

NAUČNO-STRUČNI ČASOPIS ŽELEZNICA SRBIJE • UDK 656.2 (05) • ISSN 0350-5138

ŽELEZNICE

VOL. 66 • BROJ 2 • STRANA 49-116 • BEOGRAD • DECEMBAR 2021. GODINE



IZDAJE:



Društvo diplomiranih inženjera železničkog saobraćaja Srbije
(DIŽS), Beograd, Nemanjina 6

NAUČNO-STRUČNI ČASOPIS ŽELEZNICA SRBIJE • UDK 656.2 (05) • ISSN 0350-5138

ŽELEZNICE

VOL. 66 • BROJ 2 • STRANA 49–116 • BEOGRAD • DECEMBAR 2021. GODINE

REDAKCIJA

Glavni urednik

Prof. dr Slavko Vesković, dipl. inž.

Odgovorni urednik

Danko Trninić, dipl. inž.

Tehnički urednik

Nemanja Minović, dipl. inž.

Lektor

Ksenija Petrović, dipl. filol.

PERIODIČNOST

Šestomesečno

TIRAŽ

300 primeraka

ŠTAMPA

JP Službeni glasnik
Beograd, Lazarevački drum 13–15

ODGOVORNO LICE IZDAVAČA

Danko Trninić, dipl. inž.
predsednik

KONTAKT

tel. +381 11 3613 219
E-mail: casopis-zeleznice@dizs.org.rs
www.dizs.org.rs
www.casopis-zeleznice.rs

PREGLEDNI RADOVI

Aleksa Bojanić, Slavko Vesković

**Simulaciona analiza organizacije saobraćaja vozova
na deonici pruge Lapovo – Jagodina 53 - 65**

Milica Laketić, Sanjin Milinković

Mikrosimulacioni modeli u željezničkom saobraćaju ... 66 - 76

Filip Pešić, Dušan Stamenković

Savremeno održavanje skretnica železničkih pruga . . . 77 - 88

Stefan Sredojević, Branislav Bošković

**Sličnosti i razlike upravljanja rizikom
i otpornošću u železničkom sistemu 89 - 98**

Anica Stojićević, Sanjin Milinković

**Mere za ublažavanje uticaja železničkog
transporta na životnu sredinu 99 - 113**

PRIKAZI KNJIGA

„Upravljanje projektima“114 - 116

REDAKCIONI ODBOR

Miroslav Stojčić, dipl. inž. (predsednik)
Anita Dimoski, dipl. inž.
Danko Trninić, dipl. inž.
Dušan Garibović, dipl. ekon.
Jugoslav Jović, dipl. inž.
Lazar Mosurović, dipl. inž.
mr Ljubomir Bečejac, dipl. inž.
Milutin Ignjatović, dipl. inž.
Milutin Milošević, dipl. inž.
Momčilo Tunić, dipl. inž.
Nebojša Šurlan, dipl. inž.
Nikola Tomić, dipl. soc.
Prim. dr Vlado Batnožić, spec. hir.

UREĐIVAČKI ODBOR

Prof. dr Slavko Vesković, dipl. inž. saobr. (predsednik)
dr Aleksandar Radosavljević, dipl. inž. maš.
Prof. dr Bojan Ilić, dipl. ekon.
Prof. dr Borna Abramović, dipl. inž. saobr.
Prof. dr Božidar Radenković, dipl. inž. org.
Prof. dr Branislav Bošković, dipl. inž. saobr.
Akademik Branislav Mitrović, dipl. inž. arh.
Prof. dr Danijela Barić, dipl. inž. saobr.
Prof. dr Dragomir Mandić, dipl. inž. saobr.
Prof. dr Dragutin Kostić, dipl. inž. elek.
Prof. dr Dušan Stamenković, dipl. inž. maš.
dr Ešref Gačanin, dipl. inž. maš.
Prof. dr Goran Marković, dipl. inž. saobr.
Prof. dr Goran Simić, dipl. inž. maš.
Prof. dr Gordan Stojić, dipl. inž. saobr.
dr Gordana Đurić, spec. neur.
Prof. dr Ilija Tanackov, dipl. inž. saobr.
dr Kire Dimanoski, dipl. inž. saobr.
Prof. dr Marko Vasiljević, dipl. inž. saobr.
Prof. dr Milan Marković, dipl. inž. saobr.
Doc. dr Milena Ilić, dipl. ekon.
Prof. dr Milorad Kilibarda, dipl. inž. saobr.
Prof. dr Miloš Ivić, dipl. inž. saobr.
Prof. dr Nebojša Bojović, dipl. inž. saobr.
dr Peter Verlič, dipl. inž. građ.
dr Rešad Nuhodžić, dipl. inž. saobr.
Prof. dr Snežana Mladenović, dipl. mat.
Doc. dr Stanislav Jovanović, dipl. inž. građ.
dr Vesna Pavelkić, dipl. fiz. hem, prof. str. st.
Prof. dr Vojkan Lučanin, dipl. inž. maš.
Prof. dr Zdenka Popović, dipl. inž. građ.
Prof. dr Zoran Avramović, dipl. inž. elek.
dr Zoran Bundalo, dipl. inž. saob, prof. str. st.
dr Zoran Milićević, dipl. inž. elek.
dr Zorica Milanović, dipl. inž. saob, prof. str. st.
dr Života Đorđević, dipl. inž. maš.

UPUTSTVO ZA PRIPREMU RADOVA ZA ČASOPIS „ŽELEZNICE“

1. OPŠTE ODREDBE

Autori su obavezni da radove pripreme i dostave Redakciji časopisa prihvatajući i poštujući ovo uputstvo i odgovorni su za originalnost i kvalitet radova, kao i verodostojnost rezultata.

Svi radovi podležu recenziji. Autorima se neće saopštavati imena i prezimena recenzenata.

Radove, sa svim priložima, dostaviti Redakciji časopisa na sledeći način:

- odštampanu verziju A4 formata predati na adresu „Društvo diplomiranih inženjera železničkog saobraćaja Srbije, Beograd, Nemanjina 6“,
- elektronsku verziju, identičnu odštampanoj, poslati na e-mail „casopis-zeleznice@dizs.org.rs“ ili je predati na navedenu adresu snimljenu na digitalnom mediju.

Slike i fotografije u radovima napraviti u JPG, TIFF ili PNG formatu minimalne rezolucije 300 dpi. Pored toga, dostaviti ih i posebno u originalnom formatu.

Autori su obavezni i da za svaki rad posebno Redakciji časopisa dostave u odštampanom obliku potpisanu „Izjavu o autorstvu i originalnosti rada“.

2. TEHNIČKA PRIPREMA

Radovi mogu biti na minimalno 10 strana A4 formata uključujući i sve priloge, a preporuka je da nisu duži od 15 strana. Pripremiti ih u programu „Microsoft Word“. Gornja i donja margina treba da su po 3,5 cm, a leva i desna po 2 cm. Koristiti mod „Justify“ i font „Cambria“ sa proredom „Single“ i vrednostima „0“ u opcijama „Before“ i „After“. Između naslova svih poglavlja i pasusa međusobno ostaviti po jedan prazan red. Početak pasusa je uz levu marginu. U brojevima sa preko 3 cele cifre, hiljade odvajati tačkom. Decimale odvajati zarezom.

Puna imena i prezimena autora i koautora rada pisati velikim „bold“ slovima veličine 14 uz desnu marginu.

Naslov rada može biti najviše u dva reda. Pisati ga velikim „bold“ slovima veličine 18 na sredini strane. Naslov se mora dati i na engleskom jeziku.

Rezime rada, obima do 150 reči, pisati malim slovima veličine 11, a potom u novom redu navesti do **7 ključnih reči**. Oba dela moraju se dati i na engleskom jeziku.

U **fusnoti** naslovne strane rada, malim slovima veličine 9, za svakog autora i koautora navesti akademsku titulu, ime, prezime i zvanje, naziv i adresu institucije u kojoj je zaposlen (za penzionere i nezaposlena lica adresu stanovanja) i e-mail adresu.

Poglavlja pisati u dve kolone (stupca) razmaka 5 mm. Naslove pisati slovima veličine 12: velikim „bold“ ako su sa jednim, malim „bold“ ako su sa dva i malim „bold italic“ ako su sa tri arapska broja. Tekstove poglavlja pisati malim slovima veličine 11. U svakom pasusu dozvoljeno je po jedno nabranje i podnabranje formatizovano u alineje, koje se spajaju sa pasusima u kojima se one najavljuju.

Jednačine po pravilu pisati u jednoj, a one duže mogu da budu i preko obe kolone. Numerisati ih uz desnu marginu u zagradama tipa „()“ i na te brojeve se pozivati u tekstu. Simboli koji se koriste u jednačinama treba da se objasne pre ili neposredno posle njih. Promenljive se pišu „italic“ slovima.

Tabele, grafikone, crteže i fotografije staviti odmah posle pasusa u kojima se opisuju. Mogu da budu u jednoj ili preko obe kolone. Numerisati ih redom kako se pojavljuju. Njihove nazive pisati „italic“ slovima uz levu marginu iznad tabela, a na sredini ispod grafikona, crteža i fotografija. Ispod svih njih, „italic“ slovima u zagradi tipa „()“, navesti izvor podataka. Sadržaj unutar tabela pisati „normal“ slovima i koristiti zagrade tipa „[]“.

Upotrebljavati **osnovne jedinice SI (MKS)** mernog sistema. Ako se moraju koristiti neke druge, naznačiti ih. Jedinice se navode u zagradama tipa „[]“.

Skraćenice i akronime označiti kada se prvi put upotrebe u tekstu, čak i ako su već nalaze u rezimeu. Opšte poznate skraćenice ne treba da se obrazlažu.

U **zaključku** ne ponavljati deo opisan u rezimeu.

Ako je predviđena „**ZAHVALNICA**“ za pomoć u radu, napisati je kao posebno poglavlje pre literature.

Pojedinačnu literaturu u tekstu navoditi po redosledu citiranja u zagradama tipa „[]“. U poslednjem poglavlju rada „**LITERATURA**“ dati kompletan spisak iste. Svaka pojedinačno navedena literatura treba da bude sa kompletnim opisom.

3. PRIMER FORMATIZOVANJA RADA

JOVAN JOVANOVIĆ*, PETAR PETROVIĆ**

NASLOV RADA NASLOV RADA NA ENGLISKOM JEZIKU

Rezime: tekst obima do 150 reči

Ključne reči: vreme, transformacija, koncentracija

Summary: prevod rezimea na engleski jezik

Key words: time, transformation, concentration

1. POGLAVLJE

1.1. Potpoglavlje

1.1.1. Potpoglavlje

Primer za formulu:

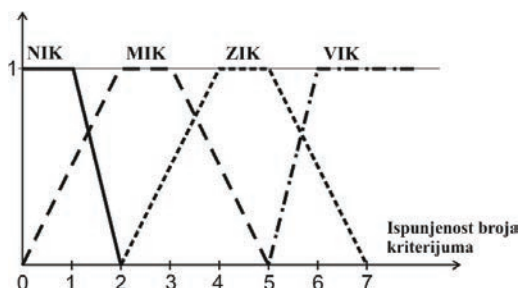
$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

Primer za tabelu:

Tabela 1. Naziv

Period dana	Srednji inter. sl. (min)	Iskoriš. kapac. (%)	Broj vozova		
			putnički	teretni	Σ
05-23	12,5	84	28	8	36
23-05	10,7	62	4	10	14
Ukupno			32	18	50

Primer za grafikon, crtež i fotografiju:



Slika 1. Naziv

Primer navođenja literature za rad objavljen u časopisu [1], knjigu [2], poglavlje u monografiji (knjizi) sa više autora [3], rad objavljen u zborniku radova sa konferencije [4] i članak preuzet sa veb sajta [5]:

LITERATURA

- [1] Rongrong L, Yee L: *Multi-objective route planning for dangerous goods using compromise programming*, Journal of Geographical Systems, Vol. 13. No. 3, pp. 249-271, 2011.
- [2] Law A: *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill Inc, New York, 2007.
- [3] Stojić G, Tanackov I, Vesković S, Milinković S: *Modeling Evaluation of Railway Reform Level Using Fuzzy Logic*, Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Data Engineering And Automated Learning, Ideal '09, Burgos, Spain, Springer-Verlag Berlin, Germany, 5788: pp. 695-702, 2009.
- [4] Mladenović S, Čangalović M, Bečejski-Vujaklija D, Marković M: *Constraint programming approach to train scheduling on railway network supported by heuristics*, 10th World Conference on Transport Research, CD of Selected and Revised Papers, Paper number 807, Abstract book I, pp. 642-643, Istanbul, Turkey, 2004.
- [5] Tod L, Tom R: *Evaluating Public Transit Accessibility "Inclusive Design" Performance Indicators For Public Transportation In Developing*, <http://www.vtppi.org/tranacc.pdf>, 2005.

* Prof. dr Jovan Jovanović, dipl. inž. saobr, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, j.jovanovic@sf.bg.ac.rs

** Mr Petar Petrovic, dipl. ekon, Infrastruktura železnice Srbije, Beograd, Nemanjina 6, petar.petrovic@srbrail.rs

ALEKSA BOJANIĆ*, SLAVKO VESKOVIĆ**

SIMULACIONA ANALIZA ORGANIZACIJE SAOBRAĆAJA VOZOVA NA DEONICI PRUGE LAPOVO - JAGODINA

SIMULATION ANALYSIS OF TRAIN TRAFFIC ORGANIZATION ON THE LAPOVO - JAGODINA RAILWAY SECTION

UDK: 656.2+656.33.01:517.876.5

REZIME:

Simulacionim softverom „Treno“ urađena je analiza kretanja vozova na deonici pruge od stanice Lapovo do stanice Jagodina. U radu je izvršena simulacija za dve varijante pruge i to za postojeće stanje pruge i za planirano stanje pruge. Za potrebe dobijanja rezultata simulacije, napravljeni su modeli sa svim infrastrukturnim objektima i važećim redom vožnje za 2020/21. godinu. Konačni rezultati simulacije predstavljeni su preko dijagrama, tabela i grafikona.

Ključne reči: železnice, simulacioni softver, simulacioni model, saobraćaj vozova, pruga

SUMMARY:

Simulation software “Treno” analyzed the running of trains on the section of railway line from the station Lapovo to the station Jagodina. The work was constructed in such a way that the simulation was done for two infrastructure variants, ie for the existing state of the railway line and the planned condition. For the purpose of obtaining the results of the simulation, models with complete infrastructure and the existing train timetable were developed for 2020/21 year. The final simulation results are presented as diagrams through diagrams, charts and tables.

Key words: railways, simulation software, simulation model, train traffic, railway section

* Aleksa Bojanić, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, aleksasfbojanic@gmail.com

** Prof. dr Slavko Veskočić, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, veskos@sf.bg.ac.rs

1. UVOD

Operacije na železnici predstavljaju rezultat kompleksne interakcije između železničke infrastrukture, signalno - sigurnosnih uređaja, voznih sredstava i reda vožnje. Interakcija je samim tim složenija kada u obzir uzmemo prisustvo ljudskog faktora, kao i niza nepredviđenih aspekata i smetnji koje železnički saobraćaj nosi sa sobom. Ovakva kompleksnost sistema u kombinaciji sa visokim troškovima infrastrukture i niskom stopom fleksibilnosti zahteva od organizatora da red vožnje isplanira veoma pažljivo.

Planiranje reda vožnje zahteva poznavanje i razumevanje operacija na železnici, kako bi se kroz analizu, identifikovale moguće smetnje i kritične tačke. Nakon čega je moguće primeniti simulaciju, koja nam daje odgovor na pitanje koliki je kapacitet posmatrane deonice i kolika je njena efikasnost. Takođe simulacija se može koristiti za analizu postojećeg stanja i simulacije više scenarija.

Cilj ovog rada jeste prikaz simulacionih modela i njihova uporedna analiza kroz softverski paket "Treno", na deonici pruge Lapovo - Jagodina.

2. ANALIZA INFRASTRUKTURE I OBIMA SAOBRAĆAJA NA DEONICI LAPOVO - JAGODINA

2.1. Položaj deonice pruge Lapovo - Bagrdan - Jagodina

Pruga Beograd - Mladenovac - Niš - Preševo - Državna granica predstavlja deo panevropskog saobraćajnog Koridora X (Salzburg - Ljubljana - Zagreb - Beograd - Niš - Skoplje - Veles - Thessaloniki). U skladu sa Evropskim sporazumom o najvažnijim međunarodnim železničkim prugama (AGC) pripada međunarodnoj mreži "E" pruga sa oznakom E-70/85. Takođe, prema sporazumu "Proces saradnje jugoistočne Evrope" (SEECP - South East European Cooperation Process), predstavlja deo železničke mreže pruga visokih performansi u jugoistočnoj Evropi (Slika 1).

2.1.1. Postojeće stanje deonice

Prema Uredbi o kategorizaciji železničkih pruga ("Službeni glasnik Republike Srbije", br. 50/2019) i Uredbi o kategorizaciji železničkih pruga koje pripadaju javnoj železničkoj infrastrukturi ("Sl. glasnik RS", br. 92/2020 i 6/2021) ova deonica pripada magistralnoj glavnoj (M-G) pruzi E-70/85 i ima kategoriju D4, dozvoljenu osovinsku masu od 22,5 t/os i dozvoljenu masu po dužnom metru od 8,0 t/m'.

Deonica je dvokolosečna, elektrificirana sistemom 25 kV, 50 Hz.

Sve stanice na deonici osigurane su elektro relejnim signalno - sigurnosnim uređajima sistema tipa "SIEMENS-EI". Skretnice su pouzdano pritvrđene, osigurane i uključene u relejne uređaje. Postavljaju se centralno i u zavisnosti su sa glavnim signalima. Položaj i slobodnost skretnica se kontrolišu na komandnom pultu. Deonica je opremljena telekomandom sa automatskim pružnim blokom (APB).

Pregled službenih mesta na deonici prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Pregled službenih mesta na deonici Lapovo - Bagrdan

Red. br.	Službeno mesto	Stacionaža	Vrsta službenog mesta
1.	Lapovo	109+597	stanica
2.	Brzan	114+200	stajalište
3.	Miloševo	117+000	stajalište
4.	Bagrdan	120+300	stanica
5.	Lanište	127+000	stajalište
6.	Bukovče	131+300	stajalište
7.	Jagodina	135+300	stanica

2.1.2. Opis službenih mesta

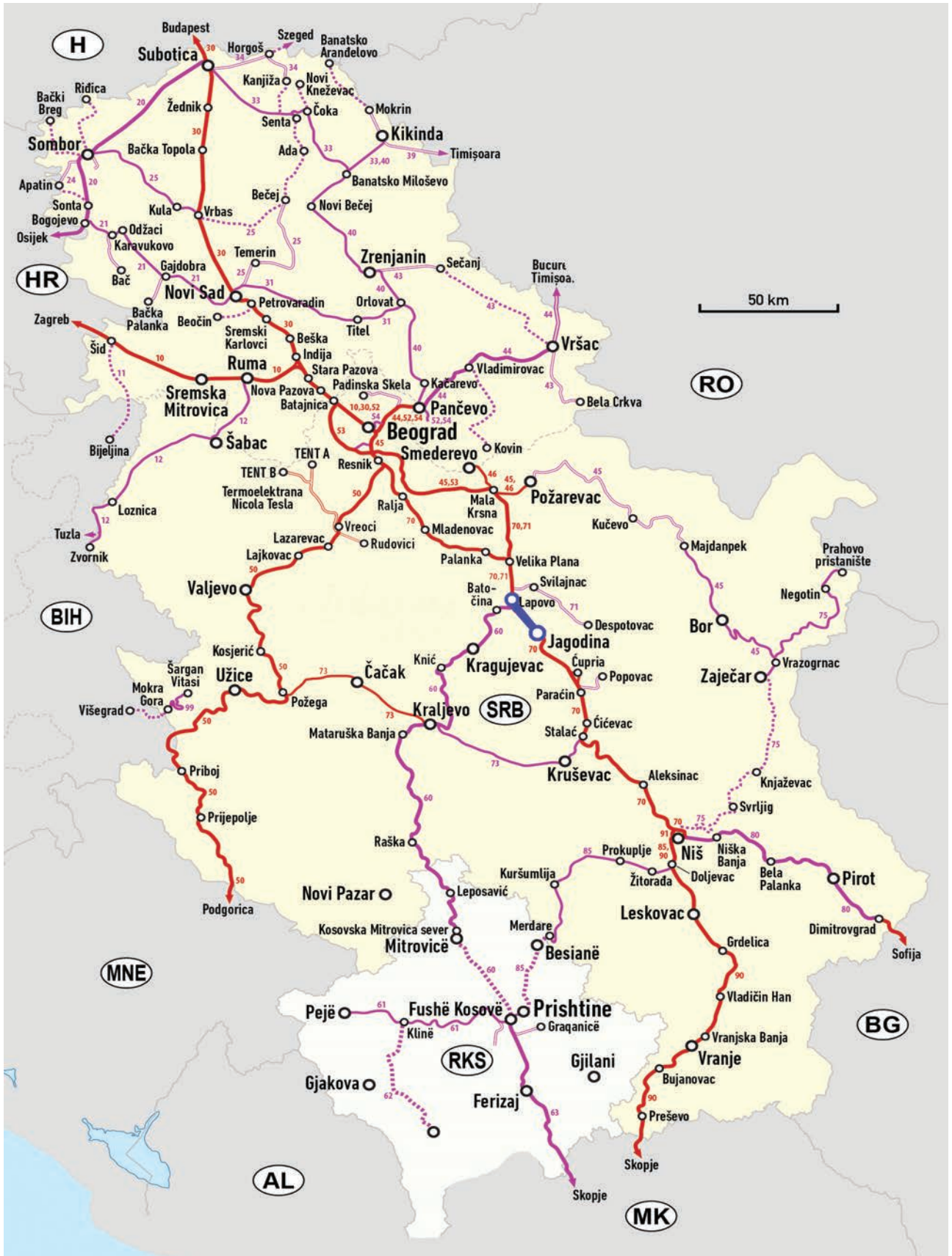
Na predmetnoj deonici Lapovo - Bagrdan - Jagodina nalaze se 3 stanice i 4 stajališta.

Stanica Lapovo u pogledu uloge i vršenja saobraćajne službe:

- međustanica na pruzi Beograd - Niš koja reguliše saobraćaj suprotnih i uzastopnih vozova (ukršćavanja, preticanja i sleđenja) i sastajanja vozova,
- rasporedna stanica za vozove sa prevozom putnika na relacijama: Lapovo - Beograd, Lapovo - Niš, Lapovo - Kraljevo i Lapovo - Smederevo (Požarevac),
- odvojna stanica koja reguliše prelaz vozova sa pruge Beograd - Niš na odvojnu prugu Lapovo - Kraljevo i TK stanica na delu pruge Lapovo - Niš.

U pogledu vršenja transportnih i komercijalnih poslova, stanica Lapovo je otvorena za prijem i otpremu putnika, prtljaga i kolske robe, a u transportnom pogledu pod nadzorom stanice Lapovo su stajališta Brzan i Mileševo.

Stanica poseduje 8 prijemno-otpremnih koloseka, jedan prolazni, tri za gariranje kola, jedan manipulativni i dva lokomotivska koloseka, kao i jedan izvlačnjak.



Slika 1. Položaj deonice Lapovo - Bagrdan - Jagodina na mreži železničkih pruga Srbije

Stajalište Brzan je otvoreno za prijem i otpremu putnika i prtljaga. Od postrojenja poseduje dva perona sa spoljnih strana oba koloseka, svaki visine 0,35m, širine 1,6m i dužine 50m.

Stajalište Miloševo je otvoreno za prijem i otpremu putnika i prtljaga. Od postrojenja poseduje dva perona sa spoljnih strana oba koloseka, svaki visine 0,35m, širine 1,6m i dužine 50m.

Stanica Bagrdan, u pogledu uloge i vršenja saobraćajne službe, međustanica je na pruzi Beograd - Niš koja reguliše saobraćaj uzastopnih vozova (preticanja i sleđenja) i sastajanja vozova, i TK stanica na delu pruge Lapovo - Niš. U pogledu vršenja transportnih i komercijalnih poslova, stanica je otvorena za prijem i otpremu putnika, prtljaga i kolske robe, a u transportnom pogledu, pod nadzorom stanice Bagrdan je stajalište Lanište. Stanica poseduje četiri prijemno-otpremna i dva manipulativna koloseka, kao i dva izvlačnjaka.

Stajalište Lanište je otvoreno za prijem i otpremu putnika i prtljaga. Od postrojenja poseduje dva perona sa spoljnih strana oba koloseka, svaki visine 0,35m, širine 1,6m i dužine 50m.

Stajalište Bukovče je otvoreno za prijem i otpremu putnika i prtljaga. Od postrojenja poseduje dva perona sa spoljnih strana oba koloseka, svaki visine 0,35m, širine 1,6m i dužine 50m.

Stanica Jagodina u pogledu uloge i vršenja saobraćajne službe je međustanica na pruzi Beograd - Niš koja reguliše saobraćaj uzastopnih vozova (preticanja i sleđenja) i sastajanja vozova i TK stanica na delu pruge Lapovo - Niš. U pogledu vršenja transportnih i komercijalnih poslova, stanica Jagodina je otvorena za prijem i otpremu putnika, prtljaga i kolske robe, a u transportnom pogledu, pod nadzorom stanice Jagodina je stajalište Bukovče. Stanica poseduje dva glavna prolazna, četiri prijemno-otpremna i dva manipulativna koloseka.

2.2. Eksploatacione karakteristike

2.2.1. Pregled brzina

Pregled najvećih dopuštenih brzina i međusobna udaljenost službenih mesta na deonici Lapovo - Bagrdan po redu vožnje 2020/21. prikazan je u tabeli 2.

Tabela 2. Pregled najvećih dopuštenih brzina i međusobna udaljenost službenih mesta na deonici Lapovo - Bagrdan po redu vožnje 2020/21³

Najveća dopuštena brzina (km/h)		Službeno mesto	Udaljenost (km)	Ukupno rastojanje (km)
levi kolosek	desni kolosek			
50	70	Lapovo		10,9
		Brzan	4,8	
		Miloševo	2,8	
		Bagrdan	3,3	
100	50	Lanište	6,7	15
		Bukovče	4,3	
		Jagodina	4,0	

2.2.2. Organizacija saobraćaja i vremena vožnje

Putnički saobraćaj

Preko predmetne deonice odvija se međunarodni i unutrašnji putnički saobraćaj. Po redu vožnje 2020/2021, međunarodni i unutrašnji regionalni vozovi za prevoz putnika zaustavljaju se zbog potreba putnika u stanici Lapovo i Jagodina, a ostali, lokalni (prigradski) vozovi, u svim službenim mestima.

Maksimalna brzina vozova za prevoz putnika na deonici Lapovo - Bagrdan je 50 km/h, dok je maksimalna brzina za smer Bagrdan - Lapovo 70 km/h.

Maksimalna brzina vozova za prevoz putnika na deonici Bagrdan - Jagodina je 50 km/h, dok je maksimalna brzina vozova za smer Jagodina - Bagrdan 100 km/h.

Vreme vožnje na deonici Lapovo - Bagrdan iznosi:

- međunarodni i unutrašnji regionalni vozovi - 18 min,
- lokalni (prigradski) vozovi - 21 min.

Vreme vožnje na deonici Bagrdan - Lapovo iznosi:

- međunarodni i unutrašnji regionalni vozovi - 12 min,
- lokalni (prigradski) vozovi - 16 min.

Vreme vožnje na deonici Bagrdan - Jagodina iznosi:

- međunarodni i unutrašnji regionalni vozovi - 22 min,
- lokalni (prigradski) vozovi - 22 min.

Vreme vožnje na deonici Jagodina - Bagrdan iznosi:

³ Sve tri stanice imaju ograničenu brzinu na njihovim područjima, i to za pravac gde je brzina ograničena na 30 km/h, dok je u skretanje brzina ograničena na 20 km/h.

- međunarodni i unutrašnji regionalni vozovi - 20 min,
- lokalni (prigradski) vozovi - 16 min.

Teretni saobraćaj

Preko predmetne deonice odvija se međunarodni i unutrašnji teretni saobraćaj. Po redu vožnje 2020/2021, međunarodni teretni vozovi tranzitiraju deonicu Lapovo - Bagrdan (njihovo zaustavljanje je samo iz saobraćajnih razloga), a u unutrašnjem saobraćaju staju samo sabirni vozovi koji ostavljaju i uzimaju bruto u nekoj od stanica.

Maksimalna brzina teretnih vozova na deonici Lapovo - Bagrdan je 50 km/h.

Vreme vožnje teretnih vozova

Međustanično rastojanje Lapovo - Bagrdan:

- smer Lapovo - Bagrdan 18 min,
- smer Bagrdan - Lapovo 12 min.

Međustanično rastojanje Bagrdan - Jagodina:

- smer Bagrdan - Jagodina 21 min,
- smer Jagodina - Bagrdan 16 min.

2.3. Obim saobraćaja

2.3.1. Putnički saobraćaj

Po redu vožnje 2020/2021, na deonici Lapovo - Jagodina planirano je ukupno 16 trasa vozova za prevoz putnika, čija je struktura prikazana u tabeli 3.

Tabela 3. Planirani broj putničkih vozova na deonici Lapovo - Bagrdan po redu vožnje 2020/2021.

Kategorija voza	Smer saobraćaja	
	Lapovo - Jagodina	Jagodina - Lapovo
Međunarodni agencijski	1	1
Unutrašnji regionalni	2	2
Lokalni (prigradski)	5	5
Ukupno	8	8
	16	

2.3.2. Teretni saobraćaj

Po redu vožnje 2020/2021, na deonici Lapovo - Bagrdan planirana je ukupno 71 trasa teretnih vozova, čija je struktura prikazana u tabeli 4.

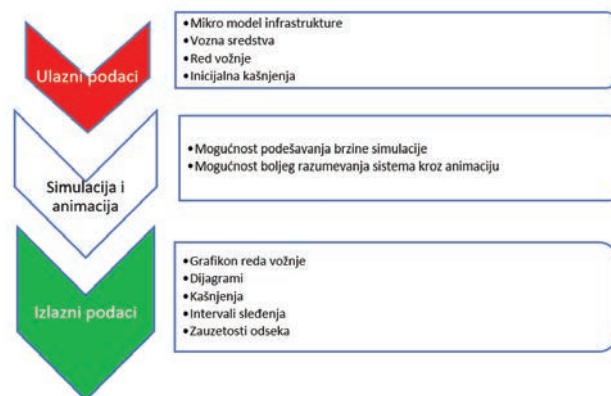
Tabela 4. Planirani broj teretnih vozova na deonici Lapovo - Bagrdan po redu vožnje 2020/21

Kategorija voza	Smer saobraćaja	
	Lapovo - Jagodina	Jagodina - Lapovo
Međunarodni redovni	7	9
Međunarodni fakultativni	12	6
Unutrašnji redovni	5	4
Unutrašnji fakultativni	12	16
Ukupno	36	35

3. SOFTVERSKI PAKET TRENO

„Treno“ je softverski paket koji je razvio italijanski institut „Trenolab“. Cilj ovog softvera jeste da odgovori na pitanje o železničkim operacijama putem modeliranja i simulacije. Danas ovaj softver koriste nacionalne železnice, kompanije, instituti i fakulteti širom sveta. Može dati rešenje za sledeće zadatke (slika 2):

- izrada i analiza reda vožnje vozova,
- analiza kapaciteta linija i stanica,
- analiza smetnji koje se mogu javiti u sistemu (smetnje na železničkoj infrastrukturi, otkazi vozova, kašnjenja i sl.),
- utvrđivanje opravdanosti zahteva za železničkom infrastrukturom,
- utvrđivanje mogućih konflikata na mreži,
- proračun potrošnje energije i snage po vozu.



Slika 2. Šematski prikaz strukture rada programa „Treno“

Da bi se simulacija pokrenula, potrebno je uneti sledeće podatke:

- podaci o voznim sredstvima,
- podaci o železničkoj infrastrukturi,
- podaci o redu vožnje.

Simulacija se dakle odvija prema unapred definisanoj železničkoj infrastrukturi, definisanom redu vožnje i karakteristikama voznih sredstava. Nakon završetka simulacije, korisnik je u mogućnosti da sagleda širok spektar dijagrama, grafikona, tabela, kao i da ponovno započne simulaciju od trenutka koji želi.

Planerski proces koji je sadržan u softveru TRENO obuhvata sledeća tri alata: trenoplus, trenoanalysis, trenissimo (slika 3). Planerski proces implementiran u ovaj paket uključuje sledeće ključne podatke: infrastrukturni model, podatke o saobraćanju vozova i tehničke karakteristike voznih sredstava.



Slika 3. Proces softvera TRENO

TRENOanalysis je jedini alat koji je namenjen prikazu i analizi realnih podataka i podataka dobijenih nakon simulacije, pomoću kojeg je moguće identifikovati moguće kritične tačke, izračunati pokazatelje pouzdanosti, predstaviti ih korišćenjem velikog broja dijagrama i statističkih podataka. Rezultati analize se mogu koristiti kao ulazni podaci u trenoplusu kako bi se poboljšao red vožnje, a samim tim i kao ulazni podaci za stohastičku simulaciju koja se sprovodi u trenissimo.

3.1. Trenoplus

TRENOplus je alat za izradu reda vožnje koji je razvijen na način kako bi integrisao konvencionalno planiranje sa automatskim generisanjem reda vožnje (slika 4). Pri radu ovaj alat koristi mikro model železničke infrastrukture alata trenissimo (slika 5), kako bi dobio što preciznije podatke, kao što je na primer podatak o vremenu vožnje voza.

#	Train name	Train number	Active	Departure S	Departure T	Arrival station	Arrival time	Category	Train group	Operating in	Collection	User	Last update
108707	PT1087_P	2020_28	halt	BAŠKI OŠI	11:26:00	REHARDY	12:06:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
108708	PT1087_C	2020_28	halt	BAŠKI OŠI	12:20:00	REHARDY	13:00:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
108709	PT1087_P	2020_28	halt	BAŠKI OŠI	13:26:00	REHARDY	14:06:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
108710	PT1087_C	2020_28	halt	BAŠKI OŠI	14:20:00	REHARDY	15:00:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
108711	PT1087_P	2020_28	halt	BAŠKI OŠI	15:26:00	REHARDY	16:06:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
108712	PT1087_C	2020_28	halt	BAŠKI OŠI	16:20:00	REHARDY	17:00:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
108846	PT1088_P	2020_28	halt	REHARDY	20:19:00	REHARDY S	21:20:00	118		Adm		Muh	04.02.2017
108847	PT1088_C	2020_28	halt	REHARDY	21:19:00	REHARDY S	22:20:00	118		Adm		Muh	04.02.2017
111843	PT1183_P	2020_28	halt	REHARDY	07:45:00	CADOFF CE	08:48:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
111844	PT1183_C	2020_28	halt	REHARDY	08:45:00	CADOFF CE	09:48:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
111845	PT1183_P	2020_28	halt	REHARDY	16:43:00	CADOFF CE	17:46:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
111846	PT1183_C	2020_28	halt	REHARDY	17:43:00	CADOFF CE	18:46:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
114306	PT1430_P	2020_28	halt	REHARDY	08:16:00	REHARDY	09:10:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
114307	PT1430_C	2020_28	halt	REHARDY	09:16:00	REHARDY	10:10:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
114308	PT1430_P	2020_28	halt	REHARDY	11:03:00	REHARDY	12:00:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
114309	PT1430_C	2020_28	halt	REHARDY	12:03:00	REHARDY	13:00:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
114310	PT1430_P	2020_28	halt	REHARDY	13:03:00	REHARDY	14:00:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
114311	PT1430_C	2020_28	halt	REHARDY	14:03:00	REHARDY	15:00:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
114312	PT1430_P	2020_28	halt	REHARDY	15:03:00	REHARDY	16:00:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
114313	PT1430_C	2020_28	halt	REHARDY	16:03:00	REHARDY	17:00:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
114314	PT1430_P	2020_28	halt	REHARDY	17:03:00	REHARDY	18:00:00	000		Adm		Muh	04.02.2017
114315	PT1430_C	2020_28	halt	REHARDY	18:03:00	REHARDY	19:00:00	000		Adm		Muh	04.02.2017

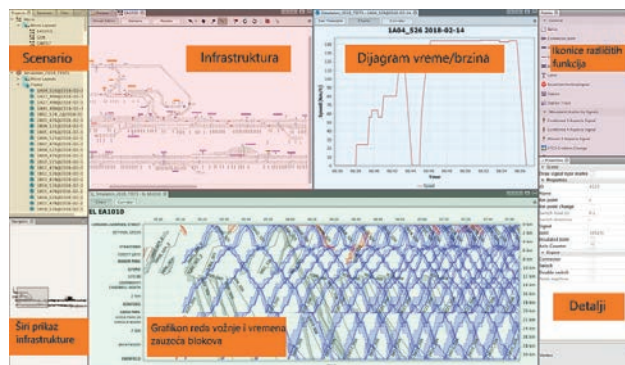
Slika 4. Prikaz unetog reda vožnje



Slika 5. Izgled mikro železničke infrastrukture

Prednost ovog alata je relativno lak unos podataka, pritiskom na dugme "Timetable", moguće je uneti: broj voza, vreme otpreme, dane saobraćanja, vozno sredstvo, kategoriju i kompaniju prevoznika. Alat može samo na osnovu vremena otpreme izračunati vreme vožnje voza, pritiskom na dugme "Update MRT from micro". Nakon unosa ovih podataka, moguće je grafički očitati red vožnje vozova i uočiti moguća mesta konflikata vozova, takođe alat može izračunati zauzetost blokvnog odseka.

Takođe, moguće je prikazati veliki broj dijagrama kao što su: dijagram brzina/pređeni put (slika. 6) , brzina/vreme, ubrzanje/pređeni put, vučna sila/pređeni put, sila kočenja/pređeni put, potrošnja energije/pređeni put itd. Po potrebi mogu se menjati parametri koji se javljaju u toku vožnje (slika 7), koji su izraženi u procentima, a odnose se na ubrzanje, kočenje, adheziju itd.



Slika 6. Izgled radnog prostora u softveru Trenissimo

3.2. Trenissimo

Trenissimo je alat na kome se simulacija odvija stohastički po mikro modelu železničke infrastrukture, sinhronizovano i dinamički. Sve ove karakteristike govore u prilog tome da se železničke operacije u ovom softveru odvijaju u najsitnijim detaljima i da su izuzetno precizne. Podaci o redu vožnje i voznim sredstvima se unose iz onih koje smo već definisali u trenoplus-u.

Ulazni podaci koji se unose u trenissimo su sledeći:

- osnovni parametri (napon kontaktne mreže, tip brzine),
- mikro železnička infrastruktura (dužine odseka, brzine, nagibi, stanice, skretnice, signali itd.),

- makro železnička infrastruktura,
- vozna sredstva (detaljan unos tehničkih karakteristika),
- red vožnje (unet iz trenoplusa),
- podešavanje simulacije (brzina i animacija).

Železnička infrastruktura je prikazana kao skup čvorova (double vertex) i linija (edges) koji su pri tom međusobno povezani. Korisnik može grafički da izmeni topologiju mreže

Od osnovnih elemenata na osnovu kojih se može stvoriti odgovarajuća železnička mreža nalaze se sledeći elementi:

- vertex - definiše sve karakteristične tačke na pruzi,
- edges – povezuje sve Vertex-e,
- station - definiše mesta svih stanice,
- signal - definiše sve signale,
- stop marker - definiše mesto redovnog zaustavljanja vozova na stajalištima;
- connector - povezuje prekinute delove pruge.



Detaljan model železničke infrastrukture uključuje sledeće elemente:

- stanice, stanične koloseke, koloseke otvorene pruge,
- skretnice,
- brojače osovina i šinska strujna kola,
- glavne signale, predsignale, prostorne signale i manevarske signale,
- balize,
- puteve vožnje, blok odseke i pravila blokiranja skretnice,
- kilometarske položaje.

U trenissimo se detaljno unose podaci o tehničkim karakteristikama vučnih i vučenih vozila. Za lokomotivu se unose podaci vučne sile po brzini, masa, dužina i adheziona masa lokomotive (slika 7).

Za simulirani voz uzete su tri alternative, u zavisnosti od lokomotiva, pa tako lokomotiva 441 vuče 14 RGS-z plato kola sa ukupnom masom od 900t, dok lokomotiva 461 vuče 20 RGS-z kola sa ukupnom masom od 1.300t. Ovako definisani vozovi u softveru se nazivaju formacije.

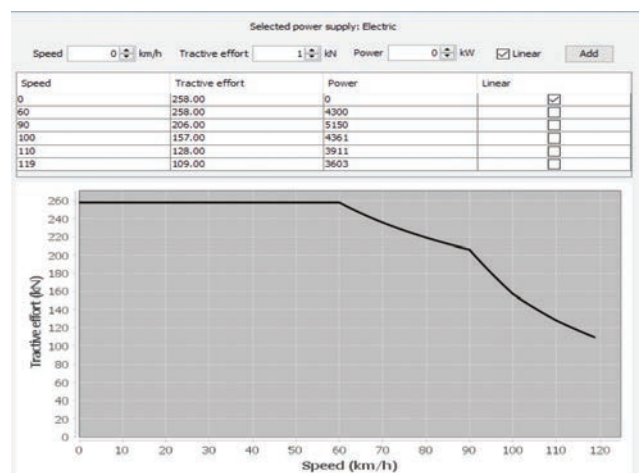
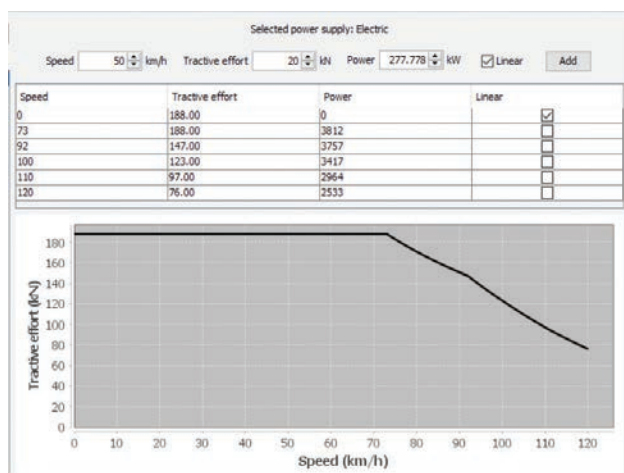
Nakon unosa svih podataka u trenoplus i trenissimo, potrebno je te podatke objediniti u trenissimo, podesiti vreme trajanja simulacije i brzine (slika 8), pa je zato potrebno ispoštovati sledeće korake:

- označiti područje simulacije, ukoliko to već prethodno nije urađeno,
- uneti makro železničku infrastrukturu iz trenoplusa u trenissimo,
- uneti red vožnje vozova iz trenoplusa u trenissimo,
- verifikovati usklađenost infrastrukture i reda vožnje klikom na dugme “Clean and Build” ,
- pokrenuti simulaciju klikom na dugme “Run” .

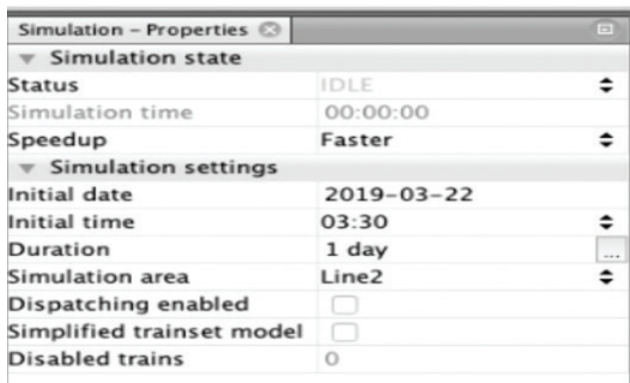
Tokom trajanja simulacije moguće je istovremeno gledati i animaciju (slika 9), ako to korisnik želi. U toku simulacije moguće je da alat izbaci grešku, koja može biti posledica mikro železničke infrastrukture, reda vožnje ili neusklađenosti mikro i makro železničke infrastrukture. Takve greške se lako otklanjaju, jer alat uz grešku izbaci i izvor odakle ona dolazi.

Nakon završetka simulacije softver izbacuje sledeće podatke:

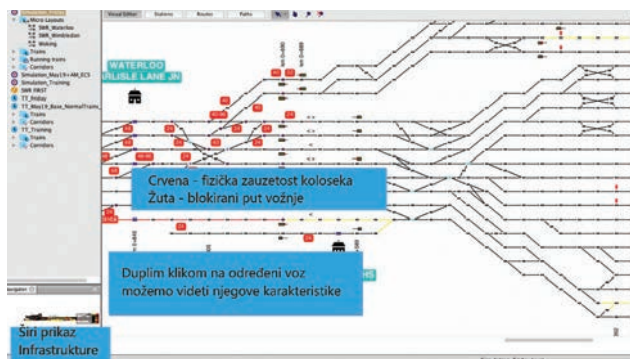
- grafikon reda vožnje,
- statistiku svakog voza,
- statistiku zauzetosti koloseka,
- ponovni prikaz animacije,
- razne izlazne podatke.



Slika 7. Prikaz vučnog pasoša lokomotiva 441 i 461



Slika 8. Podešavanje trajanja simulacije i brzine



Slika 9. Animacija na mikro železničkoj infrastrukturi

4. IZRADA MODELA U SOFTVERSKOM PAKETU TRENO NA DEONICI PRUGE LAPOVO - JAGODINA

Izrada obuhvata kreiranje dva modela: jedan model koji predstavlja postojeće stanje i drugi model koji predstavlja planirano stanje.

Brzine kretanja vozova za postojeće stanje date su u tački 2.2.1. dok brzine za planirano stanje iznose 120 km/h u oba smera, brzine na stanicama iznose 50 km/h.

Ukupna dužina modela iznosi 25,9 km, čine ga sledeće stanice i stajališta: stanica Lapovo, stajališta Brzan i Mileševo, stanica Bagrdan, stajališta Lanište i Bukovče i stanica Jagodina.

U model su detaljno uneti sledeći podaci o trasi: kilometarski položaj glavnih signala, predsignala i prostornih signala, prelomi nagiba i njihova dužina, radijusi krivina i njihova dužina, mesta izolovanih sastava, skretnice, kilometarski položaj stanica i stajališta, kao i staničnog područja.

Opis izrade modela

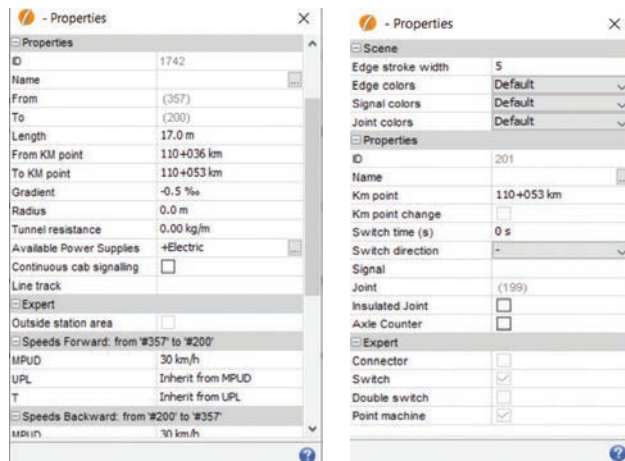
U ovom poglavlju biće opisan način na koji je urađen model uz detaljan opis nekih od funkcija alata iz kojih se sastoji softverski paket Treno.

Prvi korak koji je potrebno uraditi jeste predstaviti šematski prikaz modela, odnosno prikaz mikro železničke infrastrukture u alatu trenissimo.

Ovaj alat čija je struktura i funkcija detaljno opisana u prethodnom poglavlju poseduje grafički korisnički interfejs na kome je moguće realno modelovanje infrastrukture.

U paleti je moguće izabrati ikonicu pod nazivom "Joint" koja predstavlja deo pruge koja menja karakteristike (nagib, brzina, krivina, izolovani odsek itd.) ili mesto gde se nalazi signal. Takođe, u okviru menija ikonicе "Joint" moguće je unositi i podatke u vezi sa imenom, kilometarskim položajem, stanicom kojoj pripada, vremenom prekretanja skretnice, itd.

Svaka dva postavljena "Joint-a", moraju biti adekvatno povezana izborom ikonicе "Edge", pri čemu se povezivanje vrši u smeru kretanja voza. Posebno je važno obratiti pažnju prilikom povezivanja na dvokolosečnim i višekolosečnim prugama (slika 10).



Slika 10. Izgled prozora za unos podataka u "edge" (levo) i "vertex" (desno)

Na ovaj način dobijamo više deonica, koje se međusobno razlikuju prema dužini, poluprečniku krivine, nagibu i prema tome da li na tom delu pruge postoji tunel ili most. Pritiskom na već definisanu liniju "Edge" možemo promeniti maksimalnu brzinu kretanja vozova na tom rastojanju, kao i u zavisnosti o kojoj se kategoriji vozova radi. Na isti način možemo definisati i skretnice.

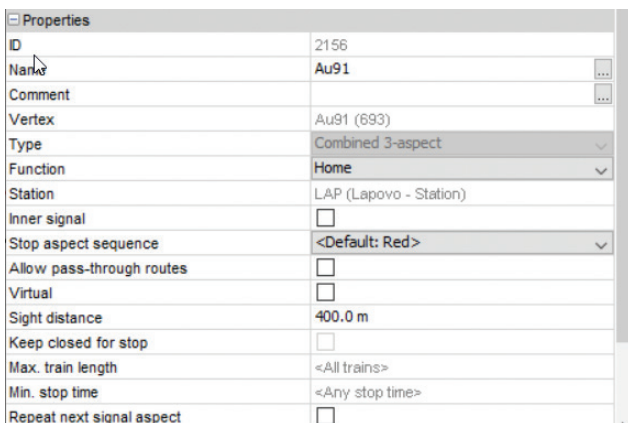
Ikonica „Station“ omogućava da definišemo kilometarski položaj stanične zgrade, dužinu staničnog područja, broj koloseka, način osiguranja stanice, tip stanice i da li je ona posednuta ili neposednuta.

Nakon povezivanja svih krakova, odnosno koloseka, potrebno je postaviti signale na odgovarajuća mesta u modelu. U model su uneti glavni signali, predsignali i prostorni signali. Svaki signal u modelu ima svoj "Joint" sa kojim je povezan. Pritiskom na neki od signala u paleti, možemo ga privući određenom "Jointu", pri čemu će se on nakon izbora jednog od dva dugmeta pojaviti na radnoj površini. U zavisnosti od toga za koje se dugme odlučimo, definišemo i smer za koji se signal postavlja.

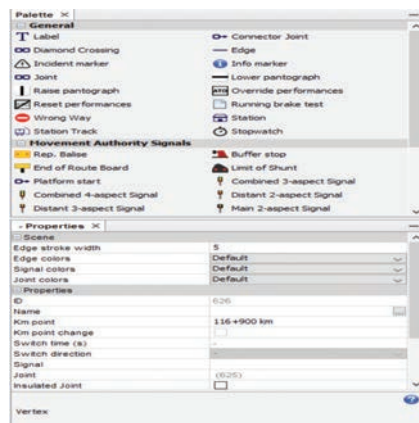
Takođe, u meniju, pritiskom desnim klikom na već postavljeni signal, možemo definisati njegov naziva,

tip i funkciju signala, stanicu kojoj signal pripada, daljinu vidljivosti signala, kao i mnoge druge funkcije. Na slici 11. dat je prikaz prozora signala, a na slici 12. izgled palete za izbor ikonica.

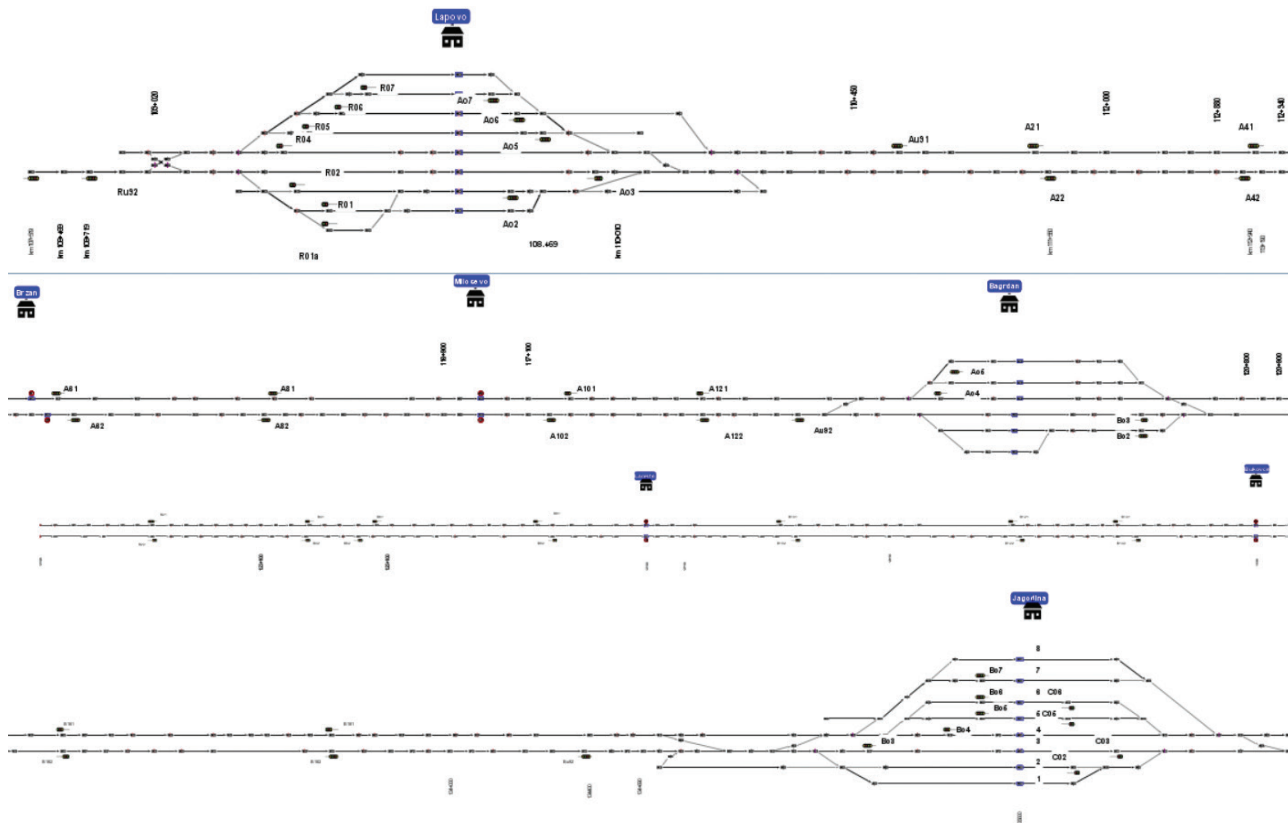
Definisanje rute se vrši pritiskom desnog klika na signal i nakon toga možemo odabrati željenu rutu do narednog signala. Definisanje itinerera se vrši automatski, tako što program na osnovu već zadatih algoritama, izvrši kombinaciju svih mogućih puteva vožnje. Detaljan prikaz železničke infrastrukture u modelu na deonici Lapovo - Jagodina dat je na slici 13.



Slika 11. Prikaz prozora signala



Slika 12. Izgled palete za izbor ikonica



Slika 13. Prikaz mikro železničke infrastrukture deonice Lapovo - Jagodina

5. UPOREDNA ANALIZA MODELA

simulacije saobraćaja za postojeće i planirano stanje pruge. Rezultati su prikazani u tabelama 5-7, kao i na slikama 14-19.

U ovom poglavlju biće prikazana uporedna analiza

Tabela 5. Vremena vožnje i prosečne brzine vozova pri postojećem stanju

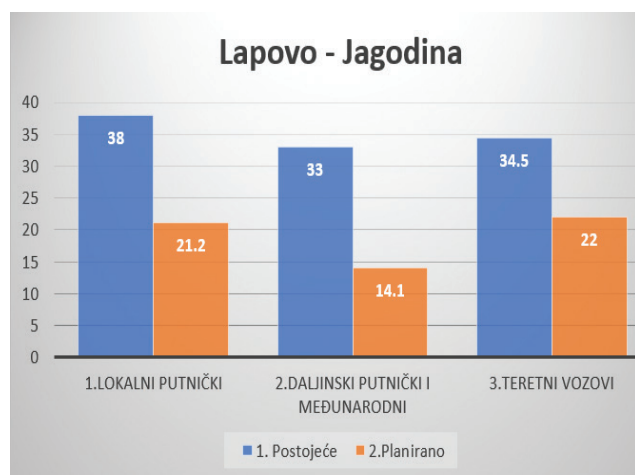
Kategorija voza	Vremena vožnje (min)		Prosečna brzina (km/h)	
	Lapovo - Jagodina	Jagodina - Lapovo	Lapovo - Jagodina	Jagodina - Lapovo
Smer				
Unutrašnji putnički	38,0	27,5	40	55
Međunarodni putnički	33,0	21,5	47	72
Teretni	34,5	25,0	45	62

Tabela 6. Vremena vožnje vozova i prosečne brzine pri planiranom stanju

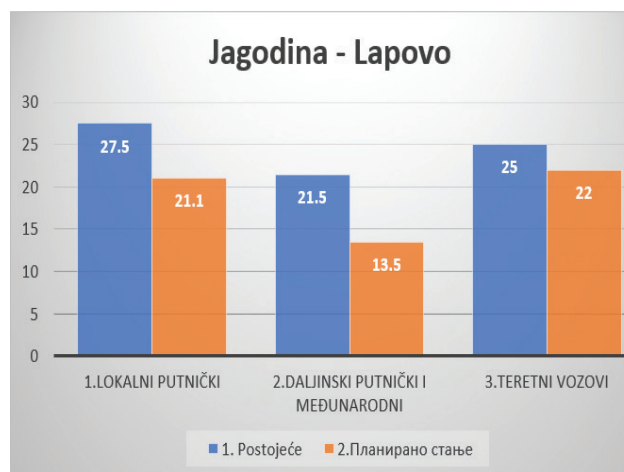
Kategorija voza	Vremena vožnje (min)		Prosečna brzina (km/h)	
	Lapovo - Jagodina	Jagodina - Lapovo	Lapovo - Jagodina	Jagodina - Lapovo
Smer				
Unutrašnji putnički	21,2	21,1	72,4	74
Međunarodni putnički	14,1	13,5	110,0	113
Teretni	22,0	22,0	72,0	72

Tabela 7. Uporedna analiza rezultata za ukupno 87 vozova i pređeni put od 2.222,074 km

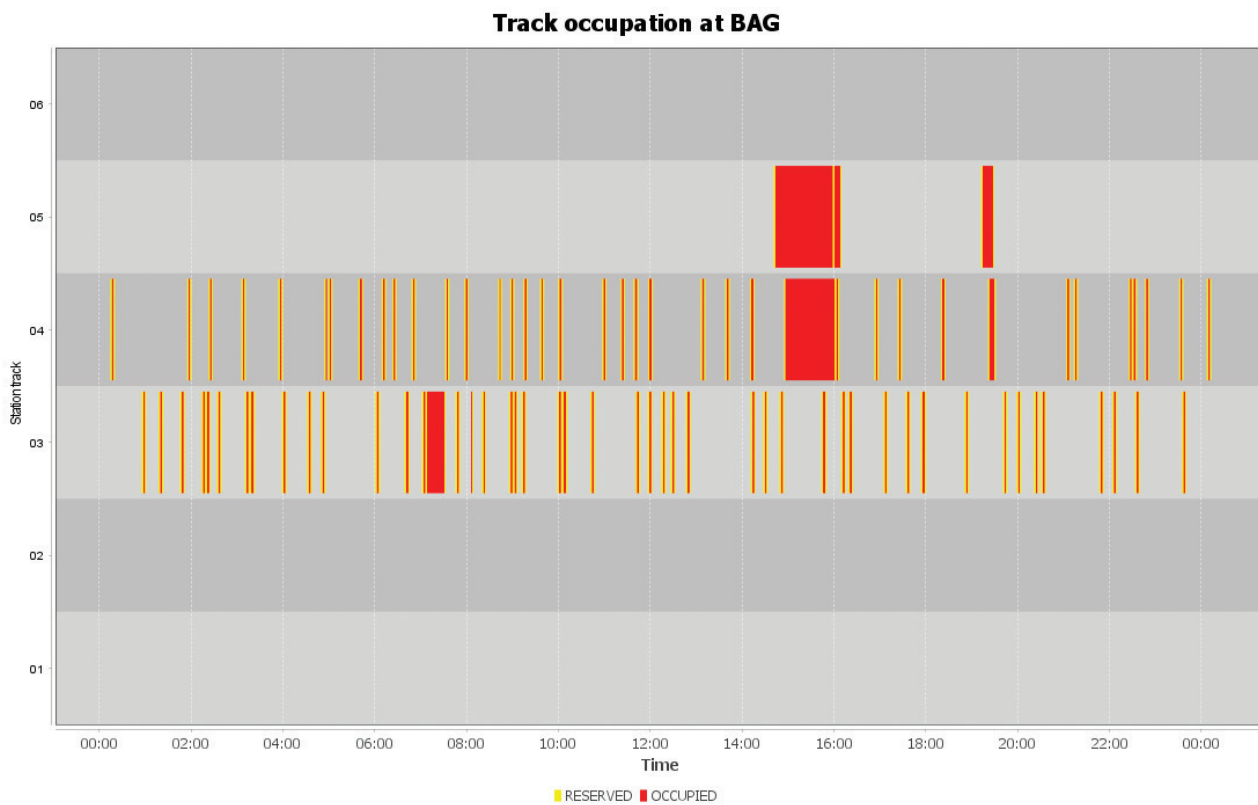
Izlazni podatak	Postojeće stanje	Planirano stanje	Razlika (%)
Prosečno kašnjenje vozova u ukupnom kašnjenju	110 sec	66 sec	- 40
Maksimalno kašnjenje	3.200 sec	123 sec	- 96
Ukupna zauzetost staničnih koloseka	550 min	255 min	- 54
Status zelene i žute mirne na signalu Bu9 stanice Bagrdan tokom 24 h	48 min	44 min	- 8,5
Status žute mirne-trepćuće na signalu Bu92 tokom 24 h	64,4 min	50,6 min	- 22



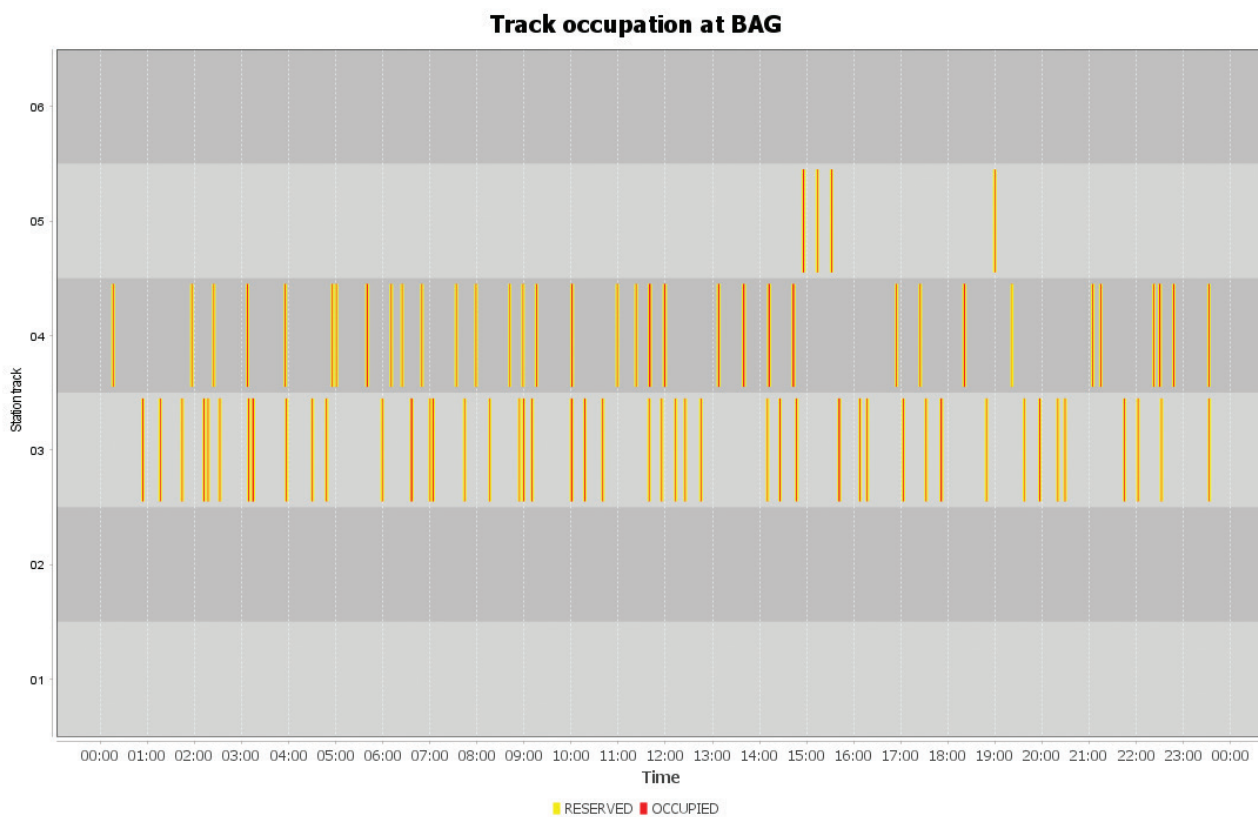
Slika 14. Grafikon prikaza vremena vožnje pri postojećem i planiranom modelu za smer Lapovo - Jagodina (desni kolosek)



Slika 15. Grafikon prikaza vremena vožnje pri postojećem i planiranom modelu za smer Jagodina - Lapovo (levi kolosek)



Slika 16. Zauzetost koloseka stanice Bagrdan pri postojećem stanju



Slika 17. Zauzetost koloseka stanice Bagrdan pri planiranom stanju

Status of signal Au91 and its outgoing routes



Slika. 18. Status signala stanice Lapovo pri postojećem stanju

Status of signal Au91 and its outgoing routes



Slika .19. Status signala stanice Lapovo pri planiranom stanju

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršena je simulacija kretanja vozova upotrebnom softvera „Treno“.

Model izabrane infrastrukture od stanice Lapovo do stanice Jagodina odgovara realnom stanju.

Simulacija može biti predstavljena kroz animaciju, tako da korisnik može videti slobodne, zauzete i rezervisane prostorne odseke i stanje signalno - sigurnosnih sistema.

Program „Treno“ daje veliki broj izlaznih rezultata simulacije. Rezultati simulacije se mogu koristiti za uporednu analizu postojećeg i planiranog reda vožnje. Analizom dobijenih rezultata simulacije, mogu se lako uočiti greške, koje se brzo otklanjaju i na taj način čine proces planiranja u većoj meri tačnijim i pouzdanijim. Izlazni rezultati daju i kvalitativne (brutotonski kilometri i dr.) i kvantitativne (broj vozova i dr.) pokazatelje iskorišćenja kapaciteta infrastrukture, voznih sredstava i drugih elemenata reda vožnje.

Planirani red vožnje i simulacija saobraćaja mogu biti urađeni za izabranu deonicu pruge, željeni dnevni interval, proizvoljno izabran dan u sedmici i za potrebe planiranja saobraćaja prilikom remonta ili zatvora pruge.

Rezultati dobijeni simulacijom na deonici pruge Lapovo - Jagodina pokazuju da ćemo ukoliko se brzina pruge poveća na planiranih 120km/h, dobiti znatno manja vremena vožnje vozova i manju zauzetost staničnih koloseka, samim tim bi mogli uvećati broj trasa na mreži i videti kako bi sistem tada funkcionisao.

Takođe, potrebno je reći i to da su ovi rezultati samo uvod u neka ozbiljnija razmatranja i analize, koji se tiču daljeg planiranja saobraćaja vozova na ovoj deonici.

LITERATURA

- [1] Čičak M, Vesković S, Mladenović S: Modeli za utvrđivanje kapaciteta železnice, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, 2002;
- [2] Milinković S: Metodologija za utvrđivanje optimalnog rešenja rasputnice, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, 2013;
- [3] Milutinović M, Milinković S, Vesković S: Simulacija kretanja vozova u slučaju izgradnje dvokolosečne pruge na relaciji Resnik – Valjevo, *Železnice* 2018(2), 69-77, preuzeto od <https://www.casopis-zeleznice.rs/index.php/zeleznice/article/view/54>;
- [4] Čpajak M: Procena iskorišćenosti kapaciteta deonice pruge Pančevo Glavna - Vršac pomoću softverskog paketa OpenTrack, master rad, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, 2019;
- [5] Đorđević D: Glavni projekat modernizacije pruge Lapovo - Jagodina, saobraćajno - tehnološki projekat, Saobraćajni institut CIP, Beograd, 2015;
- [6] De Fabris S, Medeossi G, Montanaro G: Trenissimo: Improving the microscopic simulation of railway networks, *WIT Transactions on The Built Environment*, TrenoLab, Italy, 2019;
- [7] Vuković M, Milinković S, Vesković S: Korišćenje simulacionog modela „open track“ za analizu elemenata planiranog reda vožnje i za konstrukciju trasa reda vožnje, *Železnice* 2018(1), 27-42. preuzeto od <https://www.casopis-zeleznice.rs/index.php/zeleznice/article/view/45>;
- [8] Pejić M, Milinković S, Vesković S: Simulacioni modeli za analizu organizacije saobraćaja vozova na industrijskoj železnici „TENT“, *Železnice* 2017(1), 10-20. preuzeto od <https://www.casopis-zeleznice.rs/index.php/zeleznice/article/view/7>
- [9] Poslovni red železničke stanice Lapovo;
- [10] Poslovni red železničke stanice Bagrdan;
- [11] Poslovni red železničke stanice Jagodina.

MIKROSIMULACIONI MODELI U ŽELJEZNIČKOM SAOBRAĆAJU MICROSIMULATION MODELS IN RAILWAY TRAFFIC

UDK: 656.2+656.33.01:517.876.5

REZIME:

Upotreba mikrosimulacija u željezničkom saobraćaju već neko vrijeme predstavlja osnovni korak pri razmatranju kapaciteta, uvidu u infrastrukturne projekte i pri analizi voznih sredstava i infrastrukture. Mikrosimulacioni modeli se zasnivaju na modeliranju interakcije infrastrukture i vozila, a u skladu sa pretpostavljenim planom saobraćaja (npr. redom vožnje ili planom manevre). RailSys omogućava realistično modeliranje sistema saobraćaja vozova i na taj način pomaže pri donošenju odluka na operativnom ili nekom drugom nivou odlučivanja. OpenTrack je program za simulaciju saobraćaja: vozova velike brzine, putničkih i teretnih vozova, planinske željeznice, lakih šinskih sistema i sl. Odlikuje se velikom preciznošću i služi kao pomoć pri planiranju i praćenju saobraćaja. Trenissimo, deo paketa TRENOLab, koristi se za simulaciju saobraćaja, ali uz to omogućava modeliranje ponašanja mašinovođe i dispečera. Mikrosimulacije ulaze u srž saobraćajnih procesa i inženjerima daju podatke koji su lako upotrebljivi i pogodni za dalju analizu, pomoć u donošenju odluka ili optimizaciju sistema.

Ključne reči: mikrosimulacije, željeznički saobraćaj, modeliranje saobraćaja

SUMMARY:

The use of microsimulations in railway traffic has been a basic step for some time: considering capacity, creating a better insight into infrastructure projects and in order to reduce costs during the reconstruction or construction of the railway. All microsimulation models work on the principle of improving infrastructure, rolling stock capacity and operations performed on the railway network. RailSys shows a realistic state of the system and thus helps to create the right decisions whose impact is reflected in the entire railway network. OpenTrack is a simulation program developed within the research project of the Swiss Institute of Technology used in the field of: high-speed trains, passenger and freight trains, mountain railways, light rail systems, etc. It is also characterized by high precision and serves as an aid in traffic planning and monitoring. Trenissimo as a part of the company's TRENOLab package provides assistance through micro-approach and individual train simulations. This simulation program is specific in that it takes into consideration the behavior of the driver and dispatcher. Microsimulations come to the core of traffic processes and provide engineers with data that is easy to use and suitable for perceiving the situation completely.

Key words: microsimulations, railway traffic, traffic modelling

* Milica Laketić, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, milica.laketic@yahoo.com

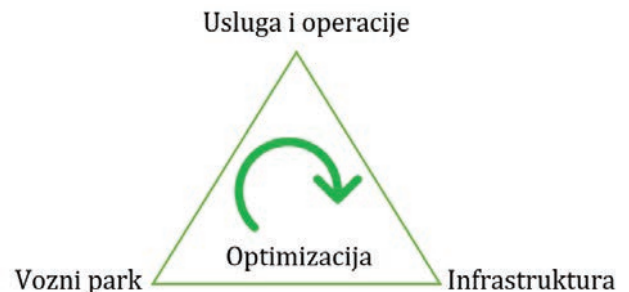
** Prof. dr Sanjin Milinković, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, s.milinkovic@sf.bg.ac.rs

1. UVOD

Saobraćaj, jedan od ključnih delova privrede i ekonomije jedne zemlje, često je podložan svakodnevnim promjenama i spoljnim uticajima. Prvenstveno, mora da zadovolji zahtjeve korisnika prevoza, bilo da je u pitanju putnički ili teretni saobraćaj. Da bi saobraćaj omogućio nesmetan razvoj privrede neophodno je stalno raditi da unapređenju usluga prevoza putnika i robe i pronalaženju novih načina za povećanje pouzdanosti prevoza. Cilj željezničkog saobraćaja je da obezbijedi takav sistem čija ekonomičnost, sigurnost i dostupnost uliva korisnicima povjerenje prilikom korišćenja i da sam sistem kao takav ostvaruje određene dobiti od pružene usluge.

Jedan od načina pomoću kojeg se dobijaju tačnije prognoze odvijanja saobraćaja na željeznici su simulacioni programi. Pomoću ovih softvera se vrši analiziranje sistema i kreiraju operativne, razvojne i strateške odluke. Sve to se obavlja na matematičkom modelu realnog sistema. Softver u ovakvim situacijama omogućava uvid u proces odvijanja saobraćaja na željeznici. Izbor simulacionog softvera se vrši u odnosu na podatke koje je potrebno dobiti. Moguće je dobiti jasnu sliku kretanja vozova na mreži pruga, izlazne podatke poput zabilježenih brzina koje je voz imao na određenim dionicama, koji su kolosjeci bili zaposjednuti određenim vozovima, koliko je bilo čekanje vozova i slično. Savremeni simulacioni softveri imaju mogućnost učitavanja već postojećih podataka koji su neophodni za izradu modela. Ti podaci se moraju prethodno nalaziti u arhivi simulacionog softvera ili u okviru nekog od kompatibilnih programa preko koga bi bilo moguće preuzeti podatke.

Planiranje željezničkih tokova može biti izuzetno izazovno iz razloga što poboljšanja različitih faktora mogu dati drugačije rezultate. Poboljšanja se mogu odvijati u tri kategorije: infrastruktura, vozni kapaciteti i operacije koje se odvijaju na posmatranom željezničkom sistemu. Potrebna je evaluacija poboljšanja svakog faktora zasebno kako bi se jasno vidio učinak i organizovao pravi investicioni plan. Neke željezničke uprave ovaj investicioni plan vide kao tri međusobno zavisna elementa čijom optimizacijom se mogu postići željeni rezultati. Grafički prikaz tog koncepta je dat u nastavku teksta. Pod uslugom i operacijama se podrazumijevaju organizacija prevoza ljudi i tereta. Vozni park čine različite garniture koje se koriste za prevoz, a infrastruktura ukazuje na sistem koji fizički omogućava pružanje već pomenutih usluga. Tu spadaju: pruge, signalni sistem, stanična postrojenja i slično.



Grafikon 1: Međusobna zavisnost elemenata u željezničkom sistemu

2. VRSTE I TIPOVI SIMULACIJA

U literaturi se najčešće izdvajaju četiri vrste simulacionih modela: Monte Karlo simulacija, kontinualna simulacija, simulacija diskretnih događaja i mješovita (kontinualno - diskretna) simulacija [1]. Ta podjela je izvršena prema korišćenom pristupu pri modeliranju i klasi problema koji se rješava simulacijom, kao i prema tehnikama modeliranja i simulacijama koje se izrađuju prema pomenutim modelima. Da bi sam proces simulacije bio što realniji, obavezno je korišćenje provjerenih i validnih ulaznih podataka. Takođe, neophodna je provjera i izlaznih podataka. S obzirom da su oni najčešće izraženi u obliku statističkih podataka, tabela i grafikona potrebno je određeno predznanje i iskustvo iz domena željezničkog saobraćaja da bi se adekvatno protumačili podaci ili angažovanje eksperta.

Simulacije u željezničkom saobraćaju su važne i korisne zato što se pomoću njih može dobiti bolji uvid u neke od sledećih aspekata:

- Razumijevanje kapaciteta - kapacitet je aspekt koji nije lako predvidjeti i prilagođavanje u slučaju većih promjena nije lako izvesti. Na jednoj željezničkoj liniji potražnja za prevozom može da varira od stanice do stanice. Proračun prave mjere kapaciteta može biti značajan izazov;
- Značaj infrastrukture - ovde se misli na međusobnu zavisnost infrastrukturnih projekata sa organizacijom prevoza. Remont određenog dijela trase će imati značajan uticaj na obavljanje prevoza. Manji remont i na pravim dionicama mogu da smanje vrijeme putovanja i tako olakšaju cjelokupnu organizaciju saobraćaja, a i ponude primamljiviju uslugu korisnicima prevoza. Simulacioni programi mogu ukazati na takve dionice i pri simulaciji prikazati moguće rezultate koji bi važili prilikom obavljenog remonta;
- Infrastrukturni troškovi - obavljanje remonta iziskuje visoke troškove. Pod troškovima se ne misli samo na fizičko izvođenje radova već i na troškove

koji nastaju prilikom obustavljanja saobraćaja na pruzi. Loša organizacija i greške u procjeni trajanja radova mogu doprinijeti dosta većim troškovima nego kada bi inženjeri imali tačan uvid u značaj remonta određenog dijela pruge.

Naglašavajući ove elemente, eksperti iz polja željezničkog saobraćaja savjetuju kreiranje što većeg broja simulacionih modela prije počinjanja konkretnih radnji na željezničkoj mreži [2]. Ideja vodilja je da - što se više simulacionih modela izradi to su manje šanse za pravljjenjem greške. Simulacioni model je potrebno izraditi prema realnom postojećem stanju na mreži a zatim se mogu vršiti razne izmjene u svrhu sagledavanja stanja. Pomoću izučavanja modela se može ispitati valjanost reda vožnje, mogu se uočiti neophodne promjene na infrastrukturi, izvršiti poređenje upotrebe različitih tipova garnitura i sl. Svi uticaji potencijalnih promjena se mogu detektovati, verifikovati i ocijeniti, što i predstavlja suštinu ovakvih softverskih rešenja.

Simulacije, koliko god bile korisne, mogu imati i svoje nedostatke odnosno limite. Neki od tih limita su:

- da bi dobili validne podatke u program moraju biti ubačene vrijednosti koje oslikavaju aktuelno stanje na mreži pruga,
- operacije u okviru stanica se moraju kreirati posebno,
- ograničenja koja se tiču osoblja ne uzima u obzir većina softvera,
- simulacije uključuju samo modelovano područje,
- simulacioni programi su skloni uključivanju određene doze optimizma u slučaju nastanka zagušenja, pridržavanja reda vožnje i sl.

Navodeći nedostatke uočavamo da je iskustvo sa realnim stanjem nezamjenljivo ali da se približni rezultati mogu postići korišćenjem simulacionih softverskih rešenja. Uz adekvatno iskustvo, podatke i znanje procesi se mogu poboljšati bez bojazni od nepotrebnih troškova.

Saobraćajni procesi koji se odvijaju na prugama, stanicama i generalno na željezničkim mrežama se mogu analizirati pomoću simulacionih modela. Makro simulacioni modeli opisuju operacije na transportnoj mreži. S obzirom da se bave mrežama većih dimenzija, ovakvi modeli su pogodni za sagledavanje šire slike sistema. Obično se implementiraju u fazama planiranja kako bi se izvršile strateške procjene različitih infrastrukturnih scenarija. Nizak stepen detalja i apstraktnije razmatranje

infrastrukture, koji se usvaja u ovakvim modelima, utiče na tačnost rezultata. Znajući za takva ograničenja, jasno je da ovakvi modeli nisu u stanju da sagledaju aspekte poput rasporeda staničnih kolosjeka, signalno - sigurnosnih sistema ili čak procjene vremena vožnji. Jedan od primjera makrosimulacionih modela je „NEMO“, koji je razvio Univerzitet u Hanoveru.

Mikrosimulacioni modeli, sa druge strane, pokušavaju da oponašaju saobraćajne procese u određenom vremenskom periodu. Da bi se to obavilo, posmatra se svaki voz individualno, koriste se podaci o parametrima pruge, aktuelni red vožnje, karakteristike voznih sredstava i drugo. Mikropristup razmatra uticaj jednog voza na drugi kada se obavlja simulacija. Na primjer, kada jedan voz zauzme određeni odsjek pruge koji bi drugi voz želio da okupira, sistem će drugom vozu dodijeliti mjesto na pruzi prema sigurnosnim parametrima. Drugi voz će vjerovatno čekati da se željeni kolosjek oslobodi ili će biti prebačen na drugi.

Postoje dva tipa mikronivoa simulacionih modela: sinhroni i asinhroni. Asinhroni modeli simuliraju željeznički saobraćaj koristeći stohastički generisana vremena polazaka vozova. Kod ovog tipa modela simulacija se odvija u serijama, odnosno pojedinačno po vozovima. Na ovaj način se izrađuju redovi vožnje koji ne sadrže konflikte. U prvom krugu se modeluje voz sa najvećim rangom, zatim se vremena upisuju u red vožnje i nakon toga se pokreće sledeći voz po prioritetu. Princip se ponavlja do kompletiranja reda vožnje. U slučaju asinhronih simulacionih modela, drugi voz ne utiče na prvi, ali je drugi pod uticajem prvog. Na isti način se modeluju i svi ostali vozovi. Ovaj tip simulacije se koristi prilikom kreiranja reda vožnje za određene linije trasa, ali nije efikasan kada su u pitanju mreže pruga.

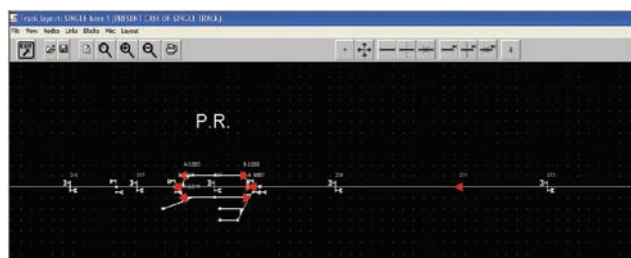
Istovremena (sinhrona) simulacija kretanja vozova, detaljni podaci o pruzi, redu vožnje i voznim sredstvima su odlika sinhronih simulacionih modela. Ovaj tip simulacije pruža realističnu sliku operacija na mreži pruga. Kod sinhronih modela je moguće ustanoviti pravila pomoću kojih program pravi odluke o otpremanju vozova kada postoje konfliktne situacije. Ta pravila mogu uključivati jednostavne prioritete kao npr. „putnički vozovi imaju prednost u odnosu na teretne“ i slično. Za dobre rezultate ovakvi vidovi simulacija zahtijevaju dosta vremena, detalja i podataka koji moraju biti unijeti u sistem.

3. RAILSYS

RailSys [3,4,5] koristi mikropristup za opisivanje modela iz realnih sistema, a sve sa ciljem smanjenja rizika od donošenja pogrešne odluke prouzrokovane lošim planiranjem saobraćaja. Ovaj program razvili su Univerzitet u Hanoveru i RMCon-a (Rail Management Consultants). Primjenjivao se na različitim projektima za potrebe preciznijeg prognoziranja željezničkog saobraćaja. Neki od projekata su bili: brza pruga u Njemačkoj i Australiji, željeznički sistemi Minhena, Sidneja, Melburna, željeznička mreža Berlina i Kopenhagena. Ovaj simulacioni sistem se sastoji od četiri modula koji čine srž sistema RailSys.

3.1. Upravljanje infrastrukturom

Funkcija ovog modula je sagledavanje realnog infrastrukturnog stanja (ukoliko ono već postoji) i kreiranje njegovih različitih varijanti. Tačnost ovakvih modela se svodi na jedan metar. Softver u model uključuje elemente poput: signalno-sigurnosnih signala, stanica, indikatora brzina, staničnih platoa. Prilikom modelovanja pruge, uzimaju se elementi koji su neophodni i prilikom projektovanja, a to su: maksimalna brzina, dužina i nagib. Sistem dozvoljava kreiranje više varijanti kako bi se odabrala najpovoljnija. Samim tim je moguće unositi različite elemente prema postojećem ili planiranom stanju pruge. Tu se ubraja APB (automatski pružni blok), praćenje signala i zaključavanje signala. Na kreiranom modelu se mogu uočiti cjeline poput stanica, čvorova i dionica pruga. Infrastruktura je zamišljena kao niz čvorova i dionica, gdje dionica simbolizuje prugu, a čvor je ili tačka povezivanja nekoliko pruga ili lokacija za signale i druge elemente. Prikaz jednog kreiranog modela je dat u nastavku teksta (Slika 1).

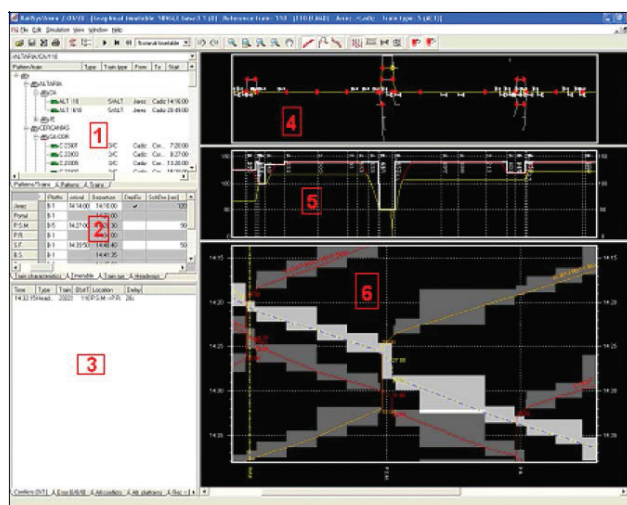


Slika 1. Prikaz infrastrukturnog rešenja u RailSys softveru

3.2. Organizovanje reda vožnje

Opcija koju nudi softver RailSys omogućava proračun tačnih vremena vožnji i njihovo transferisanje u red vožnje, koji je važeći prilikom odvijanja simulacije.

Na osnovu ove veze moguće je direktno posmatrati svaku promjenu koja se desi prilikom izbora neke druge putanje ili korišćenja drugog tipa lokomotiva. Svaka ruta i tip voza ima svoje karakteristike koje sistem povlači i na osnovu kojih se kreiraju izvještaji. Karakteristike vučnih vozila, prioriteta na osnovu kojih je uspostavljeno odvijanje vožnji, dozvoljene brzine i dispečerske postavke su elementi koji moraju biti na raspolaganju programu kako bi proračuni bili validni. Program ima zadatak da izvrši optimalnu alokaciju vozova u sistemu velikih željezničkih mreža i prilikom izvršenja tog zadatka program može ukazati na potencijalne probleme poput: konflikta vozova, nepostojećih konekcija i sl. Izgled softverskog rešenja za kreiranje reda vožnje je dat na slici 2. Odjeljci koji su označeni brojevima predstavljaju sljedeće: 1) hijerarhijski obrazac kretanja vozova; 2) tabela reda vožnje; 3) lista otkrivenih konflikata; 4) prikaz pruga; 5) dijagram brzine; 6) grafički prikaz reda vožnje.

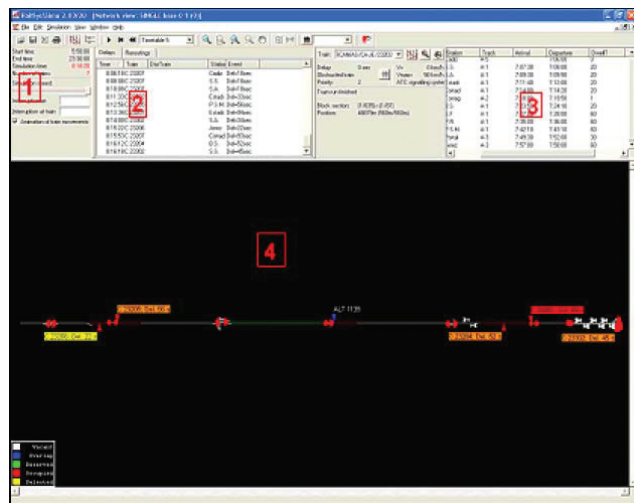


Slika 2. Primjer izrade reda vožnje

3.3. Izvođenje simulacije

Krucijalna mogućnost ovakvih softvera je mogućnost realizacije simulacije. Softver pruža mogućnost izvođenja pojedinačne simulacije koja služi u svrhu provjere kreiranog modela i da li su svi elementi postavljeni ispravno. Da bi se dobio model sličan realnosti, pokreće se cjelokupna simulacija. Zbog same prirode željezničkog saobraćaja, vozovi imaju veliki uticaj jedni na druge i taj uticaj se ispituje pomoću ovih simulacija. Kašnjenje jednog voza će najvjerovatnije izazvati kašnjenje drugog i nekog sljedećeg, sve u zavisnosti od planiranog reda vožnje. Ovakvi softveri prikazuju takve slučajeve i mogu uzeti u obzir promjenu rute vozova kako bi se kašnjenje što brže riješilo. Prikaz odvijanja simulacije je

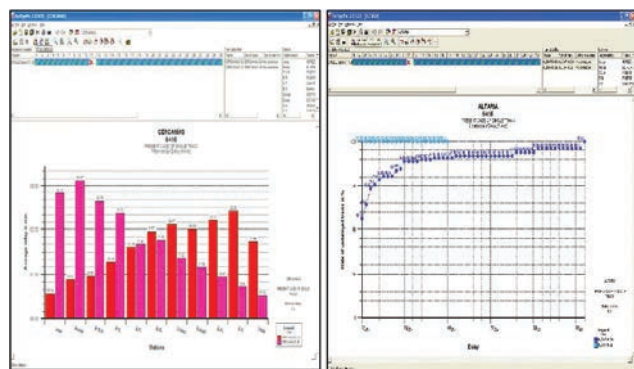
dat na slici 3. Numeričkim brojevima je označeno: 1) simulaciono vrijeme; 2) kašnjenja; 3) podaci o vozovima; 4) prikaz odvijanja simulacije sa svim vozovima i vremenima vožnji.



Slika 3. Primjer pokretanja simulacije u softveru

3.4. Evaluacija podataka

Veoma bitna stavka prilikom kreiranja modela je proučavanje povratnih informacija. Napomenuto je da čitanje takvih podataka obično obavlja osoba koja ima godine iskustva iz tog domena. U povratnim podacima koji mogu biti u obliku grafikona, raznih izvještaja i sl. mogu se vidjeti performanse simulacije. Dobijene podatke je moguće uporediti kako bi se izvršio izbor između više opcija. Rezultati mogu biti prikazani za cijelu mrežu, pojedinačne linije, stanice, samo za vozove i slično. Ta opcija je veoma bitna jer olakšava usredsređivanje na određeni parametar. Moguće je i prikupiti podatke kao što su: vremena polazaka i dolazaka, vremena kašnjenja, vremena bavljenja u stanicama, broj kašnjenja i slično. U prilogu su dati primjeri izvještaja nakon obavljene simulacije. Tačnije, dat je prikaz kašnjenja pri dolasku u svakoj stanici.



Slika 4. Prikaz izvještaja nakon odrađene simulacije

4. OPENTRACK

Program za simulaciju željezničkog saobraćaja na mreži pruga pod nazivom OpenTrack je razvijen sredinom devedesetih godina prošlog veka u okviru istraživačkog projekta Švajcarskog federalnog instituta za tehnologiju - Instituta za planiranje transporta i transportnih sistema [6, 7, 8, 9]. Cilj je bio razvijanje programa za simulaciju procesa na željeznici koji može da radi na različitim kompjuterskim platformama i može da odgovori na razne željezničke zahtjeve.

OpenTrack se može koristiti na sljedećim željezničkim sistemima:

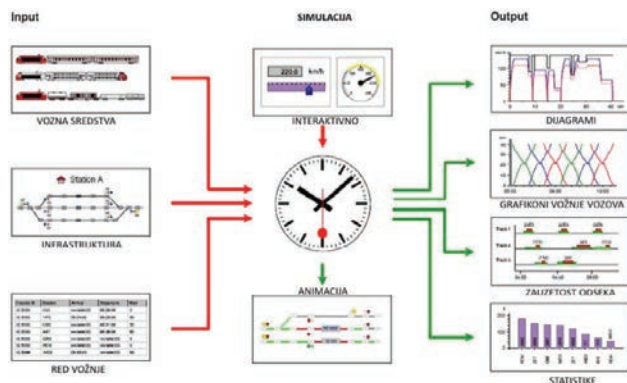
- vozovi velike brzine,
- međugradski saobraćaj,
- regionalni, prigradski i gradski saobraćaj,
- teretni vozovi (teški i dugi teretni vozovi),
- rudarska željeznica,
- podzemni gradski saobraćaj / metro,
- sistemi lakih šina,
- tramvajski saobraćaj,
- sistemi za prevoz putnika,
- željeznica sa zupčanicima / planinska željeznica,
- magnetska levitacija (Maglev, Transrapid).

Ovaj program omogućava obavljanje sledećih zadataka:

- izračunavanje vremena vožnji,
- izrada reda vožnje,
- analiza robusnosti i ostvarivosti reda vožnje (jedan ili više simulacionih serija; simulacija Monte Karlo),
- određivanje infrastrukturnih potreba,
- izračunavanje minimalnog slijeđenja vozova,
- planiranje faze sanacije i dionica smanjene brzine,
- analiza ponašanja postojećih, tj. budućih tipova vučnih vozila,
- analiza adekvatne upotrebe bezbjednosnih željezničkih sistema sa fiksnim dionicama, sa kratkim dionicama, sa dionicama promjenljive dužine, LZB, CBTC, ATP, ATO, ETCS nivo 1, ETCS nivo 2, ETCS nivo 3,
- ispitivanje ponašanja mreže u slučaju smetnji (npr. na infrastrukturi) i kašnjenja,
- proračun potrebne snage i potrošnje energije tokom vožnje,
- simulacija željezničke električne mreže.

Kao što je i do sada bio slučaj, ulazne podatke definiše korisnik. Tim podacima se upravlja preko tri modula: voznim sredstvima, infrastrukturom i pomoću reda vožnje. Simulacija se odvija tako što se unaprijed definisani vozovi kreću prema definisanoj pružnoj

situaciji prema uslovima koji su određeni redom vožnje. Nakon završetka simulacionog procesa dobijaju se izlazni podaci koji daju detaljan prikaz ulaznih podataka kroz razne dijagrame, grafikone i sl (Slika 5).



Slika 5. Šematski prikaz strukture simulacionog paketa

Strukturu softvera OpenTrack čine cjeline koje su već pomenute kao bitne stavke svakog simulacionog procesa, više o njima će biti u nastavku.

4.1. Vozna sredstva (lokomotive i vagoni):

Da bi se kompletirao jedan voz prilikom simulacije, potrebno je imati podatke o lokomotivama i vagonima koje ulaze u njegov sastav. Podaci o lokomotivama se čuvaju u bazi podataka koja se zove „Depot“ (Slika 6). Ova baza podataka već sadrži detalje o svim poznatijim tipovima lokomotiva, tj. njihove tehničke karakteristike. Tu spadaju: vučni dijagram, težina, dužina i adhezione vrijednosti. Korisniku je omogućeno da jednim klikom odabere tip lokomotive koja se koristi u modelu i samim tim je korak bliže odvijanju simulacije sa dobrim podacima. Ukoliko korisnik želi da ubaci nove vrijednosti lokomotive, postoji opcija i za to.



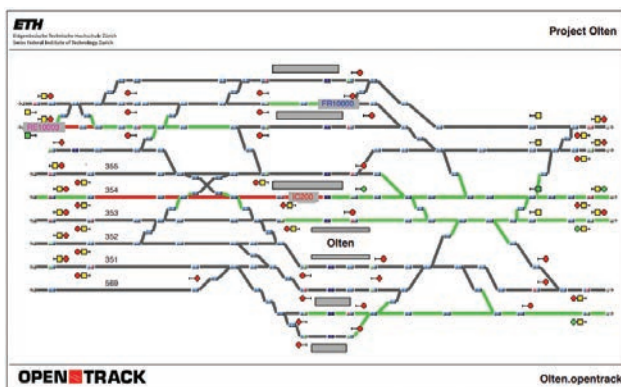
Slika 6. Prikaz tehničkih karakteristika vučnih sredstava

Željeznički vagoni nisu posebno definisani u softveru jer su za pokretanje simulacije potrebni samo podaci o njihovoj dužini i težini, tj. masi kompletnog voza. Prilikom odabira tipa lokomotive, broja vagona i njihove težine smatra se da je kreiran voz.

4.2. Podaci o kolosječnom stanju

Opis fizičkih parametara infrastrukture koja se koristi u simulaciji je neophodan, ako se žele dobiti vjerodostojni podaci. Ti parametri opisuju kolosječnu situaciju na mreži pruga. Oni obuhvataju elemente kao što su: dijelovi kolosjeka (označeni u aplikaciji kao „edges“), signali i stanice; kao i virtuelne elemente - vertekse („vertices“ - tačke promjene vrijednosti parametara) i rute.

Omogućeno je upravljanje kolosječnom situacijom koristeći se grafičkim prikazom. Korišćenjem editora za grafički prikaz i alata koji se nude u programu može se svakom kolosjeku dodijeliti dužina, nagib i maksimalna brzina. Svakoj tački preloma (verteksu) mogu se dodijeliti informacije poput imena, kilometarskog položaja na pruzi i promjene stanja. Važna karakteristika ovog programa je to što opisuje kolosječno stanje primjenom metode grafova sa dvostrukim tačkama preloma („Double Vertex grafs“). Primjena ovog tipa grafova omogućava lakše upravljanje podacima u programu. U nastavku teksta je dat primjer izrađenog kolosječnog rješenja za stanicu Olten u Švajcarskoj (Slika 7).

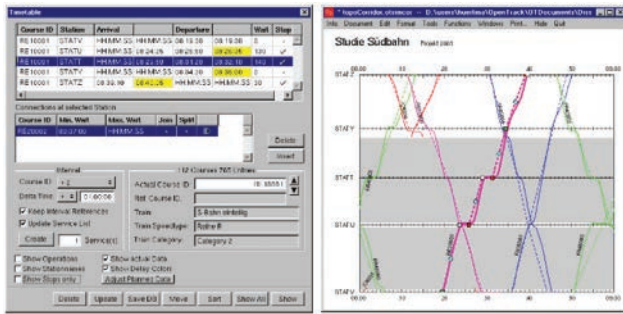


Slika 7. Primjer izrađenog staničnog rješenja u programu OpenTrack

4.3. Podaci o redu vožnje

Red vožnje se sastoji od informacija o kretanju vozova. Tu spadaju one o planiranim vremenima dolaska i polaska vozova, informacije o vezama vozova, minimalnim vremenima bavljenja u stanicama i informacije o presjedanju vozova. U OpenTrack - u se takvi podaci smještaju u dijelu „Timetable database“. Podatke o vremenima korisnik unosi sam ili povlači iz kompatibilnog programa sa OpenTrack- om, ukoliko je red vožnje već kreiran.

Korisnik može u svakom momentu da mijenja podatke u redu vožnje direktno u tabeli u tekstualnom formatu ili pomoću miša direktno u grafičkom prikazu reda vožnje. Tekstualni i grafički formati su prikazani na slici u nastavku (Slika 8).



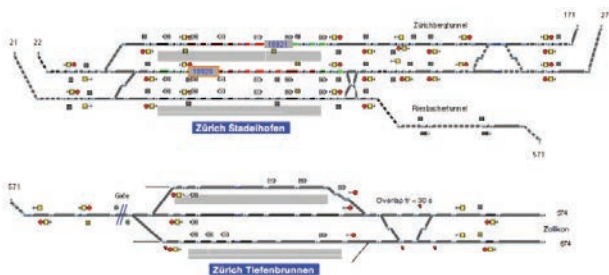
Slika 8. Izgled prozora za unošenje podataka u red vožnje

4.4. Simulacija

Kroz proces simulacije korisnik može da isprati kretanje vozova koje je kreirao na mreži pruga koju je takođe sam kreirao ili na već postojećem modelu. OpenTrack koristi mješovitu kontinualno - diskretnu metodu za modelovanje kretanja voza, što znači da je njihovo kretanje modelovano rješavanjem diferencijalne jednačine kretanja (kontinualni proces) u kombinaciji sa informacijama o stanju signalno - sigurnosnih uređaja (diskretni proces).

Pomoću diferencijalne jednačine kretanja izračunava se kretanje voza na osnovu najvećeg mogućeg ubrzanja za određeni vremenski period (stepen ubrzanja je određen karakteristikama voza i podacima o stanju pruge, kao što su maksimalna vučna snaga, otpor voza i nagib nivelete, poluprečnik krivine i maksimalno dozvoljene brzine). Vozovi poštuju red vožnje i kreću se prema njemu. Signalno - sigurnosni uređaji određuju pravila po kojima će se odvijati kretanje.

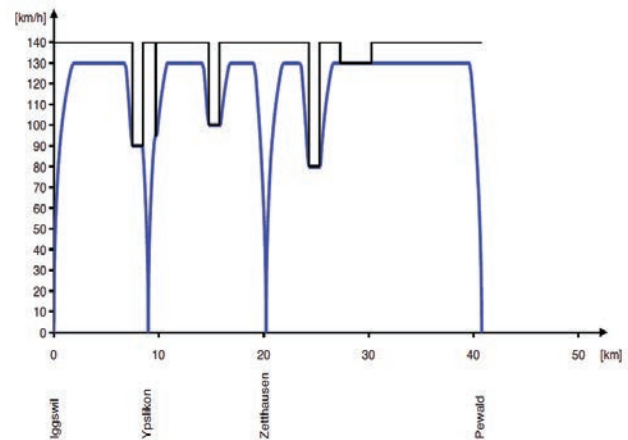
Na kretanje vozova utiču i signali koji kontrolišu stanje na pruzi. Na ponašanje vozova pri kretanju utiče još i zauzetost kolosjeka, vrijeme reagovanja signala ili stanje signala kada pokazuju zabranjenu vožnju. Tokom simulacije, svaki voz popunjava virtuelni tahograf (izlaznu datoteku), koji skladišti podatke kao što su ubrzanje, brzina i pređena udaljenost. Na kraju simulacije se ti podaci mogu vidjeti u obliku raznih izvještaja. Prikaz simulacije je dat na slici 9.



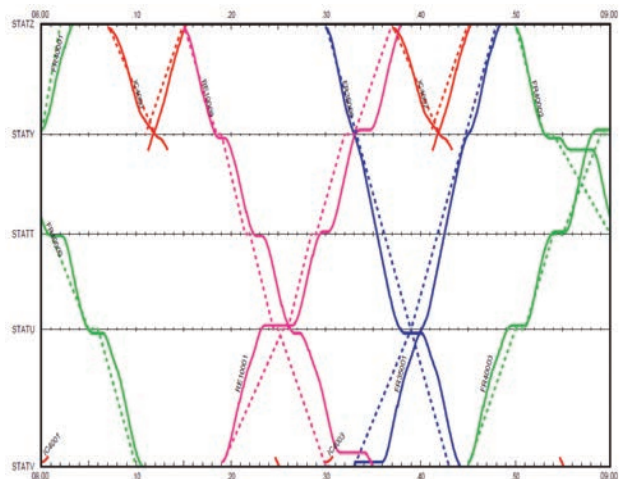
Slika 9. Prikaz pokrenute simulacije u OpenTrack programu

4.5. Izlazni podaci

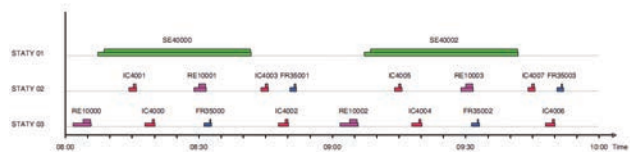
Nakon simulacije, OpenTrack nudi brojne evaluacije. Moguće su procjene voza, relacije ili stanice. Za vozove program nudi dijagrame kao što su ubrzanje u odnosu na udaljenost, brzina u odnosu na udaljenost i prepreke. Za relacije postoje izvještaji u obliku dijagrama kretanja voza, zauzetosti rute i profila. Za svaku stanicu je moguće dobiti izlazne podatke o svim vozovima koji su je koristili, uključujući vrijeme dolaska, zaustavljanja i polaska. Korisnik može prikazati izlazne podatke u dijagramu ili ih izvesti ili procijeniti u tabelama (Slike 10, 11 i 12).



Slika 10. Dijagram koji pokazuje odnos brzine i prijeđenog puta



Slika 11. Grafikon reda vožnje



Slika 12. Prikaz zauzetosti staničnih kolosjeka

5. TRENISSIMO

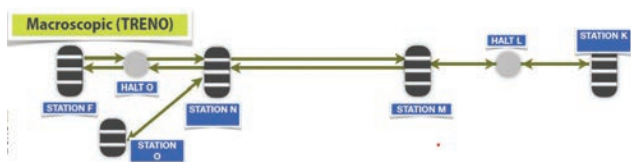
5.1. TRENO alati

TRENOLab kompanija pruža softverske i konsultantske usluge na polju željezničkog saobraćaja pomažući zainteresovanim klijentima u planiranju visokoeфикаsnih i pouzdanih redova vožnji, donošenju odluka za poboljšanje usluga koje pružaju i pronalaženju boljih rješenja [11, 12].

Paket koji je razvio TRENOLab se sastoji od tri pomoćna alata: TRENOAnalysis, TRENOPlus i trenissimo.

TRENOAnalysis je alat posebno dizajniran za pregled i analizu stvarnih i simuliranih podataka, pronalaženje kritičnih tačaka i izračunavanje pokazatelja pouzdanosti, predstavljajući ih pomoću širokog spektra dijagrama i statističkih podataka. Rezultati ovih analiza se mogu koristiti kao ulazni podaci za poboljšanje redova vožnje u TRENOPlus - u ili za stohastičku simulaciju željezničkih operacija koja se izvodi u trenissimo-u.

TRENOPlus je alat za kreiranje reda vožnje koji se koristi zarad integrisanja u ostale alate kako bi se vidjeli efekti koje on ostvaruje. Ova alatka integriše makro i mikropriступ preko modela mreže kako bi se omogućilo procjenjivanje vremena vožnji, bavljenja u stanicama i vremena čekanja. U zavisnosti od raspoloživog vremena i podataka, korisnik može slobodno odlučiti da koristi jednu od ove dvije alatke, pa čak i njihovu kombinaciju. U nastavku primjećujemo prikaz željezničke mreže koji uključuje rastojanje, relacije između stanica i same stanice.



Slika 13. Prikaz željezničke mreže makrotipa u TRENOPlus - u

Treća alatka odnosno trenissimo je razvijen sa posebnim ciljem da dobije realističniju simulaciju željezničkih operacija, kombinujući nove karakteristike i funkcionalnosti koje još uvijek ili samo djelimično nisu implementirane u postojeće alate. On koristi mikropriступ i sposoban je da razmotri mnoge faktore koji utiču na željezničke operacije. Jedna od najvažnijih inovacija je predstavljanje mašinovođe i dispečera kao subjekata koji voze vozove prema voznom redu i sistemu signalizacije

i kontrolišu ih na osnovu zadatih kriterijuma ili algoritama. Druga karakteristika je kontrola signala, kao i u realnosti. Treća je mogućnost da se u realnom vremenu razmotri uticaj broja putnika koji čekaju na peronu na vrijeme zadržavanja vozova i na taj način pravilno predstavi njihov efekat. U slučaju prikazivanja željezničke mreže kod ove alatke primjećuje se detaljniji pristup u odnosu na prethodnu. Ovde su uključeni signali, kolosjeci, ograničenja brzine i sl.



Slika 14. Prikaz željezničke mreže mikrotipa u trenissimo - u

5.2. Funkcije trenissimo alata

Trenissimo je zasnovan na iskustvu stečenom za nekoliko godina rada, a razvijen je sa posebnim ciljem da prevaziđe slabosti, dobivši alat koji:

- savršeno je integrisan u paket koji pokriva sve faze planiranja i to bez nedostatka premještanja datoteka među alatima;
- može se koristiti na svim računarima sa svim operativnim sistemima;
- kombinuje najveću tačnost sa razumnim vremenom izračunavanja, koristeći sve dostupne resurse;
- može ispravno prikazati bilo koji sistem za blokiranje i signalizaciju, uključujući sve aspekte signala i odgovarajuće ponašanje vozača;
- omogućava realno otpremanje vozova bez upotrebe spoljnih alata;
- predstavlja ljudski faktor i druge stohastičke komponente sa najvećom tačnošću, posebno u pogledu vremena zadržavanja i vremena vožnje;
- pogodan je za izvođenje stohastičke analize osjetljivosti uzimajući u obzir kombinovani uticaj više parametara;
- kompatibilan je sa standardnim formatom RailML;
- može pravilno razmotriti odnos između broja putnika i vremena boravka, posebno u visokofrekventnim uslugama.

Kao i prethodna rješenja za modeliranje i ovo ima dio gdje se unose ulazni podaci, pokretanje simulacije i izlazne podatke koji mogu biti u obliku raznih formi. Jasno je da program mora raditi sa validnim podacima kako bi vratio dobre izlazne podatke i kako bi sama simulacija imala smisla.

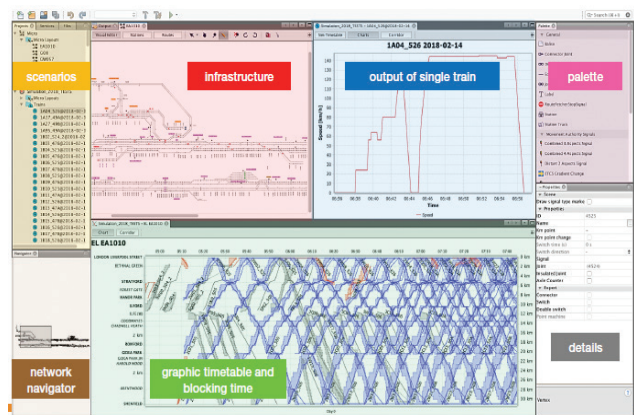
Ulazni podaci u okviru trenissimo alata su podijeljeni u 6 grupa (Slika 15):

1. Pravila: opšta pravila/postavke zemlje/mreže: vrste brzine, aspekti signala, napajanje.
2. Makroinfrastruktura: svaka stanica je predstavljena tačkom, a rute su formirane jednostavnim linijama koje ih povezuju. Ovakav prikaz željezničke mreže stvara savršenu kompatibilnost sa alatom za planiranje TRENOPlus i svi makromodeli su sačuvani u njemu.
3. Mikroinfrastruktura: mikrotip željezničkih mreža, kompletan raspored stanica, ograničenja brzine, sistem signalizacije.
4. Simulacijski podaci: dio mreže na kome se vrši simulacija.
5. Vozni park: tehničke karakteristike voznih sredstava.
6. Red vožnje: u vrlo jednostavnom formatu koji proizvodi TRENOPlus.

Trenissimo baš kao i prethodno pomenuti modeli koji rade na mikronivou modeliranja radi po principu unošenja ulaznih podataka iz domena voznih sredstava, infrastrukture i reda vožnje (Slika 17). Nakon unijetih neophodnih podataka moguće je pristupiti simulaciji. TRENO koncept je različit po tome što se sastoji iz tri posebne alatke. Iz TRENOPlus - a mogu se povući podaci koji se nalaze u kategoriji ulaznih podataka, zatim se prelazi na trenissimo u kome se odvija simulacija i nakon završene simulacije se vrši tumačenje podataka. Izlazne podatke je moguće pročitati u trenissimo - u, ali s obzirom na povezanost alatki, lako se mogu prebaciti u neku drugu.



Slika 17. Kreiranje željezničke mreže za pokretanje simulacije

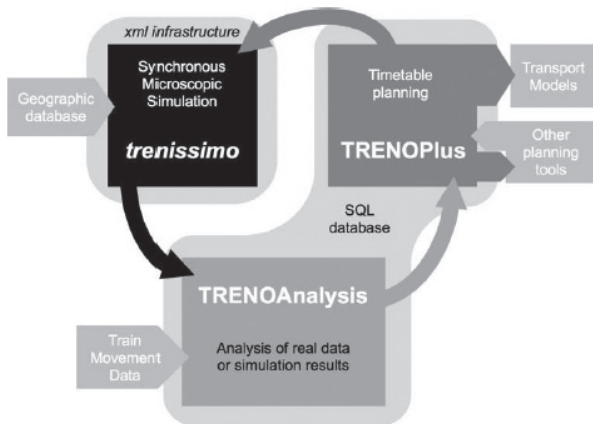


Slika 15. Radna površina u trenissimo - u

Kombinacijom ovih ulaza formira se projekat (Slika 16). Promjena u okviru bilo kojeg od njih će uticati na projekat, u smislu da se kreira novi. Interfejs programa je jednostavan za upotrebu i pregledan. Korisnicima omogućava lako korišćenje i mnoštvo opcija koje su tu da bi ispunile zahtjeve i kompleksnih projekata.

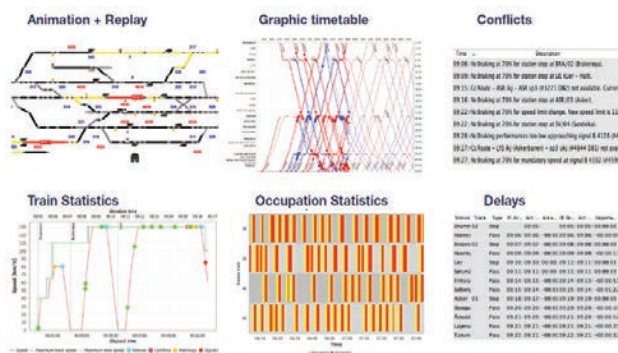
Grafički editor omogućava vrlo intuitivno uređivanje infrastrukture i pojednostavljuje kreiranje vozova. Daje najveću fleksibilnost u predstavljanju specifičnih karakteristika svake stanice i trase, bez nametanja upotrebe unaprijed definisanih blokova. Infrastrukturu je moguće povući u projekat iz datoteka RailML. Infrastruktura se može grafički urediti kao prevlačenje i ubacivanje elemenata ili uvesti kao tabela.

Kao i OpenTrack i ovaj alat reprodukuje željezničke operacije pomoću diskretne jednačine pomoću koje izračunava kretanja vozova na kontinuiran način. Jedna od ključnih prednosti trenissimo -a je da se i dispečer simulira: kao u realnosti. Dispečer uvijek kontroliše operacije: može donositi odluke na osnovu jednostavnih pravila ili složenijih algoritama.



Slika 16. Princip rada TRENO programa

Osim snimljene simulacije koja prikazuje vozove koji se kreću po mreži, uključujući i promjene signala, trenissimo daje klasične grafičke redove vožnje, statistiku i izlazne podatke. Prikaz ovih podataka može biti u raznim oblicima: tabela, dijagram, grafikon. Ovaj alat je veoma temeljan što se tiče izvještaja. Mogu se dobiti rezultati za jednu trasu, stanicu ili cjelokupnu željezničku mrežu. Razni su elementi koji se mogu ispitati: zauzeće kolosjeka, signali, mogući konflikti, vremena bavljenja u stanicama i dr. U daljem tekstu su prikazani tipovi izvještaja koji se mogu susresti u trenissimo -u (Slika 18).



Slika 18. Tipovi izvještaja u trenissimo - u

6. ZAKLJUČAK

Nagli rast korišćenja računara i pogodnost automatizacije željezničkih sistema doprinijeli su razvoju programa za modeliranje. Alati za simulaciju su prvo mogli simulirati manje mreže razmatrajući sve vozeve na deterministički način. Ovi alati su se uglavnom koristili kao podrška pri planiranju infrastrukture, a posebno za procjenu infrastrukturnih kapaciteta. Danas, ovakvi programi se koriste u razne svrhe kao što su:

- procjena pouzdanosti reda vožnje;
- upoređivanje performansi prilikom uvođenja promjena na modelu;
- procjena efekata sekundarnih kašnjenja među linijama i čvorovima;
- procjena efekata kašnjenja na usluge koje se pružaju;
- procjena kapaciteta koji se odnosi na date nivoe pouzdanosti.

U radu su pomenuti programi poput RailSys, OpenTrack i trenissimo. Svim ovim programima je zajednički mikropriступ simulacijama, odnosno pristup koji detaljnije prikazuje željezničku mrežu. Mikropriступ pokušava da oponaša saobraćajne procese u određenom vremenskom periodu. U njima se posmatra svaki voz individualno, koriste se podaci o parametrima pruge, aktuelni red vožnje, karakteristike voznih sredstava, signalno - sigurnosni uređaji itd.

Svaki od ovih programa ima svoje karakteristike i elemente po kojima je jedinstven međutim, ono što ih povezuje je princip rada. Potrebno je u program unijeti ulazne podatke poput infrastrukture, voznih sredstava i reda vožnje kako bi se simulacija mogla pokrenuti. S obzirom da se simulacija odvija po nekim pravilima, ulazni podaci moraju biti izuzetno jasni i precizni. Čak i najmanji propust bi mogao dati drugačije rezultate i takoreći bi se dobilo novo idejno

rešenje neke saobraćajne situacije. Izlazni podaci su poslednji korak simulacije i tu program vraća detaljne podatke o elementima koji su bili uključeni u proces razmatranja. Bitan je način na koji se ti podaci tumače i ekspertiza onoga ko ih proučava. Iskustvo igra ulogu i u odabiru vrste izlaznih podataka, u smislu da li se traže podaci za pojedinačne elemente projekta ili za cjelokupan.

Evidentno je da mogućnost prenošenja realne saobraćajne situacije na jedan od programa čini mnogo za razvoj željezničkog saobraćaja. Takav proces bi smanjio troškove, mogao povećati efikasnost sistema, pomogao pri donošenju pravih odluka rukovodstva, možda čak i donio neke nove ideje za posmatrani projekat.

LITERATURA

- [1] Čičak M: Modeliranje u željezničkom saobraćaju, Beograd, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 2003;
- [2] Jeremic D, Milinković S, Kasalica S, Simulating Train Dispatching: Logic with High-Level Petri Nets. Tehnički vjesnik 28 (2), 639-648, 2021;
- [3] Barber F, Abril M, Salido M. A, Ingolotti L. P, Tormos P, Lova A: Survey of automated Systems for Railway Management, DSIIC, p. 65, 2007;
- [4] Radtke A, Bendfeldt J. P: Handling of railway operation problems with RailSys, Institute of Transport, Railway Construction and Operation (IVE), p.9, 2001;
- [5] Rail Management Consultants International GmbH [http://www. https://www.rmcon-int.de/railsys-en](http://www.rmcon-int.de/railsys-en);
- [6] Heurilimann D, Nash A. B: OpenTrack - simulacija saobraćaja na željezničkoj mreži Verzija 1.9, Institute for Transport Planning and Systems, Zurich, Prevod na srpski jezik: Zorica Milanović;
- [7] Vuković M, Milinković S, Vesković S: Korišćenje simulacionog modela OpenTrack za analizu elemenata planiranog reda vožnje i za konstrukciju trasa reda vožnje, Željeznice, pp. 27-42, 2018;
- [8] Fischer U, Mirković S, Milinković S, Schöbel A: Possibilities for integrated timetables within the Serbian railway network. Facta

- universitatis-series, Mechanical Engineering 10 (2), 145-156; (2012);
- [9] Milosavljević M, Milinković S, Vesković S, Brnović I, Aćimović S: Analiza sistema BG voza primenom simulacionog paketa OpenTrack, Železnice, pp. 473-478, 2019;
- [10] Schöbel A, Aksentijević J, Hürlimann D: "Simulacija realnog rada mreže korišćenjem Kronekerove algebre (proizvod) za optimizaciju protoka saobraćaja", Železnice, pp. 165-173, 2017;
- [11] De Fabris S, Medeossi G, Montanaro G: Trenissimo: Improving the microscopic simulation of railway networks, Computers in Railways XVI, Vol. 181, pp. 199-211, 2019;
- [12] Veb sajt <http://www.trenolab.com>.

FILIP PEŠIĆ*, DUŠAN STAMENKOVIĆ**

SAVREMENO ODRŽAVANJE SKRETNICA ŽELEZNIČKIH PRUGA MODERN RAILROAD SWITCHES MAINTENANCE

UDK: 656.2+625.1/.55

REZIME:

Skretnice su deo železničke pruge koji je posebno značajan sa aspekta bezbednosti saobraćaja i zbog toga se održavanju skretnica posvećuje velika pažnja. Za efikasno održavanje važan je pouzdan monitoring stanja kako bi se utvrdili defekti u ranoj fazi. U radu je dat prikaz osnovnih defekata kod skretnica i opisani su postupci kojima oni mogu da se detektuju. Savremeni postupci dijagnostike defekata skretnica obuhvataju vizuelni pregled, geometrijska merenja i postupke za utvrđivanje dubinskih defekata ispitivanjem ultrazvukom i vrtložnim strujama. U poslednje vreme razvijaju se dijagnostički sistemi koji se ugrađuju u železnička vozila, koja su uključena u redovni saobraćaj i tako se može obezbediti kontinuirani monitoring stanja skretnica.

Ključne reči: šina, kvar, defekt, održavanje, železnička skretnica, pregled

SUMMARY:

Switches are a part of the railroad that is especially important from the aspect of traffic safety, and that is why great attention is paid to the maintenance of crossroads. Reliable condition monitoring is important for efficient maintenance to identify defects at an early stage. The paper presents the basic defects in switches and describes the procedures by which they can be detected. Modern procedures for the diagnostics of switch defects include visual inspection, geometric measurements and procedures for determining deep defects by ultrasound and eddy current testing. Latterly, diagnostic systems have been developed that are installed in railway vehicles, which are included in regular traffic, and thus continuous monitoring of the condition of switches can be provided.

Key words: rail, failure, defect, maintenance, railroad switch, inspection

* Filip Pešić, Univerzitet u Nišu - Mašinski fakultet, Niš, Aleksandra Medvedeva 14, filip.pesic1@masfak.ni.ac.rs

** Prof. dr Dušan Stamenković, Univerzitet u Nišu - Mašinski fakultet, Niš, Aleksandra Medvedeva 14, stamendu@gmail.com

1. UVOD

Najčešće opšte potrebe železničkih kompanija namejene postizanju poboljšano povraćaja investicija u područje RAMS-a (Reliability, Availability, Maintainability and Safety – pouzdanost, dostupnost, održavanje i sigurnost) mogu se opisati na sledeći način:

- smanjenje troškova održavanja uvođenjem praćenja stanja tamo gde je to tehnički i ekonomski izvodljivo kako bi se smanjio broj neophodnih aktivnosti preventivnog održavanja,
- smanjenje troškova održavanja koloseka primenom postupka optimizacije koji uzima u obzir troškove životnog ciklusa sve korišćene opreme i svih primenjenih aktivnosti održavanja, i koji pomaže u izboru najprikladnije aktivnosti održavanja i određivanju optimalnog intervala preventivnog održavanja. [1]

Skretnice se u opštem smislu posmatraju kao deo železničke pruge, tačnije gornjeg stroja, koji omogućuje prelaz svih tipova železničkih vozila, odnosno vozova, u oba smera, sa jednog na drugi kolosek, bez prekida vožnje.

Skretnice su jedan mašinski sistem koji je veoma bitan sa aspekta bezbednosti jer mala greška ili previd kod projektovanja, izrade, montaže ili održavanja može da ima katastrofalne posledice.

Železničku prugu čine osnovni elementi: donji stroj pruge i gornji stroj pruge. U užem smislu reči gornji stroj, odnosno ono što se naziva kolosek, sastoji se iz osnovnih elemenata i to: šina, pragova, kolosečnog pribora i zastora. U širem smislu gornji stroj obuhvata i druga postrojenja koja služe za saobraćaj vozila, kao što su skretnice, ukrštaji, okretnice, prenosnice, kolosečni triangli i petouglovi, kolske vage, skretnička i mostovska građa i dr. [2]

Vozila mogu prelaziti sa jednog koloseka na drugi preko skretnica, okretnica ili prenosnica. Celi vozovi mogu samo preko skretnica.

Zbog venaca na točkovima, prelaz na drugi kolosek mora da bude neprekidan, odnosno što kraći. Kolosek od kojeg se odvaja drugi kolosek zove se matični, a kolosek koji sa matičnog vodi u skretanje zove se odvojni kolosek. [3]

U okviru održavanja železničke infrastrukture posebna pažnja se posvećuje skretnicama jer su one uzrok mnogih vanrednih događaja. Održavanjem skretnica se bave i mnogi istraživači.

Hassankiadeh [4] opisuje najčešće defekte na skretnicama dobijene praćenjem kvarova na skretnicama 2009. godine na železnicama Ujedinjenog Kraljevstva. U studiji koju je realizovao, obrađeno je ukupno 2458 kvarova. Rusu [5] je za svoj doktorski rad, između ostalog, istražio i koji sve alternativni i savremeni komercijalni pristupi postoje u monitoringu skretnica. Popovićeva, Lazarević i Vilotijević ukazuju da su defekti usled zamora šinskog čelika, u zonama velikih kontaktnih napona pri kotrljanju točkova po glavi šine, izražen fenomen i problem na železnicama širom sveta i daju u svom radu [6] detaljniji mehanizam stvaranja nekoliko defekata takvog porekla, uz razradu detekcije tzv. unutrašnjih grešaka u šini metodama ispitivanja materijala bez razaranja: ultrazvukom i vrtložnim strujama.

Održavanje i obnavljanje desetina hiljada S&C (switches and crossing – skretnice i ukrštaji) sistema širom železničke mreže podrazumeva velike troškove. U 2009. i 2010. godini, menadžment železničke infrastrukture Ujedinjenog Kraljevstva (Network Rail), potrošio je 32 miliona funti na oporavak od kvarova S&C. Ukupni troškovi za samo 27 komada železničkih skretnica u periodu od 30 godina procene dostigli su 6 miliona evra u gradu Češka Lipa (severni region Češke). U Švajcarskoj je više od milijardu švajcarskih franaka, približno 25% budžeta za održavanje i obnavljanje železničkih pruga, iskorišćeno za S&C sisteme. Utvrđeno je da samo 5,5% pruge koju čini S&C od ukupne dužine šinske švedske železničke mreže košta više od 13% ukupnih troškova održavanja, a njihovi kvarovi prouzrokovali su 14% svih kašnjenja vozova. Statistike železnice od Zhuzhou-a do Hengiang-a u Kini pokazale su da je više od 40% ukupnih kvarova povezano sa kvarovima na S&C opremi. Pored toga, utvrđeno je da su održavanje i inspekcija S&C sistema činili oko 19% ukupnih troškova održavanja u Velikoj Britaniji, a u periodu 2011-2012. S&C sistem je koštao vlasnika železničke infrastrukture 24% ukupnog budžeta za održavanje koloseka i 23% budžeta za obnavljanje, dok istovremeno čini samo 5% ukupne dužine koloseka. [7]

U ovom radu je dat prikaz osnovnih defekata kod skretnica i postupci kojima se oni mogu da detektuju.

2. DEFEKTI KOD SKRETNICA

Defekti kod skretnica mogu se klasifikovati na osnovu elemenata gornjeg stroja pruge, kao i na osnovu prirode nastanka defekta i to:

- defekte usled zamora šinskog čelika u strukturi šine ili nekog drugog dela,
- defekte usled kontaktnog zamora šinskog čelika pri kotrljanju točkova po glavi šine,
- defekte od uticaja trenja,
- defekte usled plastične deformacije materijala.

2.1. Defekti usled zamora šinskog čelika u strukturi šine

2.1.1. Širenje defekta u strukturi šine u vidu bubrega

Pukotina kreće iz defekta koji se obično javio još u proizvodnji, a koji se sve više uočava tokom starenja. Velika koncentrisana statička sila ili progresivno pucanje vodi do ovakvog defekta u obliku bubrega (sl. 1). [4]



Slika 1. Širenje stradanja šine u vidu bubrega

Na osnovu kataloga šinskih defekata prema UIC Code 712 [8] naziv šinskog defekta je „kidney-shaped fatigue crack” i kao takav naziv, kao i većina ostalih naziva iz kataloga, se koristi zvanično na svim jezicima sveta u naučnoj i stručnoj literaturi bez prevođenja. [6]

2.1.2. Progresivni prelom u osnovi šine, koji se razvija u poprečnoj ravni

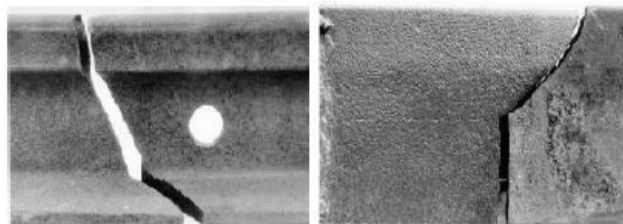
Poprečne pukotine se obično pokreću sa spoljne ivice stopala zbog habanja i / ili korozije na nosaču šine (sl. 2). Kao rezultat savijanja, uvijanja i zaostalih napona vrlo male donje pukotine stope mogu dovesti do potpunog preloma šina. [4]



Slika 2. Poprečna pukotina koja počinje od korozivne jame na donjoj strani stope

2.1.3. Pukotine duž stope šine

Smatra se da je defekt pukotine duž stope šine uzrokovan nepravilnim postavljanjem šine ili greškom u proizvodnji. Defekt obično započinje kao vertikalni uzdužni rascep, koji se može videti dalje od središnje linije stopala kada se verovatno otkida komad stope ili u blizini centralne linije stope, kada se ozbiljnija oštećenja dešavaju i dovode do potpunog preloma šine (sl. 3).



Slika 3. Prelom usled uzdužne pukotine. Levo: bočni pogled, desno: donja strana stope šine [4]

2.1.4. Polomljena potezna poluga mehanizma za preketanje

Koncentracija napona dovodi do mnogih problema, pa i do preloma potezne poluge (sl. 4). Asimetrična sila koja se javlja kao rezultat pomeranja mehanizma ili zamor materijala usled otvaranja i zatvaranja poznati su kao glavni uzroci kvara. Treba što je pre moguće ugraditi zamensku polugu ili nosač odgovarajućeg tipa. Ovo može zahtevati blokadu koloseka.



Slika 4. Polomljena potezna šipka mehanizma [4]

Ovaj defekt se može sprečiti/odložiti primenom vezne ploče koja eliminiše koncentraciju napona. Jedno takvo konstrukcijsko rešenje utvrđeno je u kompaniji Vossloh MIN Skretnice i prikazan je 3D model na slici 5.



Slika 5. Konstrukcijsko rešenje veznom pločom – 3D model [16]

2.1.5. Razdvajanje tzv. špica srca i dodatka

Zbog loše provere učvršćenja i zavrtnjeva srca, ili zbog plastične deformacije šine i efekata vučne sile, dolazi do razdvajanja glavne šine srca sa špicom i dodatne šine (sl. 6). Pre postavljanja novih delova, neophodno je pronaći i ispraviti osnovni uzrok razdvajanja šine i spojne šine.



Slika 6. Razdvajanje špica srca i dodatka [4]

2.1.6. Polomljeni vijci kod podložne ploče ili polomljena podložna ploča

Vijci se mogu slomiti kao rezultat prekomernih uzdužnih sila (klasičnog smicanja - τ s) koje deluju na skretnicu. Iz istog razloga, sama skretnica se može povući uzdužno.

Često će biti potrebno, ako je kolosek sa DTŠ (dugi trak šina), regulisanje razmaka za proširenje, ubacivanje dodatnog odstoynika i popravljanje učvršćenja šina.

Kada podložna ploča pogrešno leži na drvenom pragu, verovatno će doći do loma na osnovnoj ploči (sl. 7). Podložna ploča ne samo da neće moći da izvrši svoju konstrukcijsku funkciju kada se to dogodi, već može prouzrokovati štetu na nosećem drvetu. Iz tog razloga, trebalo bi je zameniti kada se uoči.



Slika 7. Polomljena podložna ploča [4]

2.2. Defekti usled zamora šinskog čelika pri kotrljanju točkova po glavi šine

Posebnu vrstu defekata predstavljaju šinski defekti usled kontaktnog zamora pri kotrljanju. Širom sveta, tako i na šinama u Srbiji, postoje dva osnovna tipa šinskih defekata usled zamora šinskog čelika pri kotrljanju točkova po glavi šine (RCF – Rolling Contact Fatigue): squat defekti i head checking defekti.

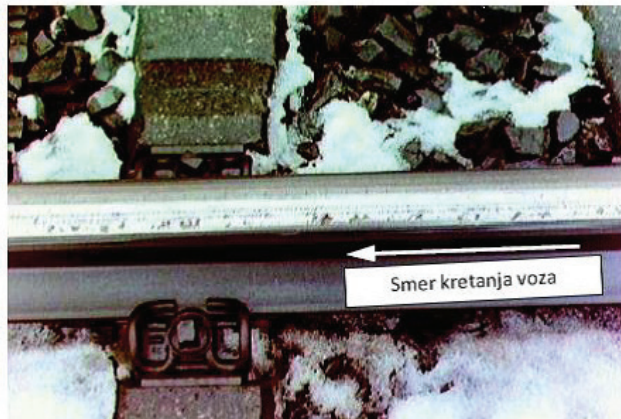
2.2.1. Defekt Head checking – HC

Ovaj defekt se javlja na spoljašnjoj šini u krivinama radijusa do 3.000 m, ali najčešće pri radijusima krivina do 1.500 m. HC defekt se uočava u vidu finih, kratkih, kosih, površinskih prslina na uglavnom pravilnom rastojanju, koje najčešće iznosi 1-7 mm. Pojava površinskih prslina ukazuje da ispod površine već postoje prsline, koje se prostiru do određene dubine i u određenom smeru unutar glave šine. Ukoliko se defekt ne otkloni na vreme, on napreduje dovodeći do odvajanja manjih ili većih delova vozne ivice na glavi šine. Razvijanjem prslina na dole, u krajnjem ishodu često dolazi do loma šine. [6]

U okviru standarda UIC 712, defekt se obeležava kodom 2223.

Neke od preporuka UIC su: držati šinu pod prismo-trom; brušenje šine u cilju sprečavanja ili odlaganja širenja defekta; uklanjanje/zamena šine u najkraćem

roku, ako nije moguće vraćanje kvaliteta šine na zadovoljavajući nivo.

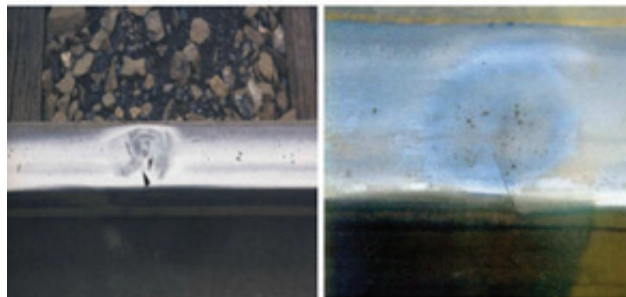


Slika 8. Greška 2223 kroz nekoliko primera

2.2.2. Defekt tipa Squat

Najčešća je ova vrsta defekta, koji karakteriše pojava mikropukotina ispod površine koloseka.

Pukotine u ulubljenju (sl. 9) nastaju usled velikog dinamičkog opterećenja koloseka od kotrljanja točka po šini, što dovodi do zamora materijala. U početku ove pukotine izgledaju kao mala tamna tačka. Zatim se povećavaju sa dna tačke i rastu pod plitkim uglom u uzdužnom smeru. Ponekad je rast pukotina ispod površine u pravcu ka mernom uglu koji je uobičajen kod pokretnih srca. Pukotine se konačno okreću vertikalno i na kraju mogu dovesti do pucanja šine. Najčešće se Squat pojavljuje na voznoj površini. [6]



Slika 9. Greška 227 kroz nekoliko primera [4]

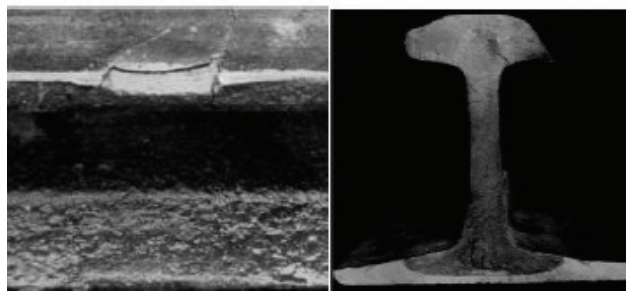
Zavarivanje je poznato kao uobičajeni tretman za ove defekte.

Defekt se obeležava kodom 227 prema UIC code 712.

2.3. Defekti od uticaja trenja

2.3.1. Ljuštenje jezička

Fine pukotine izazvane zamorom na kolosečnoj ivici šine izgledaju kao mreža na površini. Ove specifične pukotine ispod ugla profila dovode do izbijanja materijala (ljuštenja), slika 10. Sanaciono brušenje poznato je kao metod popravke.



Slika 10. Poprečno širenje pukotina krećući od ivice sa ljuštenjem [4]

2.3.2. Trošenje glave glavne šine

Obimno habanje glave (sl. 11) moglo bi dovesti do iskakanja šine ili do otkazivanja mogućnosti uklop-nika za tačno zaključavanje jezička i glavne šine.



Slika 11. Trošenje glave glavne šine menjalice skretnice od prilepljivanja jezička [4]

Popravno brušenje se predlaže u primarnoj fazi, a u nekim slučajevima ispravljanje.

2.3.3. Oštećenje vrha srca

Zbog nedostataka u odlivku ili kao rezultat udaraca zbog neadekvatnog vođenja šina vođica, pojavljuju se oštećenja na vrhu srca (sl. 12).



Slika 12. Oštećenje vrha srca ukrštaja [4]

U zavisnosti od oštećenja vrha, moglo bi se ono što štrči popraviti pomoću ugaone brusilice i navarivanjem ili zamenom skretničkog srca.

2.3.4. Suvi klizni jastučić (ploča) ili suva podložna ploča

Kada se pravilno ne podmazuju, klizni jastučići mogu da se osuše (sl. 13) i na klizajućem postolju može da se pojavi korozija.



Slika 13. Klizalice kompanije Voestalpine (levo) i suvi klizni jastučić (desno) [9]

Jednom kada se ovaj problem otkrije, na postolje treba naneti novo mazivo za stolice odmah. Pre raspodela postojećeg maziva preuzetog sa drugih

klizalica (sklop klizne ploče) takođe može biti opcija u rešavanju problema pre nego što je funkcija skretnice obustavljena.

2.4. Defekti usled plastične deformacije materijala

2.4.1. Defekt zbog tečenja

Defekt zbog tečenja se odnosi na plastičnu deformaciju glavne šine (u blizini jezička) usled cikličnih opterećenja i visokih naprezanja. Tečenje materijala šine često se pojavljuje na nižoj šini u oštrim krivinama. To bi moglo rezultirati smanjenjem širine profila. Generalno, tečenje i formiranje tzv. usana (sl. 14) obično se javljaju u različitim varijantama.



Slika 14. Stvaranje usne [4]

U takvoj situaciji predlaže se popravljanje brušenjem kao reparacija.

2.4.2. Oštra gazna ivica

Oštra ivica se najčešće pojavljuje na jezičku. To dovodi do iskakanja točka šina, odnosno voza iz koloseka. Pored toga, kao rezultat udara točka, može se stvoriti deformisani „nos”, što dovodi do promene mere gabarita kontrolne šine, posebno kada je opušten vijak. Oštre uglove treba ukloniti brušenjem.



Slika 15. Jezičak sa oštrom gaznom ivicom

2.4.3. Polomljen stalak mehanizma za prekretnje

Pre postavljanja stalka, glavna šina mora biti pravilno postavljena na kliznu ploču. Ako ovo nije pravilno urađeno, stalak postaje sve nestabilniji nakon što je

više puta podvrgnut smičućoj i zateznoj sili, a krajnji rezultat će biti polomljen stalak.

Zamenu polomljenog stalka trebalo bi preduzeti odmah nakon otkrivanja.



Slika 16. Polomljen stalak

3. ODRŽAVANJE SKRETNICA

Redovno održavanje koloseka sprovodi se uglavnom u fiksnim intervalima (periodično/ redovno održavanje) i ono se sastoji od pregleda i saniranja/ otklanjanja defekata. Ovi fiksni intervali su različiti u trajanju, u zavisnosti od nivoa i vrste upotrebe predmeta održavanja, kao i od politike kompanije, npr. dve nedelje u tzv. Centralnoj Japanskoj Železničkoj Upravi, šest nedelja u Londonskoj Podzemnoj Železnici itd. [5]

Pravilnikom o tehničkim uslovima i održavanju gornjeg stroja železničkih pruga [17] definisano je održavanje i utvrđeni su rokovi pregleda i merenje skretnica i dilatacionih sprava, na Železnicama Srbije. Za skretnice na otvorenoj pruzi i na glavnim staničnim kolosecima, propisan redovni pregled merilima je jednom mesečno, a vizuelno uz upotrebu čekića jednom nedeljno. Za sve ostale skretnice i dilatacione sprave, propisan redovni pregled merilima je na svaka tri meseca, a vizuelno uz upotrebu čekića jednom mesečno.

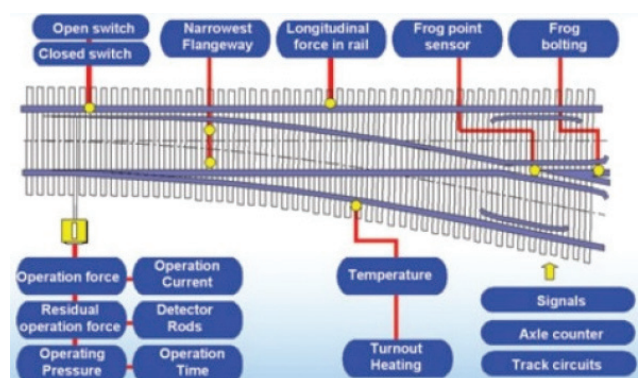
3.1. Kontrolni pregled skretnica

Delovi skretnice, koji su predmet kontrolnih pregleda (merne tačke), su:

- nadgledanje područja kontakta jezička i glavne šine,
- nadgledanje otvaranja menjalice u jednu od strana,
- nadgledanje potezne šipke menjalice ili sistema završavanja menjalice,
- nadgledanje minimalne udaljenosti između jezička i glavne šine, kada je skretnica otvorena na toj strani gde su te dve šine,
- direktno merenje sile potrebne za svaku pojedinu operaciju skretnica,

- zaostali napon u menjalici ili na poluzi (zadržavajuća sila),
- struja i vreme potrebno za rad menjalice,
- nadgledanje pritiska potrebnog menjalici za rad,
- nadgledanje položaja detektora,
- nadgledanje udara na srčištu, ukazujući na habanje šine vođice ili krilne šine,
- nadgledanje sila prednaprezanja vijaka, naročito kod srca,
- uzdužne sile u šini,
- temperatura šine i temperatura okoline.

Jedan od savremenih pristupa celokupnoj kontroli ispravnosti skretnice preko senzora, postavljenih na mernim tačkama, razvila je austrijska kompanija Voestalpine. Lokacije mernih tačaka na skretnici su ilustrovane na slici 17.



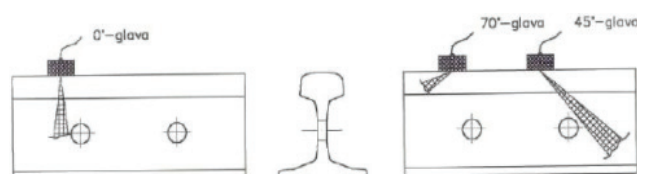
Slika 17. Položaj mernih tačaka na skretnicama, monitoring sistem VAE ROADMASTER 2000 [9]

Što se tiče defekata šina, oni se mogu klasifikovati na površinske i dubinske. Iako većina unutrašnjih defekata daje neke spoljne indikacije o njihovom prisustvu, ipak je moguće da se vizuelnim pregledom ne mogu dovoljno pouzdano da utvrde.

Zbog toga se unutrašnji nedostaci utvrđuju primenom ultrazvučne detektoskopije i ispitivanjem vrtložnim strujama.

3.1.1. Kontrolni pregled ultrazvukom

Ultrazvučno ispitivanje se zasniva na sposobnosti prodiranja ultrazvučnih talasa kroz materijal i odbijanja od raznih nehomogenosti (sl. 18).



Slika 18. Ultrazvučno ispitivanje materijala šine [11]

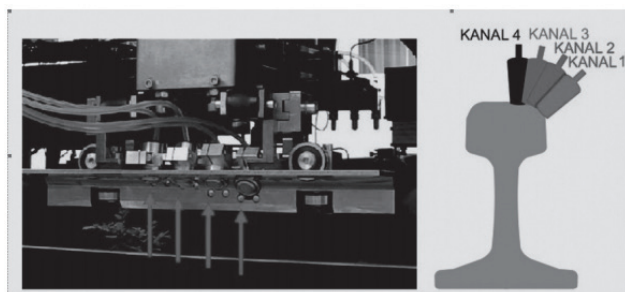
Ovaj metod nije primenljiv za pregled površinskih prslina na malom rastojanju i pod malim uglom u odnosu na gornju površ glave šine. Takođe, ovaj metod ne može da pruži precizno merenje u uzanoj zoni vozne ivice na glavi šine [6].

Radi povećanja verovatnoće otkrivanja pod-površinskih šinskih defekata, u praksi se kombinuju mogućnosti površinskog testiranja šine pomoću vrtložnih struja sa zapreminskim testiranjem pomoću ultrazvuka.

Kombinacija ultrazvučnog pregleda i pregleda na bazi vrtložnih struja povećava verovatnoću ranog otkrivanja RCF defekata. To je način za otkrivanje većine, ali ne i svih RCF defekata.

3.1.2. Pregled vrtložnim strujama

Procedura pregleda pomoću vrtložnih struja (Eddy Current – EC u daljem tekstu) je zasnovana na elektromagnetnoj interakciji između magnetnog polja sonde za testiranje i struja indukovanih u metalu. Promene u raspodeli i intenzitetu vrtložnih struja nastaju usled nehomogenosti površine i potpovršine šinskog čelika. Ove promene se koriste za određivanje dubine prslina. EC pregled šine ima sledeće prednosti: rano otkrivanje inicijalnih prslina (dubina 0,2 mm), detekcija prslina ispod površi glave šine, prenosivost uređaja za testiranje, nema potrošnog materijala, trenutno očitavanje izmerenih rezultata, moguća integracija uređaja u merna kola. Vozila su opremljena osmokanalnim uređajima za ispitivanje šina pomoću vrtložnih struja (sl. 19). U upotrebi su i ručni uređaji za ispitivanje RCF šinskih defekata pomoću vrtložnih struja. [6].



Slika 19. Pregledno vozilo sa osmokanalnim uređajima na bazi vrtložnih struja integrisani u vozilo i položaji sonda [6]

Nije moguće merenje ugla napredovanja prslina u odnosu na gornju površ glave šine primenom EC metode.

Dubina defekta može da se izračuna samo indirektno merenjem dubine prslina i ugla

napredovanja prslina ili ugradnjom EC uređaja u voz koje se već koristi i za brušenje. Ugao se može odrediti na probnom polju kombinovanjem brušenja i EC testiranja. Na osnovu dugog perioda istraživanja, za izračunavanje dubine HC defekta mogu se koristiti vrednosti ugla u širokom rasponu od 15° do 30°. Ovo je ozbiljan nedostatak pregleda EC metodom jer se dubina defekta može meriti samo indirektno.

Ispitivanje pomoću vrtložnih struja može da otkrije bilo kakve nepravilnosti na površini šine, koje su izazvane promenama u čeliku. Moguće je dokazati većinu površinskih nedostataka koji imaju uticaj na bezbednost u saobraćaju. Međutim, teško je da se jasno filtrira EC signal zbog efekta preklapanja signala. Kombinacijom vizuelne detekcije, ultrazvučne metode i metode na bazi vrtložnih struja, kvalitet i pouzdanost informacija se povećava značajno.

3.2. Monitoring i upravljanje defektima

Skretnice imaju veoma složenu strukturu, koja zahteva ne samo veliki broj komponenata (kao što su klasične šine, šine vodice, jezičci, vezice, odstoynici, pragovi, podložne i klizne ploče, stolice itd) već i različite vrste elektro-mehaničkih uređaja za upravljanje skretnicama. [1] Ova složenost železničkih S&C sistema čini ih ranjivim na kvarove, koji na kraju mogu prouzrokovati kašnjenja, čak i fatalne nesreće. [7] Stoga je neophodno razvijati odgovarajuće tehnike praćenja stanja za bavljenje otkrivanjem i dijagnozom grešaka (Fault Detection and Diagnosis - FDD) u S&C sistemima.

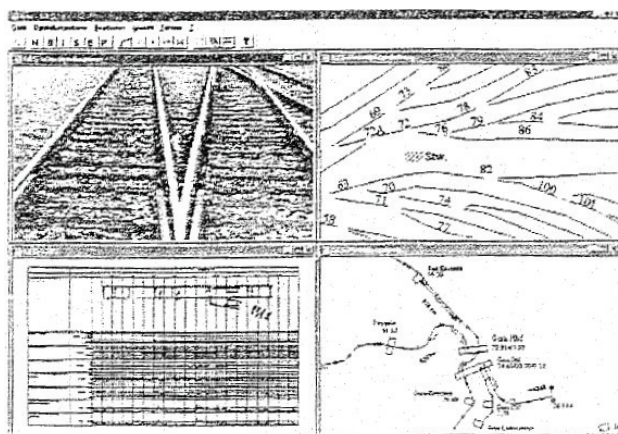
Nadgledanje železničke infrastrukture (Rail Infrastructure Management - RIM) predstavlja jednu od najvažnijih tačaka sistema. [15]

Razlog praćenja je obično dvojak. Prvi razlog je neposredno otkrivanje nepravilnosti koje bi mogle ugroziti sigurnost i pouzdanost železničkog saobraćaja. Međutim, ako je nadzorna tehnika kontinuirana i dovoljno brza da vrši uzastopna nadgledanja u redovnim vremenskim intervalima, dobija se izuzetno važan vremenski aspekt dijagnostike defekata koji je od suštinske važnosti za uspešan rad. To znači da bi takva tehnika nadzora mogla vremenom uvideti ponašanje elementa infrastrukture, a ovo bi moglo omogućiti predviđanje stanja i posledično planiranje održavanja. Ovaj koncept obično predstavlja krajnji cilj bilo kog praćenja stanja.

Savremeno održavanje skretnica železničkih pruga

Pored sofisticiranog vozila za merenje i pregled, takođe se radi sa ručnom opremom za sprovođenje važnih merenja geometrije šine i šinskog pregleda S&C. Oprema za S&C meri, beleži i predstavlja geometriju šine i parametre skretnice kao što su: profil, superelevacija, uvijanje, rad mehanizma za preokretanje i rastojanja. Prenosna oprema prvenstveno se koristi za pregled kritičnih mesta poput zavarenih spojeva, jezičaka i šinskih sastava.

Nakon što se prikupe svi podaci sa različitih uređaja za nadzor, obrađuje ih i prikazuje softver, npr. SwitchView (sl. 20). [6]



Slika 20. Primer iz SwitchView softvera [6]

Cilj SwitchView-a je da objedini sve različite podatke prikupljene o S&C u jedan sistem i da ih predstavi upravljaču (menadžeru) infrastrukture na očigledan i „user-friendly“ način, kako bi olakšao donošenje odluka o upravljanju održavanjem S&C.

4. PRIMERI SAVREMENIH DIJAGNOSTIČKIH SISTEMA ZA MONITORING SKRETNICA

Uređaji za dijagnostiku stanja se mogu podeliti na mobilna merna sredstva/uređaje i stacionarna merna sredstva na samom koloseku.

4.1. Mobilni uređaji za monitoring skretnica

Mobilni uređaji za monitoring skretnica su ugrađeni na specijalna železnička vozila koja vrše pregled koloseka i S&C tokom kretanja.

Eurailsout-ova SIM (Switch Inspection & Measurement) kola (sl. 21) mogu biti prikačena za voz, sa sistemom za pregled skretnica sa kamerama za vizuelni pregled i mernim sistemom za geometrijska merenja.



Slika 21. SIM kola, Eurailsout [9]

Sistem za pregled skretnice ima 8 CCD kamera koje se koriste za sinhrono snimanje video- snimaka S&C pod različitim uglovima. Snimak se može ručno pregledati van mreže sa stola u kancelariji i određene greške se mogu automatski identifikovati obradom slike.

Sistem za merenje skretnice uključuje laserski merni sistem koji koristi princip triangulacije i inercijsku mernu jedinicu (IMU). Laseri mere profil šine na svakih 20 mm dok se kola guraju ili vuku vozom brzinom od 40 km/h. Može se izračunati sledeće: širina koloseka, zazori i horizontalno i vertikalno habanje.

ZETA-TECH-ovo vozilo (sl. 22) za automatski pregled skretnice ASIV (Automatic Switch Inspection Vehicle) je u stanju da ispita fizičke dimenzije skretnice na sličan način kao Eurailsout-ov SIM.



Slika 22. ASIV vozilo, ZETA-TECH [9]

ASIV je opremljen parom jedinica za optičku kontrolu i analizu šina ORIAN™ (Optical Rail Inspection and Analysis), sistem zasnovan na laseru koji proizvodi KLD Labs.

Loccioni-ev FELIX robot (sl. 23), sposoban je da izmeri profil šina, kao i dimenziju skretnice ili ukrštaja. Na mesto merenja se donosi u delovima i tamo montira. Brzina kretanja ovog robota je 5 km/h i može meriti većinu parametara šine, uključujući pohanost, širnu kanala između vođica skretnice i širinu koloseka sa tolerancijom 0,1 mm. Ovaj uređaj se koristi na mnogim železnicama Evrope.



Slika 23. FELIX robot [9]

Pored prethodno spomenutih specijalizovanih vozila ili vozova sa opremom za kontrolu ispravnosti i praćenje parametara, postoje i sistemi koji su praktični za ugradnju u bilo koji putnički voz.

Primer takvih sistema je RILA-sistem, koji je prvobitno razvio Raildata. To je kompaktan merni sistem koji se lako može pričvrstiti na kraj putničkih vozova i meriti apsolutnu geometriju koloseka, čak i kada se kreće preko skretnica ili ukrštaja. Sistem koristi kombinaciju senzora uključujući GPS, akcelero-metre i linijske lasere i svi potrebni geometrijski parametri mogu biti dostupni sa relativno visokom preciznošću. Sistem je prvi put korišćen 2009. godine u Holandiji, a 2013. godine uspešno je isproban na železnici u Britaniji.

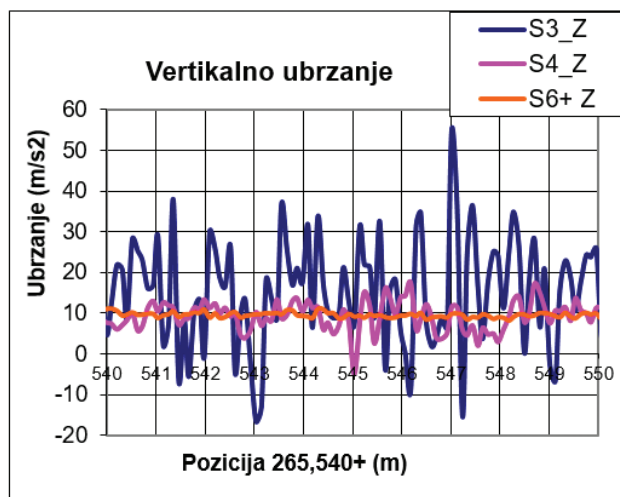


Slika 24. Rila-sistem ugrađen kod putničkog voza [9]

Slično principu RILA-sistema, koji se može instalirati na bilo koje šinsko vozilo za pregled koloseka i samih skretnica i ukrštaja, istraživački tim Mašinskog fakulteta u Nišu je razvio mernu opremu u saradnji sa kompanijom EUROgenyx iz Niša i sproveo istraživanje dinamičkog ponašanja lokomotive u odnosu na položaj lokomotive na pruzi

i njenu trenutnu brzinu. [12] Ovakav merni sistem u kombinaciji sa stereo kamerama mogao bi da detektuje oštećenja na skretnicama koje izazivaju povećane vibracije na obrtnom postolju i sanduku lokomotive.

Na lokomotivi je postavljeno šest troosnih senzorskih modula u tri nivoa (kućište osovinskog ležaja, ram obrtnog postolja i sanduk lokomotive). GPS prijemnik je postavljen na krov lokomotive. Računar za akviziciju podataka postavljen je u kabini lokomotive (slika 25a). Prikaz vibracija na određenoj deonici pruge od 10 metara prikazan je na slici 25b.

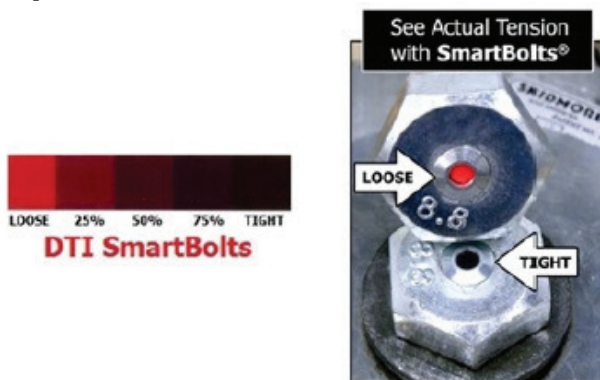


Slika 25. Šema pozicije akceleratorских senzora [12]

4.2. Stacionarna merna sredstva za praćenje rada na koloseku

Primeri stacionarnih mernih sredstava za praćenje rada na koloseku, odnosno na skretnici, koja su već u komercijalnoj upotrebi opisana su u narednom tekstu.

SmartBolts indikatori napreznja američke kompanije Stress Indicators Inc, na vijcima i klinovima. Boja indikatora se linearno menja sa veličinom napreznja u zavrtnju što omogućava laku identifikaciju kada je napreznje u zavrtnju značajno smanjeno. Kompanija proizvodi zavrtnje različitih kvaliteta čelika u rasponu od 4.8 do 10.9.



Slika 26. The SmartBolt indikator napreznja

Pametna vijčana podloška kompanije Smart Component Technologies Limited – samoodrživa je podloška koja je u stanju da bežično prenosi informacije o trenutnom napreznju, a samim tim i o stanju vijčanih spojeva. Kompanija odnedavno radi na uređaju za prikupljanje vibracione energije u svoju „pametnu podlošku“, što daje mogućnost razvoja uređaja za tzv. „namontiraj-i-zaboravi“.

CCD kameru montiranu iznad koloseka su razvili Tehnološki univerzitet u Luleu i švedska saobraćajna uprava (Trafikverket). Kao odgovor na potrebu za S&C inspekcijom, Asplund M. i njegove kolege su razmatrale pregled železničkih S&C-a pomoću fiksne CCD kamere postavljene na kontaktnom vodu iznad skretnice ili ukrštaja, što je predstavljeno na svetskom kongresu o istraživanju na železnici, u Sidneju, 2013. Zaključio je da su mogućnosti zumiranja i nagiba poželjne kako bi se uradili snimci dobre rezolucije različitih delova S&C-a. Vrste inspeksijskih zadataka koje obavlja ovakav sistem su uglavnom vizuelne prirode, dok su mereni inspeksijski zadaci takođe mogući u zavisnosti od performansi kamere. Izmereni zadaci mogu uključivati širinu koloseka, razmak u nekom od kanala S&C za precizno vođenje točka voza i otvaranje jezičaka menjalice skretnice.



Slika 27. Prototip CCD kamere montiran na nadzemnoj liniji (levo) i uzorak slike (desno)

5. ZAKLJUČAK

Skretnice na pruzi su vrlo važni infrastrukturni element železničkog sistema, s obzirom da su najosetljiviji uzimajući u obzir mogućnosti na koje sve načine može doći do kvara. Monitoring, koji predstavlja važan deo u održavanju, potrebno je da bude što detaljniji i pouzdaniji, sa što manje uticaja subjektivne ljudske dijagnostike.

Troškovi održavanja imaju izuzetan uticaj na donošenje odluka u preduzimanju mera i ulaganje u održavanje, naročito preventivno. Međutim, instaliranje što više mernih sistema u putničke vozove, koji po nekoliko puta dnevno voze istom trasom, smanjilo bi troškove održavanja i monitoringa, dugoročno gledano. Dobijanje podataka o izmerenim parametrima biće na taj način brže, sa znatno većim brojem ponovljenih merenja i za više skretnica u kratkom vremenu, što omogućuje pouzdanije praćenje, donošenje odluka i brži rad na razvoju savremenog i automatskog održavanja, sa sve većom preciznošću i u skladu sa razvojem tehnologije i skretnica.

LITERATURA

- [1] Esveld C: Modern Railway Track, 2nd Edition, Railway Engineering, Delft University of Technology, The Netherlands, 2001;
- [2] Milojković T: Gornji stroj železnica, Zavod za novinsko-izdavačku i propagandnu delatnost na jugoslovenskim železnicama, Beograd, 1990;
- [3] Stehlik V: Gornji stroj železnica, Štamparsko preduzeće JŽ, Subotica, 1952;
- [4] Hassankiadeh S. J: Failure Analysis of Railway Switches and Crossings for the purpose of Preventive Maintenance, Master rad, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2011;
- [5] Riley J. E: American Railway Engineering and Maintenance of Way Association – Practical Guide to Railway Engineering - Basic track, Arema Committee 24, Chicago, 2003;
- [6] Popović Z, Lazarević L, Vilotijević M: Upravljanje šinskim defektima usled zamora materijala, Izgradnja 70 9-10, pp. 277-286, 2016;
- [7] Hamadache M, Dutta S, Olaby O, Ambur Sankaranayanan R, Stewart E, Dixon R: On the fault

- detection and diagnosis of railway switch and crossing systems: an overview, Applied Sciences, vol. 9, no. 23, 5129, 2019;
- [8] UIC Code 712, Rail defects, 2002;
- [9] Rusu M. F: Automation of Railway Switch and Crossing Inspection, Electrical and System Engineering, Doktorska disertacija, Birmingham, 2015;
- [10] The Contact Patch, <https://the-contact-patch.com/book/rail/r1603-switches>, 2020 (datum pristupa 02.11.2021) ;
- [11] Jemec V, Grum J: Automated Non-Destructive testing and measurement system for rails, 10th European Conference on Non-Destructive Testing, Moscow, 2010;
- [12] Stamenković D, Banić M, Milošević M: Possibility of railway track condition monitoring, Proceedings of 21st International Seminar "Track Maintenance Machines if Theory and Practice - SETRAS 2016", Žilina, Slovakia, pp. 119-125, 2016;
- [13] Becker R: Innovations and proven equipment at the iaf 2013, Plasser & Theurer, Export von Bahnbau-maschinen GmbH, Wien, 2013;
- [14] Majstorović A: Osnovi zavarivanja i lemljenja i lepljenja, Beograd, 1990;
- [15] Held V; Switches of the future, Voestalpine – One Step Ahead, 2019, <https://www.voestalpine.com/blog/en/innovation-en/switches-of-the-future/>, (datum pristupa 02.11.2021);
- [16] Vossloh MIN Skretnice DOO, Niš, 2015.
- [17] Pravilnik o tehničkim uslovima i održavanju gornjeg stroja železničkih pruga, Sl. glasnik RS, br. 39/2016 i 74, 2016

STEFAN SREDOJEVIĆ*, BRANISLAV BOŠKOVIĆ**

SLIČNOSTI I RAZLIKE UPRAVLJANJA RIZIKOM I OTPORNOŠĆU U ŽELEZNIČKOM SISTEMU¹

SIMILARITIES AND DIFFERENCES BETWEEN RISK AND RESILIENCE MANAGEMENT IN RAILWAY SYSTEM

656.2+314/316:32/34

REZIME:

Proces evropskih integracija, otvaranje železničkog tržišta i uvođenje konkurencije operatora na železničkim mrežama evropskih država stvorio je brojne izazove i uveo nove pojmove u regulisanju železničkog sistema i njegove bezbednosti. Između ostalih, rizik i otpornost sistema i upravljanje istim predstavljaju nove i ogromne izazove za učesnike železničkog sektora. I dok je upravljanje rizikom prošlo prvu fazu regulacije i implementacije u praksi, upravljanje otpornošću je na samom početku uvođenja u železničke sisteme. U radu su objašnjeni osnovni pojmovi i predstavljeni razlozi za uvođenje konceptata upravljanja rizikom i otpornošću, kao i sam proces upravljanja rizikom i otpornošću. Takođe, objašnjene su sličnosti i razlike ova dva koncepta, zatim nedoumice u njihovom tumačenju i primeni koje dovode do čestog brkanja ova dva pojma u praksi uz poseban osvrt na železnicu.

Ključne reči: rizik, otpornost, upravljanje, bezbednost, železnica

SUMMARY:

The process of European integration and liberalisation of the railway market with competition of operators on the railway networks of European countries has produced numerous challenges and introduced new concepts in the regulation of the railway system and safety. Among other novelties, the concept of risk and concept of resilience and management of them represent new and huge challenges for participants in the railway sector. While risk management has gone through the first phase regulation and implementation in practice, resilience management is at the very beginning of its introduction into railway systems. The paper explains the basic concepts and presents the reasons for the introduction of the concepts of risk and resilience management, as well as the process of risk management and resilience management. Also, the similarities and differences of these two concepts are explained, as well as the doubts in their interpretation and implementation which make frequent confusion of these two terms in practice with special reference to the railway system.

Key words: risk, resilience, management, safety, railway

* Stefan Sredojević, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, stefansredojevic09@gmail.com

** Prof. dr Branislav Bošković, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, b.boskovic@sf.bg.ac.rs

¹ Rad je nastao na osnovu dela istraživanja u okviru master rada „Upravljanje rizikom i otpornošću u transportu opasne robe“ koji je Stefan Sredojević odbranio na Univerzitetu u Beogradu – Saobraćajni fakultet pod mentorstvom prof. dr Branislava Boškovića.

1. UVOD

Stvaranje jedinstvenog evropskog železničkog prostora (single European railway area – skrać. SERA) predstavlja osnovni postulat nove evropske železničke transportne politike. U njenoj osnovi su slobodno železničko tržište, konkurencija prevoznika (operatora) na mreži i izgradnja interoperabilne železničke mreže. Uvođenje tržišnih odnosa zahtevalo je preuređenje, odnosno restrukturiranje kompletnog železničkog sektora, kako dotadašnjih, vertikalno integrisanih², železničkih transportnih kompanija, tako i nadležnih državnih institucija i međusobnih odnosa. Ulazak novih (privatnih) železničkih operatora zahtevao je i uvođenje brojnih novih procedura i mehanizama koji do tada nisu postojali. U području upravljanja bezbednošću železničkog saobraćaja uveden je novi pristup koji je zasnovan na konceptu upravljanja rizikom i otpornošću [1].

Koncept upravljanja rizikom definiše proaktivan pristup u cilju sprečavanja pojave neželjenih događaja, dok se koncept otpornosti zasniva na izgradnji sposobnosti železničkog sistema koji će moći da se odupre, apsorbuje, prilagodi i brzo oporavi od poremećaja u sistemu. U današnjem svetu čija je osnovna karakteristika globalizacija, odakle proističu brojni izazovi i izloženost jednog železničkog sistema različitim poremećajima nastalim bilo pod uticajem okruženja ili tržišta i njegovih učesnika, upravljanje rizikom i otpornošću predstavljaju ključne faktore za održavanje stabilnosti železničkog sistema.

Značaj upravljanja rizikom i otpornošću još je veći ako imamo u vidu rastuću tražnju za transportom i međuzavisnost železničkih mreža na jedinstvenom železničkom prostoru Evrope. Poremećaji u železničkom saobraćaju i transportu izazvani spolja (primer COVID-19 ili poremećaji izazvani sve češćim ekstremnim klimatskim promenama) ili iznutra usled različitih otkaza sistema ili nesrećama, sve će više potencirati upravljanje rizikom i otpornošću.

S obzirom da se radi o novim pojmovima na železnici ovaj rad ima za cilj da da osnovna tumačenja pojmova i konceptata upravljanja rizikom i otpornošću na železnici, kao i osnovne sličnosti i razlike u tumačenju i primeni ovih pojmova uopšte i na železnici.

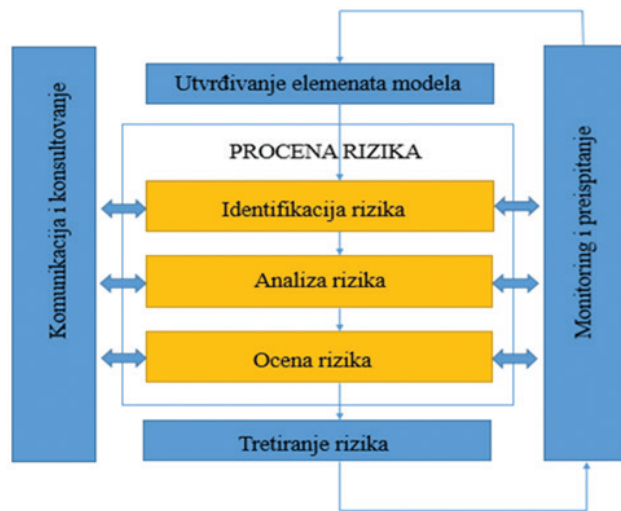
Strukturu rada čine poglavlje 2. u kojem je prikazana metodologija procene i upravljanja rizikom, poglavlje

3. u kojem je definisan pojam i procena otpornosti; poglavlje 4. prikazuje sličnosti i razlike između rizika i otpornosti; u poglavlju 5. predstavljen je koncept upravljanje bezbednosti u železničkom saobraćaju, dok su u poglavlju 6. dati zaključci rada.

2. POJAM, PROCENA I UPRAVLJANJE RIZIKOM

Većina ljudi voli sigurnost, ona ih ispunjava i čini spokojnim, ali apsolutna sigurnost ne postoji. Rizik se definiše kao mogućnost ostvarenja nepredviđenih i neželjenih posledica, odnosno trpljenja štete ili gubitaka. Rizik u sebi uključuje neizvesnost i opasnost kao dva osnovna elementa. Oksfordski rečnik definiše rizik kao “verovatnoću ili mogućnost nastanka opasnosti, gubitka, povrede ili druge štetne posledice”, odnosno kao “izloženost opasnosti” [2].

Prema standardu ISO 31000:2009 (International Organization for Standardization) rizik se definiše kao efekat neizvesnosti na poslovne ciljeve organizacije. To je efekat odstupanja od očekivanog ishoda nekog događaja koji može biti i u pozitivnom i u negativnom smeru [1]. Standard ISO 31000:2009³ je glavni standard u oblasti rizika koji daje opšta uputstva za implementaciju upravljanja rizikom u bilo kojoj organizaciji, za bilo koju vrstu rizika, bez obzira na njenu prirodu, na sistematičan, transparentan i verodostojan način i u okviru bilo kog okvira i konteksta. U njemu su definisani opšti principi, smernice, okvir i proces upravljanja rizikom (sl. 1) radi efektivnijeg ispunjenja planiranih ciljeva.



Slika 1. Algoritam upravljanja rizikom prema ISO standardu [2]

² U vertikalno integrisanom modelu organizacije železničkih kompanija funkcije upravljanja železničkom infrastrukturom i saobraćajem, operacije transporta robe i putnika, kao i upravljanje i održavanje železničkih vozila su organizovane kao interne celine u jednu (integrisanu) železničku kompaniju [3].

³ Ovaj standard je zapravo zasnovan na australijsko - novozelandskom standardu AS/NZ 4360:2004

Uopšteno govoreći, sledeća četiri osnovna elementa su potrebna da bi se rizik definisao kvalitativno i kvantitativno [1]:

- potencijalni uzrok opasnosti (ili uzroci kvara),
- opasnost,
- posledice,
- verovatnoća pojave.

Procena rizika omogućuje donosiocima odluka i odgovornim stranama bolje razumevanje rizika koji bi mogli uticati na postizanje ciljeva, kao i adekvatnost i efikasnost već uspostavljenih kontrola. Ona daje osnovu za izbor najboljeg pristupa koji će se koristiti za tretiranje rizika. Rezultat procene rizika je ulaz u procese donošenja odluka u organizaciji. Procena rizika je veoma subjektivan proces. Međutim, praćenjem određenih principa subjektivnost se može smanjiti na najmanji mogući nivo. Prema Zakonu o bezbednosti i zdravlju na radu [4] procena rizika jeste sistemsko evidentiranje i procenjivanje svih faktora u procesu rada koji mogu uzrokovati nastanak povrede na radu, oboljenja ili oštećenja zdravlja i utvrđivanje mogućnosti, odnosno načina sprečavanja, otklanjanja ili smanjenja rizika.

Procena rizika izloženosti određenim opasnostima je analitički proces kojim se identifikuju potencijalne opasnosti i posledice njihovih štetnih efekata, naročito po zdravlje ljudi. Iako su kvalitativne metode u prošlosti imale značajan doprinos u proceni rizika, ne umanjujući njihov značaj, treba napomenuti da se u poslednjih nekoliko godina težište procene rizika značajno pomerilo u pravcu kvantitativnih metoda. Ovu činjenicu najbolje ilustruje sve veća primena kvantitativnih metoda u kompanijama jer pružaju numeričke informacije koje su korisne u fazi planiranja, bilo strateškog ili operativnog.

Proces upravljanja rizikom obezbeđuje proaktivnu akciju za sprečavanje pojave neželjenih događaja. Proaktivno delovanje se zasniva na sistemskom i strukturisanom pristupu problemima, čija je svrha planiranje i predviđanje nastanka rizika, definisanje i usvajanje svih aktivnosti pomoću kojih se identifikovani rizici mogu kontrolisati na najbolji mogući način. U prošlosti, u mnogim oblastima, a posebno u transportu, postepeno poboljšanje bezbednosti bilo je posledica dragocenih iskustava i lekcija naučenih iz nesreća. Sprečavanje ponavljanja istih ili sličnih događaja regulisali su nadležni državni organi i vlada nareaktivna način, utvrđivanjem novih pravila ili normi kroz zakon ili podzakonskim aktima, kodeksom ili standardima. Razvoj metoda procene rizika i upravljanja rizikom omogućio je da se ove, po svojoj

suštini reaktivne, bezbednosne kontrole zamene savremenim proaktivnim i sistematskim pristupom upravljanja bezbednošću [2].

Upravljanje rizicima je važan aspekt naših života. Svi smo svakodnevno izloženi riziku i često upravljamo rizicima iako toga nismo ni svesni. Sve organizacije u obavljanju svojih delatnosti susreću se sa internim ili eksternim faktorima koji dovode do neizvesnosti da li i kada će biti ostvareni postavljeni ciljevi. Sve aktivnosti organizacije uključuju i postojanje rizika. Organizacija (preduzeće) upravlja tim rizicima tako što ih identifikuje (šta može loše da se desi), analizira (koja je verovatnoća da se desi loš događaj) i vrši evaluaciju (procena posledica lošeg događaja ili ozbiljnosti) i donosi odluke o postupanju sa njima.

Koncept upravljanja rizikom se primenjuje i na železnici. Izgradnja bezbedne, moderne integrisane železničke mreže jedan je od glavnih prioriteta EU. Železnice moraju postati konkurentnije i ponuditi visokokvalitetne usluge od početne do krajnje tačke bez ograničenja nacionalnim granicama. Agencija Evropske unije za železnice (ERA) je osnovana da pomogne u stvaranju ove integrisane železničke mreže jačanjem bezbednosti i interoperabilnosti. ERA je objavila uredbu 352/2009/EC o donošenju zajedničke bezbednosne metode za vrednovanje i procenu rizika [5] kojom je propisan postupak upravljanja rizikom. U aneksu ove uredbe dat je (kompleksan) algoritam upravljanja rizikom. Prema ovoj uredbi upravljanje rizikom sastoji se iz tri dela koji obuhvataju različite elemente ovog procesa. Ovi delovi odnose se na:

1. ocenu rizika:
 - definicija sistema,
 - identifikacija i klasifikacija opasnosti,
 - evaluacija rizika i njegovo prihvatanje;
2. definisanje bezbednosnih zahteva i upravljanje opasnostima;
3. nezavisno ocenjivanje.

2.1. Kvantitativna procena rizika

Kvantitativna procena rizika polazi od osnovnog obrasca [6]:

$$R = P \times C$$

gde je:

- R - rizik,
- P - verovatnoća,
- C - posledica.

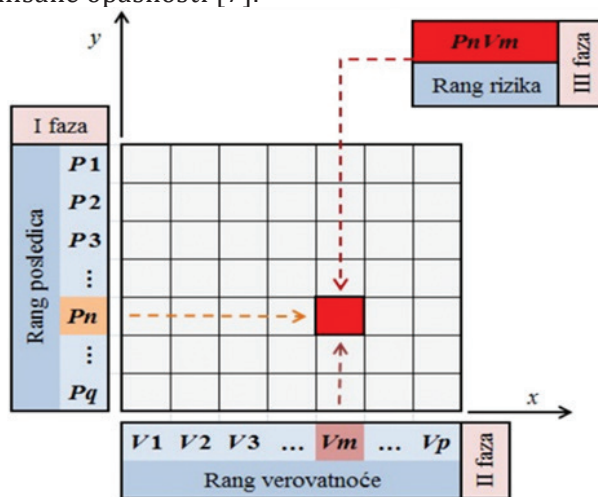
Potrebno je da oba faktora (verovatnoća i posledice) budu iskazana kao brojne vrednosti. U tom slučaju je i rezultujući rizik brojna vrednost, odnosno rizik je potpuno kvantifikovan. Verovatnoća događaja se uglavnom predstavlja kao njegova učestalost ili aktivnost, po jedinici vremena, dok su posledice predstavljene kao brojčani gubitak (finansijski, izgubljeni radni dani i sl.). Kvantitativna procena rizika predstavlja konačnu, tačnu brojnu vrednost rizika. Da bi se definisale verovatnoće i posledice kao brojne vrednosti neophodno je sprovesti dublje analize, posedovati odgovarajuće statističke podatke o akcidentima itd, što predstavlja suviše složen proces za masovniju primenu. Međutim, treba napomenuti da najnovija iskustva i preporuke razvijenih zemalja EU ukazuju na to da bi kvantitativnu procenu rizika trebalo uvesti gde god je to moguće i dati joj mnogo veći značaj i primenu nego što je to danas u praksi [6].

2.2. Kvalitativna procena rizika

Kvalitativne metode za procenu rizika baziraju se na ličnom iskustvu i rasuđivanju učesnika u timu za procenu rizika i/ili korišćenju raspoloživih kvalitativnih, nenumeričkih podataka. Ovakav pristup ne zahteva podatke o prethodnim štetnim događajima, uzrocima i posledicama, ali uslovljava da krajnji rezultat procene rizika bude opisno, kvalitativno iskazana veličina rizika (npr. visoki rizik, umereni rizik i sl.). Kvalitativni kriterijumi koriste sledeće reči: retko, neverovatno, moguće, verovatno ili skoro sigurno kako bi se opisala verovatnoća pojave neželjenog događaja. Za opisivanje veličine štete, odnosno posledica, koriste se reči kao što su kobne, ozbiljne, male ili zanemarljive (štete). U kvalitativnim metodama za procenu rizika najčešće se koriste subjektivni kriterijumi, koji se mere u kvalitativnim skalama. Procena je subjektivne prirode i zbog toga je podložna greškama. U praksi se najčešće koriste kvalitativne skale sa tri do sedam kvalitativna opisa, što zahteva izražen stručni pristup analizi potencijalnih opasnosti (šteti). Metode sa manje od tri kvalitativna opisa za faktore rizika ne mogu da daju pouzdane rezultate u proceni rizika, a sa više od sedam dovode do značajnih poteškoća povezanih sa nemogućnošću učesnika u timu za procenu rizika da preciznije prepoznaju kvalitativni opis faktora rizika.

Procena rizika kvalitativnom metodom podrazumeva korišćenje matrice rizika (sl. 2) za obradu kvalitativnih ocena. Zato se često u literaturi za

kvalitativne metode koristi naziv matrice metode ili modeli procene rizika. S obzirom da se kvalitativne metode predstavljaju lingvističkim opisom, neophodno je da se uspostavi adekvantna povezanost između ranga verovatnoće i ranga posledica. Matrica rizika ima za cilj grafičku interpretaciju procenjenih parametara, kako bi se na validan i racionalan način procenio rizik za prethodno definisane opasnosti [7].



Slika 2. Generalna konfiguracija matrice rizika [7]

Primena matrice metode za procenu rizika se odvija u tri faze:

- I faza - Rangiranje posledica određenog problema, obuhvata definisanje nivoa posledica preko kvalitativnih izraza (beznačajno, malo, umereno, veliko, katastrofalno), shodno vrsti problema za koji se vrši procena rizika.
- II faza - Rangiranje verovatnoće pojave posledica, podrazumeva definisanje verovatnoće pojave za svaku od definisanih posledica na bazi iskustvenih podataka, takođe u jezičkoj formi (retko, neverovatno, moguće, verovatno, skoro sigurno).
- III faza - Kvalitativna procena, odnosno rangiranje rizika, karakteriše ju rangiranje rizika na osnovu logičke povezanosti između verovatnoće nastanka opasnosti i posledica koje one mogu prouzrokovati. Definisanje ranga, odnosno nivoa rizika, vrši ekspert ili ekspertski tim na bazi iskustva, znanja i empirijskih podataka.

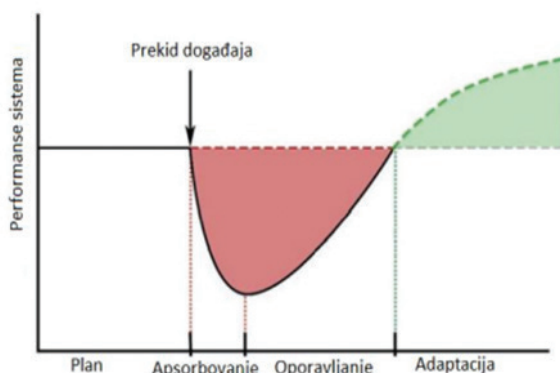
3. POJAM I PROCENA OTPORNOSTI

Velika ekonomska i društvena kriza iz 2008. godine su izbacili reč „otpornost” na površinu i u nauci i u svakodnevicu. Povećani interes za konceptom otpornosti proistekao je iz njegovog pristupa kojim se nastoje razviti mehanizmi i sposobnost nekog

sistema, kako bi se izborio sa iznenadnim velikim poremećajima. Još bliže, koncept otpornosti je razvijen sa namerom da rešava probleme (događaje) kod kojih je kontrola niska, a neizvesnost visoka. Kao najsvježiji primer ovakvih događaja predstavljaju klimatske promene poslednjih godina, a naročito 2021. godine, i povećanje cena gasa i drugih energenata u jesen 2021. Ovi poslednji događaji će, sasvim sigurno, dodatno povećati interesovanje za koncept otpornosti i njegovu primenu.

Reč otpornost u srpskom jeziku je nastala kao prevod engleske reči *resilire* koja opet potiče iz latinskog jezika (*re-sailire* – skočiti unazad) što ukazuje na to da otpornost ima značenje tendencije ili sposobnosti da se nešto vrati u početno stanje nakon deformacije ili uznemirenja, odnosno smetnje [8]. Relativno nova disciplina koja se bavi otpornošću kompleksnih tehničkih sistema se naziva Inženjerstvo otpornosti (*Resilience Engineering*). Inženjerstvo otpornosti je nova disciplina koju su razvili eksperti koji se bave bezbednošću kompleksnih sistema, a glavni fokus su joj sociotehnički sistemi, kao što su industrijska postrojenja, železnice, bolnice i slično [9].

Izveštaj Američke nacionalne akademije nauka o otpornosti na katastrofe za 2012. godinu opisuje otpornost kao sposobnost sistema da (i) planira i priprema se, (ii) upije ili apsorbuje, (iii) oporavi se i (iv) prilagođava se različitim poremećajima i pretnjama (sl. 3) [8]. U ovoj definiciji pojmovi prilagoditi i oporaviti se pripadaju konceptu otpornosti, dok pojmovi pretpostaviti (planirati), pripremiti, upiti i reagovati pripadaju konceptu rizika. Povećanje otpornosti sistema je zapravo neprestana aktivnost koja može inicirati i promene osnovnih funkcija kako bi se sistem mogao nositi sa pretnjama.



Slika 3. Faze otpornosti [10]

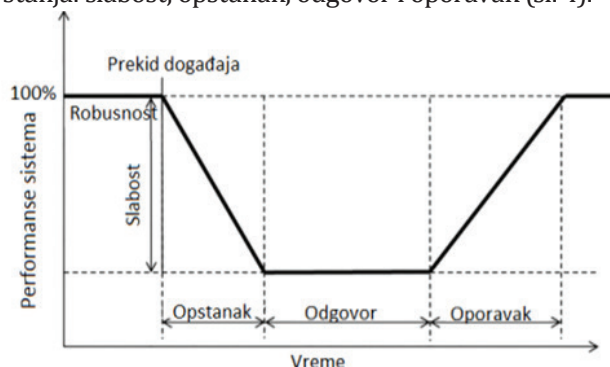
Ako je moguće, priprema sistema i apsorpcija pretnje ostvaruju se pristupom koji se zasniva na prevenciji, gde se pretnja u potpunosti izbegava⁴. Faze plana i apsorpcije su od izuzetnog značaja jer pomažu sistemu da se suoči sa pretnjama, pre nego što se one pojave.

Šta se desi sa sistemom kada je pogođen? Uključuju se oporavak i adaptacija. Oporavak podrazumeva sve napore da se izgubljene funkcije sistema vrate što brže, jeftinije i efikasnije, dok se prilagođavanje (adaptacija) usredsređuje na sposobnost sistema da se promeni i bolje izbori sa budućim pretnjama slične prirode [10]. Uloga adaptacije i oporavka razmatra se kao primarna tačka (fokus) svakog analitičara otpornosti, gde sistem sa robusnim kapacitetom za oporavak može (efikasno) podneti ozbiljne poremećaje koji bi inače razbili i najotpornije sistemске komponente.

Otpornost uključuje dva aspekta problema: proaktivan i reaktivan. Prvi aspekt obuhvata planiranje otpornog sistema, a drugi štiti od mogućih poremećaja ili katastrofa. Zbog toga su oba aspekta podjednako važna i treba ih tretirati kao gradivne elemente otpornosti u železničkim transportnim sistemima. Oba aspekta se uzimaju u obzir i prilagođavaju se kontekstu železničkih transportnih sistema [10].

3.1. Otpornost železničkog transportnog sistema

Otpornost železničkog transportnog sistema predstavlja sposobnost železničkog sistema da pruža efikasne usluge u normalnim uslovima, kao i da se odupre, apsorbuje, prilagodi i brzo oporavi od poremećaja ili katastrofa. Otpornost je sveobuhvatni sistem mera koje pokrivaju sledeće karakteristike sistema i njegovih različitih stanja: slabost, opstanak, odgovor i oporavak (sl. 4).



Slika 4. Otpornost železničkog transportnog sistema uključujući slabost, opstanak, odgovor i oporavak [11]

⁴ Kada to nije moguće, autori [8] uvode pojam tzv. „dostojanstvene degradacije“ (*graceful degradation*) sistema. Ovaj pojam označava izgradnju sposobnosti sistema koji može da izbegne potpuni kolaps. Takva vrsta sposobnosti se može postići i davanjem prioriteta osnovnim funkcijama sistema nauštrb sporednih dokle god je to potrebno.

Slabost se definiše kao „podložnost smetnjama koje mogu rezultirati značajnim smanjenjem operativnosti mreže” [11]. U transportnim sistemima, robusnost se može smatrati pandanom slabosti. U železničkom kontekstu, robusnost se definiše kao sposobnost ublažavanja različitih svakodnevnih kašnjenja uzrokovanih smetnjama. Ova je definicija tipična za železnički transport i može se razlikovati za druge vrste transporta [11].

Opstanak je sposobnost sistema da se prevede iz normalnih (planiranih) performansi sistema u poremećeno stanje, tj. dostojanstveno degradira. U praksi, kada dođe do smetnji, sistem može drugačije da se degradira, potpuno otkáže odjednom ili polako smanjuje performanse dok konačno ne dostigne poremećeno stabilno stanje [11].

Odgovor je skup radnji koje se preduzimaju neposredno, tj. odmah nakon prekida kako bi se pružio najbolji mogući nivo usluge tokom prekida, osigurala javna bezbednost, pružile alternativne mogućnosti putovanja do odredišta i zadovoljile osnovne životne potrebe pogođenih ljudi. Ova faza predstavlja poremećeno stabilno stanje železničkog transporta. U zavisnosti od prirode kvara, može trajati od nekoliko sati do nekoliko dana. Planiranje odgovora na železnici ponekad se naziva i planiranje za nepredviđene situacije [11].

Oporavak je sposobnost sistema da se vrati iz poremećenog stanja u prvobitno stanje. U zavisnosti od poremećaja, oporavak može trajati nekoliko sati (npr. usled kvara na vozilu) do nekoliko nedelja (npr. zbog velikih poplava ili drugih prirodnih nepogoda) [11].

Postoje najmanje dve važne prepreke koje su kočile napredak u merenju otpornosti složenih sistema. Prva od njih je uspeh kvantitativne procene rizika kao dominantne paradigme za upravljanje sistemom. U infrastrukturi i upravljanju nesrećama, sveprisutni koncepti rizika zadirali su u razumevanje otpornosti. Međutim, otpornost ima širu nadležnost od rizika i neophodna je kada je rizik neizračunljiv, na primer kada su opasni uslovi potpuno iznenađenje ili kada se pokazalo da je paradigma analitičke analize rizika neefikasna [10]. Stoga se merenje otpornosti mora unaprediti novim analitičkim pristupima koji se dopunjuju,

ali se lako mogu razlikovati od onih koji su već identifikovani analizom rizika. Druga prepreka je fragmentacija znanja o otpornosti u nekoliko zasebnih disciplina koje ih proučavaju, uključujući inženjersku nauku, zatim nauku o zaštiti životne sredine i tehničko-informacionu bezbednost⁵ (cyber security) kao ključne.

3.2. Kvantifikacija otpornosti

Postavlja se pitanje šta je dobar pokazatelj otpornosti i, prema tome, koju metriku treba koristiti. Istovremeno, oni koji u praksi treba da pruže određeni uvid u otpornost ograničeni su podacima. Uobičajeno rešenje je izbor nekoliko metrika sa lako dostupnim vrednostima i njihovo agregiranje da bi se generisao indeks otpornosti. Indeks je vrlo atraktivno i svima razumljivo sredstvo predstavljanja stanja jer se izražava jednom numeričkom vrednošću kojom se može proceniti i predstaviti stanje otpornosti sistema. Takođe, poboljšanja/pogoršanja sistema se mogu meriti indeksom, kao i relativne razlike. Indeksi su uglavnom korišćeni za integrisane sisteme kao što su zajednice ili organizacije gde višestruki faktori, a ne samo infrastruktura i oprema kada je u pitanju železnica, igraju ulogu u odolevanju neuspehu i bržem oporavku [10].

Indeksi⁶ su jednostavno sume normalizovanih metrika. Metrike mogu imati bilo koji oblik – procenat, stvarna vrednost, ocena – ali da bi se agregirale, vrednosti dobijene za svaku metriku, moraju se normalizovati tj. prevesti na skalu od 0 do 1 ili od lošeg do dobrog. Ako je trenutno teško odrediti šta meriti za procenu otpornosti, još je izazovnije opisati pragove za ono što predstavlja dobru ili lošu otpornost.

Jedno od rešenja je korišćenje strukturiranog okvira za metriku izbora i organizovanje ocenjivanja. Pojedinačni faktori učinka drže se odvojeno radi lakšeg tumačenja, ali se mogu objediniti u jednu ocenu, ako je relevantno. Matrica otpornosti, opisana u nastavku, pruža dvodimenzionalni pristup izboru metrika, a ne jednodimenzionalnu listu faktora. Matrica otpornosti uključuje vremenske faze ciklusa događaja, identifikovane u definiciji otpornosti: pripremiti, apsorbovati, oporaviti i prilagoditi [10].

⁵ Tehničko-informaciona bezbednost predstavlja odbranu računarskog sistema, mobilnih uređaja, podataka od zlonamernih napada.

⁶ Indeks se formuliše tako da obuhvati osnovne aspekte otpornosti kritične infrastrukture u odnosu na sve opasnosti. Glavni cilj indeksiranja je merenje sposobnosti kritične infrastrukture da smanji učestalost i/ili trajanje događaja [12].

3.3. Matrica otpornosti

Metodologija procene pomoću matrice (otpornosti) pruža korisnicima mogućnost da konstruišu okvir koji upoređuje različite metrike odlučivanja na širokom nivou razmišljanja i odlučivanja o otpornosti. Pristup zasnovan na matrici otpornosti pomoći će onim akterima na lokalnom nivou i kreatorima politike koji su usredsređeni na performanse otpornosti, zajedno sa širokim i regionalnim timovima za reagovanje u vanrednim situacijama. Matrica otpornosti omogućuje holistički pogled i pristup otpornosti neophodan za smanjenje uticaja negativnog događaja [10].

Matrica otpornosti sastoji se od okvira za sprovođenje procene učinka složenih i integrisanih sistema ili projekata u različitim fokusnim tačkama. Generalno, okviri matrice otpornosti sastoje se od matrice 4x4 (tabela 1), „gde jedna osa sadrži glavne potkomponente bilo kog sistema, a druga osa navodi faze ometajućeg događaja” [7].

Dalje, matični redovi uključuju četiri primarna domena koja treba uzeti u obzir u bilo kom projektu sistemske evaluacije, uključujući fizički, informativni, kognitivni i socijalni. Pored toga, kolone predstavljaju četiri koraka upravljanja katastrofama, uključujući plan/pripremu, apsorpciju, oporavak i adaptaciju odnosno vraćanje sistema u početno – redovno stanje [7]. Ukupno ovih 16 ćelija daje osnovni opis performansi sistema u slučaju neke nevolje. Otpornost se procenjuje davanjem vrednosti u svakoj ćeliji koja sumira obim sistema koji treba da izvrši u tom domenu i vremenskom periodu. Na primer, ćelija „socijalno – prilagođavanje“ treba da dobije ocenu u skladu sa sposobnošću sistema da promeni ponašanje i zadrži promene izvan početnog odgovora na incident.

Tabela 1. Matrica otpornosti [10]

Stanje sistema	Faze događaja			
	Plan	Apsorbovanje	Oporavak	Prilagođavanje
Fizički				
Informacije				
Kognitivno				
Socijalno				

4. SLIČNOSTI I RAZLIKE IZMEĐU RIZIKA I OTPORNOSTI

U pregledu sličnosti i razlika između rizika i otpornosti, neophodno je razmotriti filozofske, analitičke

i vremenske faktore koji su uključeni u primenu i rizika i otpornosti. Filozofski faktori uključuju opšti stav i izgled koje analitičar rizika ili otpornosti razume dok istražuje. Analitički faktori uključuju one kvantitativne modele i kvalitativne prakse primenjene za formalnu procenu rizika. Vremenski faktori uključuju vremenski okvir tokom kojeg se rizik tradicionalno uzima u obzir. Sveukupno, razmatranje ova tri kao i drugih faktora pokazaće da je, iako se analiza otpornosti donekle razlikuje od tradicionalne procene i upravljanja rizikom, razmišljanje o otpornosti veoma kompatibilno sa postojećim metodama i sinergično je sa tradicionalnim pristupima analize rizika [10].

Sličnosti razlike rizika i otpornosti ćemo najbolje razumeti ako ih suprotstavimo prema dvema ključnim aktivnostima i merama - kako razumeti i proceniti neizvesnost i kako proceniti ishode opasnih događaja. Tradicionalni pristup analitičara rizika težio bi da identifikuje obim mogućih scenarija i razvije zaštitu protiv njih na osnovu verovatnoće događaja, posledica i dostupnosti finansijskih sredstava za pokrivanje niza pitanja za datu (železničku) infrastrukturu. Na ovaj način, procenjivači rizika uglavnom grade jedan „kruti” okvir zaštitnih mehanizama, mehanizama koji sprečavaju kvarove i/ili mere reagovanja kako bi se zaštitili od negativnih događaja i odgovorili na njih. Takav okvir ima svoje prednosti, ali takva kruta i nefleksibilna filozofija rizika može ometati napore reagovanja na događaje. Otpornost u osnovi pruža temelje za brzi oporavak ili sposobnost smanjenja štete, istovremeno pomažući sistemu da se što pre i efikasnije oporavi do pune funkcionalnosti. Ovo je u skladu sa gore pomenutom definicijom otpornosti [8] koja otpornost označava kao „sposobnost planiranja i pripreme, apsorpcije, oporavka i prilagođavanja neželjenim događajima”. Iako se ova razlika može učiniti minimalnom (ili bolje rečeno suptilnom), ona donosi znatno drugačiji operativni iskaz od rizika, tako da se analitičari otpornosti više fokusiraju na „fleksibilnost” i „prilagođavanje” u okviru svojih sistema. Oba pristupa omogućavaju upotrebu i kvantitativnih podataka i kvalitativne procene, što omogućava veću sveukupnu fleksibilnost u primeni.

Kod poređenja između tradicionalne analize rizika i analize otpornosti treba imati u vidu njihove različite vremenske početke razvoja i tanke granice kod pojedinih faza razvoja, što objašnjava prisutna preklapanja ova dva koncepta.

Analiza rizika, uključujući tu i procenu i upravljanje rizikom, obuhvata pregled različitih faktora infrastrukture kako bi se identifikovale potencijalne oblasti u kojima bi rizik mogao nastati. Većina zahteva analize rizika usredsređena je na očuvanje sistema na osnovu njegove sposobnosti da spreči ili smanji rizik održavanjem i apsorbovanjem određene pretnje. Analiza otpornosti u osnovi održava veći deo iste filozofske pozadine, kao i tradicionalna procena rizika, ali analiza otpornosti dodatno se upušta u nepoznato. Razmišljanje o otpornosti zahteva od svojih kreatora/praktičara da razmotre potencijalne buduće pretnje i razviju mere zaštite kako bi sprečili dugotrajne gubitke. Metode procene rizika nastoje da vremenski ublaže i upravljaju opasnostima na osnovu trenutnog snimka, dok analiza otpornosti umesto toga traži fleksibilnost sistema. Jednostavno rečeno, analiza otpornosti je sistematski proces kojim se osigurava da značajan spoljni efekat ne pokaže trajnu štetu na efikasnost i funkcionalnost datog sistema [10].

U okviru upravljanja rizikom veći fokus na ekstremne događaje zahtevao bi više zaštitne i preventivne infrastrukture, koja bi bila veoma skupa. Cilj otpornosti nije samo da spreči ono što je moguće sprečiti na isplativ način, već i da poboljša sposobnost pogođenog sistema ili smanji vreme i resurse potrebne za oporavak pogođenog sistema natrag u normalne operativne procedure. Analiza otpornosti može kao rezultat dati, odnosno ponuditi, veću organizacionu i društvenu pripremu i mere koje mogu smanjiti štetu koju bi infrastrukturni sistemi imali i poboljšati funkcionalnost sistema usled tekuće krize.

5. SISTEM UPRAVLJANJA BEZBEDNOŠĆU I RIZIKOM NA ŽELEZNICI

Upravljači infrastrukture i železnički prevoznici dužni su da uspostave sistem za upravljanje bezbednošću (Safety Management System – SMS), koji ima za cilj da se dostignu zajednički bezbednosni ciljevi za železnički sistem u celini. Sistem za upravljanje mora biti usklađen sa nacionalnim propisima za bezbednost i sa bezbednosnim zahtevima utvrđenim u tehničkim specifikacijama interoperabilnosti (TSI) i moraju biti primenjene odgovarajuće zajedničke bezbednosne metode (ZBM). Sistemom za upravljanje bezbednošću postiže se kontrola svih rizika povezanih sa delatnošću upravljača infrastrukture i prevoznika, uključujući i pružanje usluga održavanja, snabdevanja materijalom, kao i rizike koji se javljaju usled aktivnosti trećih lica [13].

Zajedničke bezbednosne metode propisuju način procene nivoa bezbednosti, ostvarenosti zajedničkih bezbednosnih ciljeva i usaglašenosti sa drugim bezbednosnim zahtevima. Zajedničke bezbednosne ciljeve utvrđuje Evropska komisija i predstavljaju najniži nivo bezbednosti koji moraju dostići različiti delovi železničkog sistema i železnički sistem u celini, a koji se iskazuje kroz kriterijum prihvatljivosti rizika za pojedinačne rizike (putnici, zaposleni, osoblje, izvođači radova) i rizike za društvo [13].

Na organizacionom nivou, sistem upravljanja bezbednošću pruža osnovu definišući i propisujući šta je potrebno za upravljanje bezbednošću. Rukovodstvo i osoblje imaju ulogu u izradi sadržaja SMS na osnovu njihovih stavova, vrednosti i uverenja izvedenih iz ličnog iskustva u kombinaciji sa normama ponašanja na radnom mestu i u društvu. Ovo je bezbednosna kultura jedne organizacije. Ako postoji pozitivan skup stavova, vrednosti i uverenja usredsređenih na procese koji podupiru sistem upravljanja bezbednošću, to će raditi sa tim procesima kako bi proizveli visokokvalitetne rezultate. Na primer, ako preovladava stav da su procesi jednostavno tu da zaštite menadžment, da se više vrednuju zarade zaposlenih u odnosu na bezbednost i da osoblje veruje da je to ono što menadžment želi, mala je verovatnoća da će SMS funkcionisati dobro i stoga bi bezbednost mogla biti ugrožena [14].

Osnovni zahtev menadžera infrastrukture ili železničkog prevoznika prema SMS je da on omogućava kontrolu svih rizika za bezbednost saobraćaja koji su povezani sa aktivnostima preduzeća, uključujući rizike koji se odnose na nabavku materijala i angažovanje izvođača radova. Sistem upravljanja bezbednošću treba takođe da omogući kontrolu rizika za bezbednost saobraćaja koji potiču od trećih lica ili okruženja u meri u kojoj je to u nadležnosti preduzeća [2].

6. ZAKLJUČAK

U železničkom transportu, postepeno poboljšanje bezbednosti kroz istoriju je bilo posledica skupocenih iskustava i pouka izvučenih iz doživljenih nesreća. Novi evropski koncept bezbednosti, nastao kao posledica i nužnost otvaranjem nacionalnih železničkih tržišta, doneo je značajne promene u odnosu na tradicionalni pristup regulisanja bezbednosti železničkog saobraćaja. Ovim promenama uveden je sistem upravljanja bezbednošću koji

je svim železničkim prevoznicima i upravljačima infrastrukture nametnuo obavezu primene koncepta upravljanja rizikom. Upravljanje otpornošću je noviji pojam koji tek počinje da se primenjuje na železnici.

Generalno, kada se govori o konceptu otpornosti (u inženjerstvu) uglavnom se misli na mogućnost sistema da se oporavi od poremećaja koji su nastali u njemu (ili izvan njega), dok se koncept rizika, tj. upravljanja rizika, zasniva na sprečavanju smetnji i opasnih događaja pre nego što se oni dese u sistemu.

Razlike između ova dva koncepta mogu se posmatrati i kroz način njihove kvantifikacije. Koncept rizika kvantifikuje verovatnoću i posledice određenog događaja sa ciljem utvrđivanja kritičnih komponenti sistema (koje su osetljive na određenu opasnost) i poboljšanja tih komponenti kako bi se izbegli gubici. Za razliku od koncepta rizika, koncept otpornosti je mnogo kompleksniji za kvantifikaciju i pronalaženje jedinstvenog načina za rešavanje problema koji obuhvata više različitih oblasti.

U uslovima evropskih integracija i stvaranja jedinstvenog evropskog železničkog prostora, globalizacije poslovanja i globalnih poremećaja koncept otpornosti će sve više dobijati na značaju, dok je upravljanje rizikom na železnici (preko SMS) već dobilo svoje trajno mesto u železničkim kompanijama.

Analiza rizika i analiza otpornosti zasnivaju se na sličnom načinu razmišljanja prilikom utvrđivanja slabosti i identifikovanju mera koje bi takve slabosti mogle ublažiti. Veći fokus na ekstremne događaje u upravljanju rizikom zahtevao bi više zaštite i preventivne mere koje bi bile veoma skupe, dok cilj upravljanja otpornošću nije samo da spreči ono što je moguće sprečiti na isplativ način, već i poboljšati sposobnost sistema ili smanjiti vreme i resurse potrebne za vraćanje sistema u prethodno stanje stabilnosti. Analiza rizika može ponuditi veću organizacionu i društvenu pripremu i protokole koji mogu smanjiti štetu koju sistemi trpe i poboljšati funkcionalnost sistema.

Upravljanje rizikom i otpornošću veoma je značajno u slučajevima kada se unose određene promene u postojeći železnički sistem. Kvarovi u železničkom sistemu imaju veliki potencijal da

izazovu povredu i/ili smrt putnika ili železničkog osoblja, može imati negativan uticaj na životnu sredinu i na sopstvena osnovna sredstva. U skladu s tim, uvođenje upravljanja rizikom i otpornošću za proaktivno delovanje učesnika i zainteresovanih strana na železnici je od velikog značaja i ključni faktori u postizanju bezbednog i pouzdanog železničkog saobraćaja.

LITERATURA

- [1] Bošković B, Prokić M: The concept of risk management in the railway sector, University of Belgrade, 2nd International Conference „Transport for today’s society”, Bitola, Republic of North Macedonia, 17-19, Proceedings, pp 569-577, 2018;
- [2] Đuričić R, Bošković B, Rosić: Evropski koncept bezbednosti željeznice, Saobraćajni fakultet u Istočnom Sarajevu, Dobo, 2017;
- [3] Tzanakakis K: The Regulation of the Railway Sector, <https://railhow.com/wp-content/uploads/02/2019-02-02-Regulation-Rail-Sector-RAILHOW-V1-1.pdf>, 2019;
- [4] Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu, Službeni glasnik Republike Srbije, br. 101/2005, 91/2015 i 113/2017;
- [5] Commission Regulation (EC) No 352/2009 of 24 April 2009 on the adoption of a common safety method on risk evaluation and assessment as referred to in Article 6(3)(a) of Directive 2004/49/EC of the European Parliament and of the Council
- [6] Tepić G: Razvoj metodološkog koncepta za upravljanje rizikom u sistemu opasnih materija, doktorska disertacija, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, 2019;
- [7] Gemović B: Metodologija za sprovođenje postupka procene rizika, doktorska disertacija, Novi Sad, Visoka tehnička škola strukovnih studija. <http://vtsns.edu.rs/wpcontent/uploads/2018/11/Metode-za-procenu-rizika.pdf>
- [8] National Academy of Sciences (NAS), & Committee on Science, Engineering, and Public Policy. Disaster resilience, A national imperative, Washington, DC: The National Academies Press, 2012;
- [9] Wolter K, Avritzer A, Vieira M, Van Moorsel A: Resilience Assessment and Evaluation of

- Computing Systems, Springer – Verlag, Berlin Heidelberg, 2012;
- [10] Linkov I, Trump B: The Science and Practice of Resilience, Springer Nature Switzerland; 2019;
- [11] Bešinović N: Resilience in railway transport system: a literature review and research agenda, Department of Transport and Planning, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2020;
- [12] Berdica K: An introduction to road vulnerability: What has been done, is done and should be done, Transport Policy, 9(2), 117–127, 2002;
- [13] Zakon o bezbednosti u železničkom saobraćaju, Službeni glasnik Republike Srbije br. 41/2018;
- [14] European Railway Agency, „Guide on safety management system requirements“ 1.1/2018. https://www.era.europa.eu/activities/common-safety-methods_en#meeting3.

ANICA STOJICÉVIĆ*, SANJIN MILINKOVIĆ**

MERE ZA UBLAŽAVANJE UTICAJA ŽELEZNIČKOG TRANSPORTA NA ŽIVOTNU SREDINU

MEASURES TO MITIGATE THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF RAILWAY TRANSPORT

UDK: 656.2+502/504

REZIME:

Transport ima veoma važnu ulogu u društvenom i ekonomskom funkcionisanju, dok efikasan transportni sistem predstavlja potrebu i prioritet današnjice. Međutim, iako ima brojne koristi, većina transportnih aktivnosti, uključujući i železnički transport, nosi sa sobom u određenoj meri i negativne efekte. Stoga, cilj ovog rada je da se predstavne glavni uticaji železničkog transporta na životnu sredinu sa ciljem da se sagledaju nedostaci i prednosti koje železnica poseduje sa aspekta zaštite i očuvanja životne sredine. Zato su u ovom radu razmatrani neki od kritičnih aspekata železnice po životnu sredinu i predstavljen niz mera i rešenja koji se mogu primeniti u cilju zaštite životne sredine i ublažavanja negativnih efekata železnice, pogotovo sa aspekta daljeg razvoja železničke infrastrukture i predviđenog daljeg porasta obima železničkog saobraćaja u narednom periodu.

Ključne reči: uticaj železnice, životna sredina, mere za ublažavanje efekata železnice, ekološko održivi transport

SUMMARY:

Transport has a very important role in social and economic functioning, while an efficient transport system is a need and a priority of today. However, although it has many benefits, most transport activities, including rail transport, have some negative effects. Therefore, the aim of this paper is to present the main impacts of railway transport on the environment in order to see the disadvantages and advantages that the railway has in terms of environmental protection and preservation. Therefore, this paper discusses some of the critical aspects of railways for the environment and presents a number of measures and solutions that can be applied to protect the environment and mitigate the negative effects of railways, especially from the aspect of further development of railway infrastructure and projected further growth of railway traffic next period.

Key words: impact of railways, environment, measures to mitigate the effects of rail, environmentally sustainable transport

* Mr Anica Stojićević, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, anicastojicevi6@gmail.com

** Prof. dr Sanjin Milinković, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, s.milinkovic@sf.bg.ac.rs

1. UVOD

Transportni sistem kakvim ga danas poznajemo nije održiv, uzimajući u obzir različite posledice koje ima po životnu sredinu i činjenicu da transportne aktivnosti učestvuju i u određenoj meri uzrokuju nekoliko ozbiljnih ekoloških problema sa kojima se današnje društvo suočava. Svaki vid transporta proizvodi negativne efekte za društvo, životnu sredinu i zdravlje ljudi, ali se značaj tih efekata razlikuje uzimajući u obzir uticaj pojedinih vidova transporta po jedinici rada. Negativni efekti transporta na životnu sredinu se ogledaju kroz: uticaj na klimatske promene, zagađenje vazduha, generisanje buke i vibracija, uticaj na biodiverzitet i fragmentaciju staništa i drugo. Danas, kada se društvo suočava sa brojnim posledicama klimatskih promena koje predstavljaju pravi globalni izazov, osnovni cilj i prioritet predstavlja stvaranje povoljnih uslova za ekološki održiviju budućnost. Stoga je veliki značaj dat potrazi ekološki prihvatljivih sistema u različitim domenima života koji će omogućiti smanjenje daljeg zagađenja i negativnih efekata na životnu sredinu.

Transport ljudi i robe je oduvek bio kritičan deo ekonomije. Međutim, izbor vida transporta može ublažiti posledice transportnih aktivnosti na životnu sredinu. U tom pogledu, železnica može imati veliki značaj i ulogu, budući da ona omogućava ekološki i energetski prihvatljiviji način prevoza putnika i robe nego što je to slučaj sa drugim vidovima saobraćaja. Na globalnom nivou je fokus pre svega na smanjenju emisija sa efektom staklene bašte i negativnih efekata klimatskih promena, kao i smanjenju potrošnje neobnovljivih resursa. Pored toga, smatra se da železnički vid transporta takođe može pozitivno uticati i na ublažavanje lokalnih efekata koji su posledica različitih transportnih aktivnosti, kao što su zagađenje vazduha, uticaj na biodiverzitet i ostalo. Na taj način, železnica treba da doprinese postizanju specifičnih ciljeva koji su zacrtani u prethodnom periodu, a odnose se na različite aspekte očuvanja i sprečavanja daljeg zagađenja i degradacije životne sredine. Stoga se poslednjih nekoliko godina posebna pažnja pridaje železnici, budući da je ona, s obzirom na svoje ekološke prednosti koje poseduje, prepoznata kao okosnica budućeg održivog transportnog sistema. Kako bi se to postiglo, potencira se na razvoju železnica sa ciljem da se poveća njihovo učešće na transportnom tržištu u odnosu na druge vidove transporta koji su u manjoj meri ekološki prihvatljivi, odnosno imaju veći negativan uticaj na životnu sredinu.

Međutim, iako železnice imaju prednosti, one takođe, kao i brojne druge aktivnosti, imaju i određeni stepen uticaja na životnu sredinu u rasponu od nekoliko oblika zagađenja do efekata na biodiverzitet i stradanje životinja, u zavisnosti od okolnosti. Može se reći da su železnice svesne ove činjenice, što je uticalo na to da se već niz godina unazad posebna pažnja pridaje ovom aspektu, kako bi se osiguralo uspešno rešavanje problematike određenih efekata i obezbedilo da železnica u budućnosti bude u potpunosti ekološki održiv vid transporta.

U nastavku su sagledane neke od glavnih posledica železničkog transporta na životnu sredinu i predstavljene neke od mera za ublažavanje i smanjenje ovih uticaja sa ciljem poboljšanja položaja železnice sa aspekta očuvanja i zaštite životne sredine. Posebna pažnja je data onim kritičnim aspektima sa kojima se železnica trenutno suočava, ali i onim sa kojima se može suočiti u budućnosti zbog predviđenog proširenja transportnih kapaciteta i povećanja obima transporta, kako bi se izbegao scenario sa kojim se suočio i suočava drumski transport. Stoga je potrebno ove mere primeniti u što većoj meri tamo gde se javljaju potrebe za tim, kako bi se omogućilo da železnice u potpunosti ispune uslove koji se odnose na ekološki održiv transportni sistem budućnosti. Veliki broj efikasnih rešenja za različite uticaje koja su do sada razvijena, ali i koja se najavljaju, ukazuju na to da železnicama, za razliku od drugih vidova saobraćaja, ovo ne bi trebalo predstavljati preveliki izazov u budućnosti.

2. BUKA ŽELEZNIČKOG SAOBRAĆAJA

Danas je značajan broj stanovnika izložen saobraćajnoj buci, uključujući pritom i buku od železničkog saobraćaja. Iako je opšteprihvaćeno da je železnica kao vid transporta sa najmanjim uticajem na životnu sredinu, buka i vibracije ostaju važna pitanja za železnički sistem. U prilog tome govori i činjenica da je poslednjih godina razvijen niz mera za smanjenje buke, dopunjen značajnim poboljšanjima čiji je osnovni zadatak da se smanji buka teretnih kola u železničkom saobraćaju. [1]

Železnica je u pojedinim evropskim zemljama prepoznata kao značajan izvor buke i stoga se smatra da ovaj sektor mora preduzeti odgovarajuće napore kako bi se nivo buke u budućnosti minimizirao i sprečilo dalje povećanje emisija. [2] Treba imati u vidu i da se u budućnosti očekuje porast železničkog saobraćaja, što sa sobom nosi rizik od povećanja

emisije buke, a samim tim i povezanih efekata na ljude i ekologiju. [2]

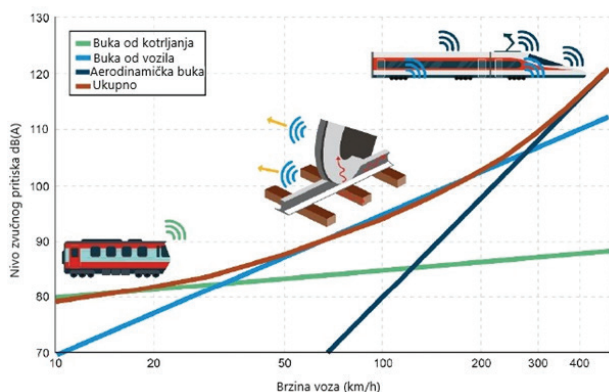
U svojim smernicama za nivo buke u životnoj sredini i okruženju, Svetska zdravstvena organizacija (WHO – World Health Organization) je identifikovala nekoliko kritičnih zdravstvenih ishoda koji su povezani sa bukom. U pogledu buke, koja je posledica železničkog saobraćaja, sistematskim pregledom su pronađeni samo dokazi koji se odnose na uznemiravanje i poremećaj spavanja stanovnika. [2]

Glavni izvori buke u železničkom saobraćaju su:[2]

1. buka pri kotrljanju,
2. buka pri vuči i od uređaja za napajanje električne opreme,
3. aerodinamička buka.

Drugi izvori buke, koji se povremeno javljaju na železnicama, uključuju udarnu buku, buku škrife, buku na mostovima od kotrljanja točkova, ali takođe i buku u ranžirnim stanicama, kao i buku kočenja vozova.

Značaj izvora buke zavisi od brzine voza. Pri malim brzinama, buka od opreme je dominantan izvor, dok je pri srednjim brzinama najznačajniji izvor buke kotrljanje točkova. Aerodinamička buka se ispoljava samo pri većim brzinama. Glavni izvori buke u funkciji brzine su prikazani na slici 1.



Slika 1. Glavni izvori buke u železničkom saobraćaju [2]

Buka od železnice je uglavnom problem koji je u vezi sa teretnim vozovima, naročito sa onim koji u svom sastavu imaju stara kola, kao i onim vozovima koji su opremljeni starijim bučnim motorima. Ovo naročito predstavlja ozbiljan problem tokom noći. Buka od kotrljanja je uglavnom veća u slučajevima neadekvatnog održavanja šinskih vozila koja se kreću po loše održavanoj infrastrukturi. Aerodinamička buka je posebno relevantna za vozove velikih brzina gde se većinom primenjuju mere za ublažavanje buke kao

što su barijere protiv buke i sl. Najvažniji izvor buke od železničkog saobraćaja je kotrljanje točkova i on je specifičan za sve vrste vozova.

Predviđanja su da će buka u budućnosti i dalje ostati jedan od ključnih ekoloških problema u EU, zbog inherentne prirode problema i njegove veze sa porastom transportnih aktivnosti. Osnovi cilj EU je da se omogući smanjenje buke, kako bi se vrednosti u što većoj meri približile nivoima koje je preporučio WHO. [3] Železnički sektor po ovom pitanju ima značajan potencijal budući da je u poslednjih nekoliko godina sprovedeno mnogo istraživanja i došlo je do razvoja novih tehnologija i opreme, koji u velikoj meri mogu doprineti smanjenju buke koje generiše ovaj vid transporta.

2.1. Mere za smanjenje buke koja potiče od železničkog saobraćaja

Železnički sektor je odavno prepoznao problem koji se odnosi na buku od železničkih aktivnosti. Stoga je ovaj sektor na nivou EU odlučio da do 2030. godine mere za ublažavanje buke budu integrisane u svim relevantnim železničkim procesima, sa ciljem da se u budućnosti ponude održiva rešenja primenjujući različite pristupe i inovativnu tehnologiju. [3]

Najveći izazov u železničkom sektoru je buka koja je posledica velikog broja starih teretnih kola u voznim parkovima. Smatra se da železnički putnički saobraćaj nema problema sa ovog aspekta. Ovo proističe iz činjenice da se za većinu starijih teretnih kola i dalje koriste bučni kočioni blokovi od livenog gvožđa, za razliku od putničkih vozila za koja se uglavnom primenjuju disk kočnice. [4] Takođe, nova i nadograđivana teretna kola, koja su opremljena kompozitnim kočionim blokovima, doprinose smanjenju ukupne buke, ali problem predstavlja činjenica da veliki broj starih kola koja trče nastavljaju da u određenoj meri utiču i pogoršavaju stanje i hrapavost železničkih pruga.

U osnovi, postoji više načina za smanjenje buke u železničkom saobraćaju. Klasičan pristup za ublažavanje buke ima tri mogućnosti: [2]

- ublažavanje buke na izvoru,
- ublažavanje buke na putu širenja,
- ublažavanje buke na prijemniku.

2.1.1. Ublažavanje buke na izvoru

Ublažavanje buke na izvoru se može postići primenom različitih mera. Ove mere se mogu podeliti na mere koje se odnose na: [2]

- buku od kotrljanja vozila,
- buku od opreme i uređaja i vuču vozova,
- erodinamičku buku,
- buku od pantografa.

Mere koje se odnose na buku od kotrljanja se mogu podeliti na mere koje utiču na pobudu, mere koje mogu da priguše vibracije točka i šine i mere koje mogu da smanje emisiju buke. S obzirom da je buka od kotrljanja dominantan izvor buke na železnici, sistem koji treba razmatrati prilikom ublažavanja efekata se sastoji od: [2]

- vozila sa točkovima, kočnicama, postoljem ili osovinama i oprugama kojima je ovo povezano,
- koloseka sa osnovnim elementima - šine, pričvrstni pribor i dodatni pribor za fiksiranje šina, pragovi i zastor.

Hrapavost koja se javlja pri dodiru točka i šine uzrokuje da šina i točak vibriraju, što stvara buku. Čak i naizgled glatke površine imaju u određenoj meri neravnina i usled toga mogu doprineti stvaranju buke. U ovom složenom sistemu, mogu se razmatrati sledeće opcije za ublažavanje buke:[2]

- Za vozilo
 - smanjiti hrapavost točkova zamenom kočionih blokova od livenog gvožđa (koji izazivaju neravnine na točkovima) sa tzv. „K“ ili „LL“ blokovima ili korišćenjem disk kočnica,
 - izolacija gazećeg sloja točka elastičnim slojem (ovaj tip točka se retko koristi za konvencionalne železničke sisteme),
 - zaštita od buke koju emituju točkovi postavljanjem poklopca ili kućišta postolja (mera se generalno izbegava jer prouzrokuje smetnje pri vizuelnom pregledu stanja točkova i osovinama),
 - optimizacija veličine i oblika točka tako da se smanje vibracije koji oni proizvode (ovo je primenljivo za nova vozila);
- Za kolosek
 - smanjiti hrapavost šina redovnim praćenjem stanja i preventivnim održavanjem,
 - optimizacija krutosti šinskih podloga (mekši jastučići šina omogućavaju da šina vibrira i da talasi putuju dalje od tačke kontakta),
 - dodatni prigušivači na šinama.

Nadogradnja postojećih teretnih vagona sa niskobučnim „LL“ kočionim blokovima nudi potencijal za smanjenje buke od 8 do 10 dB, smanjujući na taj način percipiranu buku za 50 %. Ovaj efekat je jako koristan noću, kada uglavnom prolazi veliki broj teretnih vozova. Međutim, troškovi nadogradnje postojećih vagona mogu biti značajni, a pri tom se

takođe moraju uzeti u obzir i povećani operativni troškovi ovih nadograđenih kola. [3] Treba imati u vidu da železnička vozila imaju dug životni vek, i do 40 godina, i smatra se da je preuređenje, tj. nadogradnja, starih postojećih vozničkih parkova ključna za postizanje dugoročnih ciljeva. [4]

Ublažavanje buke koja potiče od lokomotive i vuče vozova se može smanjiti preduzimanjem odgovarajućih aktivnosti i primenom brojnih mera na vozilu kao što su:[2]

- kontrola rada i brzine ventilatora na vozilima prema zahtevima rada,
- izolacija prozora na vozilima,
- optimizacija koncepta hlađenja vozila,
- primena prigušivača,
- primena vodenog hlađenja sklopova na železničkim vozilima ili hlađenje prirodnom konvencijom vazduha,
- smanjenje emitovanja buke koja potiče od kućišta menjača ili motora itd.

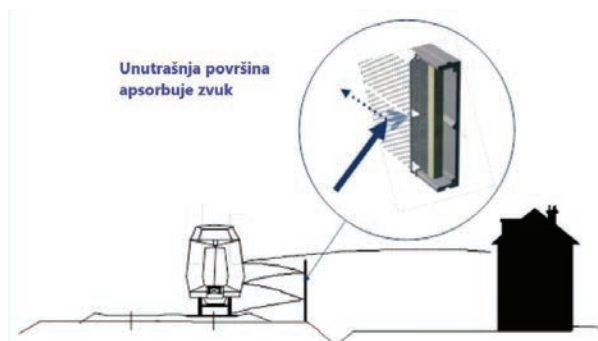
Ublažavanje aerodinamičke buke od voza se generalno postiže adekvatnim dizajnom „nosa“ voza i smanjenjem bilo kakvog diskontinuiteta karoserije vozila, npr. praznina među kolima, da bi se smanjila područja turbulencije koja mogu generisati dodatne izvore buke i sl. Na taj način dolazi do smanjenja aerodinamičkih otpora, samim tim i buke, a dodatna prednost je što se time istovremeno postiže i smanjenje potrošnje energije. [2]

Ublažavanje buke od pantografa se postiže poboljšanjem njegovog dizajna koji minimizira poreklo turbulencija oko cilindra, zglobova kolena i glave. U Japanu i Kini se kroz adekvatan dizajn pantografa postiže smanjenje buke od 5 do 10 dB. U Japanu se za brze vozove takođe koriste „pokrivači“ pantografa koji deluju kao barijere i omogućavaju dodatno ublažavanje buke za oko 3dB. Međutim, ove mere se obično ne mogu primeniti na evropske železnice, uglavnom zbog razlika u nosivosti i položaju kontaktnog voda u odnosu na krov voza ili slično. [2]

2.1.2. Ublažavanje buke na putu širenja

Najčešće se za smanjenje buke na putu širenja koriste barijere koje imaju ulogu da spreče širenje i prenošenje buke na okolinu. U poslednjih nekoliko godina je osmišljeno mnogo novih vrsta barijera, tako da se u bliskoj budućnosti predviđa porast njihovog korišćenja. One se mogu postavljati duž novoizgrađenih pruga, ali se isto tako mogu primeniti i kao mera za smanjenje buke za postojeće situacije. [1]

Važne karakteristike same barijere jesu zvučna izolacija i mogućnost apsorpcije zvuka, tj. buke. Zvučna izolacija sprečava prenos buke kroz barijere. Refleksije između voza i barijera mogu uticati na smanjenje buke, što se naziva efekat „kanjoninga“ („Canyon effect“) (slika 2). Ovo se može izbeći tako što se barijere konstruišu da ona strana koja se nalazi uz šinu bude jako apsorbujuća. Alternativni način da se ovo postigne jeste postavljanje barijera u nagnuti položaj prema pruzi i najčešće se za tu svrhu primenjuju barijere koje se izrađuju od transparentnih materijala.



Slika 2. Sprečavanje pojave efekta „kanjoninga“ [1]

Postoji velika raznovrsnost barijera. Najčešće su one izrađene od materijala kao što su beton ili aluminijum. Drvene barijere se primenjuju u Švedskoj, a u poslednje vreme sve češće i u drugim evropskim zemljama. Upotreba transparentnih plastičnih ili staklenih, kao i kamenih gabiona ili barijera malih visina je retka iz brojnih razloga. Na primer, niske barijere se ne koriste često jer se zbog svoje male visine moraju postaviti u neposrednoj blizini koloseka. Njihovi nedostaci su mali efekat smanjenja buke koja potiče od koloseka, bezbednosna pitanja, specifični zahtevi održavanja i slično. S druge strane, transparentne barijere se vremenom prljaju i zahtevaju učestalo čišćenje i održavanje, što može biti problem na železnici zbog postojanja električne struje u blizini. Što se tiče kamenih gabiona, treba istaći da su oni dosta deblji od običnih aluminijumskih ili betonskih barijera, što može biti problematično za primenu u urbanim područjima sa ograničenim prostorom.

Na nekim lokacijama se takođe mogu postaviti zemljane berme ili nasipi od zemlje duž pruge. Smatra se da je njihova zvučna izolacija dovoljna da ublaži buku. [1] Osim toga, za zemljane berme efekat „kanjoninga“ ne predstavlja problem jer one imaju ograničen ugao nagiba i dobra apsorbujuća svojstva. Pored toga, u kombinaciji sa dobro osmišljenom sadnjom, ove barijere mogu imati prednosti usled uticaja na vizuelni kvalitet, sposobnosti za

sprečavanje poplava, kao i koristi za biodiverzitet, uključujući i smanjenje udara u barijere i stradanja letećih životinja (npr. slepi miševi, ptice i slično). Međutim, zahtevaju veću površinu za postavljanje što može ograničiti njihovo korišćenje u gusto naseljenim područjima.

2.1.3. Ublažavanje buke na prijemniku

Na prijemniku se mogu preduzeti mere za smanjenje širenja buke u zgradama. Ovo obično uključuje upotrebu prozora i vrata sa izolacijom od buke. [1] Odabrane mere zavise od zahteva za smanjenje buke. Najčešće korišćena mera je primena dvostrukog zastakljivanja prozora. Smatra se da je ovo dovoljno ukoliko je potrebno manje smanjenje buke. U suprotnom, potrebno je primeniti dvostruko laminirano staklo, dok se u pojedinim slučajevima može javiti i potreba za primenom dodatnih mera kao što su zaptivanje pukotina oko prozora i na fasadama, izolacija zidova/panela na fasadama, primena kosih krovova ili druge mere koje se odnose na sam dizajn arhitekture zgrade. [1] Na primer, građevine duž pruge se mogu dizajnirati sa „slepim“ fasadama, tako da strana koja je okrenuta ka pruzi ne sadrži elemente koji se otvaraju, tj. prozore i vrata ili slično.

3. VIBRACIJE U ŽELEZNIČKOM SAOBRAĆAJU

Vibracije u železničkom saobraćaju su prvenstveno uočene i označene kao problem podzemnih železnica. Vibracije koje se javljaju u železničkim konvencionalnim sistemima dobijaju na značaju tek u skorije vreme. One su često praćene bukom. Treba imati na umu da relativna jačina ovog fenomena zavisi od vrste zemljišta. U zemljama sa čvrstim tlom (na primer stenovito tlo) buka koja se javlja tokom prolaska voza je generalno značajnija od vibracija, a dominantne frekvencije vibracija su visoke (oko 50Hz). S druge strane, u zemljama sa mekim tlom, poput gline ili treseta, dominantne frekvencije vibracija su dosta niže (oko 5 Hz) i imaju veći značaj nego buka. Ova razlika je veoma važan faktor koji utiče na performanse i izbor mera za ublažavanje.

Kretanje voza generiše vibracije koje uglavnom potiču zbog neravnina koje nastaju pri dodiru točka i šine. Vibracije koje se javljaju na točkovima zavise od sistema iznad točkova, odnosno od postolja, opruga i amortizera, ali i od opterećenja vozila. Vibracije šina zavise od sistema ispod šina, tj. koloseka, zastora i tla. Pošto ni površina točka, ali ni šine nisu savršeno glatki, točak zapravo prelazi preko neravnina i stoga je primoran da se kreće u vertikalnom smeru. S

druge strane, kolosek nije sasvim čvrst, pa se pomera vertikalno, što zauzvrat pobuđuje šine i pragove. Pored toga, šine u koloseku takođe mogu slobodno vibrirati u onim delovima gde nisu u potpunosti oslonjene na pragove ili usled varijacija u krutosti pragova (npr. nedostatak zastornog materijala što utiče da pragovi „vise“ ili deformacije koloseka). Zbog ovih neujednačenosti, dinamička sila se primenjuje na dva tela koja zatim reaguju pomeranjem, odnosno vibracijama.

Vibracije koje su karakteristične i ispoljavaju se u železničkom saobraćaju se šire u obliku talasa koji putuju terenom. Neki od ovih talasa se prostiru površinom tla poput vodenih talasa, dok drugi oblici vibracija putuju kroz zemlju poput zvučnih talasa. Na primer, vibracije od šina mogu putovati kroz zemljište sve do temelja zgrada koje se nalaze u blizini železničkih pruga. Što se tiče tunela, u njima se vibracije koloseka prenose na zid tunela, odakle se šire do površine gde se dalje rasprostiru u obliku površinskih talasa.

Zbog geometrije širenja i prigušenja, amplituda vibracija uglavnom opada sa povećanjem udaljenosti od izvora, ali to nije uvek slučaj. Ovo proističe iz činjenice da postoji uticaj različitih oblika talasa i da njihovo slabljenje zavisi od njihove frekvencije. Uglavnom se na većim udaljenostima prenose vibracije niskih frekvencija. Ovo je posebno važno pitanje pri izboru mera za ublažavanje, naročito ukoliko se u obzir uzme činjenica da postoji mogućnost da mere za ublažavanje vibracija sa većim frekvencijama ne budu efikasne za smanjenje vibracija na većim udaljenostima. Osim toga, talasi vibracija se mogu prostirati na dubini i do 20 metara, što ukazuje da mere za ublažavanje koje se primenjuju u tim slučajevima treba postaviti, tj. ukopati, na odgovarajućoj dubini u zemlji. [5]

U praksi postoji zabrinutost da vibracije koje nastaju kao posledica železničkog saobraćaja mogu prouzrokovati oštećenje imovine. Malo je verodostojnih izveštaja koji ukazuju na to da se vibracije od železničkog saobraćaja mogu smatrati mogućim glavnim uzrokom oštećenja imovine, ali se ističe da je to slučaj koji se veoma retko, skoro nikada ne javlja u praksi. [5] Obično nastaju samo manja kozmetička oštećenja, kao što su manje pukotine ili slično. U slučajevima kada i dođe do oštećenja imovine, ističe se da često postoje mnogi drugi verodostojniji uzroci (starost građevine, vlaga, vremenske prilike, temperatura, loš kvalitet materijala i izgradnje i slično), tako da je praktično

nemoguće sa sigurnošću odrediti koji od ovih potencijalnih uzroka ima uticaj na nastalu štetu, niti u kojoj meri su za to zaslužni. [5] Međutim, treba naglasiti da slabije vibracije koje nastaju od železničkog saobraćaja mogu takođe izazvati uznemirenje kod pojedinih osetljivih stanovnika, a u izuzetnim slučajevima dovesti i do poremećaja sna. Drugi efekti vibracija od železničkog saobraćaja koji mogu biti problematični podrazumevaju ometanje i oštećenje osetljive opreme i uređaja, kao što je visoko osetljiva oprema za merenje, elektronski mikroskopi i instrumenti za magnetnu rezonancu i drugi. [5]

3.1. Mere za ublažavanje vibracija koje potiču od železničkog saobraćaja

U praksi je dostupan širok spektar mera koje se mogu primeniti u cilju smanjenja vibracija koje potiču od železničkog saobraćaja, kako na koloseku, tako i na vozilima. Pri tome, treba imati u vidu da lokalni efekti imaju snažan uticaj (na primer vrsta terena, tip izgradnje građevina, okolina itd.), tako da se efikasnost pojedinih mera može značajno razlikovati od slučaja do slučaja. Ovo predstavlja još veći problem ukoliko se u obzir uzme činjenica da je predviđanje stepena nivoa vibracija, koje generiše železnički saobraćaj, izuzetno složen proces koji često podrazumeva veliki stepen neizvesnosti. Pored toga, treba napomenuti da u pojedinim slučajevima, a posebno za već postojeće stanje, troškovi koji se odnose na ublažavanje vibracija mogu biti veoma visoki.

Smernice za prihvatljiv nivo vibracija se razlikuju od zemlje do zemlje, što u velikoj meri zavisi od individualnih i lokalnih okolnosti. Što se tiče novih situacija (železničke pruge ili stambene imovine), ističe se da će u budućnosti postojati potreba da se pre njihove izgradnje u okviru sprovođenja procene uticaja na životnu sredinu obuhvate i vibracije i predlože odgovarajuće mere sa ciljem da se njihovi negativni efekti u što većoj meri izbegnu ili ublaže. Treba istaći da većina evropskih zemalja nema zakonsku obavezu koja se odnosi na procenu i ublažavanje vibracija za već postojeće stanje. [5] Međutim, železnice u Evropi ozbiljno shvataju zabrinutost stanovništva zbog vibracija i podržavaju procene uticaja vibracija na okolinu i prema potrebi razmatraju mere za njihovo ublažavanje.

Slično kao i sa bukom, mere za ublažavanje vibracija se mogu primenjivati na: [5]

- izvoru – za vibracije se smatra da izvor uključuje točak, kolosek i zastor,

- putu širenja – obuhvata sve putanje između podnožja zastora i temelja zgrade i
- na prijemniku – obuhvata sve objekte i površine u blizini pruge kroz koje se prenose vibracije, od temelja zgrade kroz celu njenu strukturu.

U nastavku je predstavljen niz metoda za ublažavanje vibracija koje su posledica železničkog saobraćaja. Treba imati na umu da efikasnost većina mera uveliko zavisi od frekvencija vibracija, tako da postoji mogućnost da one mere koje imaju dobre rezultate za jedan određeni frekventijski opseg možda neće imati uspeha i pri drugom frekventijskom opsegu. [5]

Treba dodati i to da mere koje imaju zadatak da omoguće ublažavanje vibracija koje potiču od koloseka mogu predstavljati smetnje na samom koloseku i ometati saobraćaj vozova. Pored toga, većinu ovih mera je praktično nemoguće instalirati na već postojećim železničkim prugama jer bi primena pojedinih mera zahtevala skoro čitavu zamenu elemenata koloseka, uključujući zastor, pragove, jastučice i šine. Ovo bi u pojedinim slučajevima značilo obustavu saobraćaja na duži vremenski period. Slično tome, poboljšanja koja se odnose na temelj zgrada ili krutost zidova i podova u stambenim objektima takođe predstavlja veliki problem za stanare koji bi morali da se isele iz prostorija na nekoliko dana, odnosno nedelja.

U poređenju sa merama za ublažavanje buke, mere u vezi sa vibracijama su znatno skuplje. Treba istaći da mere koje se primenjuju za ublažavanje buke verovatno neće biti efikasne i za ublažavanje vibracija i obrnuto, a u pojedinim slučajevima mogu biti čak i kontraproduktivne. [5] Većina mera za ublažavanje vibracija su zasnovane na kombinaciji i modifikaciji sistema opružnih masa. U nastavku su data neka od rešenja koja se najčešće koriste u praksi.

3.1.1. Mere za ublažavanje vibracija na izvoru

Železnička vozila i kolosek čine veoma složeni dinamički sistem koji je sastavljen od masa, opruga i prigušivača. Svako ometanje u sistemu vozilo-točak menja pobudu, ali efikasnost ublažavanja u tački prijemnika zavisi od udaljenosti, učestalosti vibracije i krutosti tla. Na mekom tlu i pri niskim frekvencijama, velika masa vozila koja vibrira često predstavlja glavni izvor vibracija. Ali, na čvrstom zemljištu i pri višim frekvencijama, vibracije koje potiču od neravnina točkova, kao i slobodna masa točkova su često glavni izvori pobude vibracija.

Glavni potencijal za kontrolu i ublažavanje vibracija se mogu pronaći u sledećim tačkama [5]:

- Smanjenje neravnina na točkovima – ovo je jedan od glavnih uzroka prekomernih vibracija, a može se sprečiti poboljšanjem procesa koji se odnose na održavanje vozila,
- Smanjenje „nepovezane“ mase – ovo se kod novih lokomotiva može postići poboljšanjem suspenzije pogonskog sistema. Niži nivoi vibracija su povezani sa vozilima koja imaju sekundarnu suspenziju ili manje prečnike točkova.

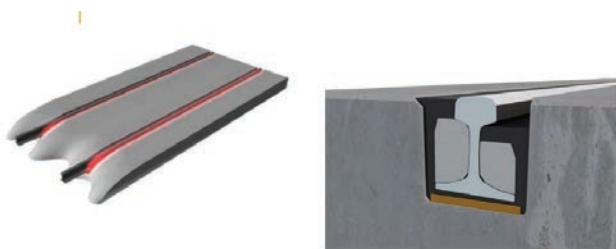
Dobro stanje koloseka je veoma važno za kontrolu vibracija. Stoga, defekti koloseka kao što su pojava „visećih pragova“ usled nedostatka tucanika u zastoru ili deformacija mogu biti jedan od glavnih uzroka vibracija. Istraživanjima je utvrđeno da dobro poravnanje koloseka, uključujući redovno podbijanje tucanika i obnovu zastornog materijala, ima veoma veliki značaj za smanjenje vibracija koje potiču od koloseka. [5] Neka od rešenja koja se najčešće primenjuju za ublažavanje vibracija na koloseku su: elastični štitnici za šine, oblaganje šina, postavljanje specijalnih podmetača ili prostirki ispod pragova i slično.

Primena elastičnih štitnika na šinama za izolaciju vibracija je jedna od mera koja se koristi određeni period unazad, ali je još aktivna na tržištu. Međutim, nedostatak ovog rešenja je što su ovi štitnici pogodni samo za laku železnicu (slika 3). Primena u praksi je pokazala da oni imaju efekat smanjena buke za oko 13 dB, dok je očekivano smanjenje vibracija bilo manje.



Slika 3. Primeri elastičnih pričvršćivača šina [5]

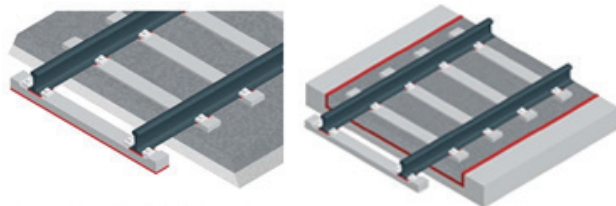
Jedna od mera za ublažavanje vibracije koja se odnosi na šinu jeste **oblaganje šina u koloseku**. Koncept se sastoji u tome da su šine kontinuirano oslonjene na uzdužnu elastičnu prostirku koja je ugrađena u betonsku ploču i pričvršćene sa obe strane kako bi se sprečila pomeranja (slika 4). Ovaj sistem je primenljiv na kratkim deonicama pruge, kao i za lake šinske sisteme. Uz dobar izbor krutosti prostirke, ona može biti veoma efikasna i omogućiti smanjenje vibracija, kao i buke do 2 dB.



Slika 4. Oblaganje šina u cilju smanjenja vibracija[5]

Za koloseke sa zastorom, rešenje može biti postavljanje specijalnih jastučića, odnosno **podmetača ispod pragova**. U slučajevima vibracije većih frekvencija (npr. u blizini koloseka) upotreba jastučića može biti veoma korisna. Uglavnom se za železničke pruge predlaže primena mekih jastučića u kombinaciji sa teškim pragovima ili, alternativno, vrlo elastičnim pričvršnim priborom (slika 5). Međutim, u praksi se pokazalo da upotreba jastučića za pragove, iako smanjuje vibracije, u pojedinim slučajevima može uticati na povećanje buke koja potiče od pragova i šina. [5] Zbog toga se preporučuje pažljiva primena ovih jastučića, a naročito kada su železničke pruge u blizini stambenih zgrada.

U tunelima sa tucanicom se mogu primenjivati **prostirke** koje imaju ulogu da smanje prenos vibracija na zidove tunela. Uprkos teškim uslovima koji mogu vladati u pojedinim tunelima (na primer vlaga), ipak se preporučuje primena ovih prostirki, budući da su se one u praksi pokazale veoma pogodnim sa aspekta životnog veka. Pored toga, ove prostirke se takođe mogu koristiti i na onim delovima pruge gde se kolosek nalazi u useku. Ističe se da je krutost prostirke ključna za postizanje odgovarajućih smanjenja, kao i da su vrlo mekane prostirke koje štite zastor nepovoljne jer mogu da dovedu do rezonancija u domenu kritičnih frekvencija i na taj način povećaju vibracije koje se prenose do prijemnika (slika 5) [5].



Slika 5. Jastučići i prostirke za zastor i pragove [5]

3.1.2. Mere za ublažavanje vibracija na putu širenja

Mere za ublažavanje vibracija na putu širenja su pogodne za pruge na površinama, dok se ističe da ove mere možda neće uvek biti efikasne za podzemne

pruge i građevine koje se nalaze iznad njih.[5] Mere za ublažavanje vibracija na putu prenosa između koloseka i susednih objekata imaju za cilj da deluju kao barijera i spreče širenje talasa. Ovaj efekat se može postići postavljanjem barijera od materijala čija gustina i/ili krutost značajno odstupa od okolnog zemljišta. Takav materijal može biti: [5]

- **elastična podloga**, npr. prostirke, ali pod uslovom da se krutost u dovoljnoj meri razlikuje od okolnog tla,
- **vazduh** (npr. rovovi) koji je veoma lak u odnosu na okolno zemljište,
- **voda**, tj. jarkovi koji su ispunjeni vodom koja je takođe mnogo lakša od zemlje,
- **beton**, npr. betonski blokovi koji su teži i čvršći od zemljišta i sprečavaju širenje talasa (pod uslovom da je je tlo relativno mekano).

Slično barijerama za buku, talasi vibracija takođe imaju tendenciju savijanja oko ivice barijera. To znači da bi barijere trebalo da budu dovoljno ukopane u zemlji kako bi se sprečilo širenje talasa koji se reflektuju u dubini tla. U zavisnosti od lokalnih okolnosti, barijere su obično dubine od 5 do 10 metara. Na primer, za rovove sa vodom, dubina obično iznosi od 2 do 5 metara (slika 6).



Slika 6. Primer postavljanja rova sa vodom duž železničke pruge radi sprečavanja širenja vibracija [5]

3.1.3. Mere za ublažavanje vibracija na prijemniku

Planiranje i implementacija rešenja za ublažavanje vibracija na prijemniku je veoma složen proces jer ovo uglavnom podrazumeva nadogradnju ili

preuređenje postojećih građevina, što često zahteva velike troškove i saradnju vlasnika. Stoga se ističe da bi njih trebalo implementirati još u fazi projektovanja i izgradnje građevina, kako bi se time sprečili povećani troškovi i drugi problemi koji mogu nastati. Mere koje se uglavnom primenjuju za ublažavanje vibracija na prijemniku su: [5]

- primena vertikalnog elastičnog sloja oko temelja zgrade,
- za novoizgrađene zgrade se može uvesti elastičan „ležeći“ temelj koji se obično sastoji od čeličnih opruga ili elastičnih ležajeva, tj. podmetača,
- ojačavanjem prizemlja pomoću šipova (samo za jednospratne zgrade).

4. UTICAJ ŽELEZNICE NA BIODIVERZITET I FRAGMENTACIJU STANIŠTA

Veliki broj biljnih i životinjskih vrsta zavisi od brojnih faktora i uslova životne sredine i stoga ima potrebu za kretanjem kroz različite delove pejzaža. Smatra se da sve ono što obezbeđuje uslove za biodiverzitet, uključujući i kretanje svih vrsta i jedinki kroz pejzaž, čini ekološku infrastrukturu. [6] Međutim, u stvarnosti ljudska, tj. „tehnička“ infrastruktura često dolazi u konflikt sa ekološkom infrastrukturom. Jedan od primera za ovo jesu železničke pruge i putevi koji sami po sebi ne moraju uvek obavezno da zauzimaju velike površine zemljišta, ali formiraju duge barijere koje presecaju staništa i onemogućavaju slobodno kretanje životinja, dok odvijanje saobraćaja na njima često utiče na floru i faunu i može imati brojne negativne efekte. [6,7]

Linijska infrastruktura, kao što su drumske saobraćajnice i železničke pruge, danas predstavlja jednu od najvećih pretnji za biodiverzitet širom sveta, uključujući fragmentaciju staništa. Većina saznanja i zaključaka o ovoj problematici potiče iz studija o putevima. [6] Međutim, izjednačavanje svih uticaja železnice sa drumom sa ovog aspekta je pogrešno jer između ovih vidova saobraćaja postoje značajne razlike, samim tim i efekti. Na primer, železnički saobraćaj je manje intenzivan od drumskog saobraćaja, ali se vozovi po pravilu kreću većim brzinama od automobila i imaju znatno duži put kočenja u odnosu na drumska vozila. Osim toga, putevi i pruge takođe imaju i različitu fizičku saobraćajnu infrastrukturu. Sve ove razlike imaju uticaj na reakcije divljih životinja, a otuda i uticaj na njihovo ponašanje i stepen smrtnosti, fragmentaciju staništa, povezanost pejzaža i drugo. [7]

Ističe se da je danas očuvanje biodiverziteta uvek i u potpunosti nemoguće, ali se sa druge strane mogu preduzeti razne mere sa ciljem da se negativni uticaji na biodiverzitet ublaže u što većoj mogućoj meri. [6] Da bi se ovo sprovelo, za početak je neophodno identifikovati i proceniti ekološke efekte koji se javljaju, kao i uzroke koji su do njih doveli. U poslednjih nekoliko godina unazad se skreće pažnja da i železnice oblikuju životnu sredinu jednog pejzaža na različite načine. Tako se efekat barijera koje železničke pruge imaju na populaciju divljih životinja generalno smatra jednim od najvećih ekoloških uticaja ove infrastrukture. [6] Treba imati u vidu i da intenzitet uticaja u velikoj meri zavisi od frekvencije i vrste saobraćaja, brzine vozova, položaja pruge u prostoru i slično.

Negativan uticaj železnica se može posmatrati sa aspekta uticaja železničke pruge na biodiverzitet, takozvani lokalni efekti ili se pak mogu razmatrati efekti koje celokupna železnička mreža ima na pejzaže i ekosisteme. Lokalni efekti su oni efekti koji uglavnom direktno utiču na vrste koje žive u blizini pruge. Najčešći lokalni uticaji železničkih pruga su gubitak ili promena biotopa, efekat barijere, uznemiravanje i stradanje izazvano saobraćajem vozova. Ukoliko se posmatra celokupna železnička mreža, ovde se kao najznačajniji uticaj pruga može izdvojiti fragmentacija staništa. [6, 7] Prethodno nabrojani efekti železničke infrastrukture na biodiverzitet su opisani u nastavku.

Gubitak ili promena biotopa nastaje usled zauzimanja zemljišta za železničku infrastrukturu, odnosno promene namene zemljišta. Pored toga, prirodno zemljište izvan samih koridora takođe može biti oštećeno tokom izgradnje infrastrukture ili usled hidroloških uslova u zemljištu koja utiču na vegetaciju i promenu lokalnih klimatskih uslova.

Efekat barijera je najčešće posledica „presecanja“ železničke pruge sa ekološkom infrastrukturom i pre svega zavisi od obima saobraćaja, širine železničke pruge, kao i od ponašanja i vrste životinja koje nastanjuju posmatranu oblast (slika 7). Pored toga što barijere mogu biti fizičke usled postojanja određene prepreke (kada životinje ne mogu da pređu prugu), ovaj efekat može nastati i kao posledica uticaja infrastrukture na ponašanje životinja (tzv. bihevionarne prepreke) i ovo se javlja u slučajevima kada životinje fizički mogu da pređu barijere, ali to ne čine zbog nepovoljnih uslova okoline ili uočenih rizika. [7] Na primer, istraživanjem sprovedenim u SAD (2003) koje se bavilo proučavanjem ponašanja bumbara i

pčela prilikom nailaska na železničku prugu se došlo do zaključka da se ovi insekti, prilikom nailaska na prugu, uglavnom vraćaju u svoju oblast (lokaciju) gde inače borave, iako železnička pruga nije predstavljala fizičku prepreku koja sprečava njihovo preletanje. Međutim, železnička infrastruktura deluje na njih i njihovo ponašanje što je za posledicu imalo stvaranje efekta barijere [7].



Slika 7. Efekat barijere železničke pruge koji doprinosi povećanju rizika od stradanja životinja [8]

Stradanje životinja, kao posledica sudara divljih životinja i vozova, predstavlja jedan od najočiglednijih uticaja železničke infrastrukture i saobraćaja na divlje životinje. Osim toga, do stradanja pojedinih manjih životinja može doći i usled toga što one mogu ostati zarobljene na koloseku između šina i uginuti zbog dehidracije ili gladi (žabe, kornjače, veće bube itd). Međutim, većina saznanja o uticaju železnica na životnu sredinu ipak dolazi iz studija koje se odnose na smrtnost većih životinja jer su ovi incidenti najupečatljiviji i mogu izazvati nesreće u železničkom saobraćaju, kašnjenja, veliku štetu, samim tim i značajnije finansijske gubitke. [7] S druge strane, treba imati u vidu da stradanje životinja od vozova može imati veliki uticaj na populaciju sisara, posebno za one vrste koje su već ugrožene. Najveća stradanja se obično dešavaju na deonicama na kojima se železničke pruge ukrštaju sa važnim staništima ili migracionim putevima. U tim uslovima može biti ugroženo mnogo vrsta, od malih insektojeda (poput ježeva) i mesojeda, preko velikih mesoždera (na primer mrkih i grizli medveda), do kopitara (jeleni, srne, losovi i slično). U većini evropskih zemalja su uglavnom među najugroženijim manje životinje. Obično su pogođeni jazavci, lisice, kopitari, divlje svinje, ježevi i glodari poput crvene veverice, smeđeg pacova i zečeva, zatim ptice i vodozemci (uglavnom žabe) i gmizavci (zmije, kornjače i dr.), dok su u tunelima posebno ugroženi slepi miševi [7].

Najznačajniji efekat koju železnička mreža pruga može imati na pejzaž jeste **fragmentacija** (cepkanje) biotopa izazvana gubitkom ili razdvajanjem staništa. Gubitak staništa nastaje kada izgradnja železničke infrastrukture dovodi do smanjenja dostupnog staništa. Kao posledica toga, dolazi do narušavanja preostalog okruženja, što predstavlja stres za mnoge vrste. Pored toga, tokom fragmentacije se veliki, kontinualni fragmenti dele, što rezultira manjim, često izolovanim fragmentima, koji ne mogu dugo da održavaju populaciju jer je ekološka infrastruktura pejzaža oslabljena, što u krajnjem može dovesti do gubitka biodiverziteta. Kao poseban problem se izdvaja taj što je posledice teško lokalizovati, a one se pri tom veoma brzo i lako šire. [7]

Pored prethodno navedenih uticaja koje železnica kao sistem ima na biodiverzitet, efekti železnice se u pojedinim slučajevima mogu odraziti i kroz promenu nivoa podzemne vode, promenama temperature, emisijama izduvnih gasova, bukom, svetlošću koja uznemirava životinje, povećanom ljudskom aktivnošću itd. Uz to, aktivnosti koje utiču i imaju veoma uznemirujući efekat za životinje i vegetaciju uz ivicu pruga se poslednjih nekoliko godina sve više intenziviraju (npr. buka, tretiranje biljaka raznim hemikalijama, krčenje šuma ili druge ljudske aktivnosti).

4.1. Mere za ublažavanje uticaja železnice na biodiverzitet i fragmentaciju staništa

U poslednjih nekoliko godina je primetan porast broja istraživanja i ulaganja koja se odnose na mere za ublažavanje fragmentacije staništa, kao i za smanjenje stradanja divljih životinja na putevima. S druge strane, naponi da se poboljša bezbednost divljih životinja nisu bili tako značajni i u železničkom sistemu, gde su mere uglavnom bile koncentrisane na ublažavanje uticaja postojećih železničkih pruga. [7] Iz tog razloga su se često za železničke pruge primenjivala rešenja koja se odnose na drumski saobraćaj. Međutim, iako postoje određene sličnosti, veoma je važno napraviti razliku između ova dva vida saobraćaja po ovom pitanju, kako bi se omogućilo pravilno sagledavanje problema i na taj način osigurale adekvatne i efikasne mere za železnicu koje će imati pozitivan efekat. Na primer, jedna od značajnih razlika između puteva i železničkih pruga sa ovog aspekta je ta što mašinovođa ne može promeniti putanju kretanja ili da naglo smanji brzinu i izvrši kočenje voza da bi se sudar sa životinjama izbegao, za razliku od drumskog

saobraćaja gde vozač, preduzimanjem odgovarajućih aktivnosti, može uticati na sam ishod situacije. Stoga se mere za ublažavanje stradanja životinja na železnici moraju u potpunosti oslanjati na sprečavanje životinja da uđu i ostanu na prugama, što nije uvek slučaj i za drumski saobraćaj, gde ne postoji veoma izražena potreba za primenom sličnih rešenja.

4.1.1. Strukture koje omogućavaju prelazak divljih životinja preko železničkih pruga

Kako bi se olakšao i omogućio bezbedan prelazak životinja preko železničkih pruga u praksi se često primenjuju strukture za prelazak životinja. Ovu funkciju mogu imati i uobičajeni infrastrukturni železnički objekti kojima ovo nije primarna namena, kao što su propusti, mostovi i slično, koji se mogu adaptirati tako da postanu privlačni za životinje koje će ih koristiti. Alternativno, u određenim slučajevima se mogu izgraditi specijalne strukture za prelazak koje se obično nazivaju podvožnjaci ili nadvožnjaci za prelazak životinja. [7]

Iako strukture za prelazak životinja preko železničkih pruga doprinose ublažavanju mortaliteta i efekta barijera linijske infrastrukture, njihova primarna uloga je bila fokusirana na efekte barijera, odnosno na obezbeđenje povezanosti kroz pejzaže koji su fragmentirani prolaskom pruge (slika 8).



Slika 8. Pojedini tipovi struktura za prelazak životinja iznad/ispod železničkih pruga [8]

Treba imati u vidu činjenicu da se lokacija primene prelazne infrastrukture mora planirati uzimajući u obzir brojne faktore, kao što su njihova dimenzija, koji će zavisiti od ciljne vrste životinja, zatim podloge na kojoj će se izgraditi, vlage, količine svetlosti, lokacije staništa i vode itd.

4.1.2. Strukture koje ograničavaju pristup železničkim prugama

Jedna od najefikasnijih mera za smanjenje prisustva divljih životinja na pruzi je implementacija struktura koje sprečavaju pristup ili, u slučaju letećih životinja, podstiču preletanje iznad vozova i kontaktnog voda. Međutim, ove mere ograničavaju i povećavaju efekat barijera, osim ako nisu praćene odgovarajućim

strukturama za prelazak koje su prethodno opisane. Železnička pruga je već sama po sebi barijera, stoga se preporučuje izbegavati ove mere, a ograde treba postavljati samo kada je učestalost sudara vozova i životinja velika. [7]

Trenutno se postavljanje ograda smatra najefikasnijim sredstvom za ograničavanje pristupa divljih životinja prugama. Međutim, treba imati u vidu da ove ograde mogu biti manje efikasne za one vrste životinja koje su sposobne za menjanje, preskakanje ili provlačenje ispod njih. Zato je kod njihove primene od veoma velike važnosti preduzeti odgovarajuće korake kako bi se obezbedilo da one životinje koje dospeju na prugu mogu brzo i lako da pobegnu sa nje, kako bi se na taj način sprečilo da ostanu zarobljene na njoj. Ovo se može postići postavljanjem jednosmernih kapija na ogradama ili formiranjem povratnih klampi na pojedinim mestima gde su intenzivna ukrštanja puteva životinja i pruge. [7]

Još jedna mera koja može biti efikasna za sprečavanje pristupa jeste primena zvučne signalizacije i zvučnih barijera. Glavna uloga zvučne signalizacije je da vrši upozoravanje životinja o približavanju voza, dok su zvučne barijere uglavnom namenjene da drže životinje podalje od pruge. Stacionarni sistemi ovog tipa se mogu montirati u kritičnim područjima, dok se njihova aktivacija uglavnom vrši pomoću senzora koji se aktivira pokretom pri čemu dolazi do emitovanja zvučnih (a ponekad i vizuelnih) signala koji imaju ulogu da zaplašiti životinje. Zvuci koji se koriste mogu biti zvučni ili ultrazvučni, što zavisi od ciljne vrste životinja na koje treba uticati. Osvetljenje i reflektori se obično koriste u noćnim uslovima i mogu odražavati svetlo voza ili emitovati signale „blica“ pre nadolazećeg voza. Oni se mogu kombinovati sa zvučnom signalizacijom radi bržeg odziva životinja. Bez obzira na to, preporuka je da svetlo ne treba da bude previše invazivno kako bi se sprečilo zaslepljivanje životinja koje u tom slučaju obično ostaju da mirno stoje na koloseku, što može imati negativan efekat.

Pored mera koje su prethodno date, jedan od načina za smanjenje prisustva životinja na prugama predstavlja upravljanje staništima. Ovo podrazumeva redovno održavanje vegetacije u oblasti železničkih pruga i uklanjanje specifičnih biljaka. Osim toga, još jedan način za upravljanje kretanja životinja se odnosi na lociranje stanica za dopunu prehrane, koje treba postavljati daleko

od pruge kako bi se na taj način životinje držale podalje od pruge i time doprinelo smanjenju stradanja životinja.

5. ENERGETSKA EFIKASNOST ŽELEZNICE I UTICAJ NA KLIMATSKE PROMENE

Energetska efikasnost se definiše kao potrošnja energije po jednom putničkom, odnosno tonskom kilometru. [9] Treba dodati da železnice, s obzirom na svoje specifične karakteristike koje poseduje, značajno nadmašuju druge vidove transporta sa aspekta potrošnje energije po jednom putničkom kilometru, odnosno tonskom kilometru. [10]

Ističe se da se nijedan drugi vid transporta u Evropi ne može pohvaliti energetskom efikasnošću kao što je to železnica. S obzirom na činjenicu da električna vozila, tj. elektrovozovi imaju značajan udeo u evropskim železničkim voznim parkovima, očekuje se da će većina vozova moći da ostvaruje pogon potpuno čistom energijom kada ona postane široko dostupna. [4] Uz to, najnovija vozila su takođe opremljena sistemom za rekuperaciju koji im omogućava povratak električne energije tokom kočenja, a koja se kasnije ponovo može koristiti za napajanje, omogućava uštedu u potrošnji i dodatno doprinosi energetskoj efikasnosti železnice. [11] Osim toga, železnica ima prednost sa ovog aspekta i usled malog broja zaustavljanja, izdvojenog puta vožnje, prvenstva prolaza na mestima ukrštanja sa drugim vidovima saobraćaja i slično. [10]

Dok je udeo železnice u ukupnoj potrošnji energije od transportnog sektora u EU manji od 3%, njegovo učešće na transportnom tržištu iznosi oko 8,5%. [12] Treba dodati i da su železnice u periodu od 1990. do 2015. godine uspele da poboljšaju svoju energetsku efikasnost u putničkom i u teretnom sektoru – u proseku je sada potrebno oko 15% manje energije po pkm, odnosno 22% energije za jedan tkm. [12]

Što se tiče emisije zagađenja koja potiču od železničkog saobraćaja, treba istaći da glavni izvor zagađenja predstavljaju emisije koje ispuštaju dizel-vozovi tokom sagorevanja fosilnih goriva, kao i emisije koje se oslobađaju u procesu proizvodnje električne energije. Dakle, električni vozovi ne emituju direktno ove zagađivače, ali se oni emituju tokom procesa proizvodnje električne energije.

Ukupne emisije dizel-lokomotiva imaju kontinualan pad od 1990. godine, te se ističe da su one danas

izuzetno niske u poređenju sa drugim vidovima transporta. [3] Međutim, iako dizel- vuča u većini evropskih zemalja uglavnom ima manji udeo u ukupnom saobraćaju, železnički sektor je i dalje u potrazi i razmatra nove tehnologije sagorevanja, efikasne prenosne sisteme i mogućnosti za naknadno smanjenje emisija zagađivača u izduvnim gasovima kako bi se obezbedilo da i dizel- vuča u železničkom sektoru postane u potpunosti ekološki prihvatljiva u budućnosti. Svakako, jedan od najefikasnijih pristupa koji se može preduzeti u smislu smanjenja ukupnih emisija zagađenja jeste elektrifikacija železničke mreže u što većem obimu uz istovremeno povećanje proizvodnje i korišćenje električne energije iz obnovljivih izvora energije. [3]

Budući da je železnica jedini vid transporta koji je danas široko elektrificiran i koji u potpunosti ima mogućnost da bude nezavisan od fosilnih goriva, ona je jedinstveno pozicionirana da u budućnosti iskoristi rastuću ulogu obnovljivih oblika energije. [3, 11] Pored toga, zbog upotrebe električne energije, železnica je jedini vid transporta koji je u potpunosti sposoban da se prebaci sa upotrebe fosilnih goriva na obnovljive izvore energije bez potrebe za daljim velikim tehnološkim inovacijama. Međutim, da bi se ovo omogućilo, naglašava se da su potrebna velika infrastrukturna ulaganja u železnički sistem. [3, 11]

Emisije koje nastaju u procesu proizvodnje električne energije za potrebe železničkog saobraćaja zavise prvenstveno od nacionalnih energetskih sektora i političkih ciljeva. Međutim, ovde treba istaći da pojedine železnice koje su ozbiljno shvatile značaj „čiste“ energije za železnicu i poseduju sopstvena namenska postrojenja za proizvodnju električne energije mogu imati značajno drugačije učešće pojedinih resursa u proizvodnji električne energije od drugih železnica, odnosno država. Štaviše, u mnogim zemljama su železnice često jedan od najvećih potrošača električne energije, tako da njihove odluke o potrošnji energije mogu biti od velike pomoći u pomeranju tržišta i podsticaj za investiranje u „čistije“ oblike proizvodnje energije. Ističe se da je u ovome potrebna politička volja jer su mnoge železnice i dalje u državnom vlasništvu. [3]

S obzirom na svoje prednosti koje ima sa aspekta energetske efikasnosti i upotrebe energije, može se zaključiti da, u slučaju da se u budućnosti omogući proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije, ne postoje druge tehničke

prepreke za uspostavljanje železničkog sistema sa nultim emisijama CO₂, odnosno železničkih transportnih usluga koje će biti ugljenično neutralne. Stoga, predviđanja su da će železnica, ukoliko se proizvodnja električne energije u narednom periodu, a najkasnije do 2050. godine, u potpunosti dekarbonizuje, postati prvi i jedini od glavnih vidova transporta koji će u potpunosti biti klimatski neutralan. [3, 11]

5.1. Mere za poboljšanje energetske efikasnosti železnice i smanjenje emisija CO₂

Poboljšanje energetske efikasnosti predstavlja jedan od glavnih ciljeva železničkih kompanija. Jedan od razlog za ovo je što poboljšanje energetske efikasnosti dovodi do smanjenja finansijskih troškova, što doprinosi poboljšanju položaja železničkog saobraćaja i shodno tome doprinosi poboljšanju ekonomske i društvene koristi u analizi troškova i koristi. Da bi se ovo postiglo, potrebno je u budućnosti smanjiti potrošnju energije. Ali, pored toga treba uzeti u obzir i neto cenu energije, imajući u vidu da količina energije sama po sebi ne odražava na odgovarajući način finansijske i ekonomske društvene troškove korišćenja energije. [13]

Železnica čini sastavni deo transportnog sistema i stoga se očekuje da ona u budućnosti doprinese poboljšanju energetske efikasnosti ovog sektora, iako se u železničkom sistemu u budućnosti očekuje povećanje specifične potrošnje energije, npr. zbog povećanja brzina vozova i drugih parametara koji se odnose na poboljšanje železničkih usluga, kao što su frekvencija, komfor i slično. Navodi se da će poboljšanje kvaliteta železničkih usluga istovremeno povećati atraktivnost železnice kao vida transporta i privući nove korisnike sa drugih prevoznih sredstava sa nižom energetskom efikasnošću, što bi u budućnosti trebalo da opravda predviđeno povećanje specifične potrošnje energije u železničkom sistemu. [13]

Prognoze rasta mobilnosti i njihove posledice i negativni efekti su dva velika problema sa kojima se današnje društvo mora suočiti. Transportni model onakav kakav je danas je neodrživ, a svako povećanje mobilnosti dovodi do ozbiljnih zagađenja, kao i povećanja potražnje za energijom, koja zajedno sa nedostatkom prirodnih resursa projektuje obeshrabrujuću sliku budućnosti. Smatra se da je danas već društveno prihvaćeno da je železnica, kao vid transporta, energetski i ekološki najefikasnija u

odnosu na druge konkurentne vidove transporta. [13] Ovo proizilazi iz činjenice da železnica ima manju potrošnju energije, kao i emisije sa efektom staklene bašte (tzv. GHG – Greenhouse Gas), a posebno ukoliko se primarna energija dobija iz obnovljivih izvora energije.

5.1.1. Mere za smanjenje potrošnje energije u železničkom saobraćaju

Postoji mnogo rešenja i tehnologija koji mogu imati veliki uticaj na smanjenje potrošnje energije, a samim tim i emisija CO₂. Većina njih su specifični i mogu se primeniti samo na železnički sistem. Neke od mera koje se mogu preduzeti, a koje imaju značajan uticaj na potrošnju energije, na železnici su [13]:

1. mere koje se odnose na **projektovanje železničke infrastrukture i vozna sredstva**
 - projektovanje železničkih pruga sa povoljnijim tehničko-eksploatacionim karakteristikama može smanjiti potrebe za kočenjem i na taj način smanjiti gubitke - na primer, postojanje nagiba na ulazu u stanicama može značiti uštedu vučne energije i do 5%, odnosno 23% energije za kočenje,
 - konstrukcija novih vozova uzimajući u obzir savremene dizajne koji omogućavaju smanjenje otpora - smanjenje aerodinamičkog otpora za 25% može dovesti do smanjenja energije za potrebu vuče i do 15%,
 - uvođenje novih materijala koji omogućavaju smanjenje težine voznih sredstava s obzirom da težina vozova ima veliki uticaj na potrošnju energije - primena kompozitnih materijala omogućava smanjenje potrošnje energije do 5%, a samim tim i smanjenje emisije CO₂,
2. mere koje se odnose na **vuču vozova**
 - elektrifikacija pruga koje nisu elektrificirane - omogućava da se transport robe koji se trenutno vrši dizel- -lokomotivama obavlja elektrovučom,
 - smanjenje gubitaka u procesu vuče primenom novih tehnologija - upotreba napredne tehnologije može doprineti smanjenju potrošnje električne energije i do 15%,
 - uključivanje reverzibilnih stanica u sistem napajanja - na taj način se usled vraćanja, tj. rekuperacije, električne energije u mrežu tokom kočenja vozova može uštedeti električna energija od 7 do 15% u zavisnosti od pruge ili usluge,
 - opremanje voznog parka vozilima koja koriste alternativna goriva (bio goriva, vodonik itd.).

Pored prethodno nabrojanih mera, u obzir treba uzeti i primenu novih tehnologija koje omogućavaju smanjenje potrošnje energije. Procenjeno je da pojedini novi pomoćni sistemi na vozilima (na primer HVAC sistemi ili sistemi osvetljenja) mogu obezbediti uštedu energije od 15 do 30% u odnosu na starije sisteme. [13] Pored toga, od koristi mogu biti i mere koje se odnose na operativne procedure, tehniku vožnje vozova i slično.

6. ZAKLJUČAK

Može se steći utisak da je železnički sektor svestan svoje buduće uloge koju će imati, prvenstveno za zaštitu životne sredine, a zatim i ekonomiju i društvo. U prilog tome govore i brojne inicijative koje je ovaj sektor preduzeo poslednjih nekoliko godina. Ovde se pre svega misli na brojna istraživanja i razvoj tehnologije i mera sa osnovnom ciljem da se poboljša već trenutno povoljan položaj železnice u smislu ekološke održivosti. Naročito je ohrabrujuća činjenica da je posebna pažnja data onim negativnim efektima sa kojima se železnica već u određenoj meri suočava, kao što su buka i vibracije, ali i naponi da se preduzmu odgovarajući koraci koji će omogućiti da predviđeni porast obima transportnih aktivnosti, tj. proširenje železničkih kapaciteta, neće dodatno dovesti do povećanja i pojave novih negativnih uticaja na životnu sredinu, kao što su dalja fragmentacija i negativni efekti na prirodna staništa. Zahvaljujući tome, razvijen je čitav spektar efikasnih rešenja za pojedine kritične uticaje železničkog transporta na životnu sredinu, a koja će imati ključnu ulogu u uspostavljanju potpuno ekološko prihvatljivog železničkog sistema u budućnosti bez značajnijih poteškoća, bar ne sa aspekta postojanja tehnologije i rešenja. Pored toga, ovome bi trebalo znatno da doprinesu i nova istraživanja u različitim oblastima i nastavak razvoja i primena novih tehnologija i inovacija koje će imati ulogu da se uticaj železnice na životnu sredinu što bolje razume i u skladu sa tim primene odgovarajuća rešenja kako bi se negativni efekti u što većoj meri ublažili, odnosno eliminisali.

Za razliku od trenutnog stanja, treba istaći da ne postoje opravdani razlozi da se u budućnosti ne iskoriste sve ekološke prednosti i mogućnosti železnice u odnosu na druge vidove transporta, uključujući pri tom i znatno nižu potrošnju energije. Stoga, može se zaključiti da će železnica, pod uslovom da se omogući efikasno sprovođenje mera tamo gde postoji potreba za tim i pronade način da se svi problemi uspešno prevaziđu, moći da u potpunosti iskoristi sve svoje prednosti koje poseduje sa ciljem da u budućnosti

bude ekološki prihvatljiv vid saobraćaja i na taj način spreči dalji negativan uticaj i pritisak celokupnog transportnog sistema na životnu sredinu.

LITERATURA

- [1] Railway noise in Europe – State of Art report, UIC ETF Railway Tehnical Publication, Paris, France, https://uic.org/IMG/pdf/railway_noise_in_europe_2016_final.pdf;
- [2] Railway Noise in Europe State of art report, UIC, Paris, France, https://uic.org/IMG/pdf/railway_noise_in_europe_state_of_the_art_report.pdf, 2021;
- [3] Rail Transport and Enviromental – Fact and Figures, UIC ETF Railway Tehnical Publication, , Paris, France, https://uic.org/IMG/pdf/facts_and_figures_2014_v1.0-4.pdf, 2015;
- [4] Olaf K, Matthew L. Henning S: Railways and the Enviroment – Building on the Railways Enviromental Strenghts, CER, Bruxelles, Belgum, http://www.cer.be/sites/default/files/publication/090120_railways_and_the_environment.pdf, 2009;
- [5] Railway Induced Vibration - State of Art Report UIC ETF Railway Tehnical Publication, Paris, France, <https://uic.org/IMG/pdf/uic-railway-induced-vibration-report-2017.pdf>
- [6] Putevi Srbije: Zaštita životne sredine u sektoru puteva, Edicija Twininig Publikacije, Beograd, <https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/publikacije/prirucnikzss.pdf>, , 2009;
- [7] Luis B: Railway Ecology, Springer Open, Cham, Switzerland, A<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-57496-7.pdf>, 2017;
- [8] Project REVERSE: <https://uic.org/projects/article/reverse>
- [9] Lundberg E: Reducing the environmental impact of rail transportation, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva-2%3A943415&dswid=-4730>
- [10] The Future of Rail Opportunities for energy and the environment, IEA/OECD, Paris, France,

<https://www.oecd.org/publications/the-future-of-rail-9789264312821-en.htm>, 2019;

- [11] Railway handbook: Energy consumption and CO2 emissions, OECD, International Energy Agency (IEA) and the International Union of Railways (UIC), Paris, France, https://uic.org/IMG/pdf/handbook_iea-uic_2017_web3.pdf
- [12] Technologies and Potential Developments for Energy Efficient and CO2 Reduction in Rail System, UIC ETF Railway Technical Publication, Paris, France, https://uic.org/IMG/pdf/_27_technologies_and_potential_developments_for_energy_efficiency_and_co2_reductions_in_rail_systems_uic_in_colaboration.pdf, 2016,
- [13] Anica Stojićević: naliza uticaja železničkog transporta na životnu sredinu kroz procenu održivog razvoja i eksternih troškova, master rad, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2021.

PRIKAZ KNJIGE „UPRAVLJANJE PROJEKTIMA“

UPRAVLJANJE PROJEKTIMA

Dušan Stojaković
Milena Ilić
Valentin Kuleto



Autori: Dušan Stojaković, Milena Ilić, Valentin Kuleto
Izdavač: Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu, Fakultet savremenih umetnosti
Godina izdanja: 2021.
ISBN: ISBN-978-86-87175-08-2

UVOD

Knjiga autora Dušana Stojakovića, Milene Ilić i Valentina Kuleta, "Upravljanje projektima" koji je izdao Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu, Fakultet savremenih umetnosti u Beogradu,

realizovana je u B5 formatu na 252 strane u prihvatljivom obimu za usvajanje sadržaja od strane čitalaca i realizovana je u okviru dva dela i 12 poglavlja, sa 24 slike i dve tabele. Knjiga je namenjena studentima osnovnih studija ali i svima onima koji stupaju profesionalno u svet projektnog menadžmenta. Ono što ovaj udžbenik izdvaja od drugih jeste metodologija koja je korišćena za njegovu izradu. Uprkos očekivanom metodološkom postupku pisanja udžbenika iz ove naučne discipline, autori su se odlučili da udžbenik strukturiraju prema PMBOK funkcionalnim oblastima tako da udžbenik prati funkcionalne oblasti upravljanja projektima „zarad bolje sistematizacije i razumevanja materijala“: upravljanje integracijom; upravljanje obimom; upravljanje vremenom; upravljanje troškovima; upravljanje kvalitetom; upravljanje resursima; upravljanje komunikacijama; upravljanje rizikom; upravljanje nabavkom; upravljanje promenama i upravljanje stejkholderima.

ZNAČAJ KNJIGE

Namena ovog udžbenika kako je i sami autori definišu je da "čitaocima ponudi pojašnjenje i upoznavanje sa specifičnom terminologijom discipline, kako bi se olakšala tranzicija studenata iz sveta akademaca i amatera u svet profesionalaca za upravljanje projektima." Za pisanje udžbenika autori su konsultovali veliki broj naučnih i stručnih referenci standarda, njih 111, dok indeks pojmova sadrži 215 različitih pojmova pomenutih u udžbeniku. Bogata literatura korišćena za pisanje knjige, koja se nadovezala na bogatu empiriju autora, izdvaja ovu knjigu u obilju onih koji pretenduju da budu nezaobilazno štivo iz predmetne oblasti.

STRUKTURA KNJIGE

Knjiga "Upravljanje projektima" rađena je u B5 formatu, napisana na 252 strane, segmentirana kroz

12 poglavlja, uključujući predgovor i literaturu, a uz zasebni deo - aneks ključnih pojmova čini jednu celinu. Knjiga ima 24 crno-bele slike odnosno stilizovane ilustracije i dve tabele.

Prvo poglavlje uvodi čitaoca u naučnu disciplinu i profesiju upravljanja projektima i govori o funkcionalnim oblastima ove discipline. Autori čitaocima pojašnjavaju u okviru uvodnih razmatranja poglavlja da "funkcionalne oblasti grupišu procese prema njihovim zajedničkim karakteristikama, a grupe procesa na osnovu njihovog redosleda izvršavanja u procesu upravljanja (u određenoj meri jer se dešavaju i ponavljanja)", te da su u pitanju funkcionalne oblasti, odnosno oblasti znanja "prema PMBOK" (tzv. Knowledge areas "KAs"). U skladu sa ovih 10 oblasti znanja: Upravljanje integracijom; Upravljanje obimom; Upravljanje vremenom; Upravljanje troškovima; Upravljanje kvalitetom; Upravljanje resursima; Upravljanje komunikacijama; Upravljanje rizikom; Upravljanje nabavkom i Upravljanje stejkholderima, organizovano je narednih 10 poglavlja knjige.

Drugo poglavlje koje predstavlja oblast upravljanja obimom projekta i određuje procese koji treba da obezbede da su u projekat uključeni svi zahtevani radovi, i samo zahtevani radovi, da bi se projekat uspešno realizovao.

Treće poglavlje nazvano Upravljanje vremenom govori o funkcionalnoj oblasti koja obuhvata "trajanje projektnih aktivnosti koje su projektom planirane, ali obuhvate i definisanje rasporeda izvršavanja ovih projektnih aktivnosti, njihovo praćenje kao i obavezno kontrolisanje da li postoji odstupanje izvršenja redosleda u odnosu na redosled koji je planiran" kako to navode autori u opisu odnosno najavi poglavlja.

Četvrto poglavlje koje se zove Upravljanje troškovima, ukazuje na važnu činjenicu da je, pored značaja da se troškovima projektnih resursa upravlja, značajno i da se ne zanemare ostali troškovi koji nisu direktni troškovi projektnih resursa, ali imaju svoj značaj jer su stavljeni u funkciju realizacije projekta.

Peto poglavlje nazvano Upravljanje kvalitetom govori o istoimenoj funkcionalnoj oblasti koja za osnovni cilj ima obezbeđenje ispunjenja svih zahteva projekta zbog kojih je projekat i pokrenut.

Šesto poglavlje pod nazivom Upravljanje resursima projekta, opisuje funkcionalnu oblast upravljanje resursima projekta koja za osnovni cilj ima

obezbeđenje svih potrebnih resursa za realizaciju projekta.

U okviru sedmog poglavlja koje govori o funkcionalnoj oblasti upravljanje komunikacijama projekta definisani su procesi i aktivnosti koji se odnose na veštine komunikacije i obezbeđenje potrebnih informacija koje su vezane za projekat i sadržane u različitim dokumentima.

Osmo poglavlje govori o funkcionalnoj oblasti i procesima upravljanja rizikom projekta i upoznaće čitaoca sa važnosti identifikovanja rizika, analizi istih i planiranju rizika i drugih izazova koja mogu imati uticaj na ishod, odnosno uspeh projekta.

U okviru devetog poglavlja autori predstavljaju specifičnosti i procese funkcionalne oblasti upravljanja ugovaranjem, odnosno nabavkom.

Deseto poglavlje ukazuje na funkcionalnu oblast upravljanja stejkholderima koja za cilj ima identifikaciju svega i svih koji čine zainteresovane strane projekta i izradu plana njihovog angažovanja, pre nego što se pređe na upravljanje i praćenje samog angažovanja.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Evidentna praktična, odnosno stručna iskustva tri univerzitetska profesora na polju projektnog menadžmenta i saznanja do kojih su došli analizom referentnih bibliotečkih izvora, naučnih i stručnih radova i standarda iz oblasti upravljanja projektima, najbolja su potvrda da pred sobom imamo materijal koji će služiti uspešnom realizovanju nastave za predmetu Upravljanje projektima na Fakultetu savremenih umetnosti u Beogradu kao i na drugim fakultetima i visokim strukovnim školama koje se odluče da uvrste ovu knjigu u svoj nastavno-obrazovni proces.

Podaci o autorima

Dr Dušan Stojaković, docent je Fakulteta savremenih umetnosti u Beogradu. Član je recenzentske komisije NAT. Pored naučnih radova koji su objavljeni u domaćim i stranim stručnim časopisima, kao i stručnih knjiga, autor je i naučne monografije "Internet marketing i pozorišna publika u Srbiji". Dobitnik je više desetina nagrada u oblasti digitalnih komunikacija i marketinga, a nagrađivan je i za doprinos razvoju odnosa s javnošću i medija uopšte, gde su dve poslednje nagrade u 2020. "Srđan Đurić" (DSOJ)

za razvoj PR struke i specijalna plaketa Sveučilišta u Mostaru za doprinos razvoju komunikacije i medija u jugoistočnoj Evropi.

Dr Milena Ilić je doktor ekonomskih nauka. Objavila je 120 originalnih naučnih radova, preglednih radova i prikaza knjiga. Učestvovala je na brojnim naučnim konferencijama i simpozijumima u zemlji i inostranstvu. Autor je osam knjiga, univerzitetskih udžbenika i praktikuma i urednik tri monografije međunarodnog značaja iz oblasti menadžmenta, informacionih i interdisciplinarnih nauka. Recenzent je nekoliko tematskih zbornika međunarodnog značaja, udžbenika i više vodećih časopisa od nacionalnog značaja i međunarodnih časopisa (WOS). Od 2016. godine zaposlena je na Visokoj školi strukovnih studija za informacione tehnologije ITS – Beograd u zvanju profesor strukovnih studija i na Fakultetu savremenih umetnosti u Beogradu, u zvanju docent. Učesnik je više naučnih i stručnih projekata. Sertifikovani je IPMA senior trener u oblasti projektnog menadžmenta.

Dr Valentin Kuleto, vanredni profesor, osnivač je i predsednik međunarodne kompanije LINKgroup koja posluje u više zemalja. LINKgroup je regionalni lider u oblasti profesionalnog obrazovanja, obrazovanja na daljinu i proizvodnje obrazovnih i poslovnih softvera. Tokom godina uspešno je vodio više obrazovnih i softverskih projekata za matičnu kompaniju i privredu. Uspešno je vodio i realizovao veliki broj projekata razvoja korporativnih softvera i projekata e-poslovanja i implementirao različita softverska rešenja u institucijama visokog obrazovanja. Mnoga poslovna softverska rešenja dizajnirana su pod njegovim nadzorom. Pokretač je više softverskih rešenja koja se koriste u obrazovanju.

dr Marko Ranković, docent

Fakultet za informacione tehnologije i inženjerstvo, Beograd

Goran Radić

Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije – ITS, Beograd

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

656.2(497.11)

ŽELEZNICE : naučno-stručni časopis Železnica Srbije / glavni urednik Slavko Vesković ; odgovorni urednik Danko Trninić. - god. 5, br. 7 (1949) - god. 61, br. 5/6 (maj/jun 2005) ; god. 62, br. 1 (2017) - . - Beograd : Društvo diplomiranih inženjera železničkog saobraćaja Srbije (DIŽS), 1949-2005; 2017 - (Beograd : Službeni glasnik). - 29 cm

Polugodišnje.

- Je nastavak: Саобраћај (Београд, 1945) = ISSN 2560-3566
ISSN 0350-5138 = Железнице
COBISS.SR-ID 959492