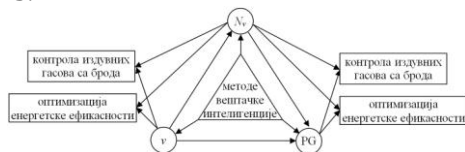


- вратилу ( $N_v$ ), обртни момент пропелерског вратила ( $\tau$ ), подаци о вибрацијама вратила, коефицијент смањеног потиска ( $t_p$ ),
6. Спољни фактори (ветар и таласи): висина таласа ( $H_w$ ), брзина ветра ( $v_w$ ), брзина струјања мора ( $v_m$ ), угао струјања мора ( $\theta$ ), угао под којим таласи ударају у брод ( $d_{wave}$ ), дубина воде ( $h$ ), температура воде ( $t_{water}$ ), температура ваздуха ( $t_{wind}$ ), атмосферски притисак ( $atm$ ), време од последњег доковања брода ( $t_d$ ), број дана од последњег чишћења трупа ( $t_{clean}$ ), број дана од последњег чишћења пропелера ( $t_{p_{clean}}$ ),

Пажљивим проучавањем категорија улазних величина, може се закључити да највећи број утицајних фактора спада у техничко-експлоатационе карактеристике брода, а да мањи број њих припада погонским карактеристикама брода.

#### 4. Изазови и ограничења примене вештачке интелигенције у смањењу емисије гасова стаклене баште

Објашњење целокупног процеса примене вештачке интелигенције на повећање енергетске ефикасности и смањење количине издувних гасова са брода приказано је на слици 3.



Слика 3. Потенцијална примена метода вештачке интелигенције код повећања енергетске ефикасности бродова и смањења количине издувних гасова са брода

Као што се са слике 3 може видети, уобичајени пут то повећања енергетске ефикасности и смањења издувних гасова води преко потрошње горива. Што је потрошња горива мања, енергетска ефикасност је већа и мања је количина издувних гасова. Међутим, модели вештачке интелигенције у приказаним радовима доказали су да и сама примена прорачунате снаге на пропелерском вратилу и брзине пловидбе доводи до повећања енергетске ефикасности и смањења издувних гасова, без обзира да ли је прорачунавана потрошња горива.

На основу прегледаних радова може се издвојити неколико изазова и ограничења. Изазови су следећи: направити модел са најмањом могућом грешком [10], отклонити тешкоће у одабиру праве архитектуре BHM [12], [20], обавити правилан избор модела вештачке интелигенције на задати проблем [14] и укључити конкуритивност различитих модела вештачке интелигенције [21].

Ограничења су следећа: дискретне вредности утицајних фактора [13], недовољан број утицајних фактора [10], [14], препознавање утицајних фактора и тумачења резултата [10], [15], примена модела у другачијим условима пловидбе [16], број података [16], верификација модела [17], ограниченост података са експерименталних мерења [19], актуелност података [19], дужина периода сакупљања података [19], пресликавање података са једног на други брод [18], [20], [22], прекиди у прикупљањима података [10], екстраполација резултата [18], [21].

На основу приказаних радова и резултата до којих су дошли аутори истраживања (видети поглавље 3 и табелу 1), прорачуната снага на пропелерском вратилу помоћу метода вештачке интелигенције и употребљена током пловидбе брода повећава енергетску ефикасност брода и смањује количину издувних гасова чиме је потврђена прва хипотеза. Истраживања Зикаса и др. [23] показала су да методе вештачке интелигенције брже и ефикасније доприносе откривању утицајних фактора на смањење количине издувних гасова, тачније предвиђају снагу на пропелерском вратилу, и потрошњу горива, што представља побољшање у односу на традиционалне методе. Тиме је извршена провера тачности и друге хипотезе.

## 5. Закључак

Резултати приказаних истраживања показују да у поређењу са традиционалним методама, предложене методе вештачке интелигенције засноване на експерименталним подацима нуде већу прилагодљивост, прецизност и општу применљивост приликом доношења одлука везаних за снагу на пропелерском вратилу, потрошњу горива и брзину пловидбе. Традиционални модели имају тенденцију да буду крути и да претпостављају константне услове рада, док модели вештачке интелигенције обухватају промене и догађаје приликом пловидбе на пловном путу, укључујући временске услове, оперативне режиме и деградацију уређаја и конструктивних елемената током времена.

Резултати, надаље, показују да модели вештачке интелигенције могу служити не само као алат за процену перформанси брода, већ и као систем подршке у доношењу одлука у вези са оперативном оптимизацијом, управљањем флотом и усаглашавањем са прописима о смањењу емисија гасова стаклене баште. Увођењем методологија тумачења резултата добијених коришћењем модела вештачке интелигенције, гради се поверење корисника услуга вештачке интелигенције и отварају могућности за практичну примену приказаних метода вештачке интелигенције и на броду и у копненим оперативним центрима за надзор пловидбе.

Предложени модели вештачке интелигенције могу се користити приликом оптимизације бродских рута у делу који се односи на прорачун снаге на пропелерском вратилу у различитим временским условима и при различитим носивостима бродова, што омогућава планерима путовања да минимизују потрошњу горива.

Будућа истраживања у овој области могу се проширити на стварање доступне базе података власницима бродова, чиме би се створио оквир за примену модела вештачке интелигенције и код бродова који не учествују у експерименталним испитивањима у реалним условима пловидбе.

У јеку дигиталне трансформације у поморском и речном саобраћају, показано је да вештачка интелигенција представља моћан алат за постизање еколошких, економских и оперативних циљева.

## Литература

- [1] Симић, А. (2012) „Енергетска ефикасност речних самоходних теретних бродова“, Универзитет у Београду, Машински факултет, стр. 272.

- [2] Gupta, P.; Rasheed, A.; Steen, S. (2022) „Ship performance monitoring using machine-learning“. *Ocean Engineering*, 254, DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.111094.
- [3] Fahrholz, S.F.; Caprace, J.D. (2022) „A machine learning approach to improve sailboat resistance prediction“. *Ocean Engineering*, 257, DOI: 10.1016/j.oceaneng.2022.111642.
- [4] Aizpurua, J.I.; Knutsen, K.E.; Heimdal, M.; Vanem, E. (2023) „Integrated machine learning and probabilistic degradation approach for vessel electric motor prognostics“. *Ocean Engineering*, 275, DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.114153.
- [5] Panagiotakopoulos, T.; Filippopoulos, I.; Filippopoulos, C.; Filippopoulos, E.; Lajic, Z.; Violaris, A.; Chytas, S.P.; Kiouvrekis, Y. (2022) „Vessel’s trim optimization using IoT data and machine learning models“. In *Proceedings of the 2022 13th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA)*, Крф, Грчка, 18–20 Јул; стр. 1–5, DOI: 10.1109/IISA56318.2022.9904361.
- [6] Костић, Д., Чолић, В., Јевтић, Н., Радоњић, А. (2013) „Студија о испитивању снаге, обртних момената и торзионих вибрација на пропелерским вратилу пловног самоходног багера рефулера САВА ИИИ“, Београд, Наручилац Студије: Предузеће „РАПИД“, Д.О.О. Рума, стр. 17.
- [7] Радоњић, А., Вукадиновић, К. (2014) „Application of Ensemble Neural Networks to Prediction of Towboat Shaft Power“, *Journal of Marine Science and Technology*, 20, 64–80, DOI: 10.1007/s00773-014-0273-2.
- [8] Bal Beşikçi, E., Arslan, O., Turan, O., Ölçer, A., (2016). „An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations“, *Computers & Operations Research*, 66, 393–401, DOI: 10.1016/j.cor.2015.04.004.
- [9] Coraddu, A.; Oneto, L.; Baldi, F.; Anguita, D. (2017) „Vessels Fuel Consumption Forecast and Trim Optimisation: A Data Analytics Perspective“, *Ocean Engineering*, 130, 351–370, DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.11.058.
- [10] Parkes, A.I., Sobey, A.J., Hudson, D.A., (2018). „Physics-based shaft power prediction for large merchant ships using neural networks“. *Ocean Engineering*, 166, 92-104, DOI: 10.1016/j.oceaneng.2018.07.060.
- [11] Yoo, B., Kim, J., (2019). „Probabilistic modeling of ship powering performance using full-scale operational data“. *Applied Ocean Research*, 82, 1–9, DOI: 10.1016/j.apor.2018.10.013.
- [12] Hu, Z.; Jin, Y.; Hu, Q.; Sen, S.; Zhou, T.; Osman, M.T. (2019) „Prediction of fuel consumption for enroute ship based on machine learning“, *IEEE Access*, 7, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2933630.
- [13] Tarelko, W., Rudzki, K. (2020) „Applying artificial neural networks for modelling ship speed and fuel consumption“, *Neural Computing & Application*, 32, 17379–17395, DOI: 10.1007/s00521-020-05111-2.
- [14] Kim, D.-H.; Lee, S.-B.; Lee, J.-H. (2020) „Data-Driven Prediction of Vessel Propulsion Power Using Support Vector Regression with Onboard Measurement and Ocean Data“, *Sensors*, 20, DOI: 10.3390/s20061588.
- [15] Uyanik, T.; Karatug, Ç.; Arslanoglu, Y. (2020) „Machine learning approach to ship fuel consumption: A case of container vessel“, *Transportation Research Part D Transportation. Environment*, 84, DOI: 10.1016/j.trd.2020.102389.

- [16] Laurie, A.; Anderlini, E.; Dietz, J.; Thomas, G. (2021) „Machine learning for shaft power prediction and analysis of fouling related performance deterioration“, Ocean Engineering, 234, DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.108886.
- [17] Moreira, L.; Vettor, R.; Guedes Soares, C. (2021) „Neural network approach for predicting ship speed and fuel consumption“, Journal of Marine Science and Engineering, 9, DOI: 10.3390/jmse9020119.
- [18] Parkes, A.I., Sobey, A.J., Hudson, D.A., Savasta, T.D., (2022) „Power prediction for a vessel without recorded data using data fusion from a fleet of vessels“, Expert Systems with Applications, 187, DOI: 10.1016/j.eswa.2021.115971.
- [19] Lang, X.; Wu, D.; Mao, W. (2022) „Comparison of supervised machine learning methods to predict ship propulsion power at sea“, Ocean Engineering, 245, DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.110387.
- [20] Zwart RH, Bogaard J, Kana AA. (2023) „A Grey-box model approach using noon report data for trim optimization“, International Shipbuilding Progress, 70(1):41-63, DOI:10.3233/ISP-220009.
- [21] Kim, H.S.; Roh, M.I. (2024) „Interpretable, data-driven models for predicting shaft power, fuel consumption, and speed considering the effects of hull fouling and weather conditions“, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 16, DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2024.100592.
- [22] Zikas, S.; Gkirtzou, K.; Filippopoulos, I.; Kalatzis, D.; Panagiotakopoulos, T.; Lajic, Z.; Papathanasiou, D.; Kiouvrekis, Y. (2025) „Explainable AI Models for IoT-Based Shaft Power Prediction and Comprehensive Performance Monitoring“, Electronics, 14, 2561. DOI: 10.3390/electronics14132561.

**Abstract:** *Over the past few years, ships have been responsible for approximately 3% of total CO<sub>2</sub> emissions. As such, they have become the subject of regulations aimed at reducing CO<sub>2</sub> emissions. With the development of such regulations, the need for research has increased, and consequently, so has the demand for precise, data-driven tools to support energy efficiency with the goal of reducing gas emissions. One of the strategies for emission reduction is the limitation of propeller shaft power and fuel consumption, which involves traditional calculation methods. Since traditional methods rely on simplified assumptions and are not sufficiently accurate under complex navigating conditions, artificial intelligence-based models have emerged in recent years. This paper will examine these models and the results of their application.*

**Keywords:** *Artificial intelligence, Propeller shaft power, Energy efficiency, Fuel consumption*

## **ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A KEY TECHNOLOGY FOR IMPROVING SHIP OPERATIONAL EFFICIENCY IN ENHANCED NAVIGATION SITUATIONS**

Aleksandar Radonjić, Danijela Pjevčević, Vladislav Maraš, Anita Abodi

## **AGENTIC AI FOR NETWORK MANAGEMENT: RELAY SIGNAL PERFORMANCE UNDER NAKAGAMI-M FADING**

Miloš Milašinović<sup>1</sup>, Nemanja Zdravković<sup>1</sup>, Suad Suljović<sup>2</sup>, Nenad Petrović<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Information Technology, Belgrade Metropolitan University,  
milos.milasinovic@metropolitan.ac.rs, nemanja.zdravkovic@metropolitan.ac.rs

<sup>2</sup>MB Univerzitet, suadsada@gmail.com

<sup>3</sup>Faculty of Electronic Engineering, University of Niš, nenad.petrovic@elfak.ni.ac.rs

**Abstract:** *This paper investigates signal transmission over a relay link using the Amplify-and-Forward (AF) technique under Nakagami-m fading conditions. The system outage probability ( $P_{out}$ ) at the receiver is analyzed through the derivation of the probability density and cumulative distribution functions of the instantaneous signal-to-noise ratio (SNR). The results show that the receiver sensitivity threshold has a key impact on system performance, while the reduction of relay transmit power has a much smaller effect. The study also includes a graphical representation of the outage probability ( $P_{out}$ ) for different parameter values, providing insights into the reliability of AF relay systems and guidance for optimizing system design in fading environments. In the second part, we introduce an agentic AI workflow for network management, utilizing the outage probability expression and channel parameters derived in the case study.*

**Keywords:** *Nakagami-m fading, Outage probability, signal-to-noise ratio (SNR), Agentic AI*

### **1. Introduction**

In wireless communication systems, variations in the received signal caused by multi-path fading and shadowing are key factors leading to performance degradation. These phenomena are typically modeled in theoretical and experimental analyses using statistical distributions such as Rayleigh, Rician, Nakagami-m, and Weibull, with the choice of distribution depending on the characteristics of the propagation environment and the communication scenario [1], [2]. Among these, the Nakagami-m distribution is particularly important due to its flexibility in representing different fading severities through the parameter  $m$  [3]. Relay transmission is an effective technique for improving the coverage, capacity, and reliability of wireless networks. Multi-hop transmission allows signal delivery via one or more relay nodes when the direct link between the source and destination experiences severe impairments [4]. This approach is also advantageous in ad hoc networks, as it facilitates communication without central

infrastructure and mitigates channel impairments through diversity [5]. Relay systems are generally classified into regenerative (Decode-and-Forward, DF) and non-regenerative (Amplify-and-Forward, AF) types. AF relays can operate with either fixed or adaptive gain based on channel state information (CSI), which contributes to performance optimization [3], [6]. Analyzing relay systems under Nakagami- $m$  fading conditions provides a more accurate assessment of reliability, which is crucial for the efficient design of modern wireless networks. Performance evaluation typically focuses on metrics such as average Signal-to-Noise Ratio (SNR) and outage probability (Pout), the latter being essential for determining system coverage and managing co-channel interference (CCI) in accordance with Quality of Service (QoS) and Grade of Service (GoS) requirements [7], [8].

In this paper, we analyze the outage probability at the receiver in a relay transmission system using the Amplify-and-Forward (AF) technique over channels modeled by the Nakagami- $m$  distribution. Special attention is given to the impact of transmission parameters on system performance under varying propagation conditions. Afterward, we examine the potential of OpenAI's o1 family of Large Language Models (LLMs), which are distinguished by their advanced reasoning and planning capabilities. The proposed approach leverages previously computed outage probability values to support the maintenance of Quality of Service (QoS) in mobile networks. To demonstrate this concept, we developed a proof-of-concept AI agent implemented in Python.

## 2. The outage probability analysis of relay systems

Figure 1 shows the transmission model of an Amplify-and-Forward (AF) relay system, where the S-R and R-D links experience Nakagami- $m$  fading with average power  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$ . The relay applies a fixed gain  $G$ , amplifying both signal and noise ( $c = 1$ ). The outage probability (Pout) is evaluated assuming  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$ ,  $m_1 = m_2 = m$ ,  $w_1 = w_2 = w$ , and no diversity reception.

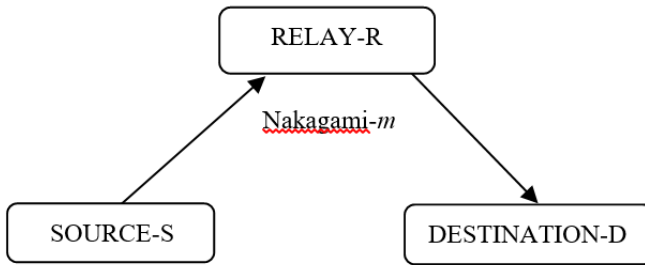


Figure 1. Relay transmission model under Nakagami- $m$  fading on both links

For an accurate performance analysis of the relay system, it is essential to determine the statistical characteristics of the received signal, particularly the Probability Density Function (PDF) and the Cumulative Distribution Function (CDF). These functions describe the behavior of the signal over the source-relay (S-R) and relay-

destination (R-D) links, where the propagation environment is modeled by the Nakagami- $m$  distribution. The PDF of the amplitude values of the received signal  $x$ , subject to Nakagami- $m$  fading on the considered link, is given in [9]:

$$p_x(x) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{\Omega} \right)^m x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega} x^2}, \quad (1)$$

where  $\Omega$  is the mean value of the signal power  $x$ ,  $\Gamma(\cdot)$  is the Gamma function, and  $m$  is the Nakagami fading parameter, which describes the fading severity ( $m > 0.5$ ). As the parameter  $m$  increases, the fading severity decreases.

Introducing the notation  $\gamma$  for the value of the probability density of the signal-to-noise ratio (SNR), i.e., the instantaneous SNR per symbol, we obtain the expression

$$x^2 = \frac{\gamma}{w} \Omega, x = \sqrt{\frac{\gamma}{w} \Omega}, |J| = \frac{\partial x}{\partial \gamma} = \frac{dx}{d\gamma} = \frac{d}{d\gamma} \left( \sqrt{\frac{\gamma}{w} \Omega} \right) = \frac{1}{2\sqrt{\gamma}} \sqrt{\frac{\Omega}{w}}, \quad (2)$$

where  $J$  is the Jacobian of the variable transformation and  $w$  is the average SNR. Using expression [10, 2.3], the PDF of the instantaneous SNR is:

$$p_\gamma(\gamma) = |J| p_x(x) = \frac{1}{2\sqrt{\gamma}} \sqrt{\frac{\Omega}{w}} p_x \left( \sqrt{\frac{\gamma \Omega}{w}} \right) = \frac{\gamma^{m-1}}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{w} \right)^m e^{-\frac{m}{w} \gamma} \quad (3)$$

Using expression (3), the CDF of the instantaneous SNR [11] is:

$$F_\gamma(\gamma) = \int_0^\gamma p(t) dt = \frac{1}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{w} \right)^m \int_0^\gamma t^{m-1} e^{-\frac{m}{w} t} dt \quad (4)$$

The integral in expression (4) is solved using the mathematical identity [12, 11.1.9]:

$$\int_0^c x^{b-1} e^{-x} dx = \gamma(b, c) \quad (5)$$

where  $\gamma(b, c)$  is the lower Gamma function, and it can be expressed as [11]:

$$\gamma(n, x) = \Gamma(n) e^{-x} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{x^k}{k!} \quad (6)$$

Substituting expressions (5) and (6) into (4), the SNR CDF becomes:

$$F_{\gamma}(\gamma) = 1 - e^{-\frac{m}{w}\gamma} \sum_{j_1=0}^{m-1} \frac{1}{j_1!} \left( \frac{m}{w} \gamma \right)^{j_1} \quad (7)$$

The system outage probability represents the probability that the observed SNR at the receiver falls below a predefined threshold  $\gamma_{th}$ , defined in accordance with the Quality of Service (QoS) standards and the Grade of Service (GoS) [13]:

$$P_{out} = F_{\gamma_{eq}}(\gamma_{th}) = 1 - \int_0^{\infty} C_{\gamma_1} \left[ \gamma_{th} + \frac{\gamma_{th}^2 + c\gamma_{th}}{t} \right] p_{\gamma_2}[\gamma_{th} + t] dt, \quad (8)$$

where  $C_{\gamma_i}(\cdot)$  is the complementary CDF of  $\gamma_i$ , given by:

$$C_{\gamma_i}(\cdot) = 1 - F_{\gamma_i}(\cdot) \quad (9)$$

Substituting (7) into (9) gives the complementary CDF of  $\gamma_i$  at R:

$$C_{\gamma_1} \left( \gamma_{th} + \frac{\gamma_{th}^2 + c\gamma_{th}}{t} \right) = e^{-\frac{m}{w} \left( \gamma_{th} + \frac{\gamma_{th}^2 + c\gamma_{th}}{t} \right)} \sum_{j_1=0}^{m-1} \frac{1}{j_1!} \left( \frac{m}{w} \left( \gamma_{th} + \frac{\gamma_{th}^2 + c\gamma_{th}}{t} \right) \right)^{j_1} \quad (10)$$

where the parameter  $c$  is 0 or 1, and  $\gamma_{th}$  is the threshold. Using expressions (3), the PDF of the SNR for the S-R-D link at the receiver is:

$$p_{\gamma_2}(\gamma_{th} + t) = \frac{(\gamma_{th} + t)^{m-1}}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{w} \right)^m e^{-\frac{m}{w}(\gamma_{th} + t)} \quad (11)$$

By substituting (10) and (11) into expression (8), the  $P_{out}$  for the S-R-D portion during signal transmission in the presence of Nakagami-m fading at the receiver is:

$$P_{out} = 1 - \frac{e^{-\frac{2m}{w}\gamma_{th}}}{\Gamma(m)} \sum_{j_1=0}^{m-1} \frac{\gamma_{th}}{j_1!} \left( \frac{m}{w} \right)^{j_1+m} \times \int_0^{\infty} (\gamma_{th} + t)^{m-1} \left( \frac{\gamma_{th} + c + t}{t} \right)^{j_1} e^{-\frac{m}{w}t} e^{-\frac{m\gamma_{th}(\gamma_{th}+c)}{w} \left( \frac{1}{t} \right)} dt \quad (12)$$

Using the binomial formula [14, 1.111]:

$$(a + x)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} a^{n-k} x^k \quad (13)$$

In expression (12), the  $P_{out}$  can be written in the following form:



$$P_{out} = 1 - \frac{1}{\Gamma(m)} e^{-\frac{2}{w} \gamma_{th}} \sum_{j_1=0}^{m-1} \sum_{j_2=0}^{m-1} \sum_{j_3=0}^{j_1} \binom{j_1}{j_3} \binom{m-1}{j_2} \left(\frac{m}{w}\right)^{j_1+m} \times \frac{\gamma_{th}^{j_1-j_2+m-1} (\gamma_{th} + c)^{j_1-j_3}}{j_1!} \int_0^{\infty} t^{j_2+j_3-j_1} e^{-\frac{m}{w} t} e^{-\frac{m \gamma_{th} (\gamma_{th} + c + t)}{w}} \left(\frac{1}{t}\right) dt \quad (14)$$

By applying the formula [14, 3.471]:

$$\int_0^{\infty} x^{\nu-1} e^{-\frac{\beta}{x} - \gamma x} dx = 2 \left(\frac{\beta}{\gamma}\right)^{\frac{\nu}{2}} K_{\nu} \left(2\sqrt{\beta\gamma}\right) \quad (15)$$

for the solution of the integral in expression (14), where  $K_{\nu}(x)$  is the second-order Bessel function, the  $P_{out}$  at the receiver can be written in the following form:

$$P_{out} = 1 - \frac{2}{\Gamma(m)} e^{-\frac{2}{w} \gamma_{th}} \sum_{j_1=0}^{m-1} \sum_{j_2=0}^{m-1} \sum_{j_3=0}^{j_1} \frac{\gamma_{th}^{\frac{j_1+j_3-j_2+2m-1}{2}}}{j_1! (w/m)^{j_1+m}} \binom{m-1}{j_2} \times (\gamma_{th} + c)^{\frac{j_1+j_2-j_3+1}{2}} \binom{j_1}{j_3} K_{j_2+j_3-j_1+1} \left(2 \frac{m}{w} \sqrt{\gamma_{th} (\gamma_{th} + c)}\right) \quad (16)$$

The following chapter presents the outage probability  $P_{out}$  of the average signal-to-noise ratio [dB] for different values of the parameters  $m$  and  $\gamma_{th}$ , obtained based on expression (16) using the software packages Origin and Mathematica.

## 2.1. Graphical representation of system outage probability results

Figure 2 shows the receiver outage probability  $P_{out}$  from expression (16) as a function of average SNR for different values of  $m$  and  $\gamma_{th}$ .

From Figure 2, it can be observed that as the parameter  $m$  increases, the system outage probability decreases, indicating an improvement in system performance. Conversely, as the threshold parameter  $\gamma_{th}$  increases, the system outage probability rises, reflecting a degradation in system performance. This behavior highlights the significant impact of the Nakagami- $m$  fading parameter and the SNR threshold on the reliability and efficiency of the communication system.

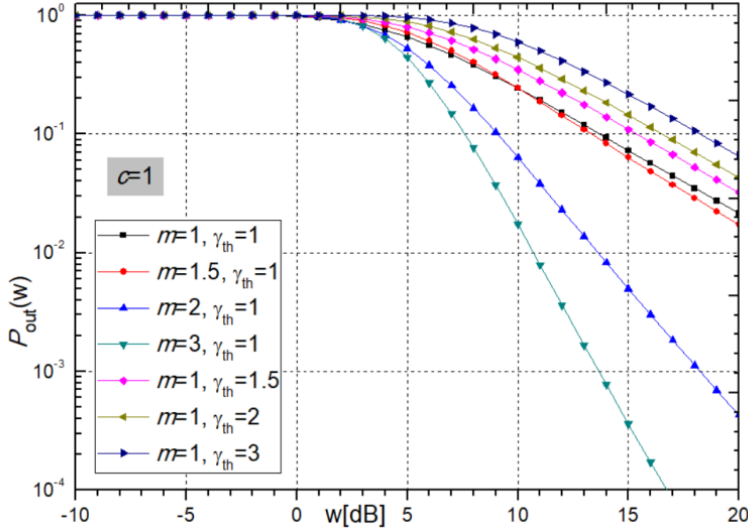


Figure 2. System outage probability for varying values of  $m$  and  $\gamma_{th}$

### 3. Network management using agent-based artificial intelligence

In large-scale 5G deployments, where user density and operating conditions fluctuate dynamically, ensuring consistent Quality of Service (QoS) over extended periods is critical for maintaining user satisfaction. Artificial Intelligence (AI) has emerged as a key enabler of intelligent network automation and long-term QoS assurance [15]. To address these challenges, we propose a novel agent-based AI framework for network management, built on OpenAI's latest generation of large language models (LLMs). While LLMs have demonstrated strong proficiency in natural language tasks such as summarization and content generation, their direct application to numerically intensive or strategic planning problems has traditionally been limited. To overcome this limitation, OpenAI introduced the o1 model family [16], an advancement of the GPT-4 architecture. These models integrate reinforcement learning into the training process, thereby strengthening their ability to reason through and navigate complex, multi-step scenarios.

A defining feature of the o1 models is their internal chain-of-thought (CoT) reasoning, which allows them to decompose complex problems into a structured sequence of manageable steps during response generation. This capability enables o1 models to surpass conventional LLMs in tasks requiring deep analysis and strategic decision-making [16, 17]. Recent studies on the integration of agentic AI into telecommunications further underscore this approach as a foundational enabler for next-generation mobile networks, with applications spanning autonomous network maintenance, self-healing functionalities, and improved user experience [18]. The proposed workflow is illustrated in Fig. 3.

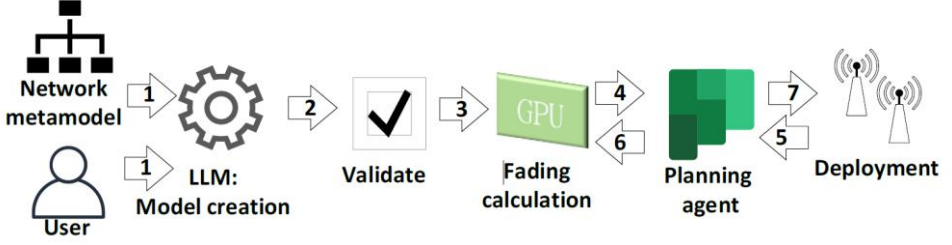


Figure 3. Workflow overview: (1) Define experiment; (2) Generate JSON schema; (3) Populate network experiment in JSON; (4) Apply rule-based validation; (5) Determine outage probability; (6) Monitor infrastructure; (7) Perform recalculations; (8) Issue planning and reconfiguration commands.

The workflow begins with the user submitting an unstructured textual description of a network scenario. This description may include details such as the assumed fading model, the type of co-channel interference, infrastructure parameters, and the expected number of users. From this input, an experiment model is instantiated in JSON format, adhering to a metamodel (JSON schema) defined in our prior work [15]. The generated model is then subjected to rigorous validation against a predefined rule set to ensure both completeness and semantic accuracy, as outlined in [15].

Once validated, the finalized model is passed to a GPU-accelerated simulation engine [19], which efficiently computes Pout values. These results are subsequently utilized by a planning agent powered by a large language model (LLM), which devises an appropriate sequence of actions to maintain acceptable Quality of Service (QoS) levels for end users. The resulting action plan is then executed through NETCONF commands, enabling reconfiguration of the underlying network infrastructure.

To demonstrate this process, we employed the o4-mini model (a lightweight and re-source-efficient member of the o1 family). The complete prompt was formulated as follows: "Your objective is to manage a mobile network. Your responsibilities include analyzing telemetry data, calculating key performance indicators (KPIs), detecting underperforming cells, and recommending corrective actions such as adjusting transmission power or antenna azimuth. If the calculated outage probability exceeds a predefined threshold, the planner may initiate one or more of the following actions: (1) increase transmission power by 2 dB, or (2) modify antenna azimuth by 10°. The result should be a reconfiguration command submitted to a NETCONF service end-point. You are supported by an LLM agent capable of executing your plan using the following available functions: (1) read\_snr(cell\_id) – retrieves the latest signal-to-noise ratio (SNR) measurements via NETCONF; (2) calculate\_pout(snr\_values, threshold) – computes Pout using SNR values below the specified threshold; (3) get\_config(cell\_id) – obtains the current transmission power and azimuth settings; (4) update(cell\_id, new\_tx\_power, new\_azimuth) – modifies the power and azimuth settings; (5) reconfig(cell\_id, tx\_power, azimuth) – applies new configuration values to the specified cell." To demonstrate the effectiveness of this agentic AI-driven workflow, in Table I we present two illustrative experiments derived from use case of outage probability and observations from Fig. 2.

Table 1. Agentic AI-Based QoS maintenance experiments overview

| Case                                      | Constraints                | Pout threshold | Outcome                                     |
|-------------------------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------------------------|
| $w = 10\text{dB}, \gamma_{th} = 1, m = 3$ | $m > 1 \text{ and } c = 1$ | 0.01           | $P_{out} > \text{threshold}$<br>→ update    |
| $w = 15\text{dB}, \gamma_{th} = 1, m = 2$ | $m > 1 \text{ and } c = 1$ |                | $P_{out} < \text{threshold}$<br>→ no action |

#### 4. Conclusion

In this study, signal transmission over a relay path under Nakagami-m fading was analyzed using the Amplify-and-Forward (AF) method, without applying diversity techniques. The results show that the system outage probability mainly depends on the receiver sensitivity threshold, while the reduction of relay transmit power has a much smaller impact. Receiver sensitivity is thus identified as the key factor determining overall system performance. Furthermore, we present a proof-of-concept implementation to illustrate the potential of employing state-of-the-art large language models (LLMs) with advanced reasoning and planning capabilities for automating network maintenance tasks. The initial findings indicate that this approach holds significant promise for enabling innovative applications and improving maintenance strategies in network management. Looking forward, future work will focus on extending the planning framework to incorporate additional considerations, particularly safety aspects such as the impact of electromagnetic radiation, building upon the work presented in [20].

**Acknowledgments:** This work has been supported in part by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia [Grant Number: 451-03-137/2025-03/200102] and [Grant Number: 451-03-137/2025-03/200148; Goal 9], and in part by the Blockchain Technology Laboratory at Belgrade Metropolitan University.

#### Literature

- [1] W. C. Y. Lee, *Mobile Communications Engineering*, McGraw-Hill, 2001.
- [2] M. Pätzold, *Mobile Fading Channels: Modelling, Analysis and Simulation*, Wiley, 2nd ed., 2005.
- [3] M. K. Simon and M.-S. Alouini, *Digital Communication over Fading Channels*, 2nd ed., Wiley, 2005.
- [4] H. El-Sayed and O. A. Dobre, "Performance Analysis of Amplify-and-Forward Relaying over Nakagami-m Fading Channels," *IEEE Communications Letters*, vol. 17, no. 2, pp. 325–328, 2013.
- [5] S. Mumtaz, J. Rodriguez, and L. Dai (Eds.), *5G Mobile Communications*, Wiley, 2016.
- [6] N. Yang, Y. Zhong, and S. Zhang, "Outage Probability Analysis of Multi-hop AF Relay-ing over Nakagami-m Fading Channels," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 12315–12324, 2018.
- [7] J. Proakis, *Digital Communications*, 4th ed., McGraw-Hill, 2001.

- [8] S. A. Alshebeili, S. K. Sharma, and X. Wang, "Interference Management in 5G and Beyond Networks: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 1, pp. 70–93, 2020.
- [9] S. Suljović, D. Krstić, D. Bandjur, S. Veljković, M. Stefanović, "Level Crossing Rate of Macro-diversity System in the Presence of Fading and Co-channel Interference", *Revue Roumaine des Sciences Techniques*, Publisher: Romanian Academy, ISSN: 0035-4066, Vol. 64, 1, pp. 63–68, Bucharest, 2019.
- [10] S. Panić, M. Stefanović, J. Anastasov and P. Spalević: *Fading and Interference Mitigation in Wireless Communications*, Taylor & Francis Publishing group, CRC Press, New York, USA, ISBN 978-14665-0841-5, December 2013.
- [11] S. Suljović and D. Milić, "Performance of Relay Signal Transmission by AF Technique Influenced by  $\kappa$ - $\mu$  Fading, 27th Telecommunications Forum (TELFOR)", 2019, DOI: 10.1109/TELFOR48224.2019.8971264
- [12] J. Alan, D. Hui-Hui, *Handbook of Mathematical Formulas and Integrals*: 4th edition, San Diego, 2008.
- [13] M. O. Hasna and M. S. Alouini, "End-to-end performance of transmission systems with relays over Rayleigh-fading channels", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, ISSN: 1536-1276, Vol. 2, pp. 1126-1131, November 2003.
- [14] I. S. Gradshteyn and I. M. Ryzhik, *Tables of Integrals, Series and Products* Academic: New York, 1980.
- [15] D. Krstic, S. Suljovic, G. Djordjevic, N. Petrovic, and D. Milic, "MDE and LLM synergy for network experimentation: case analysis of wireless system performance in Beaulieu-Xie fading and  $\kappa$ - $\mu$  cochannel interference environment with diversity combining", *Sensors*, vol. 24, no. 10, p. 3037, 2024. <https://doi.org/10.3390/s24103037>
- [16] OpenAI, "Introducing OpenAI o1", OpenAI, Sep. 2024. [Online]. Available: <https://openai.com/o1/>, last accessed: 24/04/2025.
- [17] K. Wang, J. Li, N. P. Bhatt, Y. Xi, Q. Liu, U. Topcu, and Z. Wang, "On The Planning Abilities of OpenAI's o1 Models: Feasibility, Optimality, and Generalizability", *arXiv preprint arXiv:2409.19924*, Sep. 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2409.19924>
- [18] Y. Xiao, G. Shi, and P. Zhang, "Towards Agentic AI Networking in 6G: A Generative Foundation Model-as-Agent Approach", *arXiv preprint*, pp. 1-7, 2025. <https://arxiv.org/pdf/2503.15764>
- [19] N. Petrović, S. Vasić, D. Milić, S. Suljović, S. Koničanin, "GPU-Supported Simulation for ABEP and QoS analysis of a Combined Macro Diversity System in a Gamma-Shadowed  $\kappa$ - $\mu$  fading channel", *Facta Universitatis: Electronics and Energetics* Vol. 34, No 1, March 2021, pp. 89-104. <https://doi.org/10.2298/FUEE2101089P>
- [20] N. Petrović, D. Milić, D. Javor, M. Jović, S. Škrbić and E. Suljović, "Llm-Based Emr Estimation: Channel Capacity in Mrc System Under  $\kappa$ - $\mu$  Fading for Wireless Signal Transmission Case Study," 2025 12th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN), Cacak, Serbia, 2025, pp. 1-4, doi: 10.1109/IcETRAN66854.2025.11114218.N.

**Rezime:** U ovom radu analiziraju se performanse prenosa signala preko relejne veze korišćenjem tehnike Amplify-and-Forward (AF) u uslovima Nakagami-m fedinga. Posebna pažnja posvećena je verovatnoći otkaza sistema (Pout) na prijemnoj strani, koja je određena izvođenjem funkcija gustine verovatnoće i kumulativne funkcije raspodele trenutnog odnosa signal-šum (SNR). Dobijeni rezultati pokazuju da prag osetljivosti prijemnika ima presudan uticaj na ukupne performanse sistema, dok smanjenje izlazne snage releja ima znatno manji efekat. Dodatno, prikazana je grafička analiza verovatnoće prekida za različite vrednosti parametara, koja pruža dublji uvid u pouzdanost AF relejnih sistema i može poslužiti kao smernica za optimizaciju dizajna sistema u promenljivim kanalnim uslovima. U drugom delu rada predstavljen je agentni AI tok rada za upravljanje mrežom, koji koristi izraze za verovatnoću prekida i parametre kanala izvedene u studiji slučaja, čime se ukazuje na mogućnosti integracije agentnih AI modela u adaptivno mrežno upravljanje.

**Ključne reči:** Nakagami-m feding, verovatnoća otkaza, odnos signal-šum (SNR), Agentni AI

**AGENTNA VEŠTAČKA INTELIGENCIJA ZA UPRAVLJANJE MREŽAMA:  
PERFORMANSE RELEJNOG PRENOSA SIGNALA U USLOVIMA  
NAKAGAMI-M FEDINGA**

Miloš Milašinović, Nemanja Zdravković, Suad Suljović, Nenad Petrović

## **NOVI SOFTVER ZA DISKRETNU STOHAŠTIČKU SIMULACIJU**

Marko Đogatović, Vesna Radonjić Đogatović, Nikola Matijasević  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,  
m.djogatovic@sf.bg.ac.rs, v.radonjic@sf.bg.ac.rs, nikola.matijasevic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Diskretna stohastička simulacija je metoda za modeliranje i analizu sistema kod kojih se promene stanja odigravaju u diskretnim vremenskim trenucima. Koristi se inženjerstvu, ekonomiji, saobraćaju i drugim oblastima za razumevanje složenih sistema, smanjenje troškova i rizika, donošenje upravljačkih odluka i analizu performansi. Grafički aplikativni softver mimSim Simulation Software (2024.11-2) je namenjen za izradu i simulaciju modela diskretnih stohastičkih sistema. Kao simulacionu strategiju softverski paket koristi raspoređivanje događaja uz efikasnu upotrebu generatorskih funkcija. Simulacioni model se realizuje prevlačenjem blokova kojih ukupno ima 45. Blokovi su podeljeni u tri grupe: blokovi modela, objekti i raspodele. Nakon izvršenja simulacije softver generiše izveštaj koji se može sačuvati u odgovarajućem formatu. Softverski paket je realizovan u programskom jeziku Python koji je istovremeno i interni skript jezik. Ovaj softver predstavlja odlično sredstvo za edukaciju i upoznavanje studenata sa različitim aspektima simulacije i već je našao primenu na osnovnim studijama Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu.*

**Ključne reči:** *diskretna stohastička simulacija, softverski paket, edukacioni softver, Python*

### **1. Uvod**

Simulacija je skup tehnika, metoda i alata za razvoj simulacionog modela realnog sistema i korišćenje tog modela u cilju opisivanja ponašanja sistema. Svrha simulacije je da razvije simulacioni model i sprovede eksperimente nad simulacionim modelom u cilju boljeg razumevanja realnog sistema [1]. Diskretna stohastička simulacija (*Discrete Event Simulation*, DES) je metodologija modeliranja dinamičkih sistema kod kojih se stanje menja u diskretnim, tačno određenim trenucima, tzv. događajima. Događaj predstavlja incident koji menja stanje celokupnog sistema. Obzirom da se promene stanja odigravaju samo kroz događaje, vremenski period između događaja je moguće preskočiti što čini ovu metodologiju izuzetno efikasnom [1, 2].

Diskretna stohastička simulacija je danas uspešno etabliran alat u inženjerstvu, ekonomiji, saobraćaju [3], zdravstvu [4] i drugim oblastima za razumevanje složenih sistema [5, 6], smanjenje troškova i rizika, donošenje upravljačkih odluka [7] i analizu performansi. Diskretnu stohastičku simulaciju najčešće koriste veliki proizvodni [5, 6] i

logistički sistemi, dok je njena upotreba ograničena u malim i srednjim preduzećima. Osnovni razlog za to su veliki troškovi licenci komercijalnih DES softvera, koji mogu da iznose i po više hiljada dolara (tabela 1), uz stalne godišnje troškove održavanja. Izrazito limitirajuće licence, kao i visoki troškovi obuke i cene rada na softveru su takođe značajni faktori ograničenog korišćenja komercijalnog DES softvera [8].

*Tabela 1. Cene komercijalnih licenci simulacionih alata*

| <b>Naziv simulacionog alata</b>  | <b>Cena</b>                        |
|----------------------------------|------------------------------------|
| <i>Simul 8</i>                   | \$5499 - \$8699                    |
| <i>Simcad Pro</i>                | \$2495 - \$4950 (godišnja licenca) |
| <i>ExtendSim</i>                 | \$4995                             |
| <i>Arena Simulation Software</i> | ~\$5000                            |
| <i>AnyLogic</i>                  | \$12390 - \$18990                  |
| <i>Matlab (sa SimEvents-om)</i>  | €2345                              |

Ova finansijska barijera proteže se i na obrazovne institucije, ometajući integraciju modeliranja i simulacije u akademske programe. Iako besplatni DES softveri i DES softveri otvorenog koda predstavljaju alternativu koja ima veliki potencijal za obrazovne institucije, oni ostaju nedovoljno iskorišćen resurs u ostalim sektorima.

Cilj rada je realizacija DES softvera koji bi mogao da se koristi u edukativne svrhe i koji bi bio jednostavan za korišćenje, a istovremeno u pogledu izrade simulacionih modela bio bi u što većoj meri u ravni sa postojećim komercijalnim DES softverom. U tu svrhu je realizovan simulacioni softver *mimSim*. Naravno, ovo nije jedini softver koji spada u domen besplatnog DES softvera i DES softvera otvorenog koda. Ima ih više i većina su programske biblioteke, od kojih se po svojoj kompletnosti i funkcionalnosti posebno izdvaja *JaamSim*.

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnog dela, u u drugom poglavlju dat je kratak opis softvera, njegove karakteristike i mogućnosti, da bi u trećem poglavlju bila prikazana arhitektura sofvera i kao i neke od komponenti koje je sačinjavaju. Primer koji ilustruje mogućnosti i daje ideju o njegovoj eventualnoj primeni je dat u poglavlju četiri. U poslednjem poglavlju su data zaključna razmatranja i navedeni su dalji pravci njegovog razvoja.

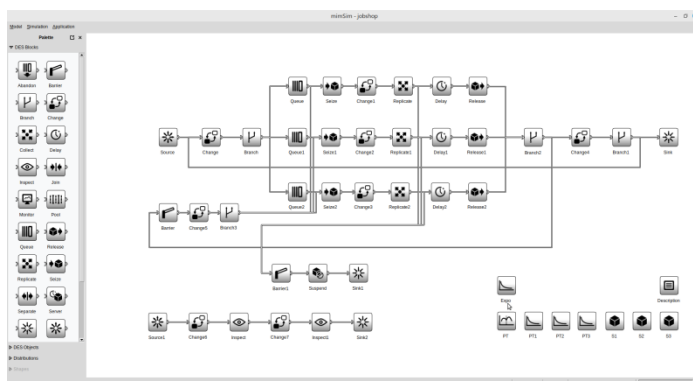
## 2. Opis softvera

Grafički aplikativni softver *mimSim Simulation Software* (2024.11-2) je namenjen za izradu i simulaciju modela diskretnih stohastičkih sistema. Interni skript jezik softvera je programski jezik Python, a softver je takođe razvijan u programskom jeziku Python [9]. Radi se o višepatformskom (cross-platform) aplikativnom softveru koji je moguće na Linux i Windows operativnim sistemima.

Model se sastoji od blokova koji su međusobno povezani konekcijama. Konekcija se uspostavlja između izlaznog i ulaznog porta dva bloka. *Blok* obavlja izvesne operacije nad entitetima i objektima modela. *Entiteti* su dinamički objekti koji se u toku izvršenja simulacije stvaraju i uništavaju i kreću kroz blokove modela. *Statički objekti* (nazivaćemo ih samo objektima) stvaraju se na početku izvršenja simulacije i služe da ograniče kretanje entiteta kroz model, prikupljaju statistike, generišu vremena u skladu sa određenom raspodelom i izvršavaju određene operacije nad modelom. Objekti su grafički prikazani u vidu blokova modela samo bez ulaznog i izlaznog porta. Pored blokova,



entiteta i objekata u modelu postoji još jedan jedinstveni objekat koji služi za planiranje izvršenja simulacionog modela i nosi naziv *eksperiment*. Objekat eksperimenta nema grafičku reprezentaciju u modelu već mu se indirektno pristupa putem forme grafičkog interfejsa. Eksperimentom se postavljaju semena generatora slučajnih brojeva, broj simulacionih replikacija, vremenski period trajanja simulacije, prelazni period, inicijalizacioni i startni programski kod, kao i programski kod koji se izvršava po završetku simulacije. Po izvršenju simulacionog modela rezultati simulacije se prikazuju u izveštaju. Na slici 1 je dat prikaz grafičkog interfejsa sa učitanim modelom.



Slika 1. Prikaz glavnog prozora mimSim Simulation Software-a

Softver karakteriše, takozvani, drag & drop interfejs kojim se blokovi i objekti, koji se nalaze na paleti (slika 1) prevlače na list modela. Nakon prevlačenja blokove i objekte je moguće raspoređivati na listu modela po želji. Takođe, izborom ulaznog ili izlaznog porta bloka uz prevlačenje moguće je povezati dva različita bloka. List modela je beskonačne veličine i moguće ga je pomerati, uvećavati i umanjivati po želji. Blokove i objekte modela je moguće odabirati, menjati im svojstva, brisati i kopirati. Osim mogućnosti da imaju oba porta, blokovi mogu imati samo jedan ulazni port ili jedan izlazni port. Na ulazni port moguće je povezati neograničeni broj konekcija, dok broj mogućih konekcija na izlaznom portu zavisi od vrste bloka.

Realizovani softver poseduje većinu karakteristika zajedničkih za ostale DES softvere u pogledu modeliranja :

- fleksibilno kreiranje entiteta u vremenu i zavisnosti od tipa entiteta,
- kreiranje atributa i dodeljivanje vrednosti atributu u zavisnosti od entiteta,
- postavljanje entiteta u red čekanja,
- zadržavanje entiteta,
- zauzimanje i oslobađanje resursa procesa,
- promena parametara modela u zavisnosti od izvršenja simulacije, entiteta u modelu itd. i
- prilagođavanje logike upravljanja entitetima u modelu.

Gotovo da je nemoguće napraviti aplikativni simulacioni softver koji interno ne koristi neki programski jezik. Različiti softveri koriste različite jezike od kojih su neka rešenja jedinstvena za taj softver. Realizovani softver koristi Python iz nekoliko razloga. Radi se o modernom jeziku koji ima čistu i relativno jednostavnu sintaksu, popularan je i

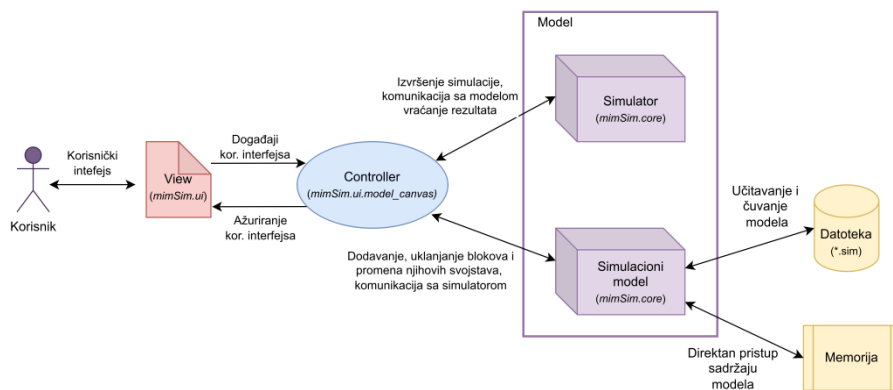
dobro dokumentovan sa mnoštvom biblioteka. Ekstenzija dokumenta modela je .sim. Radi se o komprimovanoj (zip algoritmom) tekstualnoj datoteci modela koja je data u vidu tabuliranog JSON formata. To znači da je moguće menjati sadržaj modela programski ili ručno.

Imena blokova i objekata moraju da prate pravila za imenovanje identifikatora Python jezika (promenljive, klase, funkcije, itd.). Ime bloka mora da bude jedinstveno u modelu. Takođe, softver vodi računa da ime bloka bude jedinstveno i da odgovara pravilima za imenovanje identifikatora i neće dozvoliti unos imena bloka ukoliko ne zadovoljava prethodna dva uslova. Isto tako prilikom ubacivanja novog bloka u model, blok će biti ubačen sa jedinstvenim imenom. Blok je moguće preimenovati kasnije.

Izborom bloka u modelu otvara se forma svojstava objekta ili bloka. Radi se o formi kroz koju je moguće promeniti vrednosti nekim svojstvima objekta ili bloka. Forma je nemodalna što znači da je moguće istovremeno za više blokova otvoriti forme svojstava. Objektima ili blokovima je moguće pristupiti i putem Python koda korišćenjem promenljivih koje imaju isto ime kao i objekat ili blok u modelu. Neka svojstva je moguće menjati i pristupiti im, dok je nekim svojstvima samo moguće pristupiti, a nije ih moguće menjati.

### 3. Arhitektura softvera

Program koristi MVC (*Model-View-Controller*) softversku arhitekturu koja razdvaja korisnički interfejs od programske logike, tačnije simulatora i simulacionog modela [10]. View, grafički interfejs je realizovan u okviru `ui` paketa, dok je Model, simulator i simulacioni model realizovan u okviru `core` paketa programa. Controller, koji uspostavlja vezu između interfejsa i simulacionog modela je većim delom realizivan u `ui` paketu (u modulu `model_canvas`). U programskom jeziku Python paket je direktorijum koji sadrži jedan ili više modula (.py datoteka). Na slici 2 je prikazana MVC arhitektura `mimSim` softvera.



Slika 2. Model-View-Controller arhitektura `mimSim` softvera

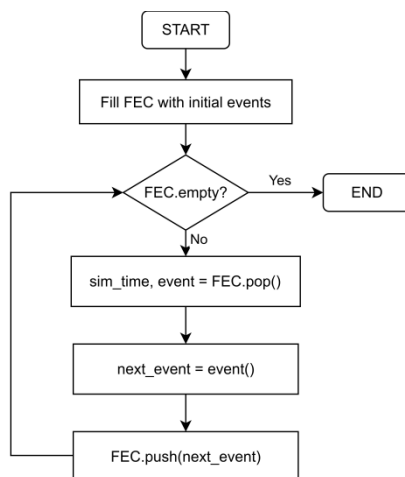
Objekti, blokovi i konekcije putem koji se uspostavlja veze između blokova se iscrtaavaju u objektu klase `ModelCanvas` (modul `model_canvas`). U tom objektu se nalaze

i reference na simulator i model. Svojstva blokova se unose i menjaju putem formi vezanih za svaki pojedinačni blok u modelu.

### 3.1. Simulator

U softveru se kao mehanizam pomaka vremena koristi *pomak vremena na naredni događaj*, dok se za simulacionu strategiju koristi *strategija raspoređivanja događaja*. Strategija predstavlja algoritam po kome se izvršava simulacija.

Kod strategije raspoređivanja događaja, događaji se smeštaju u listu budućih događaja (*Future Event Chain*, FEC) u kojoj se sortiraju u rastućem redosledu na osnovu vremenskog trenutka odigravanja događaja i prioriteta događaja (slika 3). Uzima se prvi događaj iz liste, vreme simulacionog časovnika se ažurira na vreme izvršenja događaja i događaj se izvršava. Izvršenjem događaja dobija se naredni događaj koji se raspodeljuje u FEC listu. Događaji u okviru strategije su realizovani korišćenjem generatorskih funkcija. Generatorska funkcija je poseban vid funkcije koja vraća objekat iteratora. Za razliku od obične funkcije koja koristi `return` službenu reč da vrati jednu vrednost i kompletira izvršenje funkcije, generatorska funkcija koristi službenu reč `yield` da vrati više vrednosti pauzirajući izvršenje i čuvajući sopstveno stanje nakon svakog poziva funkcije [11]. Lista budućih događaja je realizovana korišćenjem *heap queue* strukture podataka koja je dvostruko povezana lista sa preraspodeljenim elementima unutar liste što omogućava brzi pristup najmanjem ili najvećem elementu liste. Važno je napomenuti da se u listu budućih događaja se smeštaju isključivo bezuslovni događaji [1, 2].



Slika 3. Blok dijagram strategije raspoređivanja događaja

Događaji u modelu mogu biti uslovni ili bezuslovni. Uslovni događaji čekaju da se ispuni određeni uslov da bi se izvršili (da se oslobodi resurs, da se otvori barijera, itd.), dok se bezuslovni događaji izvršavaju u vremenskom trenutku za koje je raspoređeno njihovo izvršenje (dolazak entiteta u model, završetak zadržavanja entiteta u modelu). Ovi događaji se odigravaju u blokovima modela i uvek se odigravaju nad tekućim

entitetom. Tekući entitet je entitet koji se trenutno nalazi u bloku i nad kojim se događaj odigrava.

Entiteti za koje nije moguće izvršiti uslovni događaj čekaju u redu čekanja. Red čekanja se nalazi unutar svakog bloka, ali se koristi samo kod blokova koji nemaju mogućnosti izvršenja uslovnog događaja (blok je blokiran). Situacije zbog kojih blok može postati blokiran su: nemogućnost zauzimanja dela resursa usled zauzetosti resursa u blokovima Server i Seize, nemogućnost daljeg kretanja entiteta ukoliko je barijera zatvorena u bloku Barrier, nemogućnost ulaska u red čekanja zato što je red čekanja ograničene dužine u bloku Queue itd. Uslovni događaji nad entitetom se odigravaju u sekvenci sve dok neki od blokova kroz koje se kreće entitet ne postane blokiran ili uđe u blok u kome se izvršava bezuslovni događaj. Odnosno, entitet se kreće kroz model sve dok su uslovi za izvršenje događaja zadovoljeni. Blok kod koga se završi prethodni uslovni događaj i stvoreni su uslovi da se izvrši novi događaj poziva prethodni blok da oslobodi entitet koji čeka na izvršenje uslovnog događaja. Kada je resurs u pitanju red čekanja je isti za sve blokove koji su povezani na jedan resurs. Inače, blok Queue uslovno propušta entitete i prikuplja statistike reda čekanja koji se inače nalazi ispred svakog bloka. Blok Queue može da menja veličinu i disciplinu čekanja u redu.

Blokovi u kojima se odigravaju bezuslovni događaji su blokovi Source, Delay i Server. U bloku Source se nakog pristizanja novog entiteta u model raspoređuje dolazak narednog entiteta korišćenjem vremena između dolazaka. Po ulasku u blok Delay za tekući entitet se raspoređuje događaj napuštanja bloka na osnovu vremena zadržavanja entiteta u bloku. Na sličan način kao blok Delay, blok Server po zauzimanju resursa raspoređuje događaj izlaska iz Servera, gde po izlasku entiteta oslobađa deo resursa koji je zauzeo entitet.

Ostali blokovi izvršavaju određene operacije nad entitetima, objektima ili stanjima simulacionog modela. Blok Sink uklanja entitet iz modela, blok Change menja atribut entiteta, blok Release oslobađa deo resursa, blok Branch usmerava entitet na odgovarajući blok, itd.

### 3.2. Simulacioni model

Simulacioni model sadrži sve blokove i objekte u modelu. Blokovi su osnovni gradivni elementi modela i kroz blokove se kreću dinamički objekti koje nazivamo entitetima. Nazivaju se dinamičkim objektima iz razloga što se stalno u toku izvršenja modela vrši njihovo stvaranje i uništavanje (uklanjanje iz modela) Entiteti sadrže samo soptvene attribute i nemaju informaciju u kom se bloku se nalaze.

Blok je zadužen da primi entitet, obavi odgovarajuću operaciju nad njim i prosledi entitet narednom bloku. Iz tog razloga blokovi sadrže reference na blok ili blokove iz kojih entitet može u njih da uđe kao i reference na blok ili blokove u koje entitet može da ode nakon izlaska iz bloka.

Kada entitet uđe u blok prvo se izvršavaju odgovarajuće operacije nad entitetom da bi on nakon toga bio smešten u red čekanja narednog bloka. Nakon toga se proverava zauzetost narednog bloka. Ukoliko blok nije zauzet oslobađa se entitet iz reda čekanja i izvršavaju se operacije nad entitetom u narednom bloku.

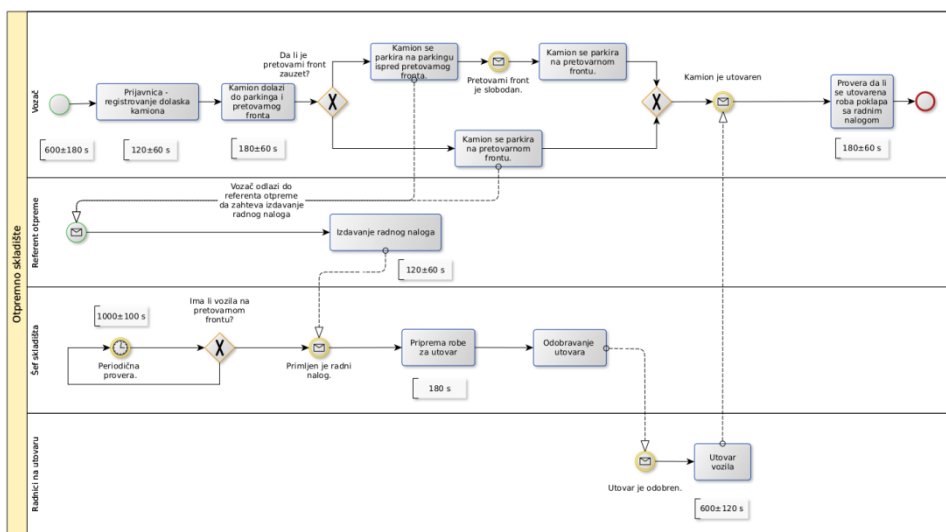
Ukoliko je blok zauzet entiteti koji pristižu ostaju u redu čekanja. Da bi entitet izašao iz reda čekanja blok u kome se on nalazi mora da pozove prethodni blok da

oslobodi entitet iz reda čekanja i prosledi ga na izvršavanje ogovarajućih operacija nad entitetom u bloku.

#### 4. Ilustrativni primer

Kao ilustrativni primer relaiзован je simulacioni model otpremnog skladišta u kompaniji Coca-Cola HBC (CCHBC). Coca-Cola HBC ima automatsko postrojenje za punjenje bezalkoholnih pića, a svi proizvodi su uskladišteni u centralnom skladištu. Ovo skladište se koristi za transport robe ka kupcima i za razmenu robe između skladišta kompanije. Prodaja velikih količina zahteva savršenu sinhronizaciju između službi koje posluju u celoj organizaciji, a posebno saradnju i koordinaciju između službi u lancu snabdevanja [12].

Jedan od ključnih sektora u kompaniji je logistika, koja obuhvata distribuciju i skladištenje. Da bi se roba isporučila na vreme, potrebno je napraviti dobar plan po kojem će se roba za kupce pripremiti, utovariti i isporučiti. To nije jednostavan zadatak, s obzirom na uslove koji moraju biti ispunjeni: sa jedne strane je značajno vreme isporuke i stanje isporučene robe, a sa druge strane optimalno iskorišćenje kapaciteta kompanije i smanjenje troškova. Otpremna služba planira proces isporuke robe i diktira skladištu kojom brzinom će se vršiti utovar. Proces rada otpremnog skladišta je šematski prikazan na dijagramu (slika 4) korišćenjem BPMN (*Business Process Model and Notation*) notacije.

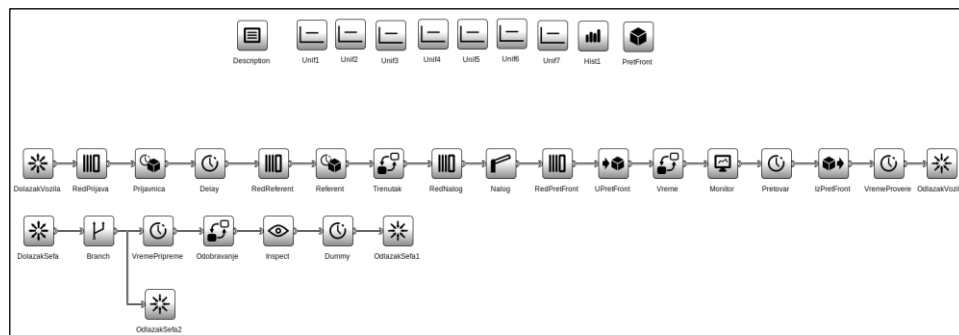


Slika 4. BPMN dijagram operacija otpremnog skladišta CCHBC

Na slici 5 je prikazan model otpremnog skladišta realizovan u mimSim softveru. Broj raspoloživih utovarnih mesta na pretovarnom frontu iznosi 2 pri čemu po jedan radnik radi na svakom utovarnom mestu.

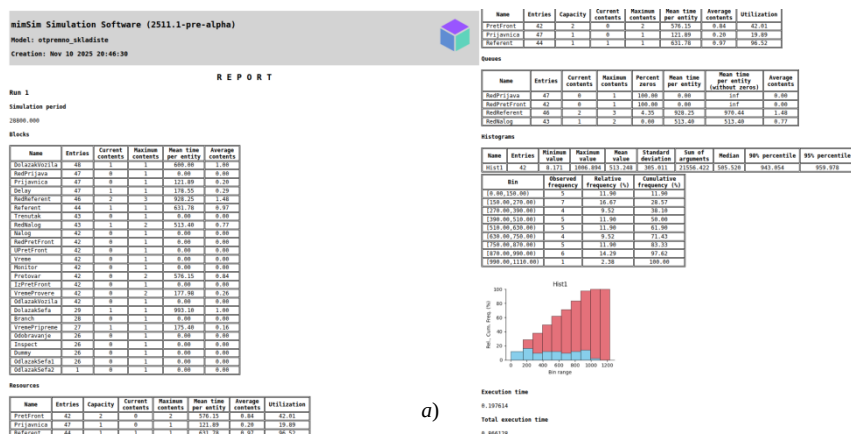
Model se uglavnom sastoji od redova čekanja (Queue), servera (Server) i blokova koji zauzimaju (Seize) ili oslobađaju (Release) resurs. Međutim, ono što je

specifično za ovaj model je korišćenje bloka Barrier (Nalog) koji blokira utovar kamiona dok se ne dobije dozvola od strane šefa magacina. Odobrenje se dobija otvaranjem bloka Barrier od strane bloka Inspect. Takođe, moguće je primetiti postojanje bloka Delay (Dummy) koji nema uneto vreme zadržavanja (vreme zadržavanja je 0 s). Kao što je već rečeno entitet se u modelu kreće sve dok ne postane blokiran ili dok se ne prebaci na FEC listu. Dummy blok ovde ima za cilja da prebaci entitet na FEC listu i da prekine njegovo kretanje što omogućava drugim entitetima da se kreću kroz model. Tačnije, na ovaj način entitetima koji se nalaze u redu ispred Naloga omogućava se da nastave dalje i predu na utovar. Moglo bi se reći da Dummy server u ovom slučaju ima funkciju sličnu blok naredbi BUFFER u GPSS-u.



Slika 5. Simulacioni model otpremnog skladišta CocaCola HBC realizovan u mimSim soferu

Na slici 6 prikazan izveštaj iz delova (slika 6a i slika 6b) koji je generisan nakon izvršenja simulacionog modela. Izveštaj prikazuje statistike blokova i objekata u modelu dobijene u toku izvršenja modela.



Slika 6. Izveštaj dobijen nakon izvršenja simulacionog modela (prikazan iz delova)

## 5. Zaključak

U radu je prikazan softver za diskretnu stohastičku simulaciju – mimSim Simulation Software. Motivacija za njegovu realizaciju je želja autora da se razvije softver koji bi bio konkurentan sa postojećim komercijalnim DES softverima i koji bi mogao da se koristi kao edukativni softver. Iako već postoje neki besplatni DES softveri i DES softveri otvorenog koda oni često imaju specifičnu logiku izrade simulacionog modela koja pomalo odudara od standardne (npr. integrišu animaciju sa izradom modela) ili uvode neke ograničene, nedovoljno dokumentovane interne jezike što ograničava njihovu praktičnu upotrebu. U radu je dat kratak opis softvera, objašnjena je njegova arhitektura i pojedine komponente i dat je primer koji ilustruje deo njegove funkcionalnosti.

Ova verzija mimSim softvera predstavlja prvi korak u njegovom približavanju postojećim komercijalnim alatima. Iako je u pogledu upotrebljivosti interfejsa za kreiranje modela, blokovima i izveštajima mimSim veoma blizak nekim komercijalnim alatima, on ipak ima izvesne nedostatke koje bi trebalo u kasnijim verzijama nadomestiti. To se pre svega odnosi na mogućnosti animacije, dibagovanja i optimizacije modela, kao i na analizu ulaznih podataka (fitovanje raspodela prema podacima dobijenih merenjem). Neke od ovih mogućnosti je relativno jednostavno uvesti (poput optimizacije i analize ulaznih podataka), dok animacija (na kojoj se već radi) i dibagovanje zahtevaju velike promene u kodu softvera.

Na kraju, potrebno je istaći da se realizvani softver uspešno koristi u nastavi na osnovnim akademskim studijama Saobraćajnog fakulteta na predmetu Računarska simulacija.

## Literatura

- [1] B. Radenković, M. Stanojević, A. Marković, *Računarska simulacija*. Beograd: Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet i Fakultet organizacionih nauka, 1999.
- [2] B. K. Choi, D. Kang, *Modeling and Simulation of Discrete Event Systems*. John Wiley & Sons, 2013.
- [3] Holmes M. and Arseneau L, “A Discrete Event Simulation Tool for Conducting a Fleet Mix Study,” in *Proceedings of the 14th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems - Volume 1 : ICORES*, 2025, pp. 207-214, ISBN 978-989-758-732-0, DOI: 10.5220/0013090100003893
- [4] D. Vecillas Martin, C. Berruezo Fernández, A. M. Gento Municio, “Systematic Review of Discrete Event Simulation in Healthcare and Statistics Distributions”, *Applied Sciences*, vol. 15, no. 4, article no. 1861, 2025, DOI: doi.org/10.3390/app15041861
- [5] S. Chen, B. Mulgrew, and P. M. Grant, “The Role of Digital Transformation in Manufacturing: Discrete Event Simulation to Reshape Industrial Landscapes”, *Applied Sciences*, vol. 15, no. 11, 2025. DOI: 10.3390/app15116140
- [6] D. Qiao, Y. Wang, “A review of the application of discrete event simulation in manufacturing”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1802, article no. 022066, 2021, DOI: 10.1088/1742-6596/1802/2/022066
- [7] B. C. Battissacco, W. Azzolini Júnior, C. H. dos Santos, A. L. Romano, “Discrete event simulation-based digital twin: an approach focused on tactical, strategic, and

- operational decisions”, *Journal of Simulation*, pp. 1-19, 2025, DOI: 10.1080/17477778.2025.2531045
- [8] S. Lang,, T. Reggelin, M. Müller, A. Nahhas. “Open-source discrete-event simulation software for applications in production and logistics: An alternative to commercial tools”, *Procedia Computer Science*, vol. 180, pp. 978-987, 2021, DOI: 10.1016/j.procs.2021.01.349
- [9] Python Software Foundation, "Python 3.13 Documentation," Python.org. Available: <https://docs.python.org/3.13/> (accessed: Nov. 11, 2025).
- [10] D.-P. Pop, A. Altar, “Designing an MVC Model for Rapid Web Application Development”, *Procedia Computer Science*, vol. 69, pp. 1172-1179, 2014, DOI: 10.1016/j.proeng.2014.03.106
- [11] D. Mertz, "PEP 255 – Simple Generators," Python Enhancement Proposals, Python.org, 2001. Available: <https://peps.python.org/pep-0255/> (accessed: Nov. 11, 2025).
- [12] M. Đogatović, M. Stanojević, B. Radenković, "SIM-PA: An open source-based simulation language" in *Proc. 13th Balkan Conf. Operational Research (BALCOR 13)*, Belgrade, Zlatibor, Serbia, 2013, pp. 650–659, ISBN: 978-86-7680-285-2

**Abstract:** *Discrete stochastic simulation is a method for modeling and analyzing systems where state changes occur at discrete points in time. It is used in engineering, economics, transportation, and other fields to understand complex systems, reduce costs and risks, support managerial decision-making, and analyze performance. Graphical application software mimSim Simulation Software (2024.11-2) is a designed for building and simulating models of discrete event systems. The software package uses an event-scheduling strategy with the efficient use of generator functions. The simulation model is built by dragging and dropping from a total of 45 blocks. The blocks are divided into three groups: model blocks, objects, and distributions. After the simulation is executed, the software generates a report that can be saved in an appropriate format. The software package is implemented in the Python programming language, which also serves as its internal scripting language. This software represents an excellent tool for educating and introducing students to various aspects of simulation and has already been implemented in undergraduate studies at the University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering.*

**Keywords:** *Discrete Event Simulation, software package, educational software, Python*

## **A NEW SOFTWARE FOR DISCRETE EVENT SIMULATION**

Marko Đogatović, Vesna Radonjić Đogatović, Nikola Matijašević



## **MOGUĆNOST PRIMENE TEHNIKE ZA OBLIKOVANJE SAOBRAĆAJA ZASNOVANE NA UPOTREBI SAVREMENIH SKRIPTING REŠENJA**

Slobodan Mitrović<sup>1</sup>, Andrijana Todosijević<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, s.mitrovic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup>Akadska Mreža Srbije (AMRES), andrijana.todosijevic@amres.ac.rs

**Rezime:** *Imajući u vidu sve veću složenost i dinamiku saobraćaja u lokalnim računarskim mrežama, u radu se predlaže evaluacija sistema za beleženje aktivnosti (syslog-ng) sa ciljem da se utvrdi da li se ovaj sistem može efikasno upotrebiti primenom DevOps skripting tehnika za detekciju anomalija i potrebe oblikovanja saobraćaja (traffic shaping). Fokus istraživanja je na ulozi grafovskih neuronskih mreža (GNN) kao i pratećih tehnika za upotrebu skriptova za navedene svrhe. U radu je dat pregled DevOps tehnika, pregled upotrebe GNN, kao i pregled savremenih alata za vizuelizaciju mrežnih aktivnosti. Analizirana je mogućnost upotrebe zapisa aktivnosti firewall uređaja, koji bi primenom odgovarajućih skriptova bili upotrebljeni za prenos telemetrije i obuku GNN modela kojim se nadalje autonomno pokreće promena konfiguracije upotrebom Netmiko alata u cilju primene tehnika za oblikovanje saobraćaja. Ovakva aktivnost se na kraju može grafički interpretirati primenom odgovarajućeg modela za indeksiranje i vizuelizaciju, baziranom na upotrebi alata poput ElasticSearch i Grafana.*

**Ključne reči:** *detekcija anomalija, nadgledanje, analiza mrežnog saobraćaja, GNN, oblikovanje saobraćaja*

### **1. Uvod**

Ubrzan rast broja i strukture različitih *online* servisa u savremenim lokalnim računarskim mrežama, korespondira sa brojem različitih obrazaca saobraćaja, kako lokalnoj zoni samih mreža, tako i tokom interakcije sa spoljnim mrežama. Dinamika ovakvih promena u određenim slučajevima može dovesti u pitanje efikasnost primene tradicionalnih strategija statičkog upravljanja lokalnom mrežom. Imajući u vidu da segmentacija mreže primenom VLAN koncepta na *datalink* sloju, kao i primena subnet tehnike adresiranja, kao i rutiranja na mrežnom sloju OSI referentnog modela utiče na pojavu različitih obrazaca saobraćaja sa drugačijim nivoima intenziteta, potreba za automatizovanim, inteligentnim, adaptivnim oblikovanjem saobraćaja u situacijama kada se javlja zagušenje postala je neophodna. U slučajevima kada ulogu centralnog čvorišta za komunikaciju (posmatrano na mrežnom sloju) imaju *layer-3* svičevi ili ruteri, a u nekim slučajevima i *firewall* uređaji (poput Cisco Adaptive Security Appliance - ASA),

ovi uređaji po pravilu služe kao podrazumevani prolazi (*default gateways*) za saobraćaj između korespondentnih podmreža, što ih tada čini i centralnim tačkama za sprovođenje kvaliteta usluge, kontrolu i primenu saobraćajnih politika ili oblikovanje saobraćaja.

Imajući u vidu da se konvencionalni sistem podešavanja parametara za filtraciju saobraćaja zasniva na ručnom podešavanju *firewall* pravila na paketskim filtrima postavlja se pitanje koliko je moguće efikasno pratiti fluktuacije u promeni karakteristika saobraćajnih obrazaca u realnom vremenu i blagovremeno izmeniti parametre filtera kao adekvatan odgovor na uočene situacije. Jedno od efikasnih rešenja za navedeni problem je primena adekvatnih pristupa baziranih na tzv. *DevOps* metodologiji [1]. Iako je *DevOps* pristup u upravljanju mrežnim komponentama i samom mrežom star gotovo 10 godina, novi oblici eksploatacije ovog koncepta imaju potpuno novi značaj u fazi kada se primena neuronskih mreža, mašinsko učenje, kao i primena odgovarajućih oblika veštačke ineligenције nalazi u punom zamahu. Ovo je posebno značajno u slučajevima onih institucija koje poseduju sopstvenu mrežnu infrastrukturu i čije računarske mreže poseduju značajne količine sopstvene opreme koja je statički konfigurisana, gde zamena sa opremom narednih generacija zahteva izrazito veliki nivo troškova.

U ovom radu analizirana je mogućnost primene skripting tehnika nad mrežnim uređajima sa ciljem da se mrežnim uređajima sa konvencionalnim načinom konfigurisanja proširi operativna sposobnost da pruže dinamički odgovor na određene pojave. U konkretnom slučaju, analizirana je mogućnost dinamičke rekonfiguracije rutera/*firewall* uređaja sa ciljem promene parametara za oblikovanje saobraćaja upotrebom grafovskih neuronskih mreža (*Graph Neural Networks - GNN*), kao jedne od tehnika za pružanje dinamičkog odgovora na određene pojave u lokalnom mrežnom saobraćaju. Takođe, biće pružen osvrt na primenu adekvatnih načina vizuelizacije podataka dobijenih procesima monitoringa aktivnosti koji se realizuju kroz *syslog-ng* servis, a koji se pripremaju za vizuelizaciju primenom *ElasticSearch* i *Grafana* alata.

Rad je organizovan na sledeći način: u drugom poglavlju prikazan je kratak pregled *DevOps* koncepta kao i uloge skripting tehnika. Koncept grafovskih mreža je prikazan u trećem poglavlju, dok je u četvrtom poglavlju analiziran scenario moguće konfiguracije za primenu skripting tehnika u slučaju lokalne mreža sa jednim čvorištem za rutiranje saobraćaja, nakon čega su dati odgovarajući zaključci.

## 2. *DevOps* i skripting tehnike

*DevOps* kao pojam, koji se u ovom slučaju mogao vezati za lokalne računarske mreže, opisuje se kao skup tehnika za softversko upravljanje informatičkom (mrežnom i serverskom) infrastrukturom, sa ciljem da se poveća stepen automatizacije i brzina konfiguracije/rekonfiguracije, pouzdanost i efikasnost rada posmatranih infrastrukturnih celina. U osnovi, ovakav skup tehnika ima za cilj da se smanji broj individualnih intervencija nad konfiguracijama uređaja, poboljša vidljivost rada i smanji vreme reakcije prilikom pojave različitih vrsta problema. U tom smislu, *DevOps* predstavlja integrativni faktor nad timskim poslovima, koji se odnose na izradu procedura, razvoj softverskih rešenja za posmatranu opremu, kao i osiguranje kvaliteta i operacija na posmatranoj mreži [2]. *DevOps* paradigma izlazi iz granica mrežnih i serverskih rešenja i nalazi takođe primenu i u mnogim drugim tehnološkim oblastima, koje su pogodno za primenu principa automatizacije procesa.

Jedan od ključnih načina na koji DevOps doprinosi automatizaciji mreže jeste upotreba *skripting* tehnika, koja uključuje upotrebu specijalizovanih alata, skripti i unapred definisanih radnih tokova. Ovi alati i skripte omogućavaju pouzdano upravljanje i konfigurisanje mrežnih uređaja, kao i automatizaciju složenijih zadataka kao što je inicijalizacija novih uređaja, centralizovano upravljanje konfiguracijom i kontinuirano praćenje performansi mreže. Na primer, softverski paket *Ansible* [3] može se koristiti za automatizaciju raspoređivanja mrežnih konfiguracija na više uređaja istovremeno, dok se softverski paket *Puppet* [4] često primenjuje za održavanje i ažuriranje konfiguracija koje moraju biti potpuno konzistentne u okviru velikih mrežnih infrastruktura. Praksa upotrebe ovih alata predstavlja sastavni deo savremenih zadataka vezanih za razvoj procesa automatizacije mreže i pruža administrativnom osoblju mogućnost primene napredne politike sistemske konfiguracije/rekonfiguracije uređaja u kompleksnim mrežnim okruženjima [5]. Sa druge strane, jednostavnije mrežne strukture pružaju mogućnost primene *Python* skriptova u procesu upravljanja mrežnim uređajima, kao jednostavnije alternative u poređenju sa primenom navedenih alata [6].

Za efikasnu realizaciju procesa automatizacije mreže uz pomoć DevOps metodologije potrebna je i pristupa poput kontinuirane integracije (*Continuous Integration*, CI) i isporuke (*Continuous Delivery*, CD). Ovi pristupi podrazumevaju kontinuiranu integraciju promena u zajednički repozitorijum koda, detaljno testiranje tih promena, kao i njihovo automatizovano raspoređivanje u produkciono okruženje (*Continuous Deployment*). Na taj način omogućavaju se brže i efikasnije izmene mrežne infrastrukture, uz značajno smanjenu mogućnost grešaka i bolju transparentnost celog procesa. Istovremeno, CI/CD pristup unapređuje sposobnost tima da brzo identifikuje, prati i rešava potencijalne probleme, čime se poboljšava ukupna stabilnost i pouzdanost mreže [7] (Slika1).



Slika 1. Proces automatizacije uporebom DevOps metodologije [7]

Automatizacija mreže uz DevOps uključuje i korišćenje sistema za kontrolu verzija konfiguracionih fajlova, poput Git-a, koji omogućavaju detaljno praćenje, dokumentovanje i upravljanje konfiguracijama mreže tokom celog životnog ciklusa. Ovakav pristup olakšava povratak na prethodne verzije konfiguracija u slučaju nepredviđenih problema, omogućava jasan uvid u istoriju izmena i doprinosi dugoročnoj konzistentnosti i standardizaciji mrežnih okruženja. Na taj način organizacije dobijaju veću kontrolu nad infrastrukturom i mogućnost efikasnijeg planiranja budućih modifikacija [5].

Integracija DevOps tehnika sa tehnikama poput mašinskog učenja (ML), neuronskih mreža (NN) i veštačke inteligencije (AI), rezultovala je različitim oblicima primene i razvoja tehničkih rešenja [8], [9]. Detekcija anomalija primenom adekvatnih tehnika mašinskog učenja, sa ciljem da se određene anomalije što ranije uoče u analiziranim vremenskim serijama u okviru široke primene DevOps tehnika, prikazana je

u [10]. Uloga neuronskih mreža u okviru primene DevOps sa ciljem automatizacije detekcije degradacije performansi prikazana je spektru različitih primena, poput [11].

### 3. Grafovske neuronske mreže (GNN)

Grafovske neuronske mreže (GNN) predstavljaju specijalizovanu klasu neuronskih mreža dizajniranih za učenje nad podacima koji su strukturirani kao grafovi i čiji se način rada zasniva na mehanizmu agregacije informacija (tzv. poruka) [12]. Za razliku od tradicionalnih neuronskih mreža koje tretiraju ulazne podatke kao nezavisne instance, GNN modeli uzimaju u obzir strukturu grafa, gde čvorovi predstavljaju entitete, a grane odnose između njih. Ključna ideja GNN-a je da svaki čvor u grafu uči reprezentaciju  $h_u^{(k)}$  zasnovanu na sopstvenim karakteristikama, ali i na informacijama prikupljenim od susednih čvorova  $u$  kroz proces poznat kao *message passing*. Formalno, za čvor ( $u \in V$ ) u sloju ( $k$ ), njegova nova reprezentacija može se definisati kao [13]:

$$h_u^{(k+1)} = \text{UPDATE}^{(k)}(h_u^{(k)}, \text{AGGREGATE}^{(k)}(\{h_v^{(k)}, \forall v \in N(u)\})), \text{ odnosno} \quad (1)$$

$$h_u^{(k+1)} = \text{UPDATE}^{(k)}(h_u^{(k)}, m_{N(u)}^{(k)}), \quad (2)$$

gde je  $(N(u))$  skup susednih čvorova, *UPDATE* i *AGGREGATE* odgovarajuće diferencijabilne funkcije agregacije, dok  $m_{N(u)}^{(k)}$  predstavlja agregiranu „poruku“ koja potiče iz skupa susednih čvorova čvora  $u$  ( $N(u)$ ). Ovaj postupak omogućava da reprezentacije čvorova postupno integrišu širi kontekst grafa kroz više slojeva, što je ključno za modelovanje složenih međuzavisnosti. Na slici 2 prikazan je primer kako jedan čvor (A) agregira poruke iz skupa susednih čvorova.



Slika 2. GNN agregacija poruka kroz slojeve [13]

Agregacijom se skupljaju poruke od lokalnih grafičkih suseda čvora A (tj. B, C i D), a zatim se poruke koje dolaze od ovih suseda zasnivaju na informacijama agregiranim iz njihovih odgovarajućih susedstava i tako dalje. Kao što se može videti na prikazanoj slici, prenos poruka se u prikazanom slučaju vrši u dva sloja [13]. Jedna od najpoznatijih arhitektura u ovoj vrsti neuronskih mreža su *grafovske konvolucione mreže* (*Graph Convolutional Networks* - GCN), kod kojih se generalizuju konvolucione operacije poznate iz obrade slika na nepravilne graf strukture. U ovoj vrsti mreža, agregacija informacija iz susednih čvorova se često izvodi pomoću normalizovane Laplasove matrice grafa, čime se osigurava stabilnost učenja i smanjenje efekta različitih stepena čvorova. Grafovske mreže sa mehanizmom pažnje (*Graph Attention Networks* - GAT)

uvode dodatni mehanizam pažnje, gde se težina svakog suseda određuje prema njegovoj važnosti za zadatak, omogućavajući selektivno fokusiranje na relevantne veze [13].

#### 4. Moguća skripting rešenja u slučaju primene tehnike oblikovanja saobraćaja

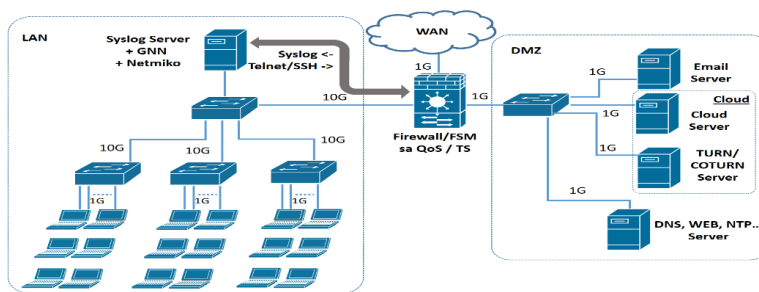
Savremene lokalne mreže koje poseduju svoje sopstvene *online* servise, po pravilu, poseduju i sopstvenu hosting infrastrukturu koja se nalazi u intenzivnoj eksploataciji od strane korisnika. Struktura savremenih mrežnih servisa ne uključuje samo tradicionalne tipove poput DNS, email, ili veb servisa, već često poseduje i napredne oblike, poput sopstvene *cloud* infrastrukture koja ne nudi samo ličnu i grupnu razmenu datoteka, već često poseduje i *real-time* servise kao što su video-konferencije, kolaborativne *cloud* aplikacije (grupno editovanje dokumenata) i/ili interaktivne *chat* servise. U ovakvim sistemima vrlo često je zastupljen TURN (*Traversal Using Relays around NAT*) protokol, koji pruža primene koncepta „premošćavanja“ UDP tokova kada direktna veza nije moguća (na primer kroz NAT i/ili *firewall* zone), pri čemu pruža mogućnost minimalnog kašnjenja paketa. U navedenom slučaju TURN server funkcioniše kao posrednik, primajući podatke sa jednog uređaja i šaljući ih na drugi. TURN server i predstavlja poslednje sredstvo izbora kada STUN (*Session Traversal Utilities for NAT*) komponenta ne uspe da uspostavi direktnu vezu. Jedna od popularnih softverskih platformi, koja za interaktivnu komunikaciju koristi TURN server (kao dodatnu komponentu) je i NextCloud platforma za samostalni hosting oblaka i za potrebe sopstvenih korisnika u LAN i/ili WAN okruženju. Drugim rečima, udeo zahteva koji podrazumevaju upotrebu UDP protokola u ukupnoj strukturi saobraćaja raste kada se razmatra upotreba navedenih vrsta servisa (Tabela 1). Da bi se omogućila pouzdana i efikasna obrada takvih tokova, neophodno je implementirati strategije kvaliteta servisa (QoS) koje favorizuju vremenski osetljivu komunikaciju, kao i odgovarajući odnos zastupljenosti i drugih servisa važnih za korisnike, poput DNS, Web, IMAP i sl.

Tabela 1. Pregled UDP/TCP portova zastupljenih u slučaju upotrebe cloud servisa

| Servis                      | Protokol | Port        | Opis                                             |
|-----------------------------|----------|-------------|--------------------------------------------------|
| TURN (standardni)           | UDP      | 3478        | TURN port za <i>relaying</i> audio/video tokova  |
| TURN (TLS/DTLS)             | TCP/UDP  | 5349        | TURN portovi preko TLS/DTLS                      |
| TURN dinamički <i>relay</i> | UDP      | 49152-65535 | Dinamički dodeljeni portovi za UDP <i>stream</i> |
| Kolaborativni               | TCP      | 9980        | Bazni servis za <i>online</i> Office             |
| WEB                         | TCP      | 80/443      | Veb Servisi                                      |
| IMAP StartTLS               | TCP      | 143/587     | Kriptovani email protokol                        |

Imajući u vidu da u slučaju saobraćaja „vezanog za aktivnosti u oblaku“ zastupljenost UDP saobraćaja po pravilu treba da funkcioniše zajedno sa servisima za prenos datoteka (dakle, sa konektivnim protokolima kao što je TCP) na vezama sa limitiranim kapacitetom, u tačkama rutiranja gde postoje paketski filtri često se uključuju saobraćajne politike ili mehanizmi za oblikovanje saobraćaja. Oblikovanje saobraćaja podrazumeva da se saobraćaj, čiji broj dolaznih paketa prelazi određeno ograničenje, stavlja u red (baferuje) i šalje tokom sledećeg vremenskog intervala. Treba napomenuti

da primena tehnika oblikovanja saobraćaja može pokazati željene rezultate u slučajevima kada se pojavljuje zagušenje veze. Konkretno, oblikovanje saobraćaja može ostvariti puni efekat ako postoji veza sa nižim protokom, poput slučaja koji je prikazan na slici 3, gde *uplink* veza između LAN segmenta mreže (gde su locirane korisnici) i rutera sa firewall-om ima veći kapacitet nego veza sa serverima u DMZ zoni (gde su locirani *cloud* servisi) ili veza sa WAN okruženjem. U ovakvom slučaju dolazi do dominacije TCP saobraćaja koji bez prisustva mehanizma kontrole (saobraćajnih politika ili primenjenih tehnika oblikovanja saobraćaja) može zauzeti i ceo raspoloživi kapacitet na posmatranom linku.



Slika 3. Mreža sa centralnom tačkom rutiranja

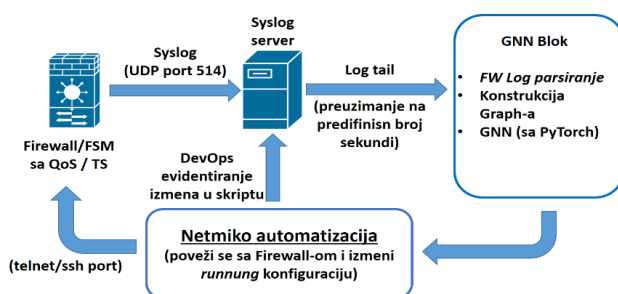
Savremene okolnosti često ukazuju na potrebu da se u slučajevima, kada se primenjuju tehnike oblikovanja saobraćaja, parametri prioriteta određenih tipova saobraćaja moraju češće adaptirati, pogotovo u slučajevima koegzistencije različitih generacija uređaja koji poseduju mrežne portove različitih kapaciteta. Da bi se ovaj problem rešio, neophodno je uključiti sisteme za praćenje aktivnosti mreže, koji mogu vršiti zapis relevantnih vrednosti parametara od kojih zavisi primena tehnika za oblikovanje saobraćaja. Očitavanjem zapisa nadalje se mogu donositi odluke o dodeljivanju odgovarajućih nivoa prioriteta određenim tipovima saobraćaja - ručno ili putem primene nekog od mehanizama za automatizovano donošenje odluka.

U ovom poglavlju se analizira mogućnost uvođenja mehanizma za automatizovano donošenje odluka primenom odgovarajućih skripting rešenja na nivou servera namenjenog za upravljenje mrežnim uređajima, pri čemu manipulacija skriptovima treba da funkcioniše u skladu sa DevOps konceptima. Mogućnost DevOps ručnog upravljanja mrežnim komponentama upotrebom odgovarajućih skriptova nije nov pristup i kao takav ima široku primenu. Nasuprot tome, uvođenje inteligentnih mehanizama u procese dinamičkog (a u nekim slučajevima i autonomnog) upravljanja zasnovanog na primeni skiptinga još uvek nema široku zastupljenost u produkcionim rešenjima, najčešće zbog širokog spektra mogućih pristupa za primenu nad određenim vrstama mrežne infrastrukture. U analiziranom slučaju (Slika 3), ispitana je mogućnost da se u proces dinamičkog upravljanja uvedu skripting rešenja, pretežno zastupljena u distribucijama Linux operativnih sistema. Mreža koja se razmatra sadrži LAN segment koji ima backbone kapacitet 10 Gb/s, centralni switch, kao i Cisco ruter/firewall kao centralnu tačku rutiranja u posmatranoj mreži. Pored navedenog, ova mreža sadrži i demilitarizovanu zonu (DMZ) sa serverskim instancama i linkovima kapaciteta 1 Gb/s. U posmatranom scenariju među navedenim instancama nalazi se i Nextcloud server sa TURN servisom. Scenario podrazumeva i da Firewall sa svojim karakteristikama ima

moгуćnost primene tehnika oblikovanja, moгуćnost primene politika i definisanje prioriteta paketskih redova, poput sledećeg primera u kome se za TURN saobraćaj dodeljuje 50% raspoloživog kapaciteta, što se vidi u prikazanom delu konfiguracije:

```
access-list TURN_ACL extended permit udp any any range 3478 3478
access-list TURN_ACL extended permit tcp any any range 5349 5349
class-map TURN_CLASS
match access-list TURN_ACL
policy-map PRIORITY_POLICY
class TURN_CLASS
priority percent 50
class class-default
bandwidth percent 50
service-policy PRIORITY_POLICY interface outside
```

Shodno navedenom, predlaže se sledeće *skripting* rešenje za moгуću automatizaciju procesa oblikovanja saobraćaja (Slika 4).



Slika 4. Skripting rešenje za moгуću automatizaciju procesa oblikovanja saobraćaja

ruter/firewall uređaj se konfiguriše za slanje syslog poruka ka centralizovanom syslog serveru korišćenjem UDP ili TCP, pri čemu se najčešće koristi UDP port 514. Ova konfiguracija obično uključuje definisanje adrese Syslog servera, tipove poruka koje se šalju serveru, kao i mrežni interfejs koji će biti zadužen za slanje. Tipovi poruka treba da uključe sve relevantne događaje, uključujući događaje vezane za QoS, kao i sve događaje u vezi sa mrežnim konekcijama koje u sebi sadrže i protokole od interesa. Za potrebe GNN analize bitni su određeni *syslog* identifikatori (ID) koje Cisco Firewall (ovom slučaju) može generisati tokom rada, jer predstavljaju direktne indikatore stanja mrežnih sesija, performansi i potencijalnih QoS problema (Tabela 2).

Tabela 2. Primeri identifikatora koji mogu biti od važnosti za treniranje GNN

| Identifikator (ID)     | Događaj / stanje    |
|------------------------|---------------------|
| 302013–302016          | connection built    |
| 302020                 | TCP state           |
| 302021–302023          | connection teardown |
| 411001, 415001, 419001 | QoS, shaping drops  |
| 611101–611103          | routing             |

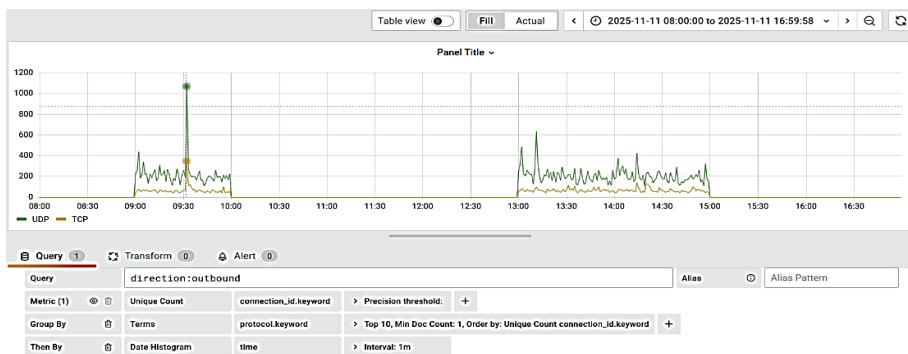
Kombinacijom ovih identifikatora *syslog-ng* može da kreira detaljan zapis, koje GNN koristi kao atribut za formiranje karakteristika čvorova i grana u grafu radi detekcije preopterećenja i aktiviranja određene odluke (u vidu *flag-a*) za izmenu konfiguracije preko Netmiko paketa. Da bi se to moglo realizovati, Syslog podaci se preuzimaju iz log datoteke upotrebom *tail* komande u regularnim vremenskim intervalima (npr. svakih 5 sec), a zatim se moraju preformatirati u JSON format koji GNN modul koristi za učitavanje i formira graf koji se obrađuje kroz nekoliko slojeva konvolucije nad čvorovima kako bi se otkrile zavisnosti između mrežnih događaja. Obuka GNN-a vrši se u sledećim fazama:

1. Za svaki događaj biraju se atributi (portovi, protokoli, količina saobraćaja, trajanje, tipovi ID-eva i statističke metrike), koji se kodiraju u numerički vektor čvora. GNN zatim formira graf tako što povezuje uzastopne zapise istog toka, grupiše logove koji dele IP/protokol, vezuje one sa istim TURN/DNS/NTP portovima i povezuje anomalije sa njihovim susednim događajima, obezbeđujući modelu da uči kontekst, a ne izolovane zapise;
2. Model se trenira definisanjem ciljne vrednosti: klasifikacije događaja (npr. regularan, degradiran, kritičan, anomalija), regresije očitanih vrednosti (opterećenje linka, verovatnoća zagušenja, QoS prioriteta) ili preporuke izmene trenutne konfiguracije. Tokom treniranja GNN prolazi kroz slojeve *message passing-a*, računa *loss* vrednost (npr. *cross-entropy*), a zatim se greška propagira unazad i ažuriraju težine (npr. upotrebom Adam modula). Validacija se vrši nad grafovima koje GNN nije „upoznao“, kako bi se utvrdilo da li model prepoznaje obrasce, npr. da li prepoznaje TURN zagušenja iako ih nije video tokom treninga;
3. Kada je obuka završena, GNN generiše klasifikaciju svakog log događaja, preporuke, poput narednog primera: Ukoliko izlazni vektor dobije vrednost 0, tada se syslog događaj ocenjuje kao regularan, u suprotnom se ocenjuje kao identifikovana anomalija (npr. abnormalan TURN nivo saobraćaja, DoS, spike). Shodno tome, rezultat može delimično pripremljeno značenje, poput "TURN sesije na portu 3478 generišu visoko kašnjenje“, pa se u kodu definiše izlazna vrednost koja označava da mreža preporučuje QoS prioritet: „visok“, odnosno generiše se *flag*, koji npr. dobije vrednost „3“. Ovaj *flag* se, nadalje, prosleđuje u Netmiko skript koji ima predefinisane parametre pristupa Firewall-u, kao i uslovne korake kojima vrši izmena predefinisanih vrednosti ili komandi unutar same konfiguracije i to u zavisnosti od same *flag* vrednosti.

Monitoring prikazanog procesa (Slika 5) može se vršiti kroz vizuelizaciju *syslog-ng* saobraćaja, koji se pre toga mora konvertovati u odgovarajući format. To se može učiniti upotrebom *Python* skripta, koji ima zadatak da aktivira *tail* komandu nad odgovarajućom log datotekom u regularnim intervalima i zatim izvrši parsiranje i normalizaciju izdvojenih poruka, koje potom prosleđuje u Elasticsearch gde se podaci indeksiraju i čuvaju u formi dokumenata optimizovanih za brzu pretragu i agregaciju. Nakon indeksiranja, Grafana preuzima ulogu interaktivne frontend aplikacije, koja omogućava pregled i analizu logova kroz dashboard-e, grafike, filtere i pretrage zasnovane na *Grafana Query Language* (KQL). Generalno, Grafana omogućava kreiranje *real-time* panela koji automatski osvežavaju prikaz, što je važno za korelaciju događaja i otkrivanje incidenata [14]. Kombinacija *syslog-ng* sa paketima Elasticsearch i Grafana značajno olakšava otkrivanje trendova i anomalija u mrežnim logovima i predstavlja tipičnu



osnovu za dalju analitiku ili formiranje AI/ML *pipeline* linkova kao spoljnim mrežnim lokacijama.



Slika 5. Primer generisanog grafikona u Grafana interfejsu sa brojem paketa usmerenim ka DMZ zoni

## 5. Zaključak

Implementacija automatizovanih *skripting* rešenja u procesima primene tehnika za oblikovanje saobraćaja, zajedno sa alatima za vizuelizaciju predstavlja korak u evoluciji QoS metodologije u kojoj se primenjuju principi adaptivnog učenja. Ova sinteza podržava poboljšanu otpornost mreže kada je suočena sa zagušenjima u zonama „uskog grla“, obezbeđuje viši kvalitet servisa pod promenljivim opterećenjem i usklađuje administrativnu politike sa stvarnom dinamikom saobraćaja. Kako kompleksnost mreža nastavlja da raste, integracija analize bazirane na GNN-ovima sa tradicionalnim QoS alatima postaje sve neophodnija u slučajevima kada je u infrastrukturi prisutno nekoliko generacija mrežne i serverske opreme. Prednost tehnike upotrebe skriptova može se uvideti u činjenici da se nije ograničena na primenu tehnike oblikovanja saobraćaja, već može biti primenjeno i za rešavanje bilo kog drugog problema na mreži. Imajući u vidu da je u slučajevima kompleksnijih mreža komplikovano koristiti *tail* opciju u svakodnevnom poslovanju administracije mreže, potrebno je razmotriti upotrebu alternativnih alata koji mogu da formiraju strimove podataka ka više različitih komponenti za podršku odlučivanju. To se ujedno može smatrati budućim pravcem daljeg istraživanja upotrebe *skripting* rešenja u lokalnim računarskim mrežama.

## Literatura

- [1] L. Bass, I. Weber i L. Zhu, *DevOps: A software architect's perspective*, Addison-Wesley Professional, 2015.
- [2] C. Ebert, G. Gallardo, J. Hernantes i N. Serrano, „DevOps,“ *IEEE software*, t. 33, p. 94–100, 2016.
- [3] M. Borgenstrand, *Network automation – the power of Ansible*, 2018, p. 116.
- [4] S. Wagbrant i V. Dahlen Radic, *Automated Network Configuration : A Comparison Between Ansible, Puppet, and SaltStack for Network Configuration*, 2022, p. 41.

- [5] PyNet Labs, *Network Automation Using DevOps*, 2025.
- [6] N. A. Younes, *Network Automation: A Comparative Analysis of Ansible and a Custom Python-Based Tool*, 2024, p. 30.
- [7] Civo, *The Role of the CI/CD Pipeline in Cloud Computing*, 2024.
- [8] T. Mboweni, T. Masombuka i C. Dongmo, „A Systematic Review of Machine Learning DevOps,“ p. 1–6, July 2022.
- [9] G. Ramesh, T. V. Pai, R. Birau, K. K. Poojary, A. R. Shingad, N. Sowjanya, V. Popescu, A. T. Mitroi, R.-M. Nioata, K. K. Raj i others, „A comprehensive review on scaling Machine Learning workflows using Cloud Technologies and DevOps,“ *IEEE Access*, 2025.
- [10] A. Hrusto, E. Engström i P. Runeson, „Towards optimization of anomaly detection in DevOps,“ *Information and Software Technology*, t. 160, p. 107241, 2023.
- [11] Z. Sun, Y. Li i L. Wen, „DevOps and Neural Network Based Full Lifecycle Management Model for Power Information Systems,“ *Procedia Computer Science*, t. 208, pp. 642-649, 2022.
- [12] F. Scarselli, M. Gori, A. C. Tsoi, M. Hagenbuchner i G. Monfardini, „The Graph Neural Network Model,“ *IEEE Transactions on Neural Networks*, t. 20, p. 61–80, January 2009.
- [13] W. L. Hamilton, „The Graph Neural Network Model,“ u *Graph Representation Learning*, Cham, Springer International Publishing, 2020, p. 51–70.
- [14] A. Todosijević, K. Simonović i A. Arsović, *Upravljanje logovima i vizualizacija statistika korišćenja AMRES servisa upotrebom alata otvorenog koda*, University of Belgrade - School of Electrical Engineering and Academic Mind , 2022.

**Abstract:** *Considering the raising complexity and dynamics of traffic generated in local computer networks, the paper proposes an activity logging system (syslog-ng) evaluation with the aim of determining whether this system can be effectively used by DevOps scripting techniques in terms of the detection of traffic anomalies, as well as the decision support regarding the activation of traffic shaping policies. The focus of the research is given to the Graph Neural Networks (GNN) deployment along with corresponding scripting techniques. The paper provides an overview of DevOps techniques, an overview of the GNN, as well as an overview of modern tools for visualizing network activities. Therefore, the possibility of using firewall device activity records was analyzed, in the purpose of using telemetry in a process of GNN training. GNN output would be further used to autonomous change of traffic shaping policies using the Netmiko tool. All related activity could be graphically interpreted by applying a suitable model for indexing and visualization, based on tools like ElasticSearch and Grafana.*

**Keywords:** *anomaly detection, monitoring, network traffic analysis, Graph Neural Networks (GNN), traffic shaping*

## **DEPLOYABILITY OF TRAFFIC SHAPING TECHNIQUE BASED ON THE USE OF MODERN SCRIPTING SOLUTIONS**

Slobodan Mitrović, Andrijana Todosijević

## **PRISTUPI UPRAVLJANJA POVERENJEM U VANET MREŽAMA**

Milica Kljajić, Mirjana Stojanović  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,  
m.kljajic@sf.bg.ac.rs, m.stojanovic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *VANET (Vehicular Ad Hoc Networks) mreže su ključna komponenta inteligentnih transportnih sistema. One obezbeđuju manji broj saobraćajnih nezgoda, veću bezbednost na putevima i bolji ugođaj pri putovanju. Ipak, suočavaju se sa velikim brojem napada koji prete da ugroze njihovu bezbednost. Napadi na VANET mreže fokusiraju se na ranjavanje njenih najbitnijih tačaka, kao što su raspoloživost, autentifikacija i identifikacija, poverljivost, integritet i poverenje podataka, kao i neporicanje i odgovornost. Zbog napada na bezbednost VANET mreža, neophodni su efikasni i robusni mehanizmi. U ovom radu opisani su neki od najčešćih napada na bezbednost VANET mreža, ali su prikazane i šeme koje daju rešenja na pomenute napade. Prikazani su pristupi upravljanja poverenjem, koji uključuju šeme zasnovane na entitetima, podacima, kao i hibridne šeme, ali i šeme zasnovane na najnovijim tehnologijama. Neke od njih su šeme zasnovane na cloud-u, SDN-u (Software Defined Networking), fog/edge-u, blockchain-u, kao i šeme zasnovane na veštačkoj inteligenciji.*

**Ključne reči:** *VANET mreže, upravljanje poverenjem, bezbednost, cloud, SDN*

### **1. Uvod**

Porast broja stanovnika dovodi i do zahteva za sve većim unapređenjem i razvojem društva i okruženja. Zahtevi ljudi postaju sve veći, pa je otkrivanje i projektovanje novih vrsta mreža neophodno. Razvoj pametnih gradova, pametnih kuća, pametnih vozila i pametnih elektroenergetskih mreža jedan je od ciljeva ka kojima se teži kako bi se zadovoljile želje i potrebe ljudi.

Inteligentni transportni sistemi (*Intelligent Transportation System, ITS*) se razvijaju kako bi se unapredilo iskustvo putovanja, a njihova ključna komponenta jesu VANET (*Vehicular Ad Hoc Networks*) mreže. Primarni cilj VANET mreža jeste povećanje bezbednosti na putu i smanjenje broja saobraćajnih nezgoda, a pored toga poboljšavaju i iskustvo putovanja korisnika, tj. kako vozača, tako i putnika.

Zbog velike brzine kretanja čvorova, tj. vozila, u VANET mrežama, velikog broja čvorova, tj. velikih dimenzija mreže, dinamične topologije mreže, kao i bežične komunikacije među čvorovima, VANET mreže su često na meti bezbednosnih napada. Meta napada su najranjivije tačke same mreže, dok su motivi napadača različiti, ali njihov cilj je uglavnom isti - ugrožavanje bezbednosti entiteta u VANET mrežama.

U radu su prikazani pristupi upravljanja poverenjem, tj. šeme zasnovane na entitetima, podacima, kao i hibridne šeme. Pored njih, prikazane su i različite šeme upravljanja poverenjem, neke od njih su zasnovane na tehnologijama poput *cloud-a*, SDN-a (*Software Defined Networking*), *fog/edge-a*, *blockchain-a* ili veštačke inteligencije (*Artificial Intelligence*, AI) [1].

Rad je sačinjen od pet poglavlja. U drugom poglavlju prikazane su opšte karakteristike i bezbednosni servisi u VANET mrežama. U trećem poglavlju nalaze se postojeći izazovi u VANET mrežama, prikazani su bezbednosni izazovi, kao i izazovi upravljanja poverenjem. U nastavku tog poglavlja prikazane su vrste bezbednosnih napada, kao i njihova klasifikacija. U četvrtom poglavlju opisane su šeme upravljanja poverenjem i data su neka rešenja zasnovana na datim šemama. Na samom kraju nalaze se zaključak i literatura.

## 2. Karakteristike i bezbednosni servisi u VANET mrežama

VANET mreže predstavljaju jednu od glavnih komponenti ITS-a, a često se nazivaju i inteligentnom transportnom mrežom (*Intelligent Transportation Network*). Veruje se da će VANET mreže evoluirati u Internet vozila (*Internet of vehicles*, IoV), odnosno u Internet autonomnih vozila (*Internet of autonomous vehicles*).

Najznačajnije komponente VANET mreža jesu entiteti od poverenja (*Trusted Authority*, TA), uređaji pored puta (*Roadside Unit*, RSU), uređaji u vozilima (*Onboard Unit*, OBU) i aplikacioni uređaji u vozilima (*Application Unit*, AU). U zavisnosti od toga koji entiteti međusobno komuniciraju, najčešći tipovi komunikacije u VANET mrežama jesu komunikacija između vozila i infrastrukture (*Vehicle to Infrastructure*, V2I), vozila i vozila (*Vehicle to Vehicle*, V2V) i infrastrukture i infrastrukture (*Infrastructure to Infrastructure*, I2I).

Čvorovi u VANET mrežama kreću se velikim brzinama i zbog toga one imaju veoma dinamičnu topologiju. Vozila između sebe komuniciraju zahvaljujući *multihop* komunikaciji, odnosno posredstvom međučvorova. Kako se informacije prenose u otvorenom okruženju kom svi mogu da pristupe, bezbednost VANET mreža jedan je od ključnih izazova. Svaka VANET mreža mora da ispuni bezbednosne zahteve i zahteve za privatnošću. VANET mora da garantuje da poruke koje se prenose nisu ubačene u mrežu od strane napadača ili modifikovane, jer bilo kakva neautorizovana izmena poruka može da izazove velike pretnje po bezbednost vozača i putnika. Autentifikacija i poverenje su zato, u VANET mrežama, ključni zahtevi. Poruke koje se šalju sadrže privatne podatke o vozaču i trebalo bi da se šalju anonimno kako bi se obezbedila efikasna komunikacija.

Jedan od ključnih zahteva VANET mreža je PKI (*Public Key Infrastructure*). Nekoliko bezbednosnih rešenja zavisi od tradicionalnog PKI za detektovanje napada od strane napadača koji se nalaze izvan mreže. Ipak, PKI ne može da detektuje napadače unutar mreže jer su oni već učesnici i imaju verifikovane kredencijale. Zbog toga, istraživači predlažu koncept poverenja kao bezbednosni parametar koji može da detektuje napadače koji se nalaze unutar mreže na osnovu zajedničkih poruka. Ovaj koncept je još u ranim fazama istraživanja, ali njegova ideja je da svaki čvor na osnovu modela poverenja dodeli drugom čvoru stepen poverenja u toku komunikacije [1].

U tabeli 1 navedeni su bezbednosni servisi koji se moraju poštovati kako bi prenos informacija u VANET mrežama bio pouzdan i bezbedan.

*Tabela 1. Bezbednosni servisi u VANET mrežama [1]*

| Servis              | Opis                                                                                                                                                         |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Raspoloživost       | Jedan od najbitnijih bezbednosnih servisa, jer većina napada pravi problem protiv raspoloživosti servisa.                                                    |
| Autentifikacija     | Znanje da li podaci dolaze sa legitimnog čvora ili ne.                                                                                                       |
| Integritet podataka | Podaci koji dolaze sa legitimnog čvora trebalo bi da budu netaknuti i robusni, kako napadači ne bi mogli da ih menjaju.                                      |
| Poverljivost        | Kontroliše otkrivanje sadržaja poruke neovlašćenim entitetima kako bi se sačuvala privatnost korisnika tako što razmenjuje šifrovane podatke među čvorovima. |
| Neporicanje poruka  | Sprečava da pošiljalac ili primalac odbiju poslatu poruku.                                                                                                   |

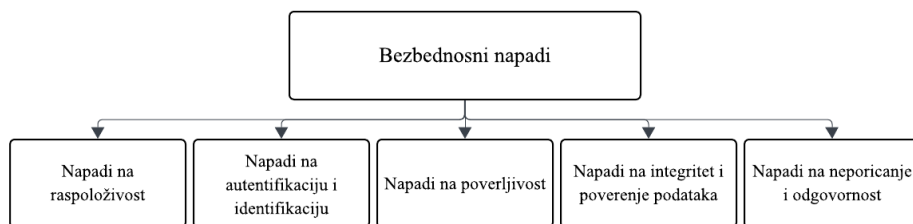
### 3. Izazovi

U VANET mrežama postoje različiti tipovi učesnika. Glavni učesnici koji razmenjuju informacije jesu vozači, vozila, tj. OBU, uređaji pored puta, tj. RSU, i treća lica koja mogu biti učesnici od (polu)poverenja. Ipak, pored njih, u VANET mrežama postoje i napadači koji značajno mogu da ugroze bezbednost same VANET mreže.

Vozač je najvažniji element koji učestvuje u bezbednosti VANET mreže jer ima ulogu u donošenju veoma važnih odluka. OBU se odnosi na vozilo, ali i na vozača, dok se RSU odnosi na uređaje pored puta koji prikupljaju informacije od OBU uređaja, kao i drugih RSU. Pod pojmom treće lica smatraju se svi učesnici koji na neki način učestvuju u ITS-u, na primer regulatori transporta, proizvođači vozila, saobraćajna policija, sudije itd. U kontekstu bezbednosti VANET mreža, napadač je jedan ili više entiteta koji žele da naruše bezbednost same mreže, kao i bezbednost vozila kojima se veruje, korišćenjem različitih tehnika. Oni utiču na bezbednost mreže i prave probleme drugim entitetima tako što menjaju poruke koje drugi entiteti međusobno razmenjuju. Postoji više različitih vrsta napadača, a neke od njih su: pasivni, aktivni, insajderski, autsajderski, zlonamerni, racionalni i iracionalni napadači [2].

Kako se u VANET mrežama podaci šalju preko bežičnih veza koje su ranjive na napade zlonamernih čvorova, bezbednost predstavlja jedan od najvažnijih aspekata njihovog funkcionisanja. Ukoliko su aplikacije koje se koriste napadnute, može doći do ozbiljnih posledica po učesnike u saobraćaju, zbog čega je neophodno da VANET mreže garantuju autentičnost i integritet poruka koje se razmenjuju između entiteta. U heterogenim mrežama visoke mobilnosti, sa dinamičnim promenama topologije i kratkotrajnim komunikacijama između čvorova, često je teško otkriti zlonamerne aktivnosti, posebno kada napadači koriste identitete legitimnih čvorova kako bi ugrozili mrežu. Ovi problemi bezbednosti i privatnosti direktno su povezani sa upravljanjem poverenjem, pa su mnogi istraživači posvetili pažnju razvoju mehanizama autentifikacije i modela zasnovanih na poverenju radi očuvanja privatnosti i povećanja pouzdanosti VANET mreža.

VANET mreže predstavljaju kompleksan i heterogen sistem sa nekim slabostima. U zavisnosti od slabosti mreže koju napadači napadaju, postoje različite vrste napada, slika 1.



Slika 1. Opšta klasifikacija bezbednosnih napada (na osnovu [1])

Raspoloživost mreže je veoma važan faktor kod VANET mreža, ona garantuje da je mreža funkcionalna i da su korisne informacije raspoložive u svakom trenutku. Zbog svoje važnosti u VANET mrežama jedna je od glavnih tačaka napada. Postoji veliki broj napada na raspoloživost, a neki od njih su: distribuirano onemogućavanje servisa (*Distributed Denial of Service*, DDoS), *spamming*, *jamming*, *black hole*, *grey hole*, napad zlonamernih programa i *greedy* ponašanje [3, 4].

Autentifikacija predstavlja ključni izazov bezbednosti VANET mreža. Svi entiteti pre pristupanja mreži ili servisima moraju da prođu kroz proces autentifikacije, kako bi se sprečili insajderski i outsajderski napadi zasnovani na lažnom identitetu. Postoji nekoliko tipova napada na autentifikaciju i identifikaciju, a oni su: Sibil napad, tunelovanje, lažno predstavljanje (*impersonation*), replikovanje ključa (*key replication*), *worm hole*, *free riding* i GPS (*Global Positioning System*) lažiranje (*GPS spoofing*) [3, 4].

Poverljivost je veoma važan bezbednosni parametar u VANET mrežama jer obezbeđuje da podatke čitaju samo autorizovani entiteti. U slučaju da mehanizam koji obezbeđuje poverljivost podataka koji se razmenjuju između čvorova ne funkcioniše, podaci su veoma ranjivi na napade. Napadi na poverljivost su: prisluškivanje (*eavesdropping*), analiziranje saobraćaja, *man in the middle* i *social* napad [3].

Integritet razmenjenih podataka u sistemu obezbeđuje da podaci prilikom prenosa nisu promenjeni. Mehanizmi integriteta pomažu u zaštiti informacija od modifikacija, brisanja ili dodavanja. U VANET mrežama napadi na integritet i poverenje podataka uglavnom ciljaju na V2V komunikaciju, jer je ona, u poređenju sa V2I komunikacijom, ranjivija. Jedna od tehnika koja olakšava ove napade jeste laka manipulacija senzorima u vozilu. Napadi na integritet podataka su: maskiranje (*masquerading*), ponovno slanje paketa, iluzija i menjanje poruka [3].

Neporicanje označava mogućnost verifikacije da su pošiljalac i primalac stvarno entiteti koji su potvrdili slanje ili prijem neke poruke. Ako ni pošiljalac ni primalac ne potvrde da su stvarno oni poslali ili primili poruku, onda se samo potvrđuje da je poruka poslata ili primljena, ali se ne zna sa kog i do kog čvora. Imajući u vidu da je bezbednost VANET mreža veoma bitna, trebalo bi da u svakom trenutku bude moguće identifikovati hardverske i softverske promene, bezbednosna podešavanja i aplikacije. Jedan od najpoznatijih napada ove vrste jeste napad na neporicanje [3].

#### 4. Klasifikacija šema upravljanja poverenjem

U ovom poglavlju prikazana je klasifikacija šema upravljanja poverenjem, kao i klasifikacija šema zasnovanih na tehnologiji.

#### 4.1. pristupi upravljanja poverenjem

Pristupi upravljanja poverenjem dele se na šeme zasnovane na entitetima, šeme zasnovane na podacima, kao i na hibridne šeme, slika 2.



Slika 2. Pristupi upravljanja poverenjem (na osnovu [1])

Šeme zasnovane na entitetima modeluju poverenje na nivou čvorova u mreži, pri čemu svaki entitet ima stepen poverenja koji se dinamički menja tokom vremena. Nivo poverenja procenjuje se na osnovu reputacije, uzimajući u obzir prethodno ponašanje čvora, njegove aktivnosti i preporuke susednih čvorova.

- U radu [5] predložen je model poverenja koji koristi autoritetni čvor za upravljanje reputacijom. Na osnovu ocene reputacije odlučuje se da li čvor može ili ne može pristupiti mreži. Niska ocena reputacije označava opoziv, dok visoka ocena omogućava komunikaciju sa ostalim entitetima.
- U radu [6] predstavljena je šema upravljanja poverenjem PBTMS (*Path-Backtracking-based Trust Management Scheme*) za VANET mreže, koja procenjuje pouzdanost vozila prema istoriji interakcija i ponašanju. Iako koristi informacije o putanji radi preciznije detekcije, šema je entitetski orijentisana jer poverenje izvodi iz reputacije i doslednosti vozila, omogućavajući efikasno prepoznavanje zlonamernih čvorova i adaptivno ažuriranje praga poverenja.

Šeme zasnovane na podacima procenjuju verodostojnost samih poruka, što znači da se zasnivaju na sadržaju i njihovoj korisnosti u odnosu na kontekst događaja. Faktori poput vremena, blizine, događaja i uloge čvora utiču na tu procenu. Ovakav pristup je pogodniji za VANET mreže zbog dinamične prirode i kratkotrajnih veza između entiteta.

- U radu [7] predložena je šema za detekciju zlonamernih čvorova u VANET mrežama zasnovana na sličnosti poruka. Na osnovu brzine i gustine, svaki čvor izračunava svoju *flow* vrednost koristeći *Green-shields* model, a zatim upoređuje procenu sa primljenom porukom. Ako se vrednosti ne podudaraju, pošiljalac se označava kao sumnjiv i prijavljuje.
- U radu [8] predstavljen je sistem upravljanja poverenjem za IoV zasnovan na *blockchain*-u, koji procenjuje poverenje prema kredibilitetu i konzistentnosti podataka, a ne reputaciji čvorova. Verifikacijom i beleženjem informacija na *blockchain*-u obezbeđuje se transparentnost i sprečava manipulacija, čime se poboljšava detekcija lažnih podataka i smanjuje kašnjenje u mreži.

Kod hibridnih šema, poverenje se računa na osnovu pouzdanosti entiteta, ali i razmenjenih podataka. Ukoliko veliki broj entiteta neke podatke označi kao pouzdane u VANET mrežama, oni se u drugim čvorovima u mreži predstavljaju kao pouzdani.

- U radu [9] autori su kombinovali faktore ponašanja i sličnosti kako bi definisali robusnu i hibridnu šemu upravljanja poverenjem u VANET mrežama. Teži se ka tome da se detektuju zlonamerni podaci koji se unose u mrežu putem Sibil napada. Stepen poverenja se uspostavlja na osnovu verifikacije sličnosti između stvarnog i pretpostavljenog ponašanja čvora.
- U radu [10] predstavljena je hibridna šema upravljanja poverenjem za VANET mreže koja kombinuje pristupe zasnovane i na entitetima i na podacima radi veće bezbednosti i pouzdanosti. Poverenje vozila procenjuje se na osnovu istorije interakcija i kredibiliteta poruka, dok se dva nivoa poverenja integrišu pomoću subjektivne logike i ponderisanog glasanja. Ovaj pristup efikasno otkriva zlonamerne čvorove i lažne informacije, poboljšavajući tačnost i adaptivnost u dinamičnim okruženjima.

U tabeli 2 prikazane su različite šeme, kao i korišćene metrike, alati i parametri.

*Tabela 2. Paralelni prikaz pristupa upravljanja poverenjem (adaptirano prema [1])*

| Lit. | Klasa    | Korišćena metrika                           | Alati                                                      | Parametri                                           |
|------|----------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| [5]  | Entiteti | Reputacija                                  | Metoda eliptične krive                                     | Troškovi računanja                                  |
| [6]  |          | Preciznost, odziv i F-mera                  | Simulator ONE ( <i>Opportunistic Network Environment</i> ) | Broj vozila, prag poverenja i težinski koeficijenti |
| [7]  | Podaci   | Svojstva čvora, blizina i faktori okruženja | Definisane formule                                         | Prosečna gustina i stepen uspešnosti                |
| [8]  |          | Stepen poverenja i tačnost                  | <i>Blockchain</i> i <i>smart-contract</i> mehanizmi        | Broj čvorova, vreme obrade i potrošnja resursa      |
| [9]  | Hibridni | Znanje i svojstva čvora                     | Definisane formule                                         | Stopa detekcije i prosečno kašnjenje                |
| [10] |          | Tačnost detekcije i stopa lažnih alarma     | Veins platforma                                            | Broj čvorova, brzina vozila i prag poverenja        |

## 4.2. Klasifikacija šema zasnovanih na tehnologijama

Veštačka inteligencija i tehnologije kao što su *cloud*, SDN, *fog/edge* i *blockchain* predstavljaju korisne alate u procesu razvijanja modela poverenja, slika 3.



*Slika 3. Klasifikacija šema zasnovanih na tehnologijama (na osnovu [1])*



Autori rada [11] predložili su model upravljanja poverenjem u VANET mrežama, koji upravlja procesom izračunavanja. Model se sastoji iz tri osnovna koraka. Prvi korak zasniva se na predobradi podataka koja se obavlja pomoću DST-a (*Decision Support Techniques*). U sledećem koraku se koristi *Fuzzy* analizator kako bi se odredile vrednosti stepena poverenja čvorova u mreži. Na kraju se koriste algoritmi koji se baziraju na principima dodeljivanja nagrada dobronamernim čvorovima i kažnjavanja zlonamernih čvorova. U ovakvom pristupu, svaki čvor može da zatraži vrednost stepena poverenja nekog drugog čvora putem *cloud* servera.

U radu [12] kombinovani su geografski protokoli rutiranja sa SDN pristupom radi formiranja modela rutiranja zasnovanog na poverenju i enkripciji. Predložena šema grupiše čvorove u klastere, pri čemu se za glavni čvor (*Cluster Head*, CH) bira onaj koji ima najpovoljnije faktore mape, visok stepen poverenja i stabilne beacon signale susednih čvorova. Ovakva struktura omogućava sigurnije i efikasnije rutiranje u VANET mrežama.

U radu [13] iskorišćen je *fog computing* za upravljanje poverenjem u VANET mrežama kroz dvoslojnu arhitekturu: sloj sa *cloud* serverom i lokalnim autoritetom, i sloj sa vozilima i *edge* čvorovima. Stepen poverenja pošiljaoca i pouzdanost poruka ocenjuju se na osnovu lokacije, tipa vozila i istorije ponašanja, dok *edge* čvorovi dodeljuju i čuvaju nivo autentifikacije, prijemni čvor proverava nivo predajnog čvora slanjem upita ka *edge*-u. Autori predlažu i upotrebu *Cuckoo* filtera za efikasnije upravljanje velikim količinama podataka.

Autori rada [14] predložili su kombinaciju *blockchain*-a i *deep learning* tehnike učenja kako bi se poboljšalo upravljanje poverenjem u VANET mrežama. Zamisao ove šeme je da svaki čvor može da obavesti RSU da je određeni čvor zlonamernan, nakon procene svih primljenih poruka od obližnjih čvorova. Nakon toga, RSU pomoću *blockchain*-a proverava autentičnost kredencijala zlonamernog čvora, i dalje eliminiše čvor iz mreže.

Pristupi koji se baziraju na veštačkoj inteligenciji integrišu klasterovanje i tehnike učenja potkrepljivanjem (*Reinforcement Learning*, RL), *Fuzzy* logiku i tehnike teorije igara u cilju upravljanja poverenjem u VANET mrežama.

Autori rada [15] predložile su model CSKAS-VANET (*Clustering Signcryption Key Agreement Scheme*), koji integriše RBMA algoritam (*Restricted Boltzmann Machine Algorithm*) sa hipereliptičkom kriptografijom (*Hyperelliptic Curve Cryptography*, HECC) i *signcryption* tehnikom. RBMA omogućava inteligentan izbor CH na osnovu poverenja, trajanja veze i nivoa bafera, dok HECC-baziran *signcryption* obezbeđuje efikasnu i bezbednu autentifikaciju. Kombinacijom veštačke inteligencije i kriptografske zaštite, model poboljšava stabilnost komunikacije, isporuku paketa i otpornost na uobičajene napade u VANET mrežama.

U radu [16] predložen je zasnovan na RL okvir za izbor suseda u VANET mrežama koji kombinuje adaptivno upravljanje poverenjem sa *Q-learning* algoritmom. Svako vozilo funkcioniše kao RL agent koji bira čvorove za prosleđivanje poruka prema poverenju i trajanju veze, dok se pouzdanost čvorova dinamički ažurira korišćenjem Bajesovog i Yagerovog zaključivanja. Prilagođavanjem stope učenja brzini vozila, model se adaptira promenama topologije, smanjuje gubitak paketa i efikasno detektuje napade poput *blackhole* i *grayhole*.

U radu [17] predstavljen je model upravljanja poverenjem zasnovan na *fuzzy* logici za *edge*-orijentisane VANET mreže, koji smanjuje neizvesnost uzrokovanu

mobilnošću i nestabilnom komunikacijom. Šema koristi tri *fuzzy* faktora poverenja, gubitak paketa, ubacivanje lažnih paketa i izmenu sadržaja, kao i NTF (*Network Topology Factor*) za detekciju manipulacija u *multihop* vezama. Primena *fuzzy* inferencije i prenosa poverenja između *edge* servera obezbeđuje veću tačnost i manja kašnjenja u odnosu na postojeće šeme.

Višeslojna šema za otkrivanje neovlašćenih upada u VANET mrežu prikazana je u radu [18]. Autori su koristili tehnike teorije igara sa distribuiranim algoritmom izbora CH. Klasifikaciju zlonamernih čvorova izvršava klasifikator neuronske mreže. Kako bi poboljšali performanse mreže, tako što će biti izabran optimalan CH, autori su koristili *Vickey-Clarke-Groves* metodu. Metoda podrazumeva da RSU čuvaju ocene reputacije čvorova, kako bi procenili verodostojnost glave klastera.

U tabeli 3 dat je paralelni prikaz šema zasnovanih na *cloud*, SDN, *fog/edge*, *blockchain* tehnologiji, kao i na veštačkoj inteligenciji. U tabeli su prikazane korišćena metrika, alati i parametri datih radova.

*Tabela 3. Paralelni prikaz šema zasnovanih na tehnologijama (adaptirano prema [1])*

| Lit. | Klasa                    | Korišćena metrika                                      | Alati                                         | Parametri                                                  |
|------|--------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| [11] | <i>Cloud</i>             | Reputacija i znanje                                    | <i>Flipit</i> igra i simulaciona igra, MATLAB | Verovatnoća kontrolisanja servisa <i>cloud</i> -a          |
| [12] | SDN                      | Uspešnost isporuke paketa i prosečno kašnjenje         | NS2 simulator sa VanetMobiSim za mobilnost    | Broj čvorova, brzina vozila i gustina klastera             |
| [13] | <i>Fog/Edge</i>          | Tačnost, preciznost, odziv i komunikaciono opterećenje | <i>Fuzzy</i> logika i K-najbliži sused        | Gustina i brzina vozila i procenat zlonamernih čvorova     |
| [14] | <i>Blockchain</i>        | Preciznost, odziv i komunikaciono opterećenje          | NS2, SUMO i duboko učenje                     | Preciznost i opoziv zlonamernih čvorova                    |
| [15] | AI – klasterovanje       | Odnos isporučenih paketa, kašnjenje i propusnost       | NS3 i SUMO simulatori                         | Poverenje, životni vek veze, bafer i gustina čvorova       |
| [16] | AI - RL                  | Broj isporučenih paketa, broj hopova i vreme odziva    | NS2 i <i>Q-learning</i> simulacije            | Brzina vozila, broj čvorova, prag poverenja i stopa učenja |
| [17] | AI – <i>fuzzy</i> logika | Preciznost, odziv, kašnjenje i broj poruka po paketu   | OMNet++ i <i>fuzzy</i> logika                 | Broj vozila i zlonamernih čvorova i broj <i>hop</i> -ova   |
| [18] | AI – teorija igara       | Reputacija                                             | <i>Vickey-Clarke-Groves</i> metoda            | Stopa otkrivanja zlonamernih čvorova                       |

## 5. Zaključak

Upravljanje poverenjem u VANET mrežama predstavlja jedan od ključnih izazova u razvoju bezbednih i pouzdanih inteligentnih transportnih sistema. Dinamična priroda mreže, visoka mobilnost čvorova i heterogenost okruženja zahtevaju mehanizme koji mogu pravovremeno da otkriju zlonamerne entitete i lažne poruke, a da pri tom ne ugroze performanse mreže. Analiza postojećih pristupa pokazuje da šeme zasnovane na entitetima pružaju dobar okvir za evaluaciju reputacije čvorova, dok šeme zasnovane na podacima bolje odgovaraju dinamičnim uslovima saobraćaja. Hibridne šeme kombinuju njihove prednosti i nude uravnoteženo rešenje između pouzdanosti i efikasnosti.

Dalji razvoj upravljanja poverenjem sve više se oslanja na integraciju savremenih tehnologija kao što su *cloud*, SDN, *fog/edge*, *blockchain* i veštačka inteligencija. Ovi pristupi omogućavaju decentralizovano odlučivanje, prediktivnu analizu ponašanja i adaptivno reagovanje u realnom vremenu. U budućnosti se očekuje da će kombinacija ovih tehnologija omogućiti stvaranje autonomnih i samoupravljivih VANET mreža, koje će biti otpornije na napade i sposobne za samostalno donošenje odluka u kompleksnim saobraćajnim scenarijima.

## Literatura

- [1] H. Amari, Z. A. El Houda, L. Khoukhi, L. H. Belguith, "Trust Management in Vehicular Ad Hoc Networks: Extensive Survey", *IEEE Access*, vol. 11, pp. 47659-47680, April 2023
- [2] M. K. Saggi, R. K. Sandhu, "A Survey of Vehicular Ad Hoc Network on Attacks & Security Threats in VANETs", *International Conference on Research and Innovations in Engineering and Technology (ICRIET)*, December 2014
- [3] M. Gayathri, C. Gomathy, "A Deep Survey on Types of Cyber Attacks in VANET", *Journal of Critical Reviews*, vol. 8, December 2021
- [4] J. Mahmood, Z. Duan, Y. Yang, Q. Wang, J. Nebhen, M. N. M. Bhutta, "Security in Vehicular Ad Hoc Networks: Challenges and Countermeasures", *Security and Communication Networks*, June 2021
- [5] J. Cui, X. Zhang, H. Zhang, Z. Ying, L. Liu, "RSMA: Reputation System-Based Lightweight Message Authentication Framework and Protocol for 5G-Enabled Vehicular Networks", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 4, pp. 6417-6428, August 2019
- [6] C. Cheong, Y. Song, Y. Zhang, Y. Cao, C. Y. Leow, X. Wang, "A Path-Backtracking-Based Trust Management Scheme for VANETs", *2024 IEEE 99th Vehicular Technology Conference (VTC2024-Spring)*, pp. 1-6, June 2024
- [7] K. Zaidi, M. Milojević, V. Rakočević, M. Rajarajan, "Data-Centric Rogue Node Detection in VANETs", *13th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications*, pp. 398-405, September 2014
- [8] F. Alharbi, A. Alenezi, M. Alshamrani, M. Aloqaily, "Blockchain-Based Trust Management Systems in the Internet of Vehicles: A Comprehensive Survey," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 48585–48610, April 2024
- [9] B. Placzek, M. Bernas, "Detection of Malicious Data in Vehicular Ad Hoc Network for Traffic Signal Control Applications", *Springer*, vol. 608, pp. 72-82, June 2016

- [10] H. Byeon, M. E. Seno, A. K. Srivastava, A. AlGhamdi, I. Keshta, M. Soni, K. D. V. Prasad, D. Abdurakhimova, M. W. Bhatt, "Trust Management Scheme for Securing Vehicular Ad Hoc Networks Against Malicious Nodes and False Message Anomaly", *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 36, March 2025
- [11] B. K. Chaurasia, K. Sharma, "Trust Computation in VANET Cloud", *Springer*, 2019
- [12] L. Alouache, M. Maachaoui, R. Chelouah, "Securing Hybrid SDN-Based Geographic Routing Protocol Using a Distributed Trust Model", *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 567-577, 2020
- [13] S. A. Soleymani, S. Goudrazi, M. H. Anisi, N. Kama, S. A. Ismail, A. Azmi, M. Zareei, A. Hanan Abdullah, "A Trust Model Using Edge Nodes and a Cuckoo Filter for Securing VANET under NLoS Condition", *Symmetry*, vol. 12, no. 4, p. 609, 2020
- [14] C. Zhang, W. Li, Y. Lou, Y. Hu, "AIT: An AI-Enabled Trust Management System for Vehicular Networks Using Blockchain Technology", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 5, pp. 3157-3169, December 2021
- [15] M. Gayathri, C. Gomathy, "Design of CSKAS-VANET model for stable clustering and authentication scheme using RBMA and signcryption," *Frontiers in Computer Science*, vol. 6, May 2024
- [16] O. Sarker, H. Shen, M. A. Babar, "Reinforcement Learning Based Neighbour Selection for VANET with Adaptive Trust Management," *Proceedings of the 2023 IEEE 22nd International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom)*, pp. 585–594, November 2023
- [17] M. Hasan, M. Jahan, and S. Kabir, "A Trust Model for Edge-Driven Vehicular Ad Hoc Networks Using Fuzzy Logic," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 12, pp. 14037–14050, December 2023
- [18] B. Subba, S. Biswas, S. Karmakar, "A Game Theory Based Multi Layered Intrusion Detection Framework for VANET", *Future Generation Computer Systems*, vol. 82, pp. 12-28, May 2018

**Abstract:** Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs) represent a key component of Intelligent Transportation Systems (ITS), contributing to reduced traffic accidents, enhanced road safety, and improved driving comfort. Nevertheless, VANETs face numerous security challenges that threaten their reliability and overall performance. Security attacks often target the most critical aspects of these networks, including availability, authentication and identification, confidentiality, data integrity and trust, as well as non-repudiation and accountability. To mitigate these threats, the development of efficient and robust protection mechanisms is essential. This paper provides an overview of the most common security attacks in VANETs and presents several schemes designed to address them. Furthermore, it examines trust management approaches, namely entity-based, data-based, hybrid, and emerging technology-driven schemes. These include solutions based on cloud computing, Software-Defined Networking (SDN), fog/edge computing, blockchain, and Artificial Intelligence (AI).

**Keywords:** VANET networks, trust management, security, cloud, SDN

## TRUST MANAGEMENT APPROACHES IN VANET NETWORKS

Milica Kljajić, Mirjana Stojanović

## **KOMUNIKACIJA IZMEĐU VOZILA, INFRASTRUKTURE I UČESNIKA U SAOBRAĆAJU BAZIRANA NA 6G TEHNOLOGIJI**

Đorđe Bučevac, Slaven Tica, Miloš Končar, Dragan Đorđević

Saobraćajni Institut CIP,

djordje.bucevac@sicip.co.rs, slaven.tica@sicip.co.rs,

milos.koncar@sicip.co.rs, dragan.djordjevic@sicip.co.rs

**Rezime:** *Nalazimo se na pragu nove ere povezanih autonomnih vozila koja pružaju izuzetna korisnička iskustva sa veoma poboljšanom bezbednošću na putevima i kvalitetom vazduha, veoma različitim transportnim okruženjima i slučajevima upotrebe kao i mnoštvom naprednih aplikacija. Kako bi se ostvarila jedna ovako velika vizija neophodna je poboljšana komunikacija između „vozila do svega“ (V2X, Vehicle to Everything) koja bi trebala ujedno da bude inteligentna i da pruža mogućnost hiper brze, ultra pouzdane i razmene velike količine informacija sa izuzetno malim kašnjenjem. Očekuje se da će šesta generacija mobilnih komunikacija da ispuni ove zahteve. Autonomna vozila (AV, Autonomous Vehicles) brzo postaju deo svakodnevnog života, dok pojedine zemlje u svetu očekuju njihovo uključivanje i integrisanje u sisteme javnog transporta kroz par godina. U radu su istraživane primene 6G tehnologije u kontekstu komunikacije između vozila (V2V, Vehicle to Vehicle) kao i komunikacije između vozila i infrastrukture (V2I, Vehicle to Infrastructure).*

**Ključne reči:** *Vozilo do svega, terahercne komunikacije, autonomna vozila, vozila do infrastrukture*

### **1. Uvod**

U današnje vreme brzih promena i ekspanzije tehnološkog razvoja, izuzetno je teško pratiti dinamične promene, a još teže implementirati određena saznanja i otkrića u praksi. Jedna od tehnologija koja ovo može da izvede je 6G tehnologija. Ona predstavlja prirodan sled razvoja i nadogradnje 5G tehnologije. Iako 5G mreža nije zvanično svuda implementirana, uveliko se počelo sa istraživanjima vezanih za 6G. 6G mreža neće samo predstavljati nadogradnju 5G, već će i omogućiti nove funkcije u pogledu komunikacije 5G sa satelitom. Trenutno se vode ozbiljna i obimna istraživanja na polju 6G tehnologije. Postoje tri ključna aspekta koja su bitna za 6G, a radi se o mobilnom širokopojasnom pristupu, super IoT sistemu i veštačkoj inteligenciji. Konkretno, mobilni širokopojasni pristup ima za cilj da obezbedi protoke koji su definisani terabajtima u sekundi. Super IoT unapređuje povezivanje i pokrivenost mreže kroz IoT sisteme, dok veštačka

inteligencija omogućava upravljanje mrežom kroz konfiguraciju i optimizaciju bežičnih resursa. Ključni problemi koji su bili zastupljeni u svim prethodnim generacijama su bili problemi vezani za bezbednost i privatnost mreže i informacija. U 6G ti problemi svedeni su na minimum. Najbitnije funkcije za bezbednost i privatnost su enkripcija komunikacija, autentifikacija, kao i kontrola pristupa i potencijalno zlonamerne radnje na mreži.

Oblast autonomnih vozila je jedna od najbrže rastućih oblasti današnjeg doba, zahvaljujući brzim naprecima u računarskoj tehnologiji, komunikacionim tehnologijama, elektronici i senzorima. Trenutni razvoj senzora i računarskog hardvera doveo je do značajnog poboljšanja na nivou svesti o autonomnim vozilima. Pored toga, napredak u komunikacijama, mrežama, bezbednosti i performansama olakšao je razvoj platformi za autonomna vozila koje mogu efikasnije da komuniciraju sa infrastrukturom, kao i sa drugim učesnicima u saobraćaju, što je dovelo do poboljšanja bezbednosti i pouzdanosti autonomne vožnje, kako za samo autonomno vozilo, tako i za ranjive učesnike u saobraćaju, uključujući pešake i bicikliste. Kod dizajna konvencionalnih automobila u slučajevima potrebe za korišćenjem bezbednosnih sistema, proizvođači automobila široko razmatraju aspekt bezbednosti ranjivih učesnika. Termin ranjivi učesnici se uglavnom odnosi na pojedince kao što su biciklisti, pešaci i drugi vozači vozila koja imaju dva točka koji su skloniji povredama ili smrtnim ishodima više nego bilo koji drugi učesnici u saobraćaju, pogotovu na područjima gde je velika zastupljenost vozila koja koriste pogon na četiri točka. Sa kontinuiranim fokusom na sisteme za naprednu asistenciju vozačima (ADAS, *Advanced Driver Assistance Systems*) kao i druge bezbednosne karakteristike, bezbednost ranjivih učesnika je značajno napredovala. Napretkom senzora i njihovoj široj dostupnosti i primeni, sistemi upozorenja za pešake, bicikliste i vozače su se značajno poboljšali u poslednjih deset godina [1].

Vozilo do svega (V2X, *Vehicle to Everything*) komunikacija je tehnološki koncept koji omogućava deljenje informacija u realnom vremenu između autonomnih vozila i drugih entiteta u saobraćaju. Tako na primer postoji komunikacija između vozila (V2V, *Vehicle to Vehicle*), komunikacija vozila i infrastrukture (V2I, *Vehicle to Infrastructure*) komunikacija vozilo pešak (V2P, *Vehicle to Pedestrian*), komunikacija sa ranjivim učesnicima u saobraćaju (VRUs, *Vehicle to Vulnerable Road Users*), kao i komunikacija sa cloud mrežama (V2N, *Vehicle to Cloud Network*) i sl. V2P je najobuhvatniji jer podrazumeva komunikaciju sa ranjivim učesnicima u saobraćaju. V2X komunikacija opisuje sve entitete u saobraćaju, pri čemu vozilo komunicira sa ostalim učesnicima putem prijema povratnih informacija od senzora koji snimaju 360 stepeni ili putem prijema indirektnih poruka preko komunikacionog kanala od infrastrukture ili drugih učesnika [2]. Kod konvencionalnih vozila, V2X tehnologije značajno povećavaju svest vozača o situaciji, pogotovu u situacijama kada infrastruktura ometa vidljivost ostalih učesnika u saobraćaju. Pojedini V2X sistemi uključuju upozorenja o gužvama, automatskoj kontroli brzine ili o opasnosti na putu. Uprkos velikim dostignućima koje je V2X tehnologija dostigla, implementacijom autonomnih vozila na javne saobraćajnice će značajno transformisati ulogu V2X koju je do sada imao. Pre svega, to se odnosi na senzore koji će snimati u polju od 360 stepeni kako bi bili obuhvaćeni svi učesnici u saobraćaju. Na primer, autonomno vozilo može biti nesvesno bicikliste koji bi potencijalno mogao da mu uđe u pravac kretanja iz nekog poprečnog smera. Slično, raskrsnice sa preprekama u vidokrugu smanjuju vreme reakcije autonomnog vozila.

## 2. Mreže vozila, osnovni koncepti i tehnologije za 6G-V2X komunikaciju

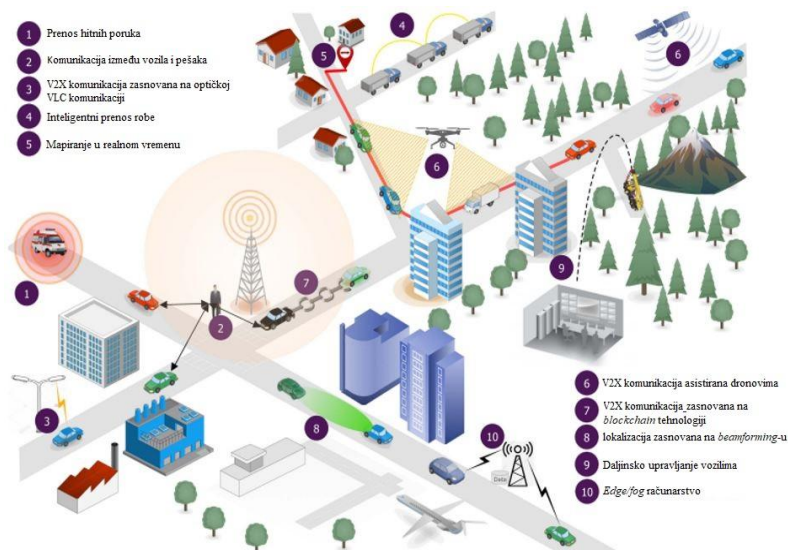
Poslednjih par godina komunikacija između vozila do svega je doživela veliki uspon i zainteresovanost kako u naučnim krugovima tako i u sferi industrije. Ovakva vrsta komunikacije se ubraja u oblast inteligentnih transportnih sistema (ITS, *Intelligent Transport System*). U okviru same V2X komunikacije podrazumevaju se tehnologije koje su zasnovane na komunikaciji između vozila s jedne i nekog od entiteta u saobraćaju s druge strane [3]. Komunikacija tipa V2X jeste jedan vizionarski projekat koji bi trebalo u potpunosti da zaživi kroz par godina, koji će biti u potpunosti podržan od strane 6G. Cilj ovakve komunikacije jeste kompletna automatizacija vozila i ostvarivanje komunikacije između njih. V2X će predstavljati dalekosežnu i transformativnu prednost, jer će pre svega omogućiti ogroman napredak na polju bezbednosti u saobraćaju i mnoštva automatizovanih aplikacija, kao i daleko bolji kvalitet vazduha.

Dve glavne tehnologije na kojima se zasniva V2X komunikacija su namenske komunikacije kratkog dometa (DSRC, *Dedicated Short Range Communication*) i ćelijske mreže za vozila (C-V2X, *Cellular Vehicle to Everything*). Standardi na kojima se zasniva DSRC su IEEE 802.11p za bežični pristup u okolini vozila (WAVE, *Wireless Access for Vehicular Environment*) i IEEE 1609.1.4 za upravljanje resursima, bezbednost, mrežni servisi i višekanalni rad. Dugo godina je DSRC bio jedina tehnologija za V2X komunikaciju u okruženjima velike gustine i visoke mobilnosti. DSRC ima i nedostatke, a to su ograničena pokrivenost, ograničen kvalitet usluge (QoS, *Quality of Service*) i mala brzina prenosa podataka. 3GPP radi na razvijanju standarda za komunikaciju u vozilu pod nazivom C-V2X. C-V2X daje mogućnost komunikacije između različitih entiteta u V2X mreži, kao što su V2V, V2I, V2N, V2P. Glavni fokus je stavljen na isporuku podataka transportnih usluga za osnovne usluge bezbednosti na putevima, tipa poruka o kooperativnoj svesti (CAMs, *Cooperative Awareness Messages*), osnovnim bezbednosnim porukama (BSMs, *Basic Safety Messages*) ili decentralizovanim porukama obaveštenja o životnoj sredini (DENMs, *Decentralized Environment Notification Messages*).

Potrebno je naglasiti važnost 6G mobilnih sistema kako bi se razumeo celokupni projekat vezan za V2X komunikaciju. Iako 5G *New Radio* pruža širok spektar poboljšanih performansi i naprednih usluga kroz ulaganje u hardversku i softversku arhitekturu putem LTE, to jednostavno danas nije dovoljno [4]. Predviđa se da će broj autonomnih vozila rasti s vremenom tako da starije tehnologije neće biti u mogućnosti da isprate sve te nove trendove koji će da zažive kroz par godina. Očekuje se da će to biti omogućeno upotrebom 6G bežične komunikacione mreže preko koje će biti ostvarena komunikacija između zemaljskih i nezemaljskih mreža, tipa satelitske i UAV komunikacione mreže. Ovo će doneti dosta napretka sa stanovišta pouzdanosti i bezbednosti, omogućiće izuzetno velike brzine prenosa podataka (reda nekoliko terabajta po sekundi) kao i hiper brzi bežični pristup (do vrednosti submilisekundi sa milijardama komunikacionih uređaja međusobno povezanih), kao i mogućnost energetski efikasnije pokrivenosti 3-D komunikacije [3]. Cilj je da 6G radi u kombinaciji sa mašinskim učenjem kako bi radio signali evoluirali i do inteligentnih i autonomnih radija i kako bi doneli neke nove funkcije u smislu samoagregacije, adaptivne koordinacije i samokonfiguracije [4].

Kako bi se postigli ambiciozni ciljevi koji su zacrtani, 6G teži da integriše što više tehnologija počevši od niza disruptivnih tehnologija, uključujući efikasnije i

robustnije interfejsse, alokaciju resursa i računarstvo. Pored navedenih, postoji i niz drugih tehnologija koje će da omoguće viziju zasnovanu na 6G-V2X komunikaciji sa ciljem inteligentnog i autonomnog povezivanja u saobraćaju putem različitih platformi. Takve tehnologije su podeljene u dve grupe, na revolucionarne V2X tehnologije i evolucione V2X tehnologije.



Slika 1. Pregled osnovnih tehnologija za V2X komunikacije [4]

### 3. Sistemi bezbednosti i komunikacije V2X za vozila

U konvencionalnim vozilima postoje različiti pristupi za procenu bezbednosti, kao što su modeli predviđanja putanja, V2I sistemi upozorenja i integracija pametne infrastrukture. U današnje vreme se teži što većoj integraciji V2X sigurnosne opreme u moderna vozila. Ta vozila imaju već ugrađene senzore u obliku naprednih sistema za asistenciju vozača koja imaju različite funkcije od pružanja informacija, preko izdavanja upozorenja pa sve do poboljšanja sigurnosti. Primera radi, sistem za izbegavanje sudara daje mogućnost stalne razmene informacija između pešaka i vozila [5].

Standardni V2X sistem uključuje sledeće komponente:

- uređaj za komunikaciju na vozilu (OBU),
- uređaj za komunikaciju pešaka (pametni telefon ili senzor na telu),
- jedinice pored puta (RSU, *Roadside Units*),
- jedinice za obradu informacija (IPU, *Informator Processing Unit*).

OBU modul omogućava bežičnu komunikaciju između vozila i IPU i VRU. Postoji više načina komunikacije u V2X sistemu, putem WiFi, WiMAX, BTE i mobilne mreže. Predstavljen je i sistem bezbednosti za pešake koji je zasnovan na računarskoj viziji koja ima sposobnost obrade slika ulica kako bi se napravila karta rizika za ranjive učesnike u saobraćaju, stavljajući akcenat na pešake pre svega. Takođe, predstavljena je metoda percepcije koja se zasniva na radaru i služi za detekciju i praćenje vozila i pešaka predviđajući potencijalne sudare. Postoji i takozvani mehanizam „mrtvog proračuna“ koji



se zasniva na algoritmu neuronske mreže za izračunavanje putanje pešaka i predviđanje postojećih situacija sudara. U urbanim sredinama koje se brzo razvijaju, prepoznavanje ranjivih učesnika je od velike važnosti. U opticaju je i metoda kolektivnog skeniranja koja smanjuje vreme koje je potrebno vozilu da primi povratnu informaciju o trenutnoj poziciji pešaka. Dodatno se koristi metoda produženog prijema kako bi se izbeglo propuštanje detekcije VRU, čime je poboljšano vreme detekcije za par desetina milisekundi i time je ukupno vreme detekcije smanjeno na oko 70 ms. Izučavan je i uticaj kašnjenja pri korišćenju WLAN i BTE komunikacija u različitim komunikacionim kanalima sa ciljem ispravke nepreciznosti za lokacije pešaka koje se zasnivaju na GPS-u. Studija je pokazala da je komunikacija kratkog dometa (DSRC) za koju je karakteristično nisko kašnjenje efikasnija u scenarijima gde brzine ne prelaze preko 90 km/h, dok za brzine do 108 km/h tačnost GPS-a ne odstupa više od 3 metra. U novijim scenarijima izbegavanja sudara DSRC komunikacija se pokazala kao veoma efikasna, pogotovu u situacijama kada nije omogućena detekcija pešaka putem kamera ili LiDAR sistema. Putem dva DSRC modema je moguće locirati pešake u slučaju da zakaže jedan od gore pomenutih sistema. U opštem scenariju pešaci i biciklisti su najsporiји u reagovanju na bilo kakvu opasnost koja je u njihovoj blizini, pa je iz tog razloga od suštinske važnosti da vozilo bude svesno tačne pozicije, orijentacije i pravca kretanja ranjivih učesnika, kako bi se omogućila integracija sa sistemima upozorenja kod autonomnih vozila. Putem pametnih telefona koji koriste sistem GPS-a za određivanje lokacije se može odrediti lokacija pešaka, ali to za slučaj autonomnih vozila nije i dalje dovoljno, jer ne pruža tačnu lokaciju koja bi zadovoljila potrebe takvih vozila za tim. Postoje različiti mehanizmi i metode koji su zasnovani na WiFi direktnoj lokalizaciji, gde je zabeleženo poboljšanje dostavljanja poruka za 22,4% kao i za 36,8% veću energetska efikasnost u poređenju sa WAVE standardom. Fokus je stavljen na lokalizaciju uz pomoć RSU-IMU, pozicioniranjem putem LiDAR (*Light Detection and Ranging*) sistema, GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) fuziju sa jedinicama za merenje inercije i drugih sistema koji su opisani u velikom broju naučnih radova. Senzori koje poseduju pešaci imaju relativno ograničenu raznolikost, pri čemu su pametni telefoni u najvećem broju slučajeva i jedini uređaji. Uprkos tome, njihova široka upotreba kao i sveprisutnost kao i raznolike tehnologije koje su korišćene za njihovo funkcionisanje čine ih idealnim za praćenje i lokalizaciju njihovih korisnika. Najčešće se navodi upotreba GPS sistema za indikaciju sudara koji prikazuju upozorenja. U poslednjih nekoliko godina primetan je rast u primeni i integraciji platformi za autonomna vozila, koji uključuju širok spektar senzora i bolju pokrivenost, pa iz tog razloga V2X sigurnosni sistemi koji su integrisani u te platforme imaju potencijal za unapređenje sigurnosti VRU u okolini. Tako na primer, radarski senzori omogućavaju veći domet i širu pokrivenost u poređenju sa situacijom kada vozilom upravlja čovek.

#### **4. Protokoli i senzori u V2X komunikaciji**

Bežične tehnologije su ključne u raznim bezbednosnim aplikacijama koje omogućavaju efikasnu, pouzdanu i interoperabilnu komunikaciju u sistemima koji su vezani za autonomna vozila. Jedna od takvih tehnologija jeste i DSRC, koja je nastala iz standarda IEEE 802.11p koji služi da obezbedi bežični pristup za saobraćajno okruženje za V2X aplikacije. Takav protokol je omogućio razmenu osnovnih bezbednosnih poruka, kako bi se delile informacije o statusu vozila sa drugim korisnicima, uključujući poziciju,

brzinu i pravac. Medijum za prenos koristi opseg širine 75 MHz u spektru od 5,9 GHz koje je definisao IEEE 1609. Ovaj standard je prvi put odobren još 2010. godine [6].

Postojali su izazovi za DSRC koji su uključivali zagušenje kanala u saobraćajnim okruženjima visoke frekvencije, odsustvo potvrde prijema (*handshake*, *acknowledgement*) u emitovanim okvirima, ograničenu komunikaciju zbog nedostatka Interneta, nemogućnost prijema emitovanih poruka i propusnost kanala. DSRC i WAVE standard koriste WLAN kao medijum za uspostavljanje veze kako bi se omogućila međusobna komunikacija na kratkim rastojanjima i rastojanjima na udaljenosti od 300 metara. WAVE standard predstavlja jedan revolucionaran standard jer je eliminisao potrebu za posrednikom u komunikaciji, što je otklonilo ne samo probleme s kašnjenjem zbog direktne komunikacije, već je dalo veću primenu ovih sistema u udaljenim područjima sa lošom mobilnom pokrivenošću. Nakon DSRC-a se pojavio još jedan protokol koji se takođe zasniva na mobilnim mrežama i radi se o C-V2X protokolu koji ima mogućnost rada na mobilnim mrežama. Ovaj protokol ima za cilj poboljšanje bezbednosti na putevima za efikasniju komunikaciju između vozila i infrastrukture, čime je omogućen efikasniji protok saobraćaja, smanjen je uticaj štetnosti na životnu sredinu i pružene su dodatne usluge razmene podataka i informacija za putnike. C-V2X omogućava direktan prenos paketa podataka i to kroz sledeće kategorije:

- V2V – podrazumeva razmenu bezbednosnih poruka između vozila radi sprečavanja pojave sudara, kontrole brzine, hitnog kočenja i promene trake,
- V2I – omogućava komunikaciju između vozila i infrastrukture, kao što su semafori i saobraćajni znakovi,
- V2P – komunikacija se odvija sa ranjivim učesnicima u saobraćaju, kao što su pešaci i biciklisti,
- V2N – funkcioniše kao mehanizam za deljenje informacija putem kojih vozilo dobija ažurirane podatke o saobraćaju ili o vremenskim uslovima na putu ili vozilo šalje podatke o drugim vozilima odgovarajućem servisu.

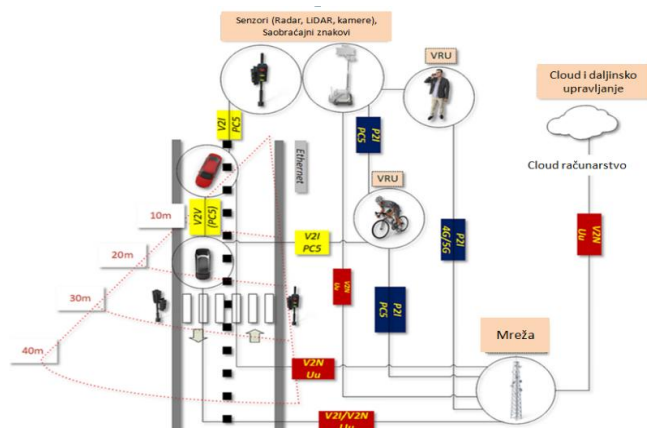
Infrastrukturni senzori nude superiornu pokrivenost pre svega zbog fleksibilnosti u postavljanju kao i visini i pozicioniranju senzora. Time je omogućeno praćenje ranjivih učesnika u saobraćaju čak i u slučajevima kada nije pogodan ugao snimanja tih entiteta ili kad nisu u liniji optičke vidljivosti. U zavisnosti od specifične situacije, senzori mogu koristiti razne tehnologije kao što su kamere, radari i sistemi za detekciju svetionika. Postoje senzori koji se zasnivaju na merenju udaljenosti, tipa radara ili LiDAR senzora, koji pružaju precizne informacije o udaljenosti nekog entiteta. Pomoću RSU uređaja se obrađuju podaci koji su dobijeni s ovih senzora, s tim da je lokalizovana obrada podataka čime se smanjuje opterećenje komunikacije, jer nije potrebno slati sve podatke na server u oblaku. Ovakav tip obrade podataka je poznat pod nazivom MEC (*Multi-access Edge Computing*). Njegov princip je da lokalizuje obradu podataka na lokalne čvorove visokih performansi, umesto obrade podataka u oblaku.

Za senzore bazirane na vozilu je možda do sada stavljen najveći istraživački fokus iz razloga direktne primene u industrijama naprednih sistema pomoći vozaču i autonomnih vozila. Prva gore pomenuta tehnologija je stekla značajnu popularnost u poslednjih 10 godina, a primena ove tehnologije postaje obaveza čak i u običnim automobilima. Ovom tehnologijom su obuhvaćeni sistemi za automatsko kočenje u hitnim slučajevima, adaptivni merači brzine, elektronska kontrola stabilnosti, pomoć pri parkiranju, pomoć da vozilo ostane u traci u kojoj je trenutno, pametnu navigaciju, izbegavanje sudara kao i asistencije vozilu koje su zasnovane na veštačkoj inteligenciji.

Postoje i napredniji slučajevi primene ADAS-a i odnose se na automatsko parkiranje, detekciju pešaka i pospanosti vozača kao i praćenje iz teško vidljivih uglova. Trenutno, ADAS se i dalje razvija iz razloga sve veće integracije senzora u autonomna vozila kao što su GNSS, LiDAR, IMU, SONAR i mnogi drugi. Problem se ogleda u tome da vozila koja poseduju veći broj senzora nemaju dovoljnu pokrivenost za adekvatno praćenje malog broja ranjivih učesnika u saobraćaju zbog ograničenog vidnog polja.

## 5. Paradigma komunikacije putem senzora

Najbolje objašnjenje paradigme je dato na sledećoj slici, gde je prikazan mehanizam indirektna komunikacije koji omogućava razmenu informacija putem lokalnog servera za razmenu poruka. Za razliku od DSRC-a, indirektni C-V2X omogućava mobilnoj mreži da prikuplja informacije iz više vozila, uključujući vozila koja nisu mobilna i koja ne podržavaju sistem DSRC-a. Protokol koji se ovde koristi je u skladu sa LTE standardom i pominje se u izdanju 14 čija se tematika odnosi upravo na takvu vrstu uređaja. Protokol je na kraju proširen i na 5G kao i na 5G *New Radio* u izdanjima 15 i 16, respektivno. Interfejsi koji se koriste jesu PC5 i LTE-Uu interfejsi. PC5 omogućava kratke domete i pruža informacije o lokaciji i brzini vozila, dok drugi interfejs pruža domete od preko jednog kilometra i prikuplja informacije iz daljine o zagušenjima i saobraćajnim nezgodama. Kasnije verzije protokola su više fokusirane na autonomna vozila, tačnije njihovu industriju omogućivši komunikaciju sa veoma malim kašnjenjem i brzinama do 500 km/h. Iako su DSRC i C-V2X standardi dosta primenljivi danas, poseduju i svoje nedostatke koji se odnose na komplikovaniji sistem funkcionisanja zbog velikog broja entiteta kao robusnosti komunikacije.



Slika 2. Paradigma komunikacije putem senzora [7]

Širenjem opsega V2X percepcije, strateško postavljanje senzora unutar infrastrukture je od velike važnosti. To se može objasniti na primeru LiDAR senzora koji imaju sposobnost da dobiju informacije „po dubini“ kao i 3D objektima. Predstavljena je metoda postavljanja ovog senzora koja je usmerena na optimizaciju prostorne konfiguracije senzora na vozilima. Umesto dosadašnjeg načina pristupa, odlučeno je da se pristupi modernijoj varijanti. Upotrebom 3D okvira, generisana je probabilistička

mreža zauzeća kako bi se optimizovalo postavljanje senzora. Mrtve zone uglavnom predstavljaju izazove jer može doći do problema u komunikaciji između dva vozila.

## 6. Komponente autonomnih vozila

Platforme kod autonomnih vozila koriste mape visoke rezolucije (HD, *High Definition*) za navigaciju i planiranje ruta. Iako takve mape nisu toliko striktno za navigaciju, one pojednostavljaju planiranje ruta za kretanje. Primera radi, na osnovu trenutne pozicije autonomnog vozila i ukoliko je ono blizu neke raskrsnice, V2X modul odmah aktivira naredni modul za pomoć koji pomaže za slučaj informacija kod ranjivih učesnika. Još jedna upotreba HD jeste u slučaju kako bi se dobila preciznija lokacija ranjivih učesnika u odnosu na platformu. U slučaju gubitka GPS signala za pozicioniranje, u takvoj situaciji značajno pomaže sistem za mapiranje i planiranje ruta.

Standardna HD mapa se sastoji iz dve osnovne komponente:

- 3D pločica generisanih iz podataka dobijenih dubokim učenjem od kamera i radara, i
- semantičkih informacija koje daju smislene oznake različitim elementima.

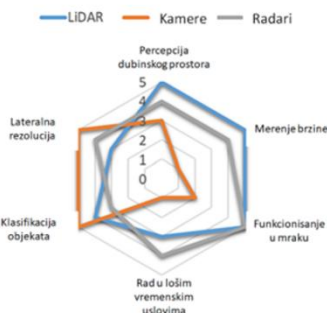
Druga komponenta uključuje elemente raskrsnica kao što su trake na kolovozu, semafori, saobraćajni znakovi. Ovi elementi takođe mogu obuhvatati informacije povezane sa vožnjom kao što su pešački prelazi, okolne zgrade i objekti koje pokrivaju HD mape. U upotrebi je i SLAM modul koji kombinuje HD mapu i informacije o ruti iz modula za mapiranje kako bi se izvršila lokalizacija vozila i stvorilo digitalno okruženje. Pojedini naučnici su predstavili upotrebu konvolucionih neuronskih mreža koje koriste rasterizovane slike za predikciju kretanja pešaka i biciklista. Razvijen je sistem za praćenje više objekata koji koristi semantičke informacije iz HD mapa koji su integrisani algoritmom za filtriranje i praćenje raznih algoritama koji su sagledavani iz ptičije perspektive (BEV, *Birds Eye View*). Na osnovu ovog pristupa se predviđaju buduće putanje VRU-ova i to na osnovu modela konstantne brzine okretanja i brzine kretanja. Iako su ovakvi sistemi HD mapa i hibridnih senzora efikasni za određivanje lokacije, osnovno pozicioniranje kod AV platformi se vrši pomoću satelitske tehnologije pod imenom globalni navigacioni satelitski sistemi GNSS. Pored globalne upotrebe, GNSS je takođe integrisan sa aspekta vremena, tačnosti i dostupnosti koji utiču na razvoj AV platformi.

Autonomna vozila zavise od svojih sistema za percepciju kako bi stvorila pojam o okolini i objektima u njoj, kako statičnim, tako i dinamičnim. Skup senzora se koristi za kreiranje percepcije okruženja oko vozila. U istu ruku se koriste za lokalizaciju vozila u odnosu na brzo promenljive objekte. Za bezbedno i efikasno funkcionisanje AV platformi, potrebno je obuhvatiti okruženje u krugu od 360 stepeni.

Kako bi se detektovali objekti, potrebno je izostaviti pozadinu iza njih, jer se time omogućava bolje grupisanje 3D tačaka koje su dobijene iz dubinskih podataka putem kamera i LiDAR tačkastih oblaka. Omogućeno je i razumevanje svakog piksela dela slike ponaosob. Generalno gledano, LiDAR sistemi su poznati po sposobnosti ekstrakcije pozadine sa ciljem dobijanja što verodostojnije slike o objektima. Korišćenje radara kako sa dugim tako i sa kratkim dometom unapređuje grupisanje tačaka dobijenih putem LiDAR-a. Ova integracija olakšava identifikaciju manjih objekata koji se teško detektuju pomoću radara. Sistem percepcije takođe emituje i objekte koji su u pokretu, kao što su pešaci, biciklisti i ostala vozila. Na osnovu povratnih informacija se dobija

pregled njihovih kretanja i tačna lokacija. Analiza ovih informacija stvara širu sliku za razumevanje svakog objekta koji se kreće a isto tako je u blizini autonomnog vozila.

Na slici 3 je prikazano poređenje snaga i slabosti različitih tipova senzora u odnosu na različite slučajeve u ekstremnim uslovima.



Slika 3. Poređenje funkcionalnosti LiDAR-a, kamera i radara u različitim uslovima [8]

## 7. Zaključak

6G predstavlja jednu viziju koja uključuje mnogo aspekata, od kojih su najbitniji ultra širokopojasni opseg, super IoT sistem, veštačka inteligencija, satelitske komunikacije, arhitektura i mnogi drugi. Dizajn platformi za autonomna vozila se ubrzano razvija kako bi uključio napredne senzore i računarske tehnike na vozilu zajedno s naprednim mapama i mogućnostima navigacije koje maksimiziraju bezbednost za ranjive učesnike u saobraćaju. Jedna od bitnih stavki jeste efikasnost komunikacione paradigme koja igra ključnu ulogu za deljenje informacija u realnom vremenu među raznim entitetima u celom procesu. Budući razvoj autonomnih vozila može uključiti troškove za instalaciju modernijih senzora kao i zahteve za manjom potrošnjom energije kao jednog od bitnih faktora, dok se istovremeno očekuje povećanje dometa i smanjenje veličine senzora. Teži se sve većem razvoju senzora koji bi bili u stanju da pruže što više mogućnosti kako bi mogli da zaštite ranjive učesnike kao što su pešaci i biciklisti.

Iz svega navedenog, može se zaključiti da 6G jeste jedna velika inovacija i korak bliže savremenoj budućnosti, gde će se skoro svaka radnja odvijati automatizovano. Od samih početaka razvoja mobilnih sistema težilo se ka pojednostavljenju pre svega komunikacije među ljudima, a kasnije i na sam život ljudi i radnje koje oni obavljaju. Iako sama primena mobilnih i pametnih sistema deluje poprilično jednostavno u realnosti, sam proces nije ni malo jednostavan i zahteva primenu znanja iz mnogih sfera nauke i inženjerstva.

Jedna od bitnih stavki jesu i paradigme koje imaju sposobnost deljenja informacija raznih učesnika u realnom vremenu. To za posledicu ima stvaranje mreže razmene informacija koja značajno utiče na bezbednost svih učesnika u saobraćaju. Ključni akcenat će biti stavljen na C-V2X komunikaciju radi povećanja bezbednosti ranjivih učesnika. Integracija kamera, radara i LiDAR senzora će imati važnu ulogu u sagledavanju percepcije okruženja i celokupnog konteksta autonomnih vozila. Upotrebom sistema za precizno pozicioniranje kao i GPS i GNSS će u mnogome pomoći

za rad platformi. Na samom kraju, robusno rešenje će biti možda i najrealnije primeniti s obzirom na kompleksnost celog procesa i broja elemenata koji u njemu učestvuju.

## Literatura

- [1] <https://www.ques10.com/p/5206/gsm-network-architecture-1/>
- [2] N.Jiang, et al, "Isolating and analyzing fraud activities in a large cellular network via voice call graph analysis", Proc. MobiSys'12, LoW Wood Bay, Lake District, United Kingdom, June 2012.
- [3] S. Chen et al., "Vehicle-to-everything (V2X) services supported by LTE-based systems and 5G," IEEE Commun. Standards Mag., vol. 1, no. 2, pp. 70-76, Jun. 2017
- [4] F. Tariq, M. R. A. Khandaker, K.-K. Wong, M. A. Imran, M. Bennis, and M. Debbah, "A speculative study on 6G," IEEE Wireless Commun., vol. 27, no. 4, pp. 118-125, Aug. 2020
- [5] Bai, Y.B. et al. (2012) 'Overview of RFID-Based Indoor Positioning Technology.', GSR, 2012.
- [6] Bi, X. et al. (2017) A new method of target detection based on autonomous radar and camera data fusion. SAE Technical Paper.
- [7] Darugna, F. et al. (2019) 'RTK and PPP-RTK using smartphones: From short-baseline to long-baseline applications', in Proceedings of the 32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+2019), pp. 3932-3945.
- [8] Liu, W., Muramatsu, S. and Okubo, Y. (2018) 'Cooperation of V2I/P2I communication and roadside radar perception for the safety of vulnerable road users', in Proceedings of 2018 16<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Transport System Telecommunications, ITST 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

**Abstract:** *We are standing at the threshold of a new era of connected autonomous vehicles, which promise exceptional user experiences, significantly enhanced road safety, improved air quality, diverse transportation environments and use cases, as well as a wide range of advanced applications. To realize such an ambitious and comprehensive vision, it is essential to establish enhanced Vehicle-to-Everything (V2X) communication that is both intelligent and capable of hyper-fast, ultra-reliable, high-capacity data transmission with extremely low latency. The sixth generation of mobile communication (6G) is expected to fulfill these demanding requirements. Autonomous vehicles (AVs) are rapidly becoming an integral part of everyday life, with several countries already planning their integration into public transportation systems in the near future. Research has explored applications of 6G technology in the context of Vehicle-to-Vehicle (V2V) and Vehicle-to-Infrastructure (V2I) communication.*

**Keywords:** *Vehicle to Everything, Terahertz Communication, Autonomous Vehicles, Vehicle to Infrastructure*

## 6G-BASED COMMUNICATION AMONG VEHICLES, INFRASTRUCTURE, AND TRAFFIC PARTICIPANTS

Đorđe Bučevac, Slaven Tica, Miloš Končar, Dragan Đorđević

## **STANDARDI INFORMACIONE BEZBEDNOSTI PRIMENJENI U BEZBEDNOSTI DRUMSKOG SAOBRAĆAJA**

Miroslav Petrović<sup>1</sup>, Dušan Mladenović<sup>2</sup>, Mladen Nedeljkov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Devellop d.o.o, Beograd, Srpsko društvo za ITS, miroslav.petrovic@devellop.com

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Srpsko društvo za ITS,  
d.mladenovic@sf.bg.ac.rs

<sup>3</sup>Srpsko društvo za ITS, mladen.nedeljkov@itsserbia.rs

**Rezime:** *Uvođenjem informaciono-komunikacionih tehnologija (IKT) u pojedinim vidovima saobraćaja nastali su inteligentni transportni sistemi (ITS). U drumskom saobraćaju količina komponenti koje su prisutne u samim vozilima, ali i u pratećoj infrastrukturi, a koje su zasnovane na korišćenju IKT-a je od tada narasla do neslučenih granica – luksuzna i kompleksnija vozila već nekoliko godina mogu da imaju i preko 150 elektronskih upravljačkih jedinica (ECU). Povećanjem zastupljenosti ovakvih vozila na putevima, uz investiciona ulaganja u drumske infrastrukturne ITS sisteme, otvorio se i prostor za nove vrste zloupotreba kojima se ugrožava bezbednost saobraćaja. Povećanim prisustvom IKT sistema, neminovno se povećava i uticaj njihove ranjivosti na bezbednost celokupnog sistema drumskog saobraćaja. Važnost koju sa sobom ovaj trend donosi blagovremeno je prepoznat kod vodećih aktera na globalnom nivou, te stoga već nekoliko godina postoji nekoliko specijalizovanih inicijativa i standarda koji uređuju ovu oblast. U ovom radu biće predstavljena trenutna situacija u svetu po ovom pitanju, kao i postojeći trendovi u pogledu daljeg uređenja ove oblasti.*

**Ključne reči:** *informaciona bezbednost, inteligentni transportni sistemi (ITS), drumski saobraćaj, UNECE, WP.29*

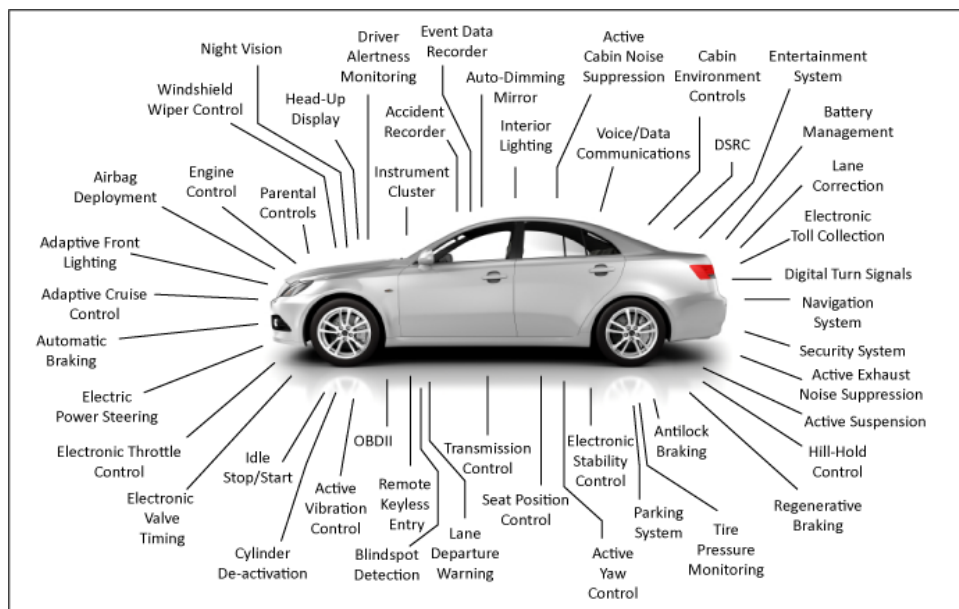
### **1. Uvod**

Smatra se da je prva elektronska upravljačka jedinica (*Electronic Control Unit*, ECU) uvedena u automobilske proizvodnje 1977. godine. Bio je to, iz današnje perspektive, relativno jednostavan mikrokontroler ugrađen u General Motors Oldsmobile Toronado i koji je regulisao trenutak paljenja. Već sledeće, 1978, godine General Motors je nudio kupcima modela Cadillac Seville kao opciju putni računar zasnovan na modifikovanom Motorola 6802 mikroprocesorskom čipu, koji je prikazivao informacije o brzini, nivou goriva, kilometraži i informacijama o statusu motora [1].

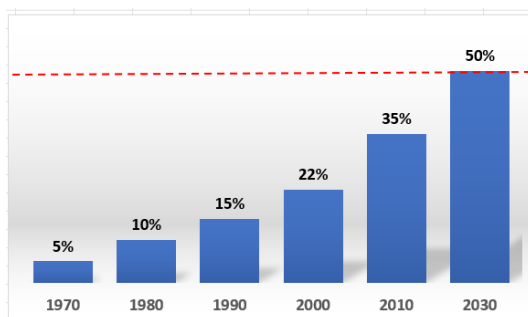
Od tih pionirskih početaka do današnjih dana, put pređen u razvoju i upotrebi informaciono-komunikacionih tehnologija u drumskom saobraćaju doveo je do korišćenja okvirno 150 ECU u složenijim luksuznim vozilima. Kada se u obzir uzme i

razvoj prateće inteligentne drumske infrastrukture (signalizacija, nadzor, upravljanje, naplata, itd.), količina informaciono-komunikacionih tehnologija koja je već uključena u saobraćaj je enormna. Robert N. Charette je u članku iz 2009. („*This Car Runs on Code*“) vizionarski naveo da vozila više ne pokreće gorivo, već softverski programi [2].

U prilog tome, slika 1 pokazuje tipične komponente savremenog vozila koje su danas upravljane pomoću specijalizovanih kompjuterizovanih ECU jedinica. Na slici ih ima 47, a kao što smo već naveli, taj broj je u realnim primenama značajno nadmašen.



Slika 1. Tipične ECU jedinice današnjeg vozila [3]



Slika 2. Procenat učešća cene elektronike u ukupnoj vrednosti tokom godina [5]

Očigledno je da se rastući trend na ovome neće zaustaviti. Na horizontu su uveliko električna i autonomna vozila, a pomalaju se i kooperativni inteligentni sistemi (C-ITS). Stoga se isti autor, Robert N. Charette, samo 12 godina kasnije, na istom mestu oglašava sa zabrinutošću („*How Software is Eating the Cars*“) – da li automobilska industrija može da izdrži i kako da podrži ovakvu transformaciju [4].

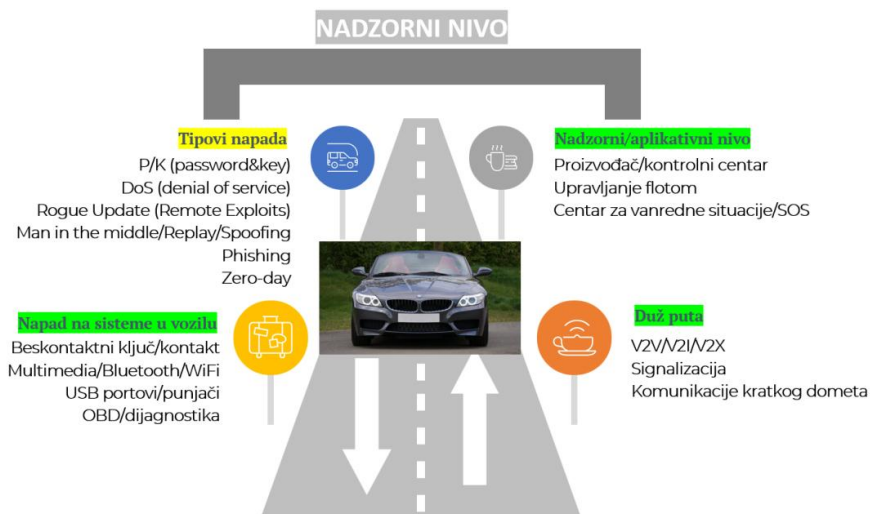


Projekcije već prognoziraju da će nakon pola veka razvoja, 2030. godine, vrednost elektronike u ukupnoj vrednosti vozila dosegnuti 50%. Na slici 2 prikazana je evolucija učešća informaciono-komunikacionih tehnologija tokom poslednjih pet decenija i trend porasta njenog učešća od početaka krajem sedamdesetih godina dvadesetog veka [5].

## 2. Glavne tačke informacione ranjivosti sistema drumskog saobraćaja

Osnovne komponente drumskog saobraćaja predstavljaju vozilo, put i prateća putna infrastruktura i korisnik – učesnik u saobraćaju.

Sa druge strane, u slučaju potpune digitalizacije i automatizacije ovog vida saobraćaja kroz sistem povezanih, kooperativnih i automatizovanih vozila (*Cooperative, Connected, and Automated Mobility*, CCAM), sa stanovišta informaciono-komunikacionih tehnologija, izdvajaju se takođe tri dominantne komponente: vozilo sa svojim mnogobrojnim elektronskim upravljačkim jedinicama, komunikacioni sloj kojim se razmenjuju poruke sa vozilima i hijerarhijski nadređen aplikativni nivo, koji predstavlja treću dominantnu komponentu ovog modela.



Slika 3. Tipične pretnje informacionoj bezbednosti u sistemu drumskog saobraćaja

Iz perspektive informacione bezbednosti, svaka od ovih komponenti, predstavlja potencijalnu metu zlonamernih napada:

### a) Vozilo:

Svaki od mnogobrojnih mikroračunarskih informacionih sistema na vozilu predstavlja potencijalnu tačku zlonamernih hakerskih napada, kako putem kontaktne, tako i putem beskontaktna komunikacije kratkog dometa koju ovi moduli sve više podržavaju;

### b) Komunikacioni sloj:

Sistemi na vozilu imaju potrebu da komuniciraju sa spoljnim svetom; taj spoljni svet sačinjavaju druga vozila, drugi učesnici u saobraćaju (biciklisti,

pešaci, druge ranjive grupe...), drumska infrastruktura (signalizacija, senzori...), kontrolni i upravljački centri – hakerske metode prisutne na internetu mogu da se primene i na ovu komunikaciju;

c) Aplikativni/nadzorni nivo:

Ovakvim konceptom razvoja sistema vozila i drumskog saobraćaja uopšte, kroz horizontalnu komunikaciju (kooperativna sa drugim učesnicima u saobraćaju) i vertikalnu (sa hijerarhijski nadređenim nadzornim nivoima – kontrolnim centrima raznih namena), otvara se prostor za posredne hakerske napade preko ostalih učesnika u ovoj komunikaciji.

Slika 3 ilustruje neke tipične bezbednosne pretnje kada je informaciona bezbednost sistema drumskog saobraćaja u pitanju. Za razliku od nekih drugih industrija, kao što su finansijske usluge, energetika ili recimo telekomunikacije, automobilski sektor nije tako brzo reagovao na rastuće prisustvo informacionih tehnologija i potencijalne pretnje koje se, ugrožavanjem informacione bezbednosti, reflektuju na bezbednost drumskog saobraćaja uopšte.

### 3. UNECE

Od sredine dvadesestog veka, Ujedinjene nacije, preko svoje ekonomske komisije za Evropu (*United Nations Economic Commission for Europe*, UNECE), utiču na poboljšanje bezbednosti drumskog saobraćaja, prvenstveno kroz unapređenja bezbednosti vozila, poput regulisanja upotrebe sigurnosnih pojaseva, svetlosne signalizacije, upravljačkih sistema itd. Pod institucionalnim okriljem UNECE komiteta za kopneni transport, formiran je svetski forum za harmonizaciju regulative za vozila - WP.29, kako bi se obezbedilo da sva vozila koja se isporučuju na teritorijama država koje su prihvatile sporazum budu u skladu sa usaglašenim standardima u pogledu bezbednosti i zaštite životne sredine.

Pravni okvir sačinjavaju tri kategorije UN dogovora koji obezbeđuju pravni okvir za države pristupnice sporazumu, članicama WP.29 foruma da uspostave regulatorne instrumente u vezi sa motornim vozilima i njihovom opremom:

- a) UN odredbe u skladu sa ugovorom iz 1958. godine koje se bave uređivanjem procedura za vozila, njihove podsisteme, delove i opremu u vezi sa poštovanjem standarda u oblasti bezbednosti i zaštite životne sredine, kako u pogledu administrativnih procedura, tako i u pogledu zahteva za testiranje performansi. Time se definišu procesi sertifikacije tipova podsistema, delova i opreme vozila, usklađenost proizvodnih procesa sa definisanim normama i uzajamna priznanja sertifikata izdatih od strane sertifikovanih ustanova drugih zemalja potpisnica sporazuma.
- b) UN globalna tehnička pravila (GTR), u skladu sa ugovorom iz 1998. godine, koja definišu same globalno usklađene tehničke zahteve i test procedure, čime se obezbeđuje jasne tehničke standarde za globalnu automobilsku industriju, potrošače i relevantna udruženja.
- c) UN pravila, u skladu sa ugovorom iz 1997. godine, koja se bave periodičnom tehničkom inspekcijom vozila koja su u upotrebi i međusobnim međunarodnim priznavanjem rezultata tih inspekcija.

Pored država koje su pristupile ugovoru iz 1958. godine u potpunosti, postoje i posebni uslovi i procedure za pojedine zemlje i grupe zemalja, kao što su: Kanada, Kina, Indija, Japan, Republika Koreja, Rusija, SAD i Evropska Unija [6].

Svetski forum WP.29 se na sistemski globalan način posvetio pitanjima informacione bezbednosti u automobilskoj industriji od decembra 2016. godine. Tada je u okviru WP.29, preciznije, u okviru radne grupe o inteligentnim transportnim sistemima/automatizovanoj vožnji kreirana ekspertska grupa koja se bavi informacionom bezbednošću i daljinskim ažuriranjem softvera. Danas je ta grupa pod okriljem radne grupe za autonomna, automatizovana i povezana vozila (GRVA).

#### **4. Standardi**

Od januara 2021. godine, kao rezultat rada pomenute specijalizovane radne grupe, stupile su na snagu u obliku aneksa osnovnog ugovora iz 1958. dve uredbe koje se tiču sertifikacije vozila kada su u pitanju informaciona bezbednost i upravljanje sistemom informacione bezbednosti (Uredba br. 155 uz tri manja amandmana 2022, 204 i 2025), kao i ažuriranja softvera i upravljanje sistemom za ažuriranje softvera (Uredba br. 156).

Ovim uredbama obezbeđeno je okruženje za automobilske sektor kojim se standardizuju procesi vezani za informacionu bezbednost u celokupnom životnom ciklusu vozila, čime se akteri obavezuju na uspostavljanje mera koje će služiti za minimiziranje pretnji i sprečavanje efekata ugrožavanja informacione bezbednosti. To uključuje uspostavljanje namenskog robusnog sistema menadžmenta informacione bezbednosti, kontinuirano praćenje potencijalnih ranjivosti i pretnji uz periodičnu procenu rizika, kao i pravovremenu adekvatnu reakciju na njihovo otkrivanje.

Tesno povezan sa ovim uredbama je i međunarodni standard ISO/SAE 21434 (Inženjering informacione bezbednosti za drumska vozila), objavljen iste 2021. godine u saradnji međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO) i udruženja automobilske inženjerstva (SAE), koji definiše zahteve za menadžment sistema informacione bezbednosti koji treba da budu ispunjeni za nove tipove inteligentnih vozila. Za razliku od standarda ISO 27001 koji je namenjen upravljanju sistemom informacione bezbednosti u svim oblastima jedne organizacije, nevezano od industrije kojom se ona bavi, ISO/SAE 21434 prilagođen specifičnim pitanjima informacione bezbednosti vezanim za vozila i ranjivosti njihovih elektronskih sistema na informacione rizike i pretnje.

#### **5. Zaključak**

Pitanja informacione bezbednosti u automobilskoj industriji i drumskom saobraćaju uopšte postepeno postaju jednako važna kao i pitanja klasične bezbednosti saobraćaja. Kontinuirani višedecenijski trend povećanja učešća informaciono-komunikacionih tehnologija u ovoj industriji nameće kao neminovnost uspostavljanje namenskog odgovora na izazove koje ovaj trend sa sobom nosi.

Incidenti u oblasti informacione bezbednosti mogu imati posledice po širi krug aktera; od funkcionalnosti i bezbednosti samih vozila, preko bezbednosti imovine, pa sve do bezbednosti svih učesnika u saobraćaju.

Pored samih dizajnera/proizvođača vozila, pitanja informacione bezbednosti i adekvatno upravljanje bezbednosnim rizicima moraju da se sagledaju u celokupnom

lancu opsluživanja vozila tokom celokupnog životnog ciklusa – dizajna, proizvodnje, distribucije i eksploatacije.

Stoga će kvalitetno upravljanje rizicima informacione bezbednosti u celokupnom lancu tokom celog životnog ciklusa vozila zahtevati definisanje adekvatne strategije koja će morati da se prioritarno posveti sistemskom rešavanjem pitanju informacione bezbednosti. Očigledno je da će biti neophodno uspostavljanje novih radnih procesa i radnih mesta koja će zahtevati posedovanje novih znanja i novih veština koja nisu u tolikoj meri bila do sada zastupljena u automobilskoj industriji. I to ne samo kod proizvođača, već u kompletnom dizajnerskom, proizvodnom, prodajnom i servisnom lancu.

## Literatura

- [1] Jonas Bereisa, Applications of Microcomputers in Automotive Electronics. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2, 87–96, 1983
- [2] Robert N. Charette, This Car Runs on Code, *IEEE Spectrum*, February 2009
- [3] The Clemson University Vehicular Electronics Laboratory, Automotive Electronic Systems, Available at: <https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/systems/auto-systems.html>
- [4] Robert N. Charette, How Software is Eating the Cars, *IEEE Spectrum*, June 2021
- [5] Chou W, Shao J, Chung R, Chen L, Chen A and Zhou L, Semiconductors – the Next Wave Opportunities and winning strategies for semiconductor, Deloitte Touche Tomatsu Limited, 2019
- [6] UNECE, World Forum For Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29), How it works - How to join it, Revised Fourth Edition, 2022

**Abstract:** *By introducing information and communication technologies (ICT) in transport modes, intelligent transport systems were born. Since then, a number of components using ICT solutions which are present in vehicles itself and in the overall road infrastructure has been grown enormously – luxurious and complex vehicles contain more than 150 electronic control units (ECU). Increased presence of these vehicles on the roads, alongside with investments into road infrastructure, imminently increase the potential for new types of malicious impacts on the road traffic safety. Importance of this trend has been timely recognized by major stakeholders on global level and for the last few years several dedicated activities and standards dealing with this segment exist. This paper presents an overview of the current situation in this matter on a global level, together with the existing trends dealing with the further improvements in this segment.*

**Keywords:** cybersecurity, intelligent transportation system (ITS), road traffic, UNECE, WP.29

## CYBERSECURITY STANDARDS FOR THE ROAD TRAFFIC SAFETY

Miroslav Petrović, Dušan Mladenović, Mladen Nedeljkov

## **MODULACIONE TEHNIKE U VLC-u ZA MOGUĆNOST PRIMENE U SAOBRAĆAJU**

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević<sup>1</sup>, Branka Mikavica<sup>1</sup>, Momir Manović<sup>1</sup>, Jovana Perišić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,

a.kostic@sf.bg.ac.rs, b.mikavica@sf.bg.ac.rs, m.manovic@sf.bg.ac.rs

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu - Institut za molekularnu genetiku i genetičko inženjerstvo,  
jovana.perisic@imgge.bg.ac.rs

**Rezime:** *Ubrzani razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija dovodi do sve većih zahteva u pogledu dostupnih resursa, posebno u domenu propusnog opsega. Savremene bežične tehnologije, koje se dominantno oslanjaju na radiofrekventni (RF) spektar, suočavaju se sa njegovim ograničenjima i nedostatkom slobodnog spektra neophodnog za dalji rast i razvoj komunikacionih sistema. VLC (Visible Light Communication) predstavlja perspektivnu tehnologiju koja omogućava prenos podataka u okviru vidljivog dela elektromagnetnog spektra, pri čemu je proces komunikacije integrisan sa funkcijom osvetljenja. Upotreba vidljivog spektra otvara nove kanale prenosa, ali istovremeno donosi i izazove koji proizlaze iz složenosti medijuma, kao što su izraženije slabljenje signala i veća zavisnost od spoljašnjih uslova. Radi obezbeđivanja efikasnog prenosa podataka i prilagođavanja specifičnostima prenosnog medijuma, od ključnog značaja je izbor adekvatne modulacione tehnike. U ovom radu razmatrani su različiti tipovi modulacija koje se primenjuju u VLC sistemima, počevši od jednostavnijih rešenja do složenijih pristupa. Pored toga, analizirane su i mogućnosti primene ove tehnologije u saobraćajnim sistemima, sa posebnim osvrtom na njenu ulogu u unapređenju bezbednosti i efikasnosti saobraćaja.*

**Ključne reči:** VLC, modulacija, V2V, pametni gradovi

### **1. Uvod**

U eri digitalne transformacije, moderna bežična komunikacija suočava se sa sve većim zahtevima, kako po pitanju brzine prenosa i kašnjenja, tako i u pogledu bezbednosti, energetske efikasnosti i ukupnog kapaciteta mreža.

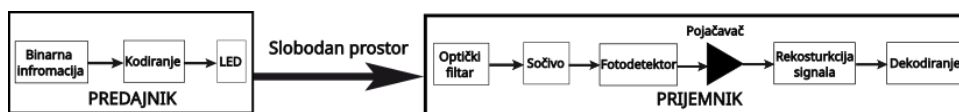
Peta generacija komunikacionih sistema teži da odgovori na ove zahteve obezbeđujući veoma mala kašnjenja, visok nivo bezbednosti, izuzetno nisku potrošnju energije i kapacitet za simultano povezivanje ogromnog broja uređaja. Ove karakteristike nisu samo poželjne, već postaju nužnost u uslovima eksponencijalnog rasta broja povezanih uređaja i bežičnih komunikacija koje zahtevaju velike brzine prenosa i stabilne veze. Međutim, RF (*Radio Frequency*) spektar, koji je do sada bio osnova bežičnih komunikacija, pokazuje znake zasićenja i ograničenosti. Upravo zbog ovih izazova,

inženjerska zajednica se sve više okreće alternativnim rešenjima, a jedno od najperspektivnijih jeste VLC (*Visible Light Communication*) [1]. Ovaj koncept, prvi put predložen od Aleksandra Grahama Bела još 1880. godine, danas koristi prednosti modernih LED (*Light Emitting Diode*) izvora koji istovremeno osvetljavaju prostor i prenose informacije. Standardizacija VLC tehnologije započeta je IEEE 802.15.7-2011 standardom, dok su 2018. proširene specifikacije uključivale i optičke komunikacije putem kamera (*Optical Camera Communication, OCC*), što je naročito značajno za IoT (*Internet of Things*) i V2X (*Vehicle to Everything*) komunikaciju [2]. VLC tehnologija koristi vidljivi deo elektromagnetnog spektra, u opsegu talasnih dužina od 380 do 750 nm, što omogućava istovremeni prenos podataka i osvetljenje, uz širok i neometan spektar za komunikaciju. Frekvencije koje se koriste su bezbedne po zdravlje ljudi, ne izazivaju elektromagnetne smetnje u osetljivim elektronskim uređajima, ne zahtevaju licenciranje i energetski su efikasne zahvaljujući malim i pouzdanim LED diodama [3].

Nakon uvodnih razmatranja, u drugom delu rada dat je opšti model VLC arhitektura. Treći deo rada se bazira na različitim tipovima modulacija koji se koriste u VLC sistemima, sa njihovim prednostima i manama. Četvrti deo rada razmatra primenu VLC tehnologije. U petom delu data su zaključna razmatranja.

## 2. Arhitektura VLC sistema

Sistem komunikacije putem vidljive svetlosti sastoji se od tri osnovne komponente: VLC predajnika, VLC prijemnika i VLC kanala. Osnovni princip rada ove tehnologije podrazumeva da se bela svetlost, koju emituju LED diode na strani predajnika moduliše, a zatim prenosi kao optički signal kroz bežični optički kanal. Na prijemnoj strani, modifikovana svetlost se detektuje pomoću fotodetektora, koji konvertuje svetlosni signal u električni. Najčešće korišćena tip modulacije i demodulacije jeste modulacija intenziteta sa direktnom detekcijom (*Intensity Modulation/Direct Detection, IM/DD*). Ovaj način prenosa informacija omogućava jednostavno i efikasno kodiranje i dekodiranje, kao i implementaciju. Pojednostavljeni blok dijagram celog sistema, prikazan na Slici 1[4].



Slika 1. Blok šema VLC sistema

VLC predajnik ima dvostruku ulogu, pored emitovanja podataka neophodno je da pruža i adekvatno osvetljenje. Ove uloge postavljaju dodatne zahteve predajniku, jer je neophodno obezbediti dovoljan nivo snage na predaji kako bi informacija bila preneti bez grešaka, ali je takođe potrebno implementirati i funkcionalnost zatamnjenja. Kako bi se izbeglo neželjeno treperenje pri nižim intenzitetima svetlosti, neophodno je modulisati izvor frekvencijama iznad 200 Hz. IEEE standard 802.15.7 definiše frekvencije modulacije od nekoliko MHz do nekoliko stotina MHz, koje u odgovarajućim uslovima mogu obezbediti protoke i do 100 Mb/s. U praksi se koriste četiri tipa LED dioda: PC LED (*Phosphor-Converted*), organske (*Organic Light Emitting Diodes, OLED*),

višebojne (*Red-Green-Blue Light Emitting Diodes*, RGB LED) i mikro-LED diode ( $\mu$ -LED).

Prijemni deo VLC sistema podrazumeva detekciju svetlosnog signala putem fotodiode, koje pretvaraju primljeni svetlosni signal u električni. Fotodiode mogu biti samostalni uređaji ili deo većih senzora slike, kao što su kamere koje zbog ograničene brzine prenosa, nisu pogodne za komunikacione sisteme visoke brzine. Nasuprot tome, klasične fotodiode omogućavaju prenos podataka brzinama i do 100 Mb/s. Najčešće korišćene vrste fotodioda u VLC sistemima su lavinske fotodiode (*Avalanche Photodiode*, APD), PIN fotodiode, MSM (*Metal Semiconductor Metal*) fotodiode i fototranzistori. PIN i APD diode su posebno popularne zbog dobrih karakteristika detekcije koje odgovaraju zahtevima VLC aplikacija. Svetlosni signal koji dospe do fotodiode konvertuje se u električnu struju, koja se zatim pojačava i prosleđuje ekvilajzeru [4].

VLC kanal, kao treća komponenta sistema, obuhvata optički medijum kroz koji se signal prostire. Zbog svoje elektromagnetne prirode, intenzitet svetlosti u vidljivom delu spektra opada proporcionalno kvadratu rastojanja. Međutim, za razliku od RF talasa, vidljiva svetlost je značajno podložnija apsorpciji i rasipanju, što dovodi do bržeg smanjenja snage u praktičnim uslovima. Pri projektovanju VLC sistema, neophodno je uzeti u obzir razliku između unutrašnjih i spoljašnjih okruženja. U zatvorenim prostorima može doći do refleksija od zidova i objekata što uzrokuje intersimbolsku interferenciju, kao i do pojave ko-kanalne interferencije u prisustvu više korisnika. U spoljašnjim uslovima dodatni faktori koji mogu uticati na kvalitet veze uključuju prirodne izvore svetlosti, veštačka osvetljenja, vremenske uslove poput kiše ili magle, kao i kretanje korisnika i gustina saobraćaja.

### 3. Modulacione tehnike u VLC-u

U kontekstu VLC sistema, specifičnosti prenosa putem vidljive svetlosti nameću posebne zahteve na oblikovanje modulišućih signala. Za razliku od tradicionalnih RF komunikacija, gde su signali nosioci kompleksni i mogu imati negativne vrednosti, u VLC sistemima signal mora biti realan i unipolaran, što direktno utiče na izbor i dizajn modulacionih tehnika. Modulacioni formati primenjeni u ovim sistemima zahtevaju pažljivo projektovanje kako bi se postigla optimalna ravnoteža između ključnih parametara: brzine prenosa podataka, energetske efikasnosti i neophodnog očuvanja osnovne funkcije osvetljenja. Imajući u vidu ove specifične zahteve, modulacione tehnike u VLC sistemima mogu se klasifikovati u tri osnovne kategorije:

1. Direktna modulacija - OOK (*On-Off Keying*), PAM (*Pulse Amplitude Modulation*), PWM (*Pulse Width Modulation*) i PPM (*Pulse Position Modulation*). Ove tehnike su jednostavne za implementaciju i pogodne za manje brzine prenosa, ali su osetljive na intersimbolsku interferenciju i zahtevaju dodatne metode ekvilizacije.

2. Modulacije sa više nosilaca - OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) i njegove varijante: DCO-OFDM (*Direct Current-biased Optical-OFDM*), ACO-OFDM (*Asymmetrically Clipped Optical-OFDM*), PAM-DMT (*Pulse Amplitude Modulation – Discrete MultiTone*), Flip-OFDM, U-OFDM (*Unipolar-OFDM*), omogućavaju visok kapacitet i efikasno iskorišćenje propusnog opsega, uz određene zahteve u pogledu kompleksnosti implementacije i PARP (*Peak-to-Average Power Ratio*) kontrole.

3. Specijalizovane tehnike - obuhvataju hibridne pristupe, kodirane šeme, kombinuju različite strategije u cilju poboljšanja efikasnosti i robusnosti prenosa.

### 3.1. Direktna modulacija

U savremenim VLC sistemima, modulacioni postupci u osnovnom opsegu zauzimaju centralno mesto kao osnovne tehnike prenosa podataka. Među najvažnijim i najčešće primenjivanim modulacionim šemama su OOK, PAM, PWM i PPM. Ove tehnike su posebno prilagođene principu IM/DD, koji podrazumeva da se informacija prenosi modulacijom intenziteta svetlosti, dok je prijemni deo zasnovan na direktnoj detekciji prijemnog signala pomoću fotodetektora. Zbog jednostavnosti realizacije i energetske efikasnosti, smatraju se idealnim rešenjem za VLC sisteme koji ciljaju na prenos podataka manjih protoka.

Jedan od najjednostavnijih i ujedno najpopularnijih modulacionih formata u VLC sistemima je OOK. Brzina prenosa podataka u OOK sistemima značajno zavisi od kvaliteta fotodetektora. Sa klasičnim PIN fotodiodama moguće je dostići brzine do 125 Mb/s, dok primena APD omogućava povećanje brzine prenosa do oko 230 Mb/s. Dalji razvoj koristi napredne metode obrade signala, kao i primenu veštačkih neuronskih mreža (*Artificial Neural Networks*, ANN) kao adaptivnih ekvilajzera, što omogućava dostizanje brzina do 614 Mb/s. Ovi napreci značajno doprinose povećanju propusnog opsega i poboljšanju otpornosti na šumove i smetnje [1].

Druge značajna tehnika modulacije je PWM, koja osim prenosa podataka omogućava i preciznu kontrolu osvetljenja. Kod PWM-a, širina impulsnog signala varira u zavisnosti od željenog nivoa zatamnjenja, što omogućava dinamičko upravljanje intenzitetom svetlosti bez promene spektra emitovane svetlosti. Pored svoje efikasnosti, PWM se često kombinuje sa DMT (*Discrete Multitone Modulation*), što znatno poboljšava spektralnu efikasnost sistema i omogućava veće brzine prenosa uz održavanje kvaliteta osvetljenja. DMT razlaže dostupni frekvencijski opseg na veliki broj usko raspoređenih podnosioca, pri čemu se na svakom od njih prenosi deo podataka, što omogućava bolju otpornost na šum i smetnje. Ova sinergija čini PWM izuzetno pogodnim za primenu u modernim LED sistemima koji integrišu osvetljenje i komunikaciju.

Tehnika PPM kodira podatke pomoću položaja svetlosnog impulsa unutar vremenskog okvira, što omogućava jednostavnu implementaciju i otpornost na šum. Klasični PPM ima ograničenu spektralnu efikasnost, pa su razvijene napredne varijante, kao što su OPPM (*Overlapping PPM*), MPPM (*Multipulse PPM*), DPPM (*Differential PPM*), EPPM (*Expurgated PPM*) i MEPPM (*Multilevel EPPM*). Ove modifikacije omogućavaju efikasniju upotrebu dostupnog spektra, poboljšanu podršku za zatamnjenje i smanjenje neželjenog treperenja svetlosti, što je od velike važnosti za udobnost korisnika. VPPM (*Variable Pulse Position Modulation*) predstavlja posebno značajnu tehniku, jer kombinuje principe PPM-a i PWM-a, čime se obezbeđuje visok nivo preciznosti i prilagodljivosti u simultanom prenosu podataka i regulaciji osvetljenja [1].

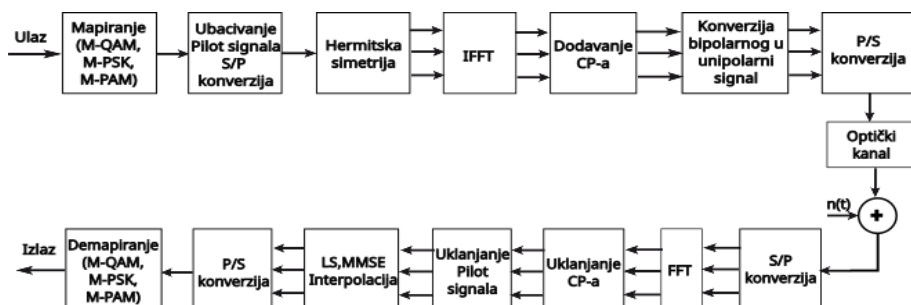
Međutim, uprkos njihovim prednostima, ovi formati imaju inherentna ograničenja, naročito kada se primenjuju u kanalima sa izraženom disperzijom svetlosnog signala. Disperzija u optičkom kanalu dovodi do pojave intersimbolske interferencije, koja uzrokuje preklapanje susednih impulsa i dovodi do narušavanja pouzdanosti detekcije podataka, povećavajući verovatnoću grešaka u prenosu. Da bi se uspešno



prevazišla ova otežavajuća okolnost i održala visoka pouzdanost sistema, neophodno je ugraditi napredne tehnike digitalne obrade signala. Među njima su DFE (*Decision Feedback Equalization*), MLSD (*Maximum Likelihood Sequence Detection*) i LFFE (*Linear feed-forward equalization*), koje omogućavaju efikasno smanjenje efekata intersimbolske interferencije i optimizuju performanse sistema.

### 3.2. Modulacione tehnike sa više nosilaca

U cilju postizanja visokih brzina prenosa podataka uz istovremeno smanjenje složenosti implementacije, u VLC sistemima su uvedene napredne modulacione tehnike koje koriste više nosilaca poput OFDM-a. Najznačajnija osobina OFDM-a ogleda se u njegovoj sposobnosti da kanale sa složenom frekvencijskom zavisnošću transformiše u skup jednostavnijih podkanala. Time se omogućava efikasna i jednostavna frekvencijska ekvilizacija, budući da se izobličenja kanala na svakom podkanalu mogu lako korigovati. Ova karakteristika čini OFDM posebno pogodnim za prenos podataka kroz kanale sa *multipath* efektom i nejednakim slabljenjem različitih frekvencija. Zbog ovih karakteristika, OFDM je postao veoma popularan, jer omogućava visok protok podataka, otpornost na frekvencijsku interferenciju, efikasnu borbu protiv intersimbolske interferencije, kao i efikasno korišćenje spektra [1]. Još jedna važna prednost OFDM-a je podrška višekorisničkoj komunikaciji, gde se svakom korisniku može dodeliti određeni podnosioci. Ovo omogućava jednostavan pristup kanalu, što nije lako postići sa drugim modulacionim šemama poput OOK, PPM ili M-PAM.



Slika 2. Blok šema DCO-OFDM modulacije i demodulacije

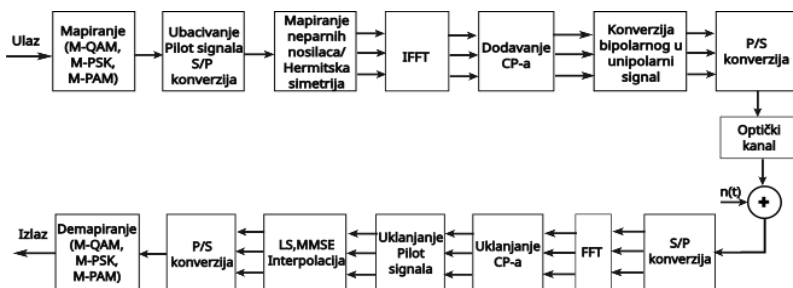
Na Slici 2 prikazan je konvencionalni DCO-OFDM sistem, koji predstavlja jednu od najranijih i najvažnijih varijanti optičkog OFDM-a. Ulazni tok digitalnih podataka najpre se kodira u simbole pomoću modulacionih formata kao što su M-PSK, M-QAM i M-PAM, gde M označava red konstelacije i zavisi od zahteva prenosa i kvaliteta veze. Da bi se obezbedila pouzdana komunikacija, u tok se ubacuju pilot simboli prema “*comb-type*” rasporedu, koji omogućava preciznu procenu i praćenje karakteristika optičkog kanala. Nakon serijsko-paralelne konverzije i IFFT transformacije, simboli se prevode u vremenski domen. Dodavanjem DC *bias* komponente bipolarni signal postaje unipolarni i spreman za optički prenos putem LED predajnika.

Nakon toga, simboli se pomoću serijsko-paralelnog konvertera pretvaraju u paralelni tok, što omogućava slanje više tokova podataka manjeg protoka na različite podnosioce. Primenom IFFT-a simboli prelaze iz frekvencijskog u vremenski domen i

formiraju realan bipolarni signal. Pošto optički predajnici mogu emitovati samo pozitivnu svetlost, dodaje se DC *bias* kako bi se signal pomerio u nenegativnu oblast i postao unipolaran. Ovim procesom sistem omogućava efikasno i pouzdano prenošenje digitalnih podataka u optičkim OFDM komunikacionim sistemima.

ACO-OFDM predstavlja jednu od naprednijih metoda za generisanje unipolarnog signala u optičkoj OFDM komunikaciji, posebno dizajniran da prevaziđe značajnu manu DCO-OFDM sistema, a to je energetska neefikasnost nastala usled potrebe za dodavanjem DC *bias*-a. Za razliku od DCO-OFDM, gde se signal bipolarne prirode "pomera" dodavanjem konstantnog DC napona da bi se postigao pozitivan signal, ACO-OFDM postiže unipolarnost drugačijim pristupom selektivnom modulacijom samo neparnih podnosioca, dok se parni podnosioci postavljaju na nulu. Ova selektivna modulacija, u kombinaciji sa Hermitskom simetrijom, omogućava da izlazni signal IFFT transformacije bude realan, tj. da nema imaginarnih komponenti. Hermitska simetrija postavlja frekvencijske komponente tako da su simetrične u kompleksnoj ravni, što u vremenskoj oblasti rezultira asimetričnim oblikom signala – signal je organizovan tako da levi i desni deo talasnog oblika imaju suprotan predznak ili oglednu strukturu. Ovaj oblik je potreban da bi signal pravilno prenosio informacije i mogao se efikasno demodulisati u sistemu, istovremeno zadržavajući svoj realni karakter.

Na Slici 3 prikazana je šema procesa procene kanala u ACO-OFDM sistemu zasnovanom na IFFT-u sa Hermitskom simetrijom. Ulazni simboli se modulišu na neparnim podnosiocima, dok su parni postavljeni na nulu, čime se smanjuje broj efektivno korišćenih podnosilaca. Zbog Hermitske simetrije, od ukupnog broja  $N$ , samo četvrtina prenosi informaciju, dok su ostali kompleksni konjugati iskorišćenih neparnih podnosilaca. Time se smanjuje spektralna efikasnost u odnosu na DCO-OFDM, ali se eliminiše potreba za DC *bias*-om, čime se štedi energija. Nakon IFFT-a, signal je realan, ali bipolaran, pa se primenjuje ciklički prefiks i *hard clipping*, pri čemu se prenose samo pozitivne vrednosti. Zbog asimetrične prirode signala ne dolazi do gubitka informacija. *Clipping* šum nastaje odbacivanjem negativnih komponenti, ali se ne preklapa sa korisnim signalom jer se projektuje na parne podnosiocce [5].



Slika 3. Blok šema ACO-OFDM modulacije i demodulacije

PAM-DMT je modulacioni princip koji predstavlja poboljšanu verziju ACO-OFDM sistema. Dok ACO-OFDM koristi samo neparne podnosiocce za prenos podataka, a parne postavlja na nulu, PAM-DMT moduliše imaginarne delove svih dostupnih nosioca, dok su realni delovi isključeni. Ovo omogućava da se iskoriste svi podnosioci za prenos podataka, čime se značajno povećava spektralna efikasnost sistema. Kao i kod ACO-OFDM, vremenski signal u PAM-DMT-u poseduje asimetrična svojstva, što znači

da negativni delovi signala mogu biti isečeni bez gubitka informacije, jer za svaki isečeni negativni vrh postoji odgovarajući pozitivan vrh iste apsolutne vrednosti. Ova karakteristika omogućava PAM-DMT-u da, slično ACO-OFDM-u, generiše unipolarni signal bez potrebe za dodatnim DC pomakom, ali sa znatno boljim iskorišćenjem spektra. Na prijemnoj strani, detektuje se samo imaginarni deo podnosilaca, dok se realni deo zanemaruje, što je dovoljno za pouzdano prepoznavanje prenetih podataka [1].

### 3.3. Hibridne modulacione tehnike

U okviru superpozicionih varijanti optičke OFDM modulacije izdvajaju se sledeći sistemi: eU-OFDM (*Enhanced Unipolar Optical OFDM*), GREENER-OFDM (*Generalized Enhanced Unipolar*), eACO-OFDM (*Enhanced ACO-OFDM*), ePAM-DMT (*Enhanced PAM-DMT*), SEE-OFDM (*Spectrally and Energy-Efficient OFDM*), LACO-OFDM (*Layered ACO-OFDM*) i UOT (*Unipolar Orthogonal Transmission*) [1]. Sve ove varijante imaju za cilj da znatno poboljšaju spektralnu efikasnost u poređenju sa ranijim varijantama optičke OFDM, kao što su ACO-OFDM, PAM-DMT i *Flip-OFDM*. Suštinska metoda u ovim sistemima zasniva se na slojevitom superponiranju višestrukih OFDM talasnih oblika u jednom vremenskom okviru, što dovodi do povećanja spektralne efikasnosti i često je čak i dvostruko veća od one kod prvobitnih sistema.

Prva od unapređenih varijanti je eU-OFDM, koja značajno povećava spektralnu efikasnost superpozicijom više U-OFDM okvira u jedan složeni signal u vremenskom domenu. Princip rada se može predstaviti sledećim načinom: bipolarni OFDM signal se deli na dva dela. Jedan koji sadrži apsolutne vrednosti negativnih uzoraka gde su pozitivni zamenjeni nulama, i drugi koji sadrži pozitivne vrednosti uzoraka gde su negativni zamenjeni nulama, uz dodatak cikličkog prefiksa radi očuvanja kontinuiteta signala. Na prvom nivou dubine, signal se generiše kao u klasičnom U-OFDM sistemu, dok se na višim dubinama dodatni U-OFDM podtokovi superponiraju na postojeći tok podataka. Svaki sledeći tok se replicira određen broj puta, a amplituda se odgovarajuće skalira kako bi se očuvala ukupna energija signala.

Na prijemnoj strani prvo se demoduliše tok na najnižem nivou dubine, koristeći standardni U-OFDM prijemnik. Pošto više slojeva superponiranih signala može izazvati međusobne smetnje, primenjuje se postupak oduzimanja rekonstruisanog signala sa nižeg nivoa kako bi se uklonile smetnje i omogućila demodulacija sledećeg sloja. Ovaj proces se ponavlja za sve slojeve, čime se postiže zbir spektralnih efikasnosti svih slojeva i povećava ukupna efikasnost sistema.

Povećanjem broja slojeva, spektralna efikasnost eU-OFDM-a može da se približi onoj kod DCO-OFDM-a, mada zbog praktičnih ograničenja kao što su računarska složenost, kašnjenje i memorijski zahtevi, potpuno uklanjanje ove razlike nije moguće. Da bi se dodatno unapredile performanse, razvijena je generalizovana verzija pod nazivom GREENER-OFDM, koja dozvoljava proizvoljne kombinacije slojeva sa različitim veličinama konstelacija i alokacijama snage, što pruža veću fleksibilnost u optimizaciji sistema. GREENER-OFDM sistem pokazuje značajna poboljšanja u odnosu na DCO-OFDM, naročito u pogledu uštede električne i optičke energije, što je potvrđeno simulacijama sa različitim vrstama modulacija (QAM i PAM) i spektralnim efikasnostima. Na nižim spektralnim efikasnostima, GREENER-OFDM čak nadmašuje performanse DCO-OFDM-a sa nižom potrošnjom energije, dok kod viših efikasnosti zadržava značajne uštede energije i manje procenat pogrešnih bitova.

Koncept superpozicije slojeva je proširen i na PAM-DMT sistem u varijanti poznatoj kao ePAM-DMT. Zbog asimetričnih svojstava PAM-DMT signala, moguće je superponirati slojeve tako da međusobne smetnje padaju samo na realni deo signala, dok korisni podatak ostaje u imaginarnoj komponenti, što olakšava njihovo odvajanje na prijemniku. ePAM-DMT pokazuje visoku energetska efikasnost u smislu električnog signala, dok kod optičke energije nešto zaostaje u odnosu na DCO-OFDM. Ovo je ipak kompromis koji omogućava bolje ispunjavanje zahteva za osvetljenje u troškovno efikasnim VLC sistemima [5].

#### 4. Primena VLC-a u saobraćaju

Razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija ima ključnu ulogu u transformaciji grada u pametan grad, omogućavajući unapređenje saobraćaja kroz implementaciju inteligentnih transportnih sistema (*Intelligent Transport System*, ITS), kao i razvoj pametne urbane infrastrukture. Suštinski zadatak pametnog grada je korišćenje različitih IoT senzora za prikupljanje podataka i sticanje uvida koji omogućavaju efikasno upravljanje gradskim resursima i uslugama. Na taj način, prikupljeni podaci omogućavaju nesmetano funkcionisanje gradskih sistema. Iako se u mnogim pametnim gradovima široko koristi RF tehnologija, istraživanja pokazuju da RF neće moći u potpunosti da zadovolji buduće zahteve za kvalitetom servisa zbog porasta mobilnih uređaja. Komunikacija vidljivom svetlošću može obezbediti neprekidnu povezanost između ljudi, infrastrukture, transporta, državnih službi, zdravstvenih ustanova i drugih sektora u pametnom gradu [1].

VLC predstavlja najprikladnije rešenje za kontinuiranu pokrivenost grada zahvaljujući mogućnosti istovremene podrške visokim brzinama prenosa podataka i osvetljenju. Ova tehnologija se lako integriše sa drugim sistemima u pametnom gradu, kao što su saobraćajne svetlosne signalizacije, javna rasveta, transportna infrastruktura, instrument tabla u vozilima i informativni displeji. Generalna arhitektura pametnog grada zasnovana na VLC tehnologiji sastoji se iz nekoliko ključnih komunikacionih slojeva koji omogućavaju efikasnu razmenu podataka i kontrolu sistema. U fizičkom sloju, LED diode, pored svoje osnovne funkcije osvetljenja, koriste se za prenos podataka između uređaja, dok posebni senzori prikupljaju informacije u realnom vremenu, na primer o gustini saobraćaja, udaljenosti između vozila ili detekciji opasnih zona i hitnih situacija poput požara ili poziva hitne pomoći. Prikupljeni podaci se zatim distribuiraju kroz komunikacione slojeve sistema, omogućavajući brzu i preciznu reakciju infrastrukture i korisnika.

Kada je reč o primeni VLC-a jedna od ključnih oblasti u kojoj VLC značajno doprinosi jeste bezbednost i efikasnost saobraćaja kroz napredne sisteme za komunikaciju među vozilima i između vozila i saobraćajne infrastrukture. Integracija VLC tehnologije u vozila i saobraćajna svetla omogućava inteligentnu razmenu podataka u realnom vremenu, čime se poboljšava upravljanje saobraćajem, smanjuju gužve i sprečavaju nezgode, što je jedan od najvažnijih zahteva savremenih pametnih gradova [1].

Model V2V (*Vehicle-to-Vehicle*) komunikacije bazirane na LED diodama u velikoj meri zavisi od razumevanja prostorne geometrije položaja vozila na putu. Ključni parametri su distanca između vozila, kao i međusobna horizontalna rastojanja u istoj i susednim saobraćajnim trakama. Pored ovih linearnih rastojanja, bitan je i ugao između

vozila, koji predstavlja prostorni odnos njihovih položaja u okviru puta i direktno utiče na usmerenost i kvalitet svetlosnog signala koji se prenosi.

U [6] je kroz analitičku studiju pokazano da performanse V2V-VLC sistema zavise od prostornih odnosa i pozicije vozila u toku prenosa signala u dnevnim uslovima, pri čemu su vremenske prilike tretirali uglavnom kao refleksiju signala u NLoS (*Non Line of Sight*) uslovima. Međutim, ta analiza nije obuhvatila detaljan uticaj atmosferskih faktora na VLC kanal. U [7], sprovedeno je eksperimentalno istraživanje koje se bavi uticajem magle na slabljenje svetlosnog signala u slobodnom prostoru. U eksperimentu je korišćeno više predajnika i prijemnika, koji su bili opremljeni specijalnim optičkim pojačivačima, kako bi se smanjili negativni efekti magle i poboljšao kvalitet prenosa svetlosti kroz atmosferu. Međutim, kada je reč o V2V komunikaciji baziranoj na LED svetlima, kao što su zadnja svetla automobila, nije praktično koristiti veliki broj predajnika i prijemnika. Takva konfiguracija uslovljava znatno veću potrošnju električne energije i povećanje složenosti sistema, što nije poželjno za vozila koja treba da budu energetska efikasna i jednostavna za implementaciju. Iako su rezultati tog istraživanja korisni za razumevanje problema slabljenja signala zbog magle, njihova primena u realnim LED V2V sistemima je ograničena zbog praktičnih problema sa složenošću i potrošnjom energije [8].

## 5. Zaključak

VLC tehnologija integriše funkcionalnost razmene podataka između uređaja sa njihovom osnovnom funkcijom osvetljenja. Komunikacija se ostvaruje u vidljivom delu elektromagnetnog spektra, koji omogućava veće brzine prenosa podataka u poređenju sa RF spektrom, ali istovremeno donosi i dodatne izazove usled složenosti samog medijuma prenosa. S obzirom na izraženu zavisnost performansi od karakteristika medijuma, izbor odgovarajuće modulacije ima ključnu ulogu u ostvarivanju efikasnog prenosa podataka. Tip modulacije se bira u skladu sa zahtevima sistema, propusnim opsegom kanala i kvalitetom prenosnog medijuma, pri čemu se uvek pravi kompromis između brzine prenosa, složenosti implementacije i pouzdanosti komunikacije. U radu je predstavljen pregled najzastupljenijih postupaka modulacije, koji se mogu svrstati u tri osnovne kategorije: IM/DD modulacije, modulacije sa više podnosilaca, i hibridne modulacije. Prva kategorija obuhvata jednostavnije metode namenjene primenama koje zahtevaju niže brzine prenosa i jednostavniju implementaciju, dok preostale dve kategorije omogućavaju ostvarivanje većih propusnih opsega, ali uz povećanu složenost sistem. VLC tehnologija nalazi široku primenu u različitim oblastima, pri čemu je fokus rada usmeren na njen značaj u savremenim saobraćajnim sistemima, sa ciljem unapređenja bezbednosti i efikasnosti u saobraćaju. Prikazani su primeri primene VLC tehnologije u konceptu pametnih gradova, aktuelna istraživanja koja se odnose na njenu upotrebu u oblasti komunikacije između vozila.

## Literatura

- [1] S. Vappangi, V. V. Mani, and M. Sellathurai, *Visible Light Communication: A Comprehensive Theory and Applications with MATLAB®*, 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2021. doi: 10.1201/9781003191537.

- [2] E. Khorov and I. Levitsky, "Current Status and Challenges of Li-Fi: IEEE 802.11bb," *IEEE Commun. Stand. Mag.*, vol. 6, no. 2, pp. 35–41, Jun. 2022, doi: 10.1109/MCOMSTD.0001.2100104.
- [3] C. He and W. Ali, "Advances in Visible Light Communication," *Photonics*, vol. 10, no. 11, p. 1277, Nov. 2023, doi: 10.3390/photonics10111277.
- [4] R. Al Hasnawi and I. Marghescu, "A Survey of Vehicular VLC Methodologies," *Sensors*, vol. 24, no. 2, p. 598, Jan. 2024, doi: 10.3390/s24020598.
- [5] F. Hossain and Z. Afroz, "Eliminating the effect of fog attenuation on FSO link by multiple TX/RX system with travelling wave semiconductor optical amplifier," in *2013 2nd International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*, Dkaka, Bangladesh: IEEE, Dec. 2013, pp. 267–272. doi: 10.1109/ICAEE.2013.6750345.
- [6] P. Luo, Z. Ghassemlooy, H. L. Minh, E. Bentley, A. Burton, and X. Tang, "Performance analysis of a car-to-car visible light communication system," *Appl. Opt.*, vol. 54, no. 7, p. 1696, Mar. 2015, doi: 10.1364/AO.54.001696.
- [7] M. S. Islim, D. Tsonev, and H. Haas, "A generalized solution to the spectral efficiency loss in unipolar optical OFDM-based systems," in *2015 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, London: IEEE, Jun. 2015, pp. 5126–5131. doi: 10.1109/ICC.2015.7249137.
- [8] Y. H. Kim, W. A. Cahyadi, and Y. H. Chung, "Experimental Demonstration of VLC-Based Vehicle-to-Vehicle Communications Under Fog Conditions," *IEEE Photonics J.*, vol. 7, no. 6, pp. 1–9, Dec. 2015, doi: 10.1109/JPHOT.2015.2499542.

**Abstract:** *The rapid development of ICT leads to increasing demands in terms of available resources, especially in the domain of bandwidth. Modern wireless technologies, which predominantly rely on the radio frequency (RF) spectrum, face its limitations and the lack of free spectrum necessary for further growth and development of communication systems. VLC (Visible Light Communication) represents a promising technology that enables data transmission within the visible part of the electromagnetic spectrum, whereby the communication process is integrated with the lighting function. The use of the visible spectrum opens up new transmission channels, but at the same time brings challenges arising from the complexity of the medium, such as more pronounced signal attenuation and greater dependence on external conditions. In order to ensure efficient data transmission and adaptation to the specifics of the transmission medium, the choice of an adequate modulation technique is of key importance. In this paper, different types of modulations applied in VLC systems are discussed, starting from simpler solutions to more complex approaches. In addition, the possibilities of applying this technology in traffic systems were analyzed, with special reference to its role in improving traffic safety and efficiency.*

**Keywords:** VLC, modulation, V2V, smart cities

## **MODULATION TECHNIQUES IN VLC FOR THE POSSIBILITY OF APPLICATION IN TRAFFIC**

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Branka Mikavica, Momir Manović, Jovana Perišić

## **NOVI DINAMIČKI PROTOKOL RUTIRANJA ZA URBANE VANET MREŽE BAZIRAN NA UČENJU POTKREPLJIVANJEM**

Pavle Bugarčić, Marija Malnar  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,  
p.bugarcic@sf.bg.ac.rs, m.malnar@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** *Izbor optimalne putanje za slanje podataka u bežičnim ad hoc mrežama od ključnog je značaja za postizanje zadovoljavajućih mrežnih performansi. Ovaj proces postaje veoma kompleksan ukoliko se topologija mreže brzo menja, kao što je slučaj kod bežičnih ad hoc mreža za vozila (Vehicular Ad-hoc Networks, VANETs). U ovakvim uslovima proces rutiranja može biti značajno unapređen uključivanjem mašinskog učenja u izbor optimalne putanje, a tip učenja koji najviše odgovara visoko dinamičkim mrežama je učenje potkrepljivanjem (Reinforcement Learning, RL). Jedan od najznačajnijih tipova RL za dinamičke bežične ad hoc mreže je Q-učenje (Q-Learning, QL). U ovom radu je predložen novi dinamički protokol rutiranja za urbane VANET mreže baziran na QL (Q-learning based Dynamic Routing Algorithm for urban VANETs, Q-DRAV), koji uključivanjem relevantnih mrežnih parametara u RL proces uspeva značajno da poboljša ukupne mrežne performanse kod VANET mreža. Simulaciona analiza i poređenje sa drugim protokolima rutiranja izvršeni su u NS-3 simulatoru.*

**Ključne reči:** *učenje potkrepljivanjem, Q-učenje, protokoli rutiranja, VANET mreže, NS-3 simulator*

### **1. Uvod**

Protokoli rutiranja u bežičnim komunikacionim mrežama imaju ulogu da obezbede optimalnu putanju za prenos podataka od izvora do odredišta, preko niza međučvorova. U slučaju visoko dinamičkih mreža, kao što su bežične *ad hoc* mreže za vozila (Vehicular Ad-hoc Networks, VANETs), taj zadatak postaje dosta složeniji. Osnovna karakteristika ovih mreža je relativno velika brzina kretanja čvorova, što prouzrokuje česte promene u mrežnoj topologiji. To dovodi do učestalih prekida linkova koji su deo trenutnih putanja, što značajno otežava održavanje optimalne putanje za slanje podataka. Tradicionalni protokoli rutiranja, poput *Ad hoc On-Demand Distance Vector* (AODV) protokola [1], ne uspevaju pravovremeno da reaguju na brze promene u VANET mrežama. Ovo dovodi do kasne promene putanje koja se koristi za prenos podataka u slučaju prekida nekog linka, što rezultira pogoršanjem ukupnih mrežnih performansi. Brojni autori su pokušali da prevaziđu ovaj problem prilagođavanjem postojećih protokola rutiranja dinamičkoj prirodi ovih mreža, kao i definisanjem odgovarajućih metrika rutiranja sa relativno ograničenim uspehom [2-5].

Rešenje ovog problema može biti u uključivanju mašinskog učenja (*Machine Learning*, ML) u proces izbora optimalne putanje, a tip ML koji najviše odgovara zadacima rutiranja u dinamičkim mrežama je učenje potkrepljivanjem (*Reinforcement Learning*, RL). Ovaj pristup podrazumeva stalnu interakciju agenta učenja sa okruženjem putem preduzimanja određenih akcija, na koje okruženje odgovara dodeljivanjem nagrade (ili kazne) za preduzetu akciju, kao i pružanjem povratnih informacija o novom stanju okruženja nakon preduzete akcije. Najčešće korišćeni RL algoritam u VANET mrežama je Q-učenje (*Q-Learning*, QL). Jedan od prvih, a ujedno i veoma značajan primer primene QL u protokolima rutiranja za VANET mreže, je *Q-Learning AODV* (QLAODV) protokol [6], koji pri izboru optimalne putanje uzima u obzir mobilnost vozila i opterećenje propusnog opsega. Još jedan uspešan protokol koji koristi QL za rutiranje u VANET mrežama je *Adaptive Routing Protocol based on Reinforcement Learning* (ARPL) [7], koji kao uticajne faktore u procesu rutiranja uzima u obzir stabilnost linka, brzinu kretanja vozila i gubitak paketa. Iako ovi protokoli pokazuju značajno unapređenje mrežnih performansi u poređenju sa tradicionalnim protokolima rutiranja, još uvek postoje značajne mogućnosti za njihovo unapređenje. Iz tog razloga je u ovom radu predložen novi dinamički protokol rutiranja za urbane VANET mreže baziran na QL (*Q-learning based Dynamic Routing Algorithm for urban VANETs*, Q-DRAV). Simulacionom analizom u NS-3 simulatoru pokazano je da ovaj protokol pokazuje značajno bolje performanse u pogledu procenta izgubljenih paketa (*Packet Loss Ratio*, PLR), ostvarenog aplikacionog protoka, prosečnog kašnjenja paketa sa kraja na kraj mreže (*End-To-End Delay*, E2ED) i džitera, u poređenju sa ranijim protokolima.

U nastavku rada su najpre objašnjeni osnovni koncepti učenja potkrepljivanjem. Zatim je detaljno opisan novi Q-DRAV protokol rutiranja. Nakon toga su predstavljeni rezultati simulacione analize u NS-3 simulatoru, u okviru kog je izvršeno testiranje i poređenje novog protokola sa ranijim protokolima rutiranja za VANET mreže. U poslednjem poglavlju su data zaključna razmatranja.

## 2. Osnovni koncepti učenja potkrepljivanjem

U opštem slučaju, učesnici RL procesa su agent učenja i okruženje. Kroz stalnu interakciju sa okruženjem agent prikuplja povratne informacije, na osnovu kojih prilagođava proces rutiranja trenutnom stanju okruženja. RL proces u jednoj VANET mreži moguće je modelirati na sledeći način. Čvor koji želi da pošalje podatke ka određenom odredištu predstavlja agenta učenja, dok svi ostali čvorovi u mreži predstavljaju njegovo okruženje. Izbor putanje kojom će slati podatke ka odredištu predstavlja akciju koju agent može da preduzme, a ona je ekvivalentna izboru jednog od susednih čvorova da bude sledeći hop na putanji. Nakon slanja paketa, susedni čvorovi obaveštavaju agenta o promeni stanja okruženja i o nagradi za preduzetu akciju.

U protokolima rutiranja za VANET mreže koristi se nekoliko različitih tipova RL algoritama, a najpopularniji je QL. On podrazumeva računanje Q-vrednosti za svaku potencijalnu akciju  $a_t$ , koju agent može da preduzme u određenom trenutku  $t$  dok je okruženje u stanju  $s_t$ . Ove vrednosti agent čuva u svojoj Q-tabeli i na osnovu njih bira narednu akciju koju će preduzeti. U opštem slučaju, za uređeni par  $(s_t, a_t)$  agent računa Q-vrednost preko sledeće relacije:

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow (1 - \alpha) \cdot Q(s_t, a_t) + \alpha \cdot (R_{t+1} + \gamma \cdot \max_a Q(s_{t+1}, a)) \quad (1)$$



U ovoj relaciji  $R_{t+1}$  označava nagradu koju je agent dobio od okruženja za preduzetu akciju  $a_t$ , a  $s_{t+1}$  predstavlja novo stanje okruženja nakon preduzete akcije  $a_t$ . Parametar  $\alpha$  označava stepen učenja koji može uzeti vrednost u opsegu  $[0,1]$  i definiše kojom brzinom će agent učiti od okruženja. Parametar  $\gamma$  predstavlja diskontni faktor, koji određuje važnost budućih nagrada i takođe može uzeti vrednost u opsegu  $[0,1]$ . Najzad, vrednost  $\max_a Q(s_{t+1}, a)$  predstavlja maksimalnu Q-vrednost do koje agent može doći preduzimanjem jedne od dostupnih akcija  $a$ , kada je okruženje u narednom stanju  $s_{t+1}$ .

### 3. Predlog novog RL baziranog protokola rutiranja za VANET mreže

Kako bi se unapredile mrežne performanse VANET mreža, razvijen je novi Q-DRAV protokol rutiranja [8]. Za izbor optimalne putanje za slanje paketa, Q-DRAV koristi QL algoritam koji podrazumeva tri metode za ažuriranje Q-vrednosti. Prva metoda odvija se nakon što vozilo primi *Hello* paket od svog suseda. *Hello* paketi sadrže sve potrebne informacije za ažuriranje Q-vrednosti, na osnovu kojih vozila procenjuju kvalitet putanja koje vode ka odredištu preko nekog od svojih suseda. Ove informacije uključuju koordinate suseda po  $x$  i  $y$  osi, dostupni propusni opseg suseda (*Neighbor Bandwidth*, NB), broj odredišta za koja sused ima maksimalne Q-vrednosti u svojoj Q-tabeli, kao i sekvencu tih maksimalnih Q-vrednosti zajedno sa informacijama o IP adresama odredišta i sledećeg hopa na putanji do odredišta. Kada čvor  $c$  primi *Hello* paket od suseda  $n$ , ažurira Q-vrednost za putanju do odredišta  $d$ , koja vodi preko tog suseda, na osnovu sledeće jednačine:

$$Q_c(d, n) \leftarrow (1 - \alpha_{c,n}) \cdot Q_c(d, n) + \alpha_{c,n} \cdot (R_{c,n} + \gamma_{c,n} \cdot \max_{y \in \text{Nei}(n)} Q_n(d, y)). \quad (2)$$

Ključni korak kod ažuriranja Q-vrednosti je definisanje vrednosti parametara  $\alpha_{c,n}$ ,  $\gamma_{c,n}$  i  $R_{c,n}$ , preko kojih je potrebno uključiti željene uticajne faktore u QL proces. Za inicijalno ažuriranje Q-vrednosti, stepen učenja ( $\alpha_{c,n}$ ) ima konstantnu vrednost. Eksperimentalnim putem je utvrđeno da se najbolji rezultati mrežnih performansi dobijaju kada se ova vrednost postavi na 0,6. U suprotnom,  $\alpha_{c,n}$  se izračunava kao:

$$\alpha_{c,n} = \max(0,6; RDC_{c,n}; LU_{c,n}). \quad (3)$$

Parametar  $RDC_{c,n}$  (*relative distance change*) predstavlja relativnu promenu rastojanja između trenutnog čvora  $c$  i njegovog suseda  $n$ . Izračunava se preko sledeće jednačine:

$$RDC_{c,n} = \sqrt{\left| \frac{\Delta d_{c,n}}{\Delta d_{max}} \right|}, \quad (4)$$

gde  $\Delta d_{c,n}$  predstavlja promenu rastojanja između posmatranog čvora  $c$  i njegovog suseda  $n$  tokom perioda pojedinačnog ažuriranja Q-vrednosti, dok  $\Delta d_{max}$  predstavlja maksimalnu moguću promenu rastojanja tokom tog intervala. Na ovaj način, stepen učenja između čvorova koji brže menjaju udaljenost se ubrzava, jer se pretpostavlja da postoje značajnije promene u kvalitetu veze. Kako bi se brže ažurirale putanje sa manjom pouzdanošću, parametar  $\alpha_{c,n}$  uzima u obzir i nepouzdanost linka preko koeficijenta  $LU_{c,n}$  (*link unreliability*), koji se računa na osnovu sledeće jednačine:

$$LU_{c,n} = \sqrt{1 - (1 - 2^{-SH_{c,n}}) \cdot \frac{RH_{c,n}}{SH_{c,n}}}. \quad (5)$$

U ovoj relaciji parametar  $RH_{c,n}$  (*received hello*) predstavlja broj *Hello* paketa koje je čvor  $c$  primio od čvora  $n$ , a parametar  $SH_{c,n}$  (*sent hello*) broj *Hello* paketa koje je čvor  $c$  poslao ka čvoru  $n$ . Kod nestabilnih linkova  $RH_{c,n}$  je značajno manji od  $SH_{c,n}$ , tako da je koeficijent  $LU_{c,n}$  blizu 1. Ovo utiče na povećanje  $\alpha_{c,n}$ , odnosno ažuriranje Q-vrednosti se ubrzava. Prema relaciji (3), uvek se bira maksimum između dva pomenuta kriterijuma ( $RDC_{c,n}$  i  $LU_{c,n}$ ). Takođe, osigurava se da  $\alpha_{c,n}$  nije manje od 0,6, kako ažuriranje Q-vrednosti ne bi bilo previše sporo. Konačni cilj je ubrzati ažuriranje nepouzdatih putanja, dok se istovremeno održava stabilnost Q-vrednosti pouzdatih putanja.

Diskontni faktor ( $\gamma_{c,n}$ ) se koristi za fino podešavanje Q-vrednosti. Za inicijalno ažuriranje Q-vrednosti, ovaj parametar će imati konstantnu vrednost od 0,3. Ova vrednost je takođe izabrana eksperimentalnim putem, nakon što je utvrđeno da daje najbolje mrežne performanse. U suprotnom,  $\gamma_{c,n}$  se izračunava preko sledeće jednačine:

$$\gamma_{c,n} = 0,25 + 0,1 \cdot NB_n. \quad (6)$$

Prednost prilikom odabira sledećeg hopa daje se susednim čvorovima sa većim dostupnim propusnim opsegom čvora, putem parametra  $NB_n$ . Ovaj parametar se nalazi u *Hello* paketu koji šalje susedni čvor  $n$  i izračunava se kao:

$$NB_n = 1 - RUB_n, \quad (7)$$

gde  $RUB_n$  (*relative used bandwidth*) predstavlja relativni iskorišćeni propusni opseg susednog čvora  $n$  i izračunava se na sledeći način:

$$RUB_n = \frac{UsedBW_n}{MaxBW_n}. \quad (8)$$

U prethodnoj jednačini,  $MaxBW_n$  predstavlja maksimalan propusni opseg koji je dostupan čvoru  $n$  (definisan karakteristikama bežičnog medijuma za prenos, isti je za sve čvorove), dok  $UsedBW_n$  predstavlja iskorišćeni propusni opseg čvora  $n$ . Na ovaj način se izbegavaju putanje koje idu preko preopterećenih suseda i smanjuju se zagušenja u mreži.

Parametar  $R_{c,n}$  predstavlja nagradu za preduzetu akciju, odnosno za odabir odgovarajućeg suseda za prosleđivanje paketa ka odredištu. Cilj je dati prioritet kraćim putanjama, dok se istovremeno izbegava kreiranje petlji. Ako čvor primi *Hello* paket direktno od odredišta, ovoj putanji svakako treba dati prioritet, tako da se Q-vrednost automatski postavlja na 1 (odnosno na maksimum). U drugim slučajevima,  $R_{c,n}$  se definiše kao:

$$R_{c,n} = \begin{cases} 0,6, & 2 \text{ hopa;} \\ -0,5, & \text{petlja;} \\ 0, & \text{inače.} \end{cases} \quad (9)$$

Prvi slučaj se javlja kada je odredišni čvor ujedno i sledeći hop u Q-tabeli susednog čvora  $n$ . Takvoj putanji treba dati nagradu, s obzirom na to da ima samo dva

hopa do odredišta. Drugi slučaj se dešava kada je trenutni čvor  $c$  ujedno i sledeći hop u tabeli rutiranja susednog čvora  $n$  (što znači da će se stvoriti petlja). Takvu putanju treba kazniti, tj. njena Q-vrednost treba da se smanji. U ostalim slučajevima, nema ni nagrade ni kazne.

Poslednji član u jednačini (2),  $\max_{y \in \text{Nei}(n)} Q_n(d, y)$ , predstavlja maksimalnu Q-vrednost koju u svojoj Q-tabeli ima čvor  $n$  za putanju do odredišnog čvora  $d$ , preko nekog od svojih suseda  $y$  ( $\text{Nei}(n)$  predstavlja skup suseda čvora  $n$ ). Na ovaj način se u izbor optimalne putanje uključuje Q-vrednost drugog hopa od trenutnog čvora  $c$ , ka odredišnom čvoru  $d$ .

Druga metoda za ažuriranje Q-vrednosti dešava se po prijemu povratnih informacija sa MAC podsloja o gubitku paketa. Cilj je kazniti putanje na kojima dolazi do gubitaka, smanjujući time verovatnoću njihove selekcije pri slanju paketa ka odredištu. Ako čvor  $c$  primi informaciju sa MAC podsloja o gubitku paketa poslatih ka susedom čvoru  $n$ , ažurira Q-vrednosti za putanje do svih destinacija  $d_i$ , koje idu preko tog suseda prateći sledeću jednačinu:

$$Q_c(d_i, n) \leftarrow 0,6 \cdot Q_c(d_i, n). \quad (10)$$

Treća metoda za ažuriranje Q-vrednosti uključuje korišćenje paketa za ispitivanje putanje (*Route Probe Packets*, RPP) i potvrde o prijemu RPP paketa (*RPP Acknowledgment*, RPP-ACK). Iako čvor uvek šalje podatke preko suseda sa najvećom Q-vrednošću, moguće je da celokupna putanja do odredišta preko tog suseda nije optimalna. Stoga, čvor periodično šalje RPP pakete odredištu preko svih ostalih suseda čije Q-vrednosti nisu manje od 95% maksimalne Q-vrednosti. Oba tipa paketa sadrže sledeće informacije: vreme slanja RPP paketa, IP adrese odredišta, izvora i svih međučvorova na putanji od izvora do odredišta (svaki čvor koji primi RPP paket dodaje svoju IP adresu), kao i broj hopova (*Hop Count*, HC) na putanji od izvora do odredišta. Pored ovih zajedničkih polja, RPP-ACK sadrži i informaciju o relativnom propusnom opsegu putanje (*Route Relative Bandwidth*, RRB). Odredišni čvor po prijemu RPP paketa najpre očitava vrednosti svih polja i upisuje ih u RPP-ACK paket. Zatim dodaje RRB polje (inicijalizovano na 0) i šalje paket ka izvornom čvoru istom putanjom kojom je primio RPP. Po prijemu RPP-ACK paketa izvorni čvor računa faktor kvaliteta putanje (*Route Quality Factor*, RQF) na osnovu sledeće jednačine:

$$RQF = RTD \cdot HC \cdot RRB. \quad (11)$$

U ovoj jednačini RTD (*round trip delay*) predstavlja vreme proteklo od slanja RPP paketa do prijema RPP-ACK paketa. Vrednost HC je sadržana u RPP paketu i najpre se postavlja na 0, a onda se pri svakom prijemu ovog paketa (bilo od strane međučvorova ili odredišnog čvora) inkrementira za 1. Na kraju putanje, odredišni čvor očitava ovu vrednost i upisuje je u RPP-ACK paket. Vrednost RRB parametra je sadržana u RPP-ACK paketu, a ažuriraju je čvorovi na putanji od odredišnog do izvornog čvora. Svaki put kada neki međučvor primi RPP-ACK paket, ažurira RRB polje u paketu dodajući primljenoj vrednosti svoj relativni iskorišćeni propusni opseg (koji računa prema jednačini (8)). Nakon ovog ažuriranja, čvor prosleđuje RPP-ACK, a ovaj proces se nastavlja sve dok paket ne stigne do izvornog čvora.

RQF parametar se koristi za odabir putanja sa manjim kašnjenjem paketa, manjim brojem hopova i manje zauzetim propusnim opsegom. To znači da ovaj

parametar takođe treba da bude što niži. Nakon isteka vremenskog ograničenja za prijem RPP-ACK paketa, izvorni čvor određuje koji sused ima najniži RQF i nagrađuje putanju preko tog suseda prema sledećoj relaciji:

$$Q_c(d, n) \leftarrow 1,1 \cdot Q_c(d, n). \quad (12)$$

Putanje preko suseda kojima je poslat RPP, ali RPP-ACK nije primljen unutar definisanog perioda, kažnjavaju se prema relaciji:

$$Q_c(d, n) \leftarrow 0,6 \cdot Q_c(d, n). \quad (13)$$

Još jedan način za poboljšanje performansi VANET mreža je sprečavanje preopterećenja mreže u slučaju velike gustine čvorova. Zbog toga, Q-DRAV protokol osigurava da se *Hello* paketi šalju smanjenim intenzitetom u gustim mrežama. Prvi uslov za uzdržavanje od slanja *Hello* paketa susednom čvoru je da je *Hello* paket poslat tom susedu u prethodnom periodu slanja. Ovo sprečava uzastopno otkazivanje slanja *Hello* paketa i samim tim gubitak informacija o susedima. Drugi uslov je da je ukupan broj maksimalnih  $Q$ -vrednosti u paketu veći od definisanog praga (vrednost od 250 je usvojena u ovom protokolu, ali ju je moguće menjati u zavisnosti od veličine mreže). Smanjenje opterećenja mreže vrši se definisanjem verovatnoće slanja *Hello* paketa na sledeći način:

$$p = \begin{cases} (N_{th}/N_{av})^2, & N_{av} > N_{th}; \\ 1, & \text{inače.} \end{cases} \quad (14)$$

U ovoj relaciji  $N_{av}$  predstavlja prosečan broj suseda trenutnog čvora u prethodnom periodu (usvojen je period od 50 sekundi), a  $N_{th}$  je prag, tj. minimalni broj suseda za sprovođenje smanjenja opterećenja mreže (usvojen prag je 25 suseda). Oba parametra je moguće promeniti u zavisnosti od veličine i gustine mreže. *Hello* paket se šalje određenom susedu sa verovatnoćom  $p$  koja se smanjuje sa povećanjem gustine vozila, čime se smanjuje opterećenje mreže.

## 4. Simulaciona analiza

U ovom poglavlju je predstavljena simulaciona analiza primene novog Q-DRAV protokola rutiranja, koji je upoređen sa AODV, QLAODV i ARPRL protokolima. Za testiranje protokola izabran je NS-3 simulator, kao jedan od najpopularnijih simulatora za testiranje protokola za VANET mreže. U okviru ovog simulatora već je implementiran model AODV protokola. S druge strane, model novog Q-DRAV protokola, kao i modele QLAODV i ARPRL protokola, bilo je neophodno naknadno implementirati kako bi bilo moguće izvršiti njihovo testiranje i poređenje [9]. Implementacioni kôd novog Q-DRAV protokola u NS-3 simulatoru javno je dostupan [10].

### 4.1. Simulacioni parametri

Protokoli su testirani u dva različita scenarija, koji približno odgovaraju scenarijima u kojima su originalno testirani QLAODV i ARPRL protokoli u [6] i [7],

respektivno. Prvi scenario podrazumeva manju simulacionu oblast sa fiksnim brojem vozila, a cilj je uvideti kako se menjaju mrežne performanse pri variranju maksimalne dozvoljene brzine kretanja vozila. Dimenzije simulacionog područja su 1000 m x 1000 m, sa po 4 horizontalne i vertikalne ulice i po jednom kolovoznom trakom u svakom smeru. Unutar ovog područja kreće se 80 vozila od kojih 30 (nasumično izabranih) generiše *Constant Bit Rate* (CBR) saobraćaj brzine 32 kb/s. Ograničenje maksimalne dozvoljene brzine kretanja vozila varira od 1 m/s do 25 m/s.

Drugi scenario podrazumeva veću simulacionu oblast sa fiksnom maksimalnom dozvoljenom brzinom kretanja vozila, a cilj je uvideti kako se menjaju mrežne performanse pri variranju gustine vozila u mreži. Dimenzije simulacionog područja u ovom scenariju su 2000 m x 2000 m, sa po 5 horizontalnih i vertikalnih ulica. Svaka ulica ima po dve kolovozne trake za kretanje vozila u oba smera, a svaka raskrsnica ima semafor. Maksimalna dozvoljena brzina kretanja vozila je ograničena na 15 m/s. Ukupan broj vozila u mreži varira od 50 do 350 (sa korakom od 50 vozila), pri čemu uvek 20 nasumično izabranih vozila generiše CBR saobraćaj brzine 4 kb/s. Pregled najvažnijih parametara prvog i drugog simulacionog scenarija prikazani su u tabeli 1.

*Tabela 1. Parametri prvog i drugog simulacionog scenarija*

| <b>Parametar</b>                             | <b>Prvi scenario</b>                         | <b>Drugi scenario</b>            |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|
| Dimenzije prostora                           | 1000 m x 1000 m                              | 2000 m x 2000 m                  |
| Broj ulica                                   | po 4 horizontalne i vertikalne               | po 5 horizontalnih i vertikalnih |
| Ukupan broj vozila                           | 80                                           | 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 |
| Maksimalna dozvoljena brzina kretanja vozila | 1 m/s, 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s, 20 m/s, 25 m/s | 15 m/s                           |
| Aplikacioni protok po vozilu                 | 32 kb/s                                      | 4 kb/s                           |
| Broj vozila koja generišu saobraćaj          | 30                                           | 20                               |

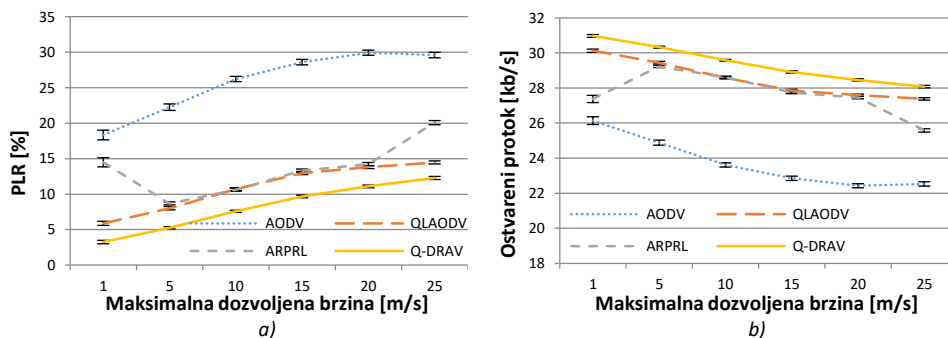
Ostali simulacioni parametri su identični za oba scenarija. Za kreiranje scenarija korišćen je *Manhattan Grid* model mobilnosti i SUMO simulacioni alat, iz kog je model kretanja vozila ekstraktovan i iskorišćen za simulacije u NS-3 simulatoru. Na MAC podsloju se koristi IEEE 802.11p standard za bežične mreže, sa širinom kanala od 10 MHz i protokom od 6 Mb/s. Za model propagacije odabran je *Two Ray Ground*, a na transportnom sloju je korišćen UDP protokol. Veličina paketa na aplikacionom sloju je 512 bajta. Trajanje jedne simulacije je ograničeno na 600 sekundi.

## 4.2. Rezultati simulacija

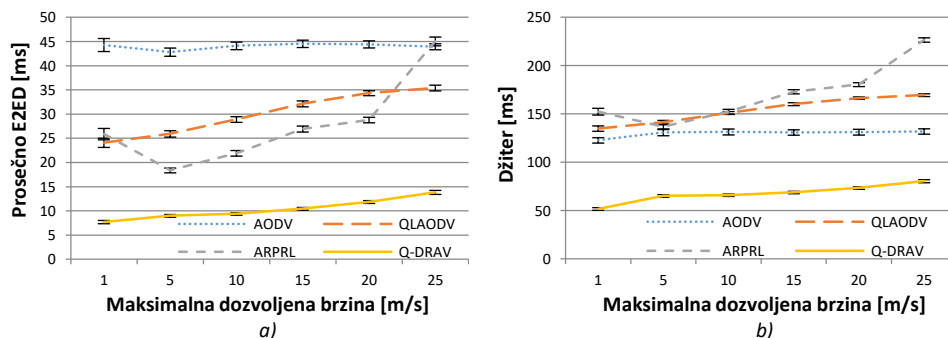
Poređenje protokola izvršeno je posmatrajući PLR, ostvareni aplikacioni protok, E2ED i džiter. Zbog verodostojnosti rezultata, za svaki parametar je izračunata prosečna vrednost na osnovu 100 rezultata simulacija, sprovedenih za različite vrednosti generatora slučajnih brojeva. Pored toga, određen je i 95% interval poverenja za svaku izračunatu vrednost, kako bi se potvrdila pouzdanost rezultata simulacija.

Slike 1a i 1b prikazuju zavisnost PLR i ostvarenog protoka na aplikacionom sloju od maksimalne dozvoljene brzine kretanja vozila u prvom scenariju. Može se zaključiti da QLAODV i ARPRL imaju značajno niže gubitke paketa i veći ostvareni

aplikacioni protok u poređenju sa AODV protokolom. Primetno je ipak da ARPRL pokazuje priličnu degradaciju ovih parametara pri krajnje malim i velikim maksimalnim dozvoljenim brzinama kretanja vozila. S druge strane, novi Q-DRAV protokol značajno nadmašuje QLAODV i ARPRL po ovim parametrima. Slike 2a i 2b prikazuju zavisnost prosečnog E2ED i džitera od maksimalne dozvoljene brzine kretanja vozila u prvom scenariju. Očigledno je da Q-DRAV pruža ubedljivo najbolje performanse po oba posmatrana parametra. Primetno je da i po ovim parametrima ARPRL pokazuje lošije rezultate pri krajnje malim i velikim maksimalnim dozvoljenim brzinama kretanja vozila.

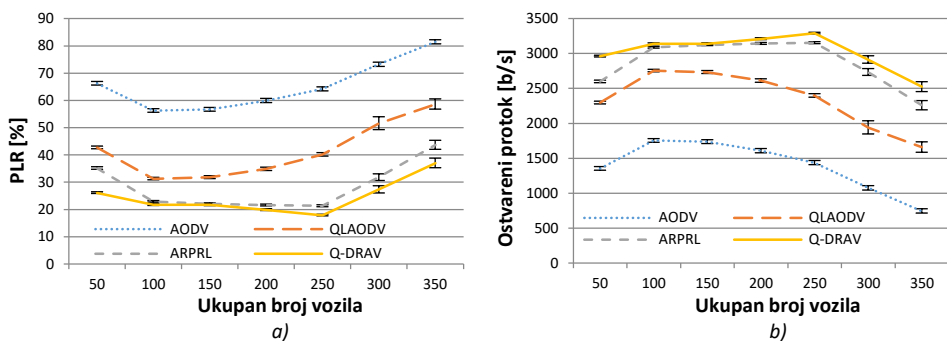


Slika 1. Zavisnost PLR (a) i ostvarenog protoka (b) od maksimalne dozvoljene brzine kretanja vozila

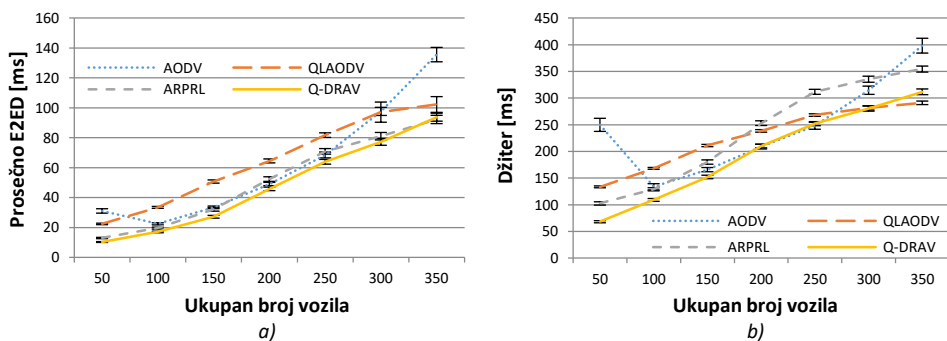


Slika 2. Zavisnost E2ED (a) i džitera (a) od maksimalne dozvoljene brzine kretanja vozila

Slike 3a i 3b prikazuju zavisnost PLR i ostvarenog protoka na aplikacionom sloju od ukupnog broja vozila u drugom scenariju. Primetno je da ARPRL daje značajno bolje rezultate od AODV i QLAODV protokola, ali ga ipak Q-DRAV uvek nadmašuje, posebno u veoma retkim i veoma gustim mrežama. Slike 4a i 4b prikazuju zavisnost prosečnog E2ED i džitera od ukupnog broja vozila u mreži u drugom scenariju. Prema ovim parametrima, Q-DRAV gotovo uvek pokazuje najbolje performanse, osim u slučaju veoma gustih mreža gde ARPRL daje gotovo identično kašnjenje, a QLAODV nešto manji džiter.



Slika 3. Zavisnost PLR (a) i ostvarenog protoka (b) od ukupnog broja vozila u mreži



Slika 4. Zavisnost E2ED (a) i džitera (b) od ukupnog broja vozila u mreži

## 5. Zaključak

Razvoj inteligentnih transportnih sistema predstavlja jedan od glavnih pravaca unapređenja savremenih saobraćajnih mreža. Bitan segment ovih sistema mogu biti VANET mreže, tako da je od velikog interesa dalje unaprediti njihove performanse. Ove performanse u velikoj meri zavise od protokola rutiranja koji se koristi za izbor optimalne putanje za razmenu podataka između čvorova u mreži, tako da postoji potreba za njihovim stalnim unapređenjem. U ovom radu je pokazano kako se unapređenjem procesa rutiranja pomoću RL mogu značajno unaprediti mrežne performanse VANET mreža, ukoliko se u RL proces uključe adekvatni uticajni faktori. Dobre mrežne performanse novog Q-DRAV protokola pokazuju da može biti adekvatna zamena ranijim protokolima rutiranja u urbanim saobraćajnim uslovima.

## Literatura

- [1] C. Perkins, E. Belding-Royer, and Ss Das, "Ad Hoc On demand Distance Vector (AODV) routing", RFC 3561, IETF, October 2003.
- [2] D. R. De Assis, E. C. G. Wille, and J. J. Alves, "New results on the IC\_AOMDV protocol for vehicular ad hoc networks in urban areas", Advances in Electrical & Computer Engineering, vol. 23, pp. 21-28, 2023. DOI: 10.4316/AECE.2023.03003

- [3] M. Malnar and N. Jevtic, "An improvement of AODV protocol for the overhead reduction in scalable dynamic wireless ad hoc networks", *Wireless Networks*, vol. 28, pp. 1039-1051, April 2022. DOI: 10.1007/s11276-022-02890-5
- [4] F. Mubarek, S. Aliesawi, K. Ali Alheeti, and N. Alfahad, "Urban-AODV: an improved AODV protocol for vehicular ad-hoc networks in urban environment", *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, pp. 3030-3036, 2018. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.15031
- [5] T. K. Saini and S. C. Sharma, "Recent advancements, review analysis, and extensions of the AODV with the illustration of the applied concept", *Ad Hoc Networks*, vol. 103, pp. 102-148, June 2020. DOI: 10.1016/j.adhoc.2020.102148
- [6] 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
- [7] 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
- [8] P. Bugarčić, N. Jevtić, M. Malnar, and M. Stojanović, "Enhanced QL-based dynamic routing protocol for urban VANETs", *Advances in Electrical & Computer Engineering*, vol. 24, pp. 27-36, November 2024. DOI: 10.4316/AECE.2024.04003
- [9] N. Jevtić and P. Bugarčić, "Comparison of traditional and reinforcement learning based routing protocols in VANET scenario", *Int. Journal for Traffic and Transport Engineering*, vol. 13, pp. 125-137, February 2023. DOI: 10.7708/ijtete2023.13(1).10
- [10] P. Bugarčić, "Code for Q-DRAV routing protocol", 2024, GitHub, [Online]. Available at: <https://github.com/pavlebugarcic/qdrav>

**Abstract:** *The selection of an optimal route for data transmission in wireless ad hoc networks is crucial for achieving satisfactory network performance. This process becomes highly complex when the network topology changes rapidly, as is the case with Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs). Under such conditions, the routing process can be significantly improved by incorporating machine learning into the optimal route selection, with the most suitable learning type for highly dynamic networks being reinforcement learning (RL). One of the most prominent RL methods for dynamic wireless ad hoc networks is Q-Learning (QL). In this paper, a new QL-based dynamic routing algorithm for urban VANETs (Q-DRAV) is proposed. By integrating relevant network parameters into the RL process, the proposed approach achieves a significant improvement in overall network performance for VANETs. Simulation analysis and comparison with other routing protocols were conducted in the NS-3 simulator.*

**Keywords:** *reinforcement learning, Q-learning, routing protocols, VANET, NS-3*

## **A NEW DYNAMIC ROUTING PROTOCOL FOR URBAN VANETs BASED ON REINFORCEMENT LEARNING**

Pavle Bugarčić, Marija Malnar



### Registar ORCID brojeva autora

| Prezime, Ime                      | ORCID broj          |
|-----------------------------------|---------------------|
| Abodi, Anita                      | 0009-0005-5584-1426 |
| Atanasković, Predrag              | 0000-0002-1715-8256 |
| Bakmaz, Bojan                     | 0000-0003-4628-1875 |
| Blagojević, Mladenka              | 0000-0002-0507-6157 |
| Bojović, Nebojša                  | 0000-0001-5600-3807 |
| Bondžulić, Boban                  | 0000-0002-8850-9842 |
| Bugarčić, Pavle                   | 0000-0001-5956-1169 |
| Čačić, Nataša                     | 0000-0001-5257-1639 |
| Čorić, Nino                       | 0000-0002-2992-945X |
| Čupić, Aleksandar                 | 0000-0002-9444-5080 |
| Cvitić, Ivan                      | 0000-0003-3728-6711 |
| Dabić-Miletić, Svetlana           | 0000-0002-9316-0817 |
| Dimitrijević, Branka              | 0000-0002-8102-7605 |
| Dobrodolac, Momčilo               | 0000-0001-8112-8329 |
| Đogatović, Marko                  | 0000-0003-4419-0021 |
| Dumnić, Slaviša                   | 0000-0002-6935-3969 |
| Dupljanin, Đorđije                | 0000-0002-2090-2138 |
| Đurić, Dragana                    | 0009-0005-7550-2288 |
| Grgurović, Biljana                | 0000-0001-5679-5437 |
| Janković, Slađana                 | 0000-0002-4852-4431 |
| Jevtić, Nenad                     | 0000-0002-0845-8724 |
| Jovanović, Bojan                  | 0000-0002-5503-7260 |
| Knežević, Nikola                  | 0000-0001-7282-9537 |
| Kosovac, Amel                     | 0000-0002-1192-4765 |
| Kostić-Ljubisavljević, Aleksandra | 0000-0002-7101-3023 |
| Kukić, Katarina                   | 0000-0001-7369-2456 |
| Lazarević, Dragan                 | 0000-0002-5549-4859 |
| Luković, Aleksandar               | 0009-0002-8036-5095 |
| Malnar, Marija                    | 0000-0003-1416-8253 |
| Manović, Momir                    | 0009-0006-2060-6968 |
| Maraš, Vladislav                  | 0000-0003-4266-4158 |
| Marković, Goran                   | 0000-0003-1271-9277 |
| Matijašević, Nikola               | 0000-0001-9157-2482 |
| Mijailović, Radomir               | 0000-0001-9461-713X |
| Mikavica, Branka                  | 0000-0003-3206-5098 |
| Milašinović, Miloš                | 0009-0007-5972-4010 |
| Milenković, Miloš                 | 0000-0001-6004-1451 |
| Milutinović, Jelena               | 0000-0001-9415-4825 |
| Mitrović, Slobodan                | 0000-0002-8571-0970 |
| Mladenović, Dušan                 | 0000-0003-4385-9555 |
| Mladenović, Snežana               | 0000-0002-3373-5391 |
| Muharemović, Ermin                | 0000-0002-4944-9891 |
| Ninović, Milena                   | 0000-0002-5873-2330 |
| Ožegović, Spasenija               | 0000-0002-6861-9702 |
| Pavlović, Boban                   | 0000-0002-5476-7894 |
| Pavlović, Marko                   | 0000-0003-1817-9734 |
| Peraković, Dragan                 | 0000-0002-0476-9373 |
| Pešić, Dalibor                    | 0000-0001-8357-1746 |

|                           |                     |
|---------------------------|---------------------|
| Petrović, Đorđe           | 0000-0002-7757-8009 |
| Petrović, Marijana        | 0000-0001-9173-9238 |
| Petrović, Nenad           | 0000-0003-2264-7369 |
| Pjevčević, Danijela       | 0000-0003-1037-4367 |
| Popović, Đorđe            | 0009-0002-7656-6257 |
| Radojičić, Valentina      | 0000-0001-9811-5663 |
| Radonjić Đogatović, Vesna | 0000-0002-2735-092X |
| Radonjić, Aleksandar      | 0000-0003-4242-3127 |
| Radosavljević, Dragana    | 0000-0003-1222-3220 |
| Radosavljević, Slavica    | 0000-0002-7285-0210 |
| Samčović, Andreja         | 0000-0001-6432-2816 |
| Šarac, Dragana            | 0000-0001-7054-6090 |
| Simić, Miodrag            | 0009-0009-2377-3915 |
| Simić, Vladimir           | 0000-0001-5709-3744 |
| Stefanović, Ivana         | 0000-0002-8025-8970 |
| Stojanović, Mirjana       | 0000-0003-1073-5804 |
| Stojanović, Nenad         | 0000-0001-9328-5348 |
| Stojanović-Višić, Biljana | 0000-0003-2216-6450 |
| Stokić, Marko             | 0000-0003-1736-1729 |
| Suljović, Suad            | 0000-0003-1822-3782 |
| Tica, Slaven              | 0000-0002-1989-859X |
| Tomašević, Vladimir       | 0000-0001-9845-2950 |
| Trifunović, Aleksandar    | 0000-0002-4839-8105 |
| Uzelac, Ana               | 0000-0002-7203-9567 |
| Zdravković, Nemanja       | 0000-0002-2631-6308 |
| Zdravković, Stefan        | 0000-0003-4046-2843 |

*Recenzenti radova:*

Marković Goran, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Bakmaz Bojan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Blagojević Mladenka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Bojović Nebojša, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Dimitrijević Branka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Dobrodolac Momčilo, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Đogatović Marko, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Jevtić Nenad, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Knežević Nikola, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Kostić-Ljubisavljević Aleksandra, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Malnar Marija, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Marković Dejan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Mikavica Branka, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Radojičić Valentina, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Radonjić Đogatović Vesna, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Samčović Andreja, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Simić Vladimir, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Stanivuković Bojan, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet  
Stojanović Mirjana, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

*Imajući u vidu redosled pojavljivanja u Zborniku, recenzenti su klasifikovali radove na sledeći način:*

Originalni naučni rad: 3, 7, 11, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 32;

Pregledni rad: 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 24, 28, 29, 30, 31.



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)  
004.8(082)

**СИМПОЗИЈУМ о новим технологијама у поштанском и телекомуникационом саобраћају (43 ; 2025 ; Београд)**

Zbornik radova / Četrdeset treći Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju PosTel 2025, Beograd, 16. i 17. decembar 2025. godine ; [organizator] Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Odsek za poštanski i telekomunikacioni saobraćaj ; editori Goran Marković ... [et al.]. - Beograd : Univerzitet, Saobraćajni fakultet, 2025 (Zemun : Pekograf). - X, 316 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 300. - Str. V-VI: Predgovor / editori. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts. - Registar.

ISBN 978-86-7395-505-6

1. Марковић, Горан З., 1971- [urednik] [autor dodatnog teksta]

a) ПТТ саобраћај -- Зборници b) ПТТ служба -- Организација -- Србија -- Зборници  
v) Мултимедијалне комуникације -- Зборници g) Електронско пословање --  
Зборници d) Телекомуникационе мреже -- Зборници đ) Вештачка интелигенција --  
Примена -- Зборници

COBISS.SR-ID 181465097



Република Србија

Министарство науке,  
технолошког развоја и  
иновација



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ



Република Србија

Министарство  
информисања и  
телекомуникација



РЕПУБЛИКА СРБИЈА  
**РАТЕЛ**  
РЕГУЛАТОРНО ТЕЛО ЗА  
ЕЛЕКТРОНСКЕ КОМУНИКАЦИЈЕ  
И ПОШТАНСКЕ УСЛУГЕ

