

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

# ŽELEZNICE

VOL. 63 • BROJ 1 • STRANA 1-64 • BEOGRAD • MAJ 2018. GODINE





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

# ŽELEZNICE

VOL. 63 • BROJ 1 • STRANA 1-64 • BEOGRAD • MAJ 2018. GODINE

## IZDAJE



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

### Odgovorno lice izdavača

*Danko Trninić, dipl. inž.*  
predsednik

## REDAKCIJA

### Glavni urednik

*Prof. dr Milan Marković, dipl. inž.*

### Odgovorni urednik

*Vesna Gojić Vučićević, dipl. nov.*

### Tehnički urednik

*Predrag Knežević, dipl. inž.*

### Lektor

*Ksenija Petrović, dipl. filol.*

## PERIODIČNOST

Šestomesečno

## TIRAŽ

300 primeraka

## ŠTAMPA

JP Službeni glasnik  
Beograd, Lazarevački drum 13-15

## KONTAKT

tel. +381 11 3613 219  
E-mail: [casopis-zeleznice@dizs.org.rs](mailto:casopis-zeleznice@dizs.org.rs)  
[www.dizs.org.rs](http://www.dizs.org.rs)  
[www.casopis-zeleznice.rs](http://www.casopis-zeleznice.rs)

## ORIGINALNI NAUČNI RADOVI

*Dragan Pamučar, Vesko Lukovac*

**Izbor lokacije za razvoj trimodalnog  
logističkog centra primenom grubih brojeva:  
hibridni ROUGH AHP-MABAC model..... 5**

## PREGLEDNI RADOVI

*Nemanja Lošić, Danijel Savković, Miloš Ivić,  
Milana Kosijer, Ivan Belošević*

**Planiranje i projektovanje železničke infrastrukture  
primenom CAD i BIM tehnologije..... 16**

## PRETHODNA SAOPŠTENJA

*Milivoje Vuković, Sanjin Milinković, Slavko Vesković*

**Korišćenje simulacionog modela „Open Track”  
za analizu elemenata planiranog reda vožnje  
i za konstrukciju trasa reda vožnje ..... 27**

## STRUČNI RADOVI

*Bojan Dragičević, Mirjana Bugarinović*

**Merenje performansi železničkih sistema Evrope ..... 43**

*Aleksandar Radosavljević*

**Uređaji za podmazivanje dodira točak-šina  
na prugama u Srbiji ..... 51**

## REDAKCIONI ODBOR

*Miroslav Stojčić*, dipl. inž. saobr. (predsednik)  
*Danko Trninić*, dipl. inž. saobr.  
*Dušan Garibović*, dipl. ekon.  
*Josip Ujčić*, dipl. inž. saobr.  
*Jugoslav Jović*, dipl. inž. maš.  
*mr Ljubomir Bečejac*, dipl. inž. maš.  
*Milutin Ignjatović*, dipl. inž. geol.  
*Milutin Milošević*, dipl. inž. saobr.  
*mr Miodrag Poledica*, dipl. inž. saobr.  
*Momčilo Tunić*, dipl. inž. saobr.  
*Nenad Kecman*, dipl. inž. saobr.  
*Nikola Tomić*, dipl. soc.  
*mr Petar Odorović*, dipl. prav.  
*mr Rajko Ković*, dipl. ekon.

## UREĐIVAČKI ODBOR

*Prof. dr Milan Marković*, dipl. inž. saobr. (predsednik)  
*dr Aleksandar Radosavljević*, dipl. inž. maš.  
*Prof. dr Bojan Ilić*, dipl. ekon.  
*Doc. 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.  
*Doc. 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.  
*Prof. dr Ilija Tanackov*, dipl. inž. saobr.  
*dr Kire Dimanoski*, dipl. inž. saobr.  
*Prof. dr Marko Vasiljević*, dipl. inž. saobr.  
*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 Slavko Vesković*, 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:

- dva štampana primerka na belom papiru formata A4 predati na adresu „Društvo diplomiranih inženjera železničkog saobraćaja Srbije, Beograd, Nemanjina 6“,
- elektronsku verziju 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 300dpi. Pored toga, dostaviti ih i posebno u originalnom formatu.

Autori su obavezni i da za svaki rad posebno Redakciji časopisa dostave u štampanom 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.

Radove pripremiti u programu „Microsoft Word“. Gornja i donja margina 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, podnaslova i pasusa ostaviti po jedan prazan red. Početak pasusa je uz levu marginu. Decimalne brojeve odvajati zarezom, a hiljade tačkom. Tačku ne pisati ispred zareza.

**Puna imena i prezimena autora i koautora**, 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 stranice. 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**, 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 i potpoglavlja** 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 i potpoglavlja 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 najavljuju.

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

**Tabele, grafikone, crteže i fotografije** ubaciti na mesta gde se o njima govori u tekstu. Mogu da budu u jednoj koloni ili preko obe kolone. Numerisati ih redom kako se pojavljuju i pisati ih „italic“ slovima. Njihovi nazivi treba da su uz levu marginu iznad tabele, a na sredini ispod grafikona, crteža i fotografija. Sadržaj tabele pisati „normal“ slovima i u njima koristiti zagrade tipa „(“ i „)“.

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

**Skraćenice i akronime** definisati kada se prvi put upotrebe u tekstu, čak i ako su već dati 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.

Literaturu u tekstu navoditi po redosledu citiranja u zagradama tipa „[“ i „]“. Spisak dati u poslednjem poglavlju rada, pod nazivom „**LITERATURA**“. Sve navedene relevantne reference iz posmatrane oblasti treba da budu tačne i kompletne, t.j. da potpuno opisuju izvore podataka.

### 3. PRIMER FORMATIZOVANJA RADA

JOVAN JOVANOVIĆ\*, PETAR PETROVIĆ\*\*

## NASLOV RADA NASLOV RADA NA ENGLESKOM 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:**

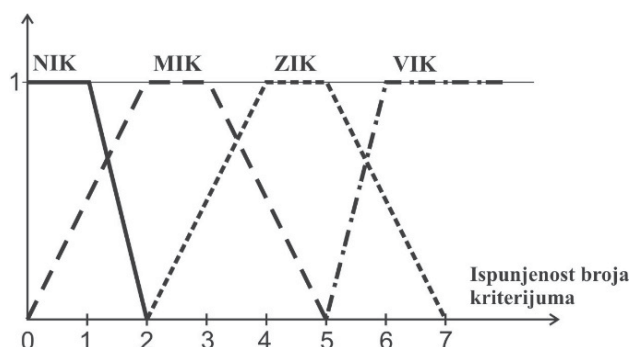
$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

**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 10<sup>th</sup> 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*, 10<sup>th</sup> 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.vtpi.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

DRAGAN PAMUČAR\*, VESKO LUKOVAC\*\*

# IZBOR LOKACIJE ZA RAZVOJ TRIMODALNOG LOGISTIČKOG CENTRA PRIMENOM GRUBIH BROJEVA: HIBRIDNI ROUGH AHP-MABAC MODEL

## LOCATION SELECTION FOR THE DEVELOPMENT OF A THREE-MODAL LOGISTICS CENTER USING ROUGH NUMBERS: HYBRID ROUGH AHP-MABAC MODEL

Datum prijema rada: 25.1.2018.

UDK: 656.2.519.8

### REZIME:

U ovom radu prikazan je novi pristup za tretiranje neizvesnosti u višekriterijumskom odlučivanju koji je zasnovan na grubim brojevima (GB). Pristup zasnovan na GB omogućava donošenje odluka uz korišćenje isključivo internih znanja u podacima i operativnih podataka donosioca odluke. Na bazi GB razvijen je hibridni višekriterijumski model koji je testiran na primeru izbora optimalne lokacije za razvoj trimodalnog logističkog centra na Dunavu. Prvi deo hibridnog modela čini grubi AHP model koji omogućava objektivniju ekspertsku evaluaciju kriterijuma u subjektivnom okruženju u odnosu na tradicionalni pristup. U drugom delu modela evaluacija se vrši primenom novog grubog MABAC modela koji se odlikuje jednostavnim matematičkim aparatom i visokim stepenom stabilnosti rešenja na promene prirode i karaktera kriterijuma. Rezultati hibridnog RAHP-MABAC modela analizirani su kroz 14 scenarija analize osetljivosti i pokazali su visok stepen stabilnosti dobijenih rešenja.

**Ključne reči:** MABAC, AHP, grubi brojevi, izbor lokacije, višekriterijumsko donošenje odluka.

### SUMMARY:

This paper presents a novel approach for treating uncertainty in the multi-criteria decision making process by introducing rough numbers (RN). The RN approach enables decision making using only the internal knowledge incorporated in the data provided by the decision maker. A hybrid multi-criteria model was developed based on RN, and demonstrated using the example of a location selection for the development of a tri-modal logistics center by the Danube River. The first segment of the hybrid model deals with the rough AHP (RAHP) model, which enables more objective expert evaluation of criteria in a subjective environment than the traditional/crisp approach. In the second segment, the evaluation is enabled by applying the new rough MABAC method, which introduces mathematical tools and shows high stability concerning changes in the nature and characteristics of the criteria. The results of the hybrid RAHP-MABAC model were analyzed using 14 scenarios of sensitivity analysis, which showed high stability of the results.

**Key words:** MABAC, AHP, rough numbers, location planning, multi-criteria decision making.

\* Doc. dr Dragan Pamučar, dipl. inž. saobr, Vojna akademija, Beograd, Pavla Jurišića Šturma 33, email: dpamucar@gmail.com

\*\* Doc. dr Vesko Lukovac, dipl. inž. saobr, Vojna akademija, Beograd, Pavla Jurišića Šturma 33, email: lukovacvesko@yahoo.com.



## 1. UVOD

Izbor lokacije logističkog centra (LC) predstavlja postupak izbora jednog od više mogućih rešenja. Veliki broj i heterogenost lokacijskih faktora jasno ukazuje na to da su lokacijski problemi interdisciplinarnog karaktera i da često zahtevaju primenu kompleksnih procedura prilikom izbora rešenja. Mnogobrojne su metodologije i postupci koji su prisutni u ovoj problematici [1–5].

U literaturi postoje brojni modeli koji razmatraju lokacijske probleme, kao što su linearni i nelinearni modeli, simpleks algoritam [6], tabu algoritam [7], veštačke neuronske mreže [8], AHP model [9], hibridni algoritmi [2,4], MOORA and COPRAS modeli [10], PROMETHEE metod [11], fuzzy AHP i TOPSIS model [12], AHP i PROMETHEE model [13] i tako dalje.

Analizom prikazane literature uočavamo da postoji veliki broj metoda višekriterijumskog odlučivanja koje pružaju podršku u rešavanju problema izbora lokacije LC-a. Kao jedna od najšire rasprostranjenih tehnika u višekriterijumskom odlučivanju, primena AHP metode je široko rasprostranjena za rešavanje raznih problema odlučivanja [14]. Glavna snaga AHP metode leži u njenoj nepristrasnosti i logičnom sistemu klasifikacije (smanjivanja ličnih predrasuda i omogućava upoređivanje raznorodnih alternativa), ali i u njenoj fleksibilnosti da se integriše sa različitim tehnikama kao što su linearno programiranje, fuzzy logic, grey teorija, rough teorija itd [15,16]. To omogućava korisnicima da iskoriste dobre strane kombinovanih metoda i postignu željeni cilj.

Prema nedavnom istraživanju o fuzzy višekriterijumskim tehnikama [17], fuzzy AHP (FAHP) je druga najrasprostranjenija tehnika kada se posmatra samostalna primena (odmah posle AHP). Pored toga što fuzzy skupovi predstavljaju veoma snažan alat za predstavljanje nepreciznosti, izbor funkcije pripadnosti fuzzy skupova zasniva se na subjektivnosti i obavlja se na osnovu iskustva i intuicije [18]. Veoma pogodan alat za tretiranje neizvesnosti, koji eliminiše subjektivizam koji postoji kod fuzzy skupova, jeste teorija grubih skupova. Teoriju grubih skupova prvi put je predstavio Pavlak [19]. Od nastanka do danas, teorija grubih skupova je evoluirala kroz rešavanje brojnih problema

primenom grubih brojeva [20–25]. Za razliku od teorije fuzzy skupova čija primena zahteva definisanje parcijalne funkcije pripadnosti bez jasnih granica skupa, u teoriji grubih skupova koristi se granična oblast skupa za izražavanje nejasnoća. Time se dolazi do objektivnih pokazatelja koji su sadržani u podacima.

Istraživanja koja su prikazana u prethodnom delu pokazuju da se u procesu izbora lokacije LC-a veoma često koriste metode MOORA, COPRAS, TOPSIS, ELECTRE i PROMETHEE. U ovom radu izbor lokacije LC-a izvršen je primenom metode MABAC, dok je za vrednovanje kriterijuma i određivanja težinskih koeficijenata korišćena modifikacija AHP modela primenom grubih brojeva (RAHP). U narednom delu rada prikazane su matematičke osnove hibridnog RAHP-MABAC modela.

## 2. POSTAVKA HIBRIDNOG RAHP-MABAC MODELA

U grupnom donošenju odluka u kojem učestvuje veći broj eksperata javlja se problem agregacije odluka eksperata, definisanje prioriteta iz agregiranih odluka, kao i problem obrade subjektivnosti koja se nalazi u odlukama eksperata. Grubi brojevi [26] nastali su sa ciljem obrade subjektivnih ocena ispitanika i određivanja intervala njihovih ocena.

Pretpostavimo da je  $U$  univerzum koji sadrži sve objekte i neka je  $X$  proizvoljan objekat iz  $U$ . Pretpostavimo da postoji skup od  $k$  klasa koje predstavljaju preferencije donosioca odluke (DO),  $R = (J_1, J_2, \dots, J_k)$ , uz uslov da pripadaju nizu koji zadovoljava uslov da je  $J_1 < J_2 < \dots < J_k$ . Tada se  $\forall X \in U, J_q \in R, 1 \leq q \leq k$  donja aproksimacija  $\underline{Apr}(J_q)$ , gornja aproksimacija  $\overline{Apr}(J_q)$  i granični interval  $Bnd(J_q)$  određuju na sledeći način, respektivno

$$\underline{Apr}(J_q) = \bigcup \{ X \in U / R(X) \leq J_q \} \quad (1)$$

$$\overline{Apr}(J_q) = \bigcup \{ X \in U / R(X) \geq J_q \} \quad (2)$$

$$Bnd(J_q) = \bigcup \{ X \in U / R(X) \neq J_q \} = \{ X \in U / R(X) > J_q \} \cup \{ X \in U / R(X) < J_q \} \quad (3)$$

Objekat može biti predstavljen grubim brojem (GB) koji je definisan svojom donjom granicom  $\underline{Lim}(J_q)$  i gornjom granicom  $\overline{Lim}(J_q)$ , respektivno

$$\underline{Lim}(J_q) = \frac{1}{M_L} \sum R(X) | X \in \underline{Apr}(J_q) \quad (4)$$

$$\overline{Lim}(J_q) = \frac{1}{M_U} \sum R(X) | X \in \overline{Apr}(J_q) \quad (5)$$

gde  $M_L$  i  $M_U$  predstavljaju sumu objekata koji su sadržani u donjoj i gornjoj aproksimaciji objekta  $J_q$ , respektivno.

Za objekat  $J_q$ , grubi granični interval označava se kao  $IRBnd(J_q)$  i predstavlja interval između donje i gornje granice, odnosno

$$IRBnd(J_q) = \overline{Lim}(J_q) - \underline{Lim}(J_q) \quad (6)$$

Pošto grubi brojevi spadaju u grupu intervalnih brojeva, aritmetičke operacije koje se primenjuju u intervalnim brojevima važe i za grube brojeve [22,23].

## 2.1. Modifikacija AHP modela primenom grubih brojeva

U narednom delu opisan je postupak primene grubih brojeva u AHP metodi, gde se kao konačan cilj dobijaju težinski koeficijenti kriterijuma.

**Korak 1.** Formiranje hijerarhijske strukture kriterijuma evaluacije. Formira se grupa od  $e$  eksperata koji obavljaju izbor kriterijuma i definišu hijerarhiju problema sa globalnim ciljem na vrhu i kriterijumima na nižem nivou.

**Korak 2.** Popunjavanje matrica za poređenje u parovima kriterijuma evaluacije. Članovi grupe eksperata obavljaju poređenje u parovima kriterijuma evaluacije u cilju definisanja težinskih koeficijenata kriterijuma. Poređenje u parovima obavlja se pomoću Saaty-jeve 9-to stepene lingvističke skale [15,16]. Svaki  $e$ -ti ekspert svoja poređenja predstavlja pomoću matrice

$$Z_k = \begin{bmatrix} 1 & z_{12}^e & \cdots & z_{1n}^e \\ z_{21}^e & 1 & \cdots & z_{2n}^e \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1}^e & z_{n2}^e & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n}; \quad 1 \leq i, j \leq n; \quad 1 \leq k \leq e \quad (7)$$

gde  $z_{ij}^e$  predstavlja lingvističke izraze iz Saaty-jeve 9-to stepene lingvističke skale kojima ekspert  $e$  predstavlja svoje poređenje u parovima kriterijuma.

Na osnovu procena svih eksperata dobijamo  $Z_1, Z_2, \dots, Z_e$  matrica u kojima je  $e$  eksperata izvršilo poređenja u parovima kriterijuma.

**Korak 3.** Određivanje težinskih koeficijenata eksperata. Za svaku matricu poređenja  $Z_k$ , određuje se konzistentnost vrednovanja eksperta. Za proveru konzistentnosti Saaty [15] je predložio stepen konzistentnosti ( $CR$ ). Izračunavanje stepena konzistentnosti se sastoji iz dva koraka. U prvom koraku računa se indeks konzistentnosti ( $CI$ ),  $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ , gde je  $n$  rang matrice, a  $\lambda_{\max}$  maksimalna sopstvena vrednost matrice poređenja.

U drugom koraku stepen konzistentnosti ( $CR$ ) se izračunava kao odnos indeksa konzistentnosti ( $CI$ ) i slučajnog indeksa ( $RI$ )

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (8)$$

Slučajni indeks ( $RI$ ) zavisi od ranga matrice i njegove vrednosti su dobijene slučajnim (nasumičnim) generisanjem 500 matrica [15]. Ako je  $CR$  manji ili jednak 0.10 rezultat ukazuje da je ekspert bio konzistentan i da nema potrebe za ponavljanjem vrednovanja [16]. Ukoliko je  $CR$  veće od 0,1 donosilac odluka bi trebao da ponovi (ili modifikuje) svoja vrednovanja kako bi popravio sopstvenu konzistentnost.

Težinski koeficijenti eksperata dobijaju se normalizacijom recipročnih vrednosti stepena konzistentnosti, izraz (15)–(17).

$$W_{ke} = \frac{1}{CR_e} \quad (9)$$

gde  $CR_e$  predstavlja stepen konzistentnosti eksperta  $e$ , a  $W_{ke}$  težinski koeficijent eksperta  $e$ . Normalizacija težinskih koeficijenata eksperata vrši se primenom aditivne normalizacije

$$w_{ke} = \frac{W_{ke}}{\sum_{k=1}^e W_{ke}} \quad (10)$$

gde  $W_{ke}$  težinski koeficijent eksperta  $e$ .



**Korak 4.** Konstruisanje osrednjene grube matrice poređenja. Primenom izraza (1)–(6) elementi  $z_{ij}^e$  matrice poređenja  $Z_k$  transformišu se u grubi broj  $RN(z_{ij}^e)$ .

$$RN(z_{ij}^e) = [\underline{Lim}(z_{ij}^e), \overline{Lim}(z_{ij}^e)] \quad (11)$$

gde  $\underline{Lim}(z_{ij}^e)$  i  $\overline{Lim}(z_{ij}^e)$  predstavljaju donju granicu i gornju granicu grubog broja  $RN(z_{ij}^e)$ , respektivno.

Tako za svaku matricu poređenja u parovima eksperta  $e$  dobijamo grubu sekvencu  $RN(z_{ij}^e)$  koju predstavljamo pomoću izraza (12):

$$RN(z_{ij}^e) = \left\{ [\underline{Lim}(z_{ij}^1), \overline{Lim}(z_{ij}^1)], [\underline{Lim}(z_{ij}^2), \overline{Lim}(z_{ij}^2)], \dots, [\underline{Lim}(z_{ij}^e), \overline{Lim}(z_{ij}^e)] \right\} \quad (12)$$

Primenom izraza (13) dobijamo osrednjeni grubi broj  $RN(z_{ij})$ .

$$RN(z_{ij}) = RN(z_{ij}^1, z_{ij}^2, \dots, z_{ij}^e) = \left\{ \frac{\underline{Lim}(z_{ij}) = \prod_{i=1}^e \underline{Lim}(z_{ij}^{(w_i)})}{\overline{Lim}(z_{ij}) = \prod_{i=1}^e \overline{Lim}(z_{ij}^{(w_i)})} \right\} \quad (13)$$

gde  $w_i$  predstavlja težinski koeficijent  $i$ -tog eksperta ( $i = 1, 2, \dots, e$ ), a  $\underline{Lim}(z_{ij})$  i  $\overline{Lim}(z_{ij})$  predstavljaju donju i gornju granicu grubog broja  $RN(z_{ij})$ , respektivno.

Tako dobijamo osrednjenu intervalnu grubu matricu poređenja u parovima kriterijuma evaluacije ( $Z$ )

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & RN(z_{12}) & \dots & RN(z_{1n}) \\ RN(z_{21}) & 1 & \dots & RN(z_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ RN(z_{n1}) & RN(z_{n2}) & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (14)$$

Matricu (14) možemo da prikazemo i kao (15):

**Korak 5.** Proračun vektora prioriteta kriterijuma. Vektor prioriteta predstavlja grubi težinski koeficijent  $RN(w_j)$  i određuje se za svaki od  $n$  kriterijuma evaluacije. Grubi težinski koeficijent  $RN(w_j)$  dobija se primenom izraza (16)–(19). Primenom izraza (16) elementi matrice  $Z$  sumiraju se po kolonama izraz (17) i (18).

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & [\underline{Lim}(z_{12}), \overline{Lim}(z_{12})] & \dots & [\underline{Lim}(z_{1n}), \overline{Lim}(z_{1n})] \\ [\underline{Lim}(z_{21}), \overline{Lim}(z_{21})] & 1 & \dots & [\underline{Lim}(z_{2n}), \overline{Lim}(z_{2n})] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [\underline{Lim}(z_{n1}), \overline{Lim}(z_{n1})] & [\underline{Lim}(z_{n2}), \overline{Lim}(z_{n2})] & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (15)$$

$$RN(a'_{ij}) = \sum_{j=1}^n RN(z_{ij}) = \left[ \sum_{j=1}^n \underline{Lim}(z_{ij}), \sum_{j=1}^n \overline{Lim}(z_{ij}) \right] \quad (16)$$

$$RN(W_{ij}) = [\underline{Lim}(W_{ij}), \overline{Lim}(W_{ij})] = \frac{RN(z_{ij})}{\sum_{j=1}^n RN(z_{ij})} = \left[ \frac{\underline{Lim}(z_{ij})}{\sum_{j=1}^n \underline{Lim}(z_{ij})}, \frac{\overline{Lim}(z_{ij})}{\sum_{j=1}^n \overline{Lim}(z_{ij})} \right] \quad (17)$$

$$W = \begin{bmatrix} 1 & [\underline{Lim}(W_{12}), \overline{Lim}(W_{12})] & \dots & [\underline{Lim}(W_{1n}), \overline{Lim}(W_{1n})] \\ [\underline{Lim}(W_{21}), \overline{Lim}(W_{21})] & 1 & \dots & [\underline{Lim}(W_{2n}), \overline{Lim}(W_{2n})] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [\underline{Lim}(W_{n1}), \overline{Lim}(W_{n1})] & [\underline{Lim}(W_{n2}), \overline{Lim}(W_{n2})] & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (18)$$

Deljenjem elemenata matrice (15) sa vrednostima koje su dobijene izrazom (16) dobijamo normalizovanu matricu težinskih koeficijenata  $W$ , Konačni grubi težinski koeficijenti  $RN(w_j)$  kriterijuma evaluacije određuju se primenom izraza (19):

$$RN(w_j) = RN(W_{ij})/n = \left[ \underline{Lim}(W_{ij})/n, \overline{Lim}(W_{ij})/n \right] \quad (19)$$

gde  $n$  predstavlja broj kriterijuma evaluacije,  $RN(w_i)$  konačne vrednosti težinskih koeficijenata koje se koriste u procesu donošenja odluka.

Vrednosti težinskih koeficijenata kriterijuma nalaze se u intervalu  $RN(w_i) = \left[ \underline{Lim}(w_i), \overline{Lim}(w_i) \right]$  gde je ispunjen uslov je  $0 \leq \underline{Lim}(w_i) \leq \overline{Lim}(w_i) \leq 1$  za svaki kriterijum evaluacije  $x_i \in X$ . Međutim, potrebno je da bude ispunjen uslov da generalno suma težinskih koeficijenata kriterijuma bude jednaka jedinici. U našem slučaju, pošto se radi o grubim težinskim koeficijentima kriterijuma, primenom izraza (16)–(19) dobijamo težinske koeficijente kod kojih je  $0 \leq \sum_{i=1}^n \underline{Lim}(w_i) \leq 1$  i  $\sum_{i=1}^n \overline{Lim}(w_i) \geq 1$ . Time je zadovoljen uslov da se težinski koeficijenti nalaze u intervalu  $w_i \in [0,1]$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), tako da zadovoljavaju uslove da je  $0 \leq \underline{Lim}(w_i) \leq \overline{Lim}(w_i) \leq 1$  i  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ .

## 2.2. Modifikacija MABAC modela primenom grubih brojeva

MABAC (Multi-Attributive Border Approximation area Comparison) metoda spada u metode višekriterijumskog odlučivanja novijeg datuma [26]. MABAC metoda razvijena je u okviru naučnoistraživačkog rada Centra za istraživanja u oblasti logistike odbrane Univerziteta odbrane u Beogradu [26]. Do danas je našla široku primenu i modifikacije u cilju rešavanja brojnih problema iz oblasti višekriterijumskog odlučivanja [27–33].

Osnovna postavka metode MABAC ogleda se u definisanju udaljenosti kriterijumske funkcije svake posmatrane alternative od granične aproksimativne oblasti. U narednom delu prikazan je postupak sprovođenja metode rough MABAC koji se sastoji iz 6 koraka.

**Korak 1.** Formiranje početne matrice odlučivanja ( $X$ ). Kao prvi korak obavlja se evaluacija  $m$  alternativa po  $n$  kriterijuma. Na osnovu izraza (1)–(6) određuju

se vektori  $A_i = (RN(x_{i1}), RN(x_{i2}), \dots, RN(x_{in}))$ , gde je  $RN(x_{ij}) = \left[ \underline{Lim}(x_{ij}), \overline{Lim}(x_{ij}) \right]$  predstavlja vrednost  $i$ -te alternative po  $j$ -tom kriterijumu ( $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ ).

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} RN(x_{11}) & RN(x_{12}) & \dots & RN(x_{1n}) \\ RN(x_{21}) & RN(x_{22}) & \dots & RN(x_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ RN(x_{m1}) & RN(x_{m2}) & \dots & RN(x_{mn}) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (20)$$

gde  $m$  označava broj alternativa,  $n$  označava ukupan broj kriterijuma.

**Korak 2.** Normalizacija elemenata početne matrice ( $X$ ).

$$N = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} RN(t_{11}) & RN(t_{12}) & \dots & RN(t_{1n}) \\ RN(t_{21}) & RN(t_{22}) & \dots & RN(t_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ RN(t_{m1}) & RN(t_{m2}) & \dots & RN(t_{mn}) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (21)$$

Elementi  $RN(t_{ij})$  normalizovane matrice ( $N$ ) određuju se primenom izraza:

a) Za kriterijume „benefit” tipa (veća vrednost kriterijuma poželjnija)

$$RN(t_{ij}) = \left[ \underline{Lim}(t_{ij}), \overline{Lim}(t_{ij}) \right] = \left[ x_{ij}^L, x_{ij}^U \right] = \left[ \frac{x_{ij}^L - x_j^-}{x_j^+ - x_j^-}, \frac{x_{ij}^U - x_j^-}{x_j^+ - x_j^-} \right] \quad (22)$$

b) Za kriterijume „cost” tipa (manja vrednost kriterijuma poželjnija)

$$RN(t_{ij}) = \left[ \underline{Lim}(t_{ij}), \overline{Lim}(t_{ij}) \right] = \left[ \frac{x_{ij}^U - x_j^+}{x_j^- - x_j^+}, \frac{x_{ij}^L - x_j^+}{x_j^- - x_j^+} \right] \quad (23)$$

gde  $x_j^-$  i  $x_j^+$  predstavljaju minimalne i maksimalne vrednosti grubih graničnih intervala posmatranog kriterijuma, respektivno:

$$x_j^- = \min_j \{ \underline{Lim}(x_{ij}) \} = \min_j \{ x_{ij}^L \} \quad (24)$$

$$x_j^+ = \max_j \{ \overline{Lim}(x_{ij}) \} = \max_j \{ x_{ij}^U \} \quad (25)$$

**Korak 3.** Proračun elemenata otežane matrice  $V = [RN(v_{ij})]_{m \times n} = [\underline{Lim}(v_{ij}), \overline{Lim}(v_{ij})]_{m \times n}$ . Elementi otežane matrice  $V$  računaju se na osnovu izraza (26)

$$RN(v_{ij}) = RN(w_i) \cdot RN(t_{ij}) + RN(w_i) \quad (26)$$

gde  $t_{ij}$  predstavljaju elemente normalizovane matrice  $(N)$ ,  $RN(w_i)$  predstavlja težinske koeficijente kriterijuma. Primenom izraza (26) dobijamo otežanu matricu  $V$  (27):

$$V = \begin{bmatrix} RN(v_{11}) & RN(v_{12}) & \dots & RN(v_{1n}) \\ RN(v_{21}) & RN(v_{22}) & & RN(v_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ RN(v_{m1}) & RN(v_{m2}) & \dots & RN(v_{mn}) \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (27)$$

gde  $n$  predstavlja ukupan broj kriterijuma,  $m$  predstavlja ukupan broj alternativa.

**Korak 4.** Određivanje matrice graničnih aproksimativnih oblasti  $(G)$ . Granična aproksimativna oblast (GAO) određuje se prema izrazu (28)

$$RN(g_i) = \left( \prod_{j=1}^m RN(v_{ij}) \right)^{1/m} = \left[ \left( \prod_{j=1}^m \underline{Lim}(v_{ij}) \right)^{1/m}, \left( \prod_{j=1}^m \overline{Lim}(v_{ij}) \right)^{1/m} \right] \quad (28)$$

gde  $RN(v_{ij})$  predstavljaju elemente otežane matrice  $(V)$ ,  $m$  predstavlja ukupan broj alternativa.

Nakon proračuna vrednosti  $RN(g_i)$  po kriterijumima formira se matrica graničnih aproksimativnih oblasti  $G$  (29) formata  $1 \times n$  (gde  $n$  predstavlja ukupan broj kriterijuma po kojima se obavlja izbor ponuđenih alternativa).

$$G = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ RN(g_1) & RN(g_2) & \dots & RN(g_n) \end{bmatrix}_{1 \times n} \quad (29)$$

**Korak 5.** Proračun elemenata matrice udaljenosti alternativa od granične aproksimativne oblasti  $(Q)$ .

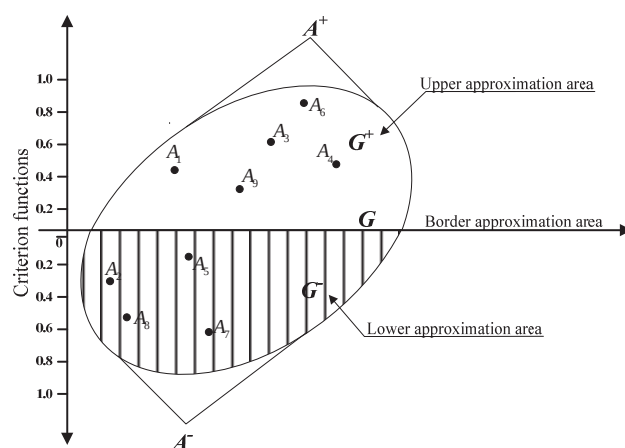
$$Q = V - G = \begin{bmatrix} RN(v_{11}) & RN(v_{12}) & \dots & RN(v_{1n}) \\ RN(v_{21}) & RN(v_{22}) & & RN(v_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ RN(v_{m1}) & RN(v_{m2}) & \dots & RN(v_{mn}) \end{bmatrix}_{m \times n} - [RN(g_1) \quad RN(g_2) \quad \dots \quad RN(g_n)]_{1 \times n} \quad (30)$$

$$Q = \begin{bmatrix} RN(v_{11}) - RN(g_1) & RN(v_{12}) - RN(g_2) & \dots & RN(v_{1n}) - RN(g_n) \\ RN(v_{21}) - RN(g_1) & RN(v_{22}) - RN(g_2) & \dots & RN(v_{2n}) - RN(g_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ RN(v_{m1}) - RN(g_1) & RN(v_{m2}) - RN(g_2) & \dots & RN(v_{mn}) - RN(g_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} RN(q_{11}) & RN(q_{12}) & \dots & RN(q_{1n}) \\ RN(q_{21}) & RN(q_{22}) & & RN(q_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ RN(q_{m1}) & RN(q_{m2}) & \dots & RN(q_{mn}) \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (31)$$

Udaljenost alternativa od granične aproksimativne oblasti  $RN(q_{ij})$  određuje se kao razlika elemenata otežane matrice  $(V)$  i vrednosti graničnih aproksimativnih oblasti  $(G)$ .

U izrazima (30) i (31)  $RN(g_i)$  predstavlja graničnu aproksimativnu oblast za kriterijum  $C_i$ ,  $RN(v_i)$  predstavlja elemente otežane matrice  $(V)$ ,  $n$  predstavlja broj kriterijuma,  $m$  predstavlja broj alternativa.

Alternativa  $A_i$  može da pripada graničnoj aproksimativnoj oblasti  $(G)$ , gornjoj aproksimativnoj oblasti  $(G^+)$  ili donjoj aproksimativnoj oblasti  $(G^-)$ , odnosno  $A_i \in \{G \vee G^+ \vee G^-\}$ . Gornja aproksimativna oblast  $(G^+)$  predstavlja oblast u kojoj se nalazi idealna alternativa  $(A^+)$ , dok donja aproksimativna oblast  $(G^-)$  predstavlja oblast u kojoj se nalazi antiidealna alternativa  $(A^-)$  (slika 1).



Slika 1. Prikaz gornje  $(G^+)$ , donje  $(G^-)$  i granične  $(G)$  aproksimativne oblasti

Ukoliko je vrednost  $RN(q_{ij}) > RN(g_i)$ , odnosno  $RN(q_{ij}) \in G^+$ , tada je alternativa  $A_i$  bliska ili jednaka idealnoj alternativi. Vrednost  $RN(q_{ij}) < RN(g_i)$ , odnosno  $RN(q_{ij}) \in G^-$ , pokazuje da je alternativa  $A_i$  bliska ili jednaka antiidealnoj alternativi. Da bi alternativa  $A_i$  bila izabrana kao najbolja iz skupa



potrebno je da po što većem broju kriterijuma pripada gornjoj aproksimativnoj oblasti ( $G^+$ ).

**Korak 6.** Rangiranje alternativa. Vrednosti kriterijumskih funkcija po alternativama (32) dobijaju se kao suma rastojanja alternativa od graničnih aproksimativnih oblasti 000000000. Sumiranjem elemenata matrice 000000 po redovima dobijamo konačne vrednosti kriterijumskih funkcija alternativa:

$$RN(S_i) = \sum_{j=1}^n RN(q_{ij}), j = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m \quad (32)$$

gde  $n$  predstavlja broj kriterijuma,  $m$  predstavlja broj alternativa.

### 3. IZBOR LOKACIJE ZA RAZVOJ TRIMODALNOG LC-A PRIMENOM RAHP-MABAC MODELA

Problem lokacije centra može da se posmatra na makro i mikro nivou. Makrolokacijski nivo posmatranja analizira potencijalna mesta za razvoj centra na nivou države, regiona, kontinenta, dok se mikrolokacijski nivo odnosi na prostor grada, industrijskog kompleksa itd. U ovom radu razmatran je izbor lokacije trimodalnog LC u kojem se povezuju tri vida transporta (rečni, želenički i drumski transport). Kao primer, razmatrano je 8 potencijalnih lokacije za razvoj trimodalnog LC na reci Dunav (rečni koridor VII) na teritoriji Srbije. Na izbor lokacije logističkog centra utiču različiti faktori koji se u osnovi mogu posmatrati kao karakteristike zahteva logističkih tokova, karakteristike logističkog centra, karakteristike lokacije i okruženja. Analizom literature, karakteristika trimodalnog LC-a i logističkih tokova identifikovano je 7 kriterijuma na osnovu kojih će se izvršiti izbor lokacije trimodalnog LC-a: *Povezanost lokacije sa ostalim vidovima transporta (C1), Procena izgrađenosti infrastrukture (C2), Dužina železničkog fronta pretovara (C3), Usklađenost sa prostornim planovima i strategijom privrednog razvoja (C4), Gravitirajuće intermodalne transportne jedinice (C5), Pretovarni kapaciteti LC-a (C6) i Raspoloživa površina za budući razvoj i proširenje kapaciteta LC-a (C7)*. Svi definisani kriterijumi spadaju u „benefit” grupu kriterijuma.

Razmatrano je ukupno osam lokacija na Dunavu za razvoj trimodalnog LC-a. U istraživanju je

učestvovalo pet eksperata. Prva faza primene hibridnog IRAHP-MABAC modela podrazumeva poređenje u parovima kriterijuma evaluacije od strane eksperata koji učestvuju u istraživanju. Za evaluaciju kriterijuma u RAHP modelu korišćena je Saaty-jeva skala [15,16]. Nakon ekspertske evaluacije kriterijuma za svakog eksperta dobili smo matricu poređenja u parovima kriterijuma, tabela 1.

Tabela 1. Matrice poređenja u parovima kriterijuma evaluacije

| Ekspert 1      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                | C1   | C2   | C3   | C4   | C5   | C6   | C7   |
| C <sub>1</sub> | 1,00 | 5,00 | 5,00 | 0,33 | 7,00 | 0,33 | 0,14 |
| C <sub>2</sub> | 0,20 | 1,00 | 1,00 | 0,14 | 3,00 | 0,14 | 0,11 |
| C <sub>3</sub> | 0,20 | 1,00 | 1,00 | 0,14 | 3,00 | 0,14 | 0,11 |
| C <sub>4</sub> | 3,00 | 7,00 | 7,00 | 1,00 | 9,00 | 1,00 | 0,33 |
| C <sub>5</sub> | 0,14 | 0,33 | 0,33 | 0,11 | 1,00 | 0,11 | 0,11 |
| C <sub>6</sub> | 3,00 | 7,00 | 7,00 | 1,00 | 9,00 | 1,00 | 0,33 |
| C <sub>7</sub> | 7,00 | 9,00 | 9,00 | 3,00 | 9,00 | 3,00 | 1,00 |
| ...            |      |      |      |      |      |      |      |
| Ekspert 5      |      |      |      |      |      |      |      |
|                | C1   | C2   | C3   | C4   | C5   | C6   | C7   |
| C <sub>1</sub> | 1,00 | 5,00 | 5,00 | 0,14 | 3,00 | 0,33 | 0,11 |
| C <sub>2</sub> | 0,20 | 1,00 | 1,00 | 0,11 | 0,33 | 0,14 | 0,11 |
| C <sub>3</sub> | 0,20 | 1,00 | 1,00 | 0,11 | 0,33 | 0,14 | 0,11 |
| C <sub>4</sub> | 7,00 | 9,00 | 9,00 | 1,00 | 7,00 | 3,00 | 0,33 |
| C <sub>5</sub> | 0,33 | 3,00 | 3,00 | 0,14 | 1,00 | 0,20 | 0,14 |
| C <sub>6</sub> | 3,00 | 7,00 | 7,00 | 0,33 | 5,00 | 1,00 | 0,20 |
| C <sub>7</sub> | 9,00 | 9,00 | 9,00 | 3,00 | 7,00 | 5,00 | 1,00 |

Nakon poređenja u parovima kriterijuma određuju se stepeni konzistentnosti matrica poređenja. Nakon proračuna stepena konzistentnosti matrica poređenja (tabela 2) možemo da zaključimo da je istraživanje validno, pošto su sve vrednosti  $CR_e < 0.1$ .

Tabela 2.  $CR_e$  matrica poređenja i težine eksperata

| Ekspert | $CR_e$ | $w_{ke}$ |
|---------|--------|----------|
| E 1     | 0,062  | 0,218    |
| E 2     | 0,090  | 0,150    |
| E 3     | 0,083  | 0,163    |
| E 4     | 0,084  | 0,161    |
| E 9     | 0,044  | 0,307    |

U cilju dobijanja osrednjene grube matrice poređenja, na osnovu podataka iz tabele 1. i

primenom izraza (1)–(6), elementi  $z_{ij}^e$  matrice poređenja  $Z_k$  transformišu se u grubi broj  $RN(z_{ij}^e)$ . Tako dobijamo pet grubih matrica  $Z_k$ . Nakon dobijanja ekspertske korespondentske grube matrice, primenom izraza (13) vrši se osrednjavanje grubih brojeva. Tako dobijamo osrednjenu grubu matricu (14) i (15), tabela 3.

Tabela 3. Osrednjena matrica

|    | C1   | C2   | C3   | C4   | C5   | C6   | C7   |
|----|------|------|------|------|------|------|------|
| C1 | 1,00 | 1,48 | 3,24 | 0,19 | 2,30 | 1,49 | 0,41 |
| C2 | 3,39 | 1,00 | 4,28 | 1,18 | 3,29 | 2,06 | 1,47 |
| C3 | 0,74 | 0,41 | 1,00 | 0,15 | 1,23 | 0,47 | 0,20 |
| C4 | 5,78 | 3,59 | 6,95 | 1,00 | 5,27 | 3,84 | 1,98 |
| C5 | 2,39 | 1,91 | 3,08 | 0,27 | 1,00 | 2,20 | 1,13 |
| C6 | 3,06 | 1,63 | 4,29 | 0,99 | 3,36 | 1,00 | 1,21 |
| C7 | 4,93 | 3,31 | 6,29 | 1,06 | 4,10 | 3,33 | 1,00 |

Na osnovu podataka iz tabele 3, primenom izraza (16) i (19) dobijamo grube težinske koeficijente kriterijuma evaluacije, tabela 4.

Tabela 4. Težinski koeficijenti kriterijuma evaluacije

| Kriterijum | IRN( $w_j$ )   |
|------------|----------------|
| C1         | [0,024; 0,357] |
| C2         | [0,036; 0,572] |
| C3         | [0,013; 0,114] |
| C4         | [0,107; 0,875] |
| C5         | [0,024; 0,467] |
| C6         | [0,036; 0,549] |
| C7         | [0,082; 0,786] |

Rezultati metoda VKO u velikoj meri zavise od vrednosti težinskih koeficijenata kriterijuma evaluacije. Ponekad se rangovi alternativa menjaju sa veoma malim promenama težinskih koeficijenata, zbog čega rezultate metoda VKO po pravilu prati analiza njihove osetljivosti na ove promene. Zato je u ovoj sekciji rada izvršena analiza osetljivosti rangova alternativa na promene težinskih koeficijenata kriterijuma. Analiza osetljivosti izvršena je kroz 14 scenarija. U svakom od prvih sedam scenarija (S1–S7) favorizovan je po jedan kriterijum i njegova vrednost uvećavana je za 1.24, dok su svi preostali kriterijumi umanjani za 0.25. U preostalim sedam scenarija (S8–S14) prilikom favorizovanja kriterijuma vrednost favorizovanog kriterijuma uvećavana je za 1.45, dok su preostali umanjani za 0.25.

Sprovođenjem R-MABAC modela koji je predstavljen izrazima (20)–(32) dobijamo konačan rang alternativa koji je predstavljen u tabeli 5.

Tabela 5. Konačan rang alternativa

| Alternative | Rough (Qi)      | Crisp (Qi) | Rang |
|-------------|-----------------|------------|------|
| A1          | [-0,853; 0,067] | -0,3933    | 8    |
| A2          | [-0,060; 0,758] | 0,3493     | 1    |
| A3          | [-0,360; 0,534] | 0,0867     | 4    |
| A4          | [-0,092; 0,764] | 0,3358     | 2    |
| A5          | [-0,393; 0,556] | 0,0814     | 5    |
| A6          | [-0,664; 0,264] | -0,2004    | 7    |
| A7          | [-0,325; 0,512] | 0,0933     | 3    |
| A8          | [-0,400; 0,446] | 0,0228     | 6    |

Rezultati pokazuju da dodeljivanje različitih težina kriterijumima kroz scenarije dovodi do promene rangova pojedinih alternativa, čime se potvrđuje da je model osetljiv na promene težinskih koeficijenata. Poređenjem prvorangiranih alternativa (A2 i A4) u scenarijima 1–14 sa rezultatima koji su prikazani u tabeli 5. potvrđen je rang alternativa A2 i A4. Alternativa A2 je u 12 scenarija zadržala svoj rang (ostala prvorangirana), dok je u preostala dva scenarija bila drugorangirana. Drugorangirana alternativa A4 zadržala je rang u 10 scenarija, dok je u dva scenarija bila prvorangirana. Tokom promene težina kriterijuma kroz scenarije dolazilo je do promene rangova preostalih alternativa. Međutim, možemo da zaključimo da te promene nisu bile drastične, što potvrđuje i korelacija rangova kroz scenarije (tabela 6).

Tabela 6. Korelacija rangova 36 scenarija

| Scenario | $r_k$ | Scenario | $r_k$ |
|----------|-------|----------|-------|
| S1       | 0,958 | S8       | 0,958 |
| S2       | 0,982 | S9       | 0,982 |
| S3       | 0,958 | S10      | 0,945 |
| S4       | 0,958 | S11      | 0,958 |
| S5       | 0,958 | S12      | 0,909 |
| S6       | 0,982 | S13      | 0,885 |
| S7       | 0,994 | S14      | 0,958 |

Vrednosti Spirmanovog koeficijenta korelacije ( $r_k$ ) dobijene su poređenjem početnog ranga RAHP-MABAC modela (tabela 5) sa rangovima

dobijenim kroz scenarije. Iz tabele 6. uočavamo da postoji izuzetno velika korelacija rangova, pošto je u svim scenarijima vrednost  $r_k$  veća od 0.909. Srednja vrednost  $r_k$  kroz sve scenarije iznosi 0.956, što pokazuje izuzetno veliku korelaciju. Pošto su sve vrednosti  $r_k$  značajno veće od 0.8 možemo da zaključimo da postoji veoma velika korelacija (bliskost) rangova i da je predloženi rang potvrđen i kredibilan.

#### 4. ZAKLJUČAK

Uvažavanje neizvesnosti u višekriterijumskom odlučivanju je veoma značajan aspekt za objektivno i nepristrasno donošenje odluka. Često se javljaju teškoće u predstavljanju informacija o atributima odluke putem tačnih (preciznih) numeričkih vrednosti. Te poteškoće su posledica nedoumica u procesu donošenja odluka, kao i zbog kompleksnosti i neodređenosti brojnih realnih pokazatelja. U ovom radu prikazan je novi pristup za eksploataciju neodređenosti u grupnom donošenju odluka koji je zasnovan na grubim brojevima. Osnovna ideja primene algoritama za donošenje odluka koji su bazirani na intervalnom pristupu podrazumeva primenu intervalnih brojeva za prezentovanje vrednosti atributa odluke. Prednosti primene grubih brojeva su brojni. Grubi brojevi koriste isključivo interna znanja za prezentovanje vrednosti atributa odluke. Time se eliminišu subjektivnosti i pretpostavke koje u značajnoj meri mogu da utiču na vrednosti atributa i konačan izbor alternativa. U primeni grubih brojeva, umesto dodatnih/spoljnih parametara, koristi se isključivo struktura datih podataka.

Primena grubih brojeva u višekriterijumskom donošenju odluka prikazana je kroz hibridni model koji se sastoji od grubog AHP modela i grube MABAC metode. Primena RAHP-MABAC modela prikazana je kroz studiju slučaja u kojoj je izvršena evaluacija lokacija trimodalnog logističkog centra na rečnom koridoru IX. Ova studija pokazuje da grubi brojevi mogu efikasno da se primenjuju u modelima višekriterijumskog odlučivanja uz uvažavanje nedoumica u procesu donošenja odluka. Predloženi modeli omogućavaju evaluaciju alternativa uprkos nedoumicama u procesu donošenja odluka i nedostatku kvantitativnih informacija. Diskusija rezultata i analiza osetljivosti RAHP-MABAC

modela pokazuje značajnu stabilnost rezultata i da su mogućnosti primene prikazanog modela obećavajuće.

#### LITERATURA

- [1] Kaboli A, Aryanezhad, M. B, & Shahanaghi K. (2007). A holistic approach based on MCDM for solving location problems. *International Journal of Engineering Transactions A: Basics*, 20(3), 252–262.
- [2] Lai M. C, Sohn H. S, Tseng T. L, & Chiang C. (2010). A hybrid algorithm for capacitated plant location problem. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 8599–8605
- [3] Sun M, (2012). A tabu search heuristic procedure for the capacitated facility location problem. *Journal of Heuristics*, 18(1), 91–118.
- [4] Zare Mehrjerdi, Y., & Nadizadeh, A. (2013). Using greedy clustering method to solve capacitated location-routing problem with fuzzy demands. *European Journal of Operational Research*, 229(1), 75–84.
- [5] Rahmaniani R, Saidi-Mehrabad M, & Ashouri H. (2013). Robust capacitated facility location problem optimization model and solution algorithms. *Journal of Uncertain Systems*, 7(1), 22–35.
- [6] Mayer G, & Wagner B. (2002). Hublocator: an exact solution method for the multiple allocation hub location problems. *Computers & Operations Research*, 29, 715–739.
- [7] Glover F, Laguna M. (1993). Tabu Search. In C. R. Reeves (Ed.), *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*. John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Wan L, Huang Z, Li Z. (2007). Research of optimal Dijkstra algorithm in logistic center location based on GIS. *Application Research of Computers*. 8(24): 289–291.
- [9] Janic M, & Reggiani A. (2001). Multi-criteria evaluation of a new hub airport for an EU airline. Presented at the 6th NECTAR Conference held in Helsinki, Finland, May 16–18.



- [10] Kracka M, Brauers W. K. M, & Zavadskas E. K. (2010). Ranking heating losses in a building by applying the MULTIMOORA. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 21(4), 352–359.
- [11] Fernández-Castro A. S, Jiménez M, 2005. PROMETHEE: An extension through fuzzy mathematical programming. *Journal of the Operational Research Society* 56, 119–122.
- [12] Wang S, & Liu P. (2007). The evaluation study on location selection of logistics centre based on fuzzy AHP and TOPSIS. *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 21–25.09.2007, 3779 – 3782.
- [13] Ugboma C, Ugboma O, & Ogwude I. (2006). An Analytic Hierarchy Process (AHP) approach to Port selection decisions –empirical evidence from Nigerian Ports.
- [14] Kubler S, Robert J, Derigent W, Voisin A, Traon Y. L. (2016). A state-of the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications, *Expert Systems With Applications*, 65, pp. 398–422.
- [15] Saaty T. L, & Vargas, L.G. (2001). Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process : 175. Springer.
- [16] Saaty, T. L, Vargas, L. G. (2012). Models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process, Vol. 175. Springer Science and Business Media.
- [17] Mardani A, Jusoh, A, & Zavadskas E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications –two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications*, 42 (8), 4126–4148.
- [18] Pawlak Z. (1982). Rough sets. *International Journal of Computer & Information Sciences*, 11(5), 341–356.
- [19] Zheng P, Xu X, Xie S. Q. (2016). A weighted interval rough number based method to determine relative importance ratings of customer requirements in QFD product planning, *Journal of Intelligent Manufacturing*, doi 10.1007/s10845-016-1224-z.
- [20] Pamučar D, Mihajlović M, Obradović R, Atanasković P. (2017). Novel approach to group multi-criteria decision making based on interval rough numbers: Hybrid DEMATEL-ANP-MAIRCA model, *Expert Systems with Applications*, 88, pp. 58–80.
- [21] Pamučar D, Petrović I, Ćirović G. (2018). Modification of the Best-Worst and MABAC methods: A novel approach based on interval-valued fuzzy-rough numbers, *Expert Systems with Applications*, 91, pp. 89–106.
- [22] Gigović Lj, Pamučar D, Bajić Z, Drobnjak S. (2017). Application of GIS-Interval Rough AHP Methodology for Flood Hazard Mapping in Urban Areas, *Water*, 6(6), article No. 360, pp. 1–26.
- [23] Pamučar D, Gigović Lj, Bajić Z, Janošević M. (2017). Location selection for wind farms using GIS multi-criteria hybrid model: An approach based on fuzzy and rough numbers. *Sustainability*, 9(8), article No. 1315, pp. 1–24.
- [24] Stević Ž, Pamučar D, Zavadskas E. K, Ćirović G, Prentkovskis O. (2017). The selection of wagons for the internal transport of a logistics company: A novel approach based on rough BWM and rough SAW methods. *Symmetry*, 9(11), 264, pp. 1–25.
- [25] Stević Ž, Pamučar D, Vasiljević M, Stojić G, Korica S. (2017). Novel integrated multi-criteria model for supplier selection: Case study construction company. *Symmetry*, 9(11), 279, pp. 1–34.
- [26] Pamučar D, Ćirović G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centres using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC), *Expert Systems with Applications*, 42, pp 3016–3028.

- [27] Xue Y. X, Youa J. X, Laic X. D, Liu H. C. (2016). An interval-valued intuitionistic fuzzy MABAC approach for material selection with incomplete weight information, *Applied Soft Computing*, 38, pp. 703–713.
- [28] Peng X, Dai J. (2016). Approaches to single-valued neutrosophic MADM based on MABAC, TOPSIS and new similarity measure with score function, *Neural Computing and Applications*, pp. 1–16. doi:10.1007/s00521-016-2607-y.
- [29] Peng X, Yang Y. (2016). Pythagorean Fuzzy Choquet Integral Based MABAC Method for Multiple Attribute Group Decision Making, *International Journal of Intelligent Systems*, 31(10), pp. 989–1020.
- [30] Gigović LJ, Pamučar D, Božanić D, Ljubojević S. (2017). "Application of the GIS-DANP-MABAC multi-criteria model for selecting the location of wind farms: A case study of Vojvodina, Serbia". *Renewable Energy*, 103, pp 501–521.
- [31] Roy J, Ranjan A, Debnath A, Kar S. (2016). An extended MABAC for multi-attribute decision making using trapezoidal interval type-2 fuzzy numbers, *Artificial Intelligence*, arXiv:1607.01254.
- [32] Yu S, Wang J. & Wang J. (2016). An Interval Type-2 Fuzzy Likelihood-Based MABAC Approach and Its Application in Selecting Hotels on a Tourism Website, *International Journal of Fuzzy Systems*, pp. 1–15. doi:10.1007/s40815-016-0217-6.
- [33] Shia H, Hu-Chen Liua H. C, Lic P, Xu X. G. (2017). An integrated decision making approach for assessing healthcare waste treatment technologies from a multiple stakeholder, *Waste Management*, 59, pp. 508–517.

NEMANJA LOŠIĆ\*, DANIJEL SAVKOVIĆ\*\*, MILOŠ IVIĆ\*\*\*, MILANA KOSIJER\*\*\*\*, IVAN BELOŠEVIĆ\*\*\*\*\*

## PLANIRANJE I PROJEKTOVANJE ŽELEZNIČKE INFRASTRUKTURE PRIMENOM CAD I BIM TEHNOLOGIJE

## PLANNING AND DESIGN OF RAILWAY INFRASTRUCTURE USING CAD AND BIM TECHNOLOGY

Datum prijema rada: 17.3.2018.

UDK: 656.2+004:625.1/5

### REZIME:

Cilj ovog rada je da prikaže mogućnosti izrade elemenata trase železničke pruge u situaciji, uzdužnom profilu i poprečnim profilima primenom računara i naprednih informacionih tehnologija. Pored postupka izrade trase železničke pruge, u radu je predstavljen razvoj inženjerskog crtanja primenom računara. Predstavljen je pojam BIM (*eng. Building Information Modeling*) tehnologije i uloga ove napredne informacione tehnologije pri projektovanju saobraćajnica. Kreiranje digitalnih modela u cilju vizuelnog trodimenzionalnog predstavljanja objekata i automatskog generisanja i ažuriranje projektne dokumentacije je postalo praktično standard u postupku projektovanja, bilo da se radi o izgradnji nove ili rekonstrukciji postojeće železničke pruge. U radu su analizirane mogućnosti i funkcionalnosti različitih softvera pri savremenom postupku planiranja i projektovanja trase železničke pruge. Postupak izrade elemenata dve varijante trase železničke pruge sproveden je primenom softvera Ferrovia by CGS Labs.

**Ključne reči:** železnička infrastruktura, trasa železničke pruge, projektovanje primenom računara, BIM tehnologija

### SUMMARY:

The aim of this paper is to demonstrate procedure to design horizontal and vertical railway track alignments as well as cross sections using computers and advanced information technologies. Furthermore, this paper presents the application of BIM (Building Information Modeling) technology and its advantages for planning and design of transport infrastructure. Creating digital models in order to present the object as 3D and automatic generating and updating project data has become a standard in design process, whether it is about building new or reconstruction of existing railway line. The paper analyzes the possibilities and functionalities of various software tools as a part of modern planning and design process. The generation of railway line elements for the two variants of railway track is conducted via specialized software Ferrovia kompanije CGS Labs.

**Key words:** railway infrastructure, track alignment, computer aided design, BIM technology

\* Nemanja Lošić, dipl. inž. saobr, Smederevska palanka, Cerovac bb, nemanjalosic462@gmail.com

\*\* Danijel Savković, dipl. inž. saobr, Aleksandrovac, Dr Milomira Džamića 5, danijelsavkovic5@gmail.com

\*\*\* Prof. dr Miloš Ivić, dipl. inž. saobr, Beograd, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, m.ivic@sf.bg.ac.rs

\*\*\*\* Doc. dr Milana Kosijer, dipl. inž. građ, Beograd, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, m.kosijer@sf.bg.ac.rs

\*\*\*\*\* Doc. dr Ivan Belošević, dipl. inž. saobr, Beograd, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, i.belosevic@sf.bg.ac.rs



## 1. UVOD

Ulaganje u železničku infrastrukturu sastavni je deo savremenog procesa razvoja gradova, ali i drugih širih prostornih celina, poput regiona, država i međunarodnih zajednica. Železnička infrastruktura bitno utiče na ekonomske i privredne prilike posmatranih prostornih celina, kao i na aspekt kvaliteta života stanovništva uključujući zdravlje, sigurnost, mogućnosti za rad i provođenje slobodnog vremena.

Planiranje i projektovanje železničkih infrastrukturnih postrojenja predstavlja stručnu i kreativnu ljudsku aktivnost koja je nastala istovremeno kada i sama graditeljska aktivnost. U početku to je bio misaoni proces istraživanja. Građenje nije bilo praćeno prethodnim planiranjem i projektovanjem i svodilo se na proces o tome kako premostiti konkretne prepreke [1]. Danas, zbog velikih ulaganja i investicija, projekti se moraju adekvatno vrednovati kako bi se rangirali i zatim odabrali najbolji. Da bi izbor bio valjan i da bi se objekti gradili brzo i nesmetano, potrebno je uložiti napor u fazi projektovanja i pripremiti dobru projektnu dokumentaciju. Razvojem informacione tehnologije unapređivane su i same tehnike projektovanja železničke infrastrukture. Razvoj CAD (*eng. Computer Aided Design*) tehnologije je počeo sedamdesetih godina prošlog veka. Početak je bio crtanje na papiru, nastavljeno, pojavom prvog računara, crtanjem u dve dimenzije, da bi se polako došlo do potrebe povezivanja sa različitim bazama podataka primenom BIM (*eng. Building Information Modeling*) tehnologije.

U ovom radu je predstavljen razvoj CAD i BIM tehnologije kao i njihova primena pri planiranju i projektovanju železničke infrastrukture. Takođe, u radu je prikazana analiza softverskih rešenja za projektovanje železničkih pruga zasnovanih na primeni ovih savremenih tehnologija. Ukratko, primena CAD i BIM tehnologije omogućava širu sliku sagledavanja mogućnosti kao i skraćivanje vremena u pojedinim fazama projektovanja.

## 2. PROJEKTOVANJE I INŽENJERSKO CRTANJE PRIMENOM RAČUNARA

Prvo pominjanje inženjerskog crtanja, arhitekture i projektovanja na papiru datira još iz 16. i 17.

veka kada su korišćeni ručno napravljeni alati za crtanje i merenje. Kako se čovečanstvo razvijalo, razvijali su se i alati za crtanje, osmišljene su razne table za crtanje, trouglovi, krivuljari i druga razna pomagala, koja su unapredila ručno crtanje. Od 1950. godine pa dok Dr Patric J. Hanratty nije izumeo prvi „program“ za računarsko crtanje, svi tehnički crteži su rađeni pomoću ovih alata [2]. Ovaj „program“ je dosta olakšao postupak inženjerskog crtanja na računarima koji su, u to vreme, bili veličine sobe. Program je završen 1957. godine i nazvan je PRONTO (*eng. Program for Numerical Tooling Operations*). Nakon njega, prvi grafički uređaj koji je koristio električnu (svetlosnu) olovku za crtanje napravio je Ivan Sutherland 1962. godine. Ovaj uređaj je radio na bazi katodne cevi i nazvan je „Sketchpad, A Man-Machine Graphical Communication System“ [3].

Kraj sedamdesetih i početak osamdesetih se smatra pravom revolucijom projektovanja pomoću računara. Nove tehnologije su tada smatrane veoma komplikovanim i nekompletnim, pa se nije obraćala pažnja na stvaraoce i korisnike CAD softvera. Softveri za crtanje, u tom period, nisu bili slični današnjim. Bilo je moguće crtanje samo u jednom sloju, takozvanom *lejeru*. Svi modeli koji su rađeni u tim softverima, čuvani su u DWF (*eng. Drawing Web Format*) formatu. Ovaj format je bio namenjen za čuvanje i prenos računarskih fajlova, ali je omogućavao pregled crteža i njihovo štampanje [3].

U drugoj polovini prošlog veka istraživanja su prešla sa dvodimenzionalnog (2D) na trodimenzionalni koncept (3D). Trodimenzionalni koncept je baziran na modeliranju trodimenzionalne krive i modeliranju površina. Sa pojavom prvih operativnih sistema, tzv. „UNIX“ sistema, projektovanje primenom računara je pronašlo primenu u avio i automobilske industriji, a kasnije i u ostalim granama industrije, između ostalog i u građevinarstvu. Pojavom „IBM“ računara 1981. godine Autodesk je započeo stvaranje prvog softvera zasnovanog na projektovanju i inženjerskom crtanju primenom računara, što su i uspeli da naprave 1983. godine kada se pojavljuje prvi softver pod nazivom AutoCAD.

AutoCAD je najpoznatiji softver kompanije Autodesk za projektovanje pomoću računara koji nudi

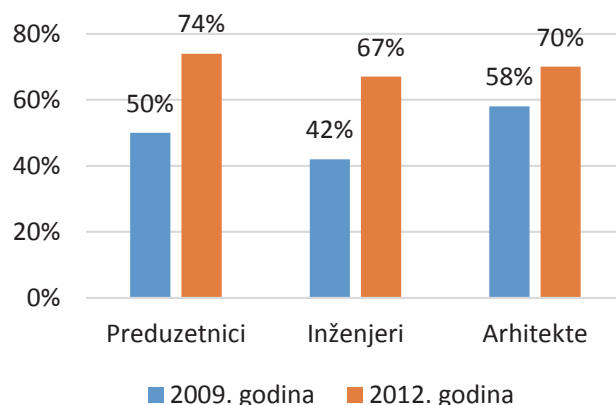
veliki broj specijalizovanih softverskih alata za različita ekspertna područja. Softver je veoma inovativan i pažnja koja je usmerena na njegov razvoj i unapređenje je na profesionalnom nivou. Može se zaključiti da je Autodesk napravio program neprevaziđenih osobina i mogućnosti koje, između ostalog, obuhvataju prostorno modelovanje i vizualizaciju, realistično predstavljanje površine i tela, pristup spoljnim bazama podataka, inteligentno kotiranje, unos i izlaz datoteka u drugim formatima, podršku interneta i još mnogo toga. Za razliku od alternativnih programskih rešenja za 2D i 3D modeliranje, AutoCAD odlikuje sofisticirani sistem merila, visoka preciznost koja može ići i do najniže jedinice mere, kao i automatski sistem dimenzionisanja (kotiranja) koji zadovoljava i najstrože tehničke standarde. Uz izvesne zahteve, kotiranje je asocijativno, odnosno automatski slede izmene geometrije obrađivanog modela.

Godine 2011. Autodesk pravi posebne pakete (*eng. Suites*) sa više različitih softvera koji su skoro u potpunosti zadovoljavali ne samo potrebe različitih oblika projektovanja već i različite faze projektovanja. Noviteti koji su usledili vezani su za „cloud“ tehnologiju, odnosno „cloud“ servise. Razvijene su ekskluzivne aplikacije koje korisnici mogu iskoristiti na internetu i preko eksternih servisa za čuvanje podataka. „Autodesk 360 Cloud“ pruža mogućnosti da korisnik u bilo kom trenutku, sa bilo kog mesta ili uređaja, (kućnog računara, laptopa, tableta ili mobilnog telefona), može pristupiti svojim projektima i skladištiti podatke na eksternim serverima.

### 3. BIM TEHNOLOGIJA

BIM je pojam koji se prvobitno vezivao za sisteme upravljanja podacima sadržanim u inženjerskim crtežima. Naime, Charles Eastman je još 1975. u svom radu pisao o ideji parametarskog projektovanja objekata i o kreiranju jedinstvene baze podataka koja bi mogla poslužiti kako za vizuelne, tako i za kvantitativne analize. Sugerisao je da bi izvođači radova mogli da predvide i naruče potrebnu količinu materijala za građenje objekta [4]. Glavni nedostatak zašto to nije uspeo je nedostatak računarske tehnologije koja bi mogla sve to da izračuna. Međutim, kako se razvijala računarska tehnologija, tako je i ovaj nedostatak prevaziđen.

U Severnoj Americi od 2007. do 2012. godine upotreba BIM-a porasla je sa 28% na 71% [5]. Procenat povećanja broja korisnika BIM tehnologije za različite korisnike prikazan je na slici 1. Prednosti BIM projektovanja rasle su iz godine u godinu i pronalazile su sve veću primenu. Takođe, sve više inženjera uviđalo je da je BIM jedno od najperspektivnijih otkrića koje svoju primenu nalazi u raznim oblastima inženjerstva.



Slika 1. Primena BIM tehnologije za period 2009-2012. godine

#### 3.1. Osnovni principi BIM tehnologije

BIM predstavlja proces stvaranja i upravljanja podacima u toku same razrade projekta. To je proces digitalnog predstavljanja fizičkih i funkcionalnih karakteristika, nekog objekta koji sadrži i zajednički izvor informacija o objektu od njegove izgradnje pa do rušenja. Informacije o projektu koje donose pouzdani i digitalni prikazi objekta mogu se koristiti za: ispitivanje, analizu i simulaciju različitih varijantnih rešenja, izradu precizne i ažurne projektne dokumentacije, predviđanje performansi objekta u izgrađenom okruženju, specifikaciju materijala, procenu troškova građenja, i na kraju, za upravljanje i održavanje objekta.

Sadašnje BIM softvere koriste individualni korisnici, preduzeća i državne agencije u oblasti planiranja, projektovanja, građenja, upravljanja i održavanja različitih saobraćajnih infrastrukturnih postrojenja, kao što su putevi, pruge, mostovi, tuneli itd. Suština BIM tehnologije ne zasniva se na običnom digitalnom crtežu, već na kompletnom detaljnom modeliranju objekata, pri čemu se svaka izmena automatski u osnovi registruje, bilo u 2D preseccima ili 3D modelu. BIM omogućava komunikaciju sa

geografskim informacionim sistemima, kao i drugim programima koji mogu biti od pomoći pri uočavanju i otklanjanju problema naročito u početnim fazama projekta.

Pomoću BIM tehnologije može se predstaviti čitav životni vek nekog objekta, od procesa građenja preko eksploatacije, tj. održavanja objekta pa sve do planiranja rušenja tog objekta. BIM pruža mogućnost dobijanja potrebnih informacija o količinama prilikom izrade specifikacije i proračuna troškova, objedinjuje geometriju, prostorne odnose, analizu osvetljenja, geografske parametre, količine i tehnički opis elemenata (na primer, izvođača radova, dobavljača materijala, specifikaciju materijala i tome slično). Obim i određena polja rada mogu biti izdvojeni iz projekta i na poseban način definisani.

Stari način projektovanja podrazumeva prikazivanje objekta u 2D ravni po različitim profilima i kreiranje preseka datih objekata. Ranijih godina razvijeni su softveri (poput AutoCAD, Civil 3D, itd.) koji su omogućavali 3D projektovanje. Međutim BIM je mnogo više od 3D projektovanja. BIM omogućava inženjerima da lakše predvide performanse objekta, pre nego što se izgradi, da optimizuju projekat i brže odgovore na njegove promene (na osnovu analiza, simulacija, vizuelizacija) i na taj način naprave kvalitetniju projektnu dokumentaciju. Uz sve to, mogućnost praćenja izgradnje objekta i proračun potrebnih troškova BIM tehnologija dobija na velikom značaju. Pored 3D projektovanja ovakav pristup omogućava pažljivo planiranje izgradnje (proračun količina) u zavisnosti od finansija (4D i 5D). Po završetku izgradnje BIM omogućava upravljanje objektom i izradu projekta održivosti (6D), kao i upravljanje objektom tokom eksploatacije.

### 3.2. Specijalizovani softveri za projektovanje železničke infrastrukture

Razvoj BIM tehnologije omogućio je razvoj mnogih softvera za projektovanje železničke infrastrukture. Svi softveri koji su razvijeni imali su grafički korisnički interfejs, koji omogućava jednostavnu komunikaciju sa računarom, odnosno sve potrebne komande su vidljive i veoma pristupačne. Još jedna prednost ogledala se u tome što omogućava, radnu površinu, precizne proračune i lokalizovane baze

zakonskih odredbi i pravila iz oblasti projektovanja donjeg i gornjeg stroja zastupljena na određenim železnicama.

Modeli za izgradnju saobraćajnica su veoma slični u mnogim softverima koji podržavaju inženjersko crtanje i projektovanje primenom računara. Faze projektovanja su identične u svim softverima, osim kada je potrebno pripisati određene funkcije (npr. predmer i predračun). Glavne faze su:

- Topografski 3D ulaz,
- Stvaranje digitalnog modela terena,
- Kreiranje 3D modela za saobraćajnice, odabir struktura saobraćajnica,
- Stvaranje završnog modela koji se povezuje sa saobraćajnicom,
- Izrada projektne dokumentacije,
- Kreiranje drugih podataka o projektu.

Civil 3D je softver kompanije Autodesk namenjen za projektovanje u niskogradnji i visokogradnji. Prvenstveno je zamišljen kao nadogradnja za AutoCAD, ali je zbog velike popularnosti i potražnje prerastao u samostalni softverski alat. Infraworks je Autodeskov softver koji omogućava modeliranje, projektovanje i analizu saobraćajnica, kao i njihovo planiranje i projektovanje u realnom vremenu sa stvarnim, novim, podacima. Omogućava 3D prikaz i simulaciju. Ovim softverom je moguće vizuelizovati neki objekat i vršiti njegove korekcije u takvom obliku.

Pored Autodesk kompanije, još jedan lider u proizvodnji softvera i softverskih alata za projektovanje, pre svega, infrastrukturnih postrojenja, ali i drugih oblasti, jeste Bentley [6]. Softversko rešenje, koje je kompanija Bentley napravila i koje se koristi za projektovanje železničke infrastrukture, je OpenRail. OpenRail ConceptStation je verzija softvera OpenRail kojom je omogućeno projektovanje železničkih koridora, izradu projekta elektrifikacije pruge kao i projektovanje objekata u trupu pruge (mostova, tunela itd.). Ovim softverskim rešenjem omogućava se lociranje i preuzimanje podataka, kao što su stvarne 3D situacije, podaci o terenu, slike terena, informacije o geološkom stanju terena. OpenRail Designer je još jedna verzija softvera OpenRail a služi pre svega za 3D modelovanje železničke infrastrukture.

### 3.3. CGS Labs softverska rešenja

CGS Labs je evropska kompanija koja se bavi razvojem softvera iz oblasti transporta, infrastrukture i drugih bliskih oblasti inženjerstva. Kompanija radi na razvoju softvera iz oblasti građevinarstva, softvera za projektovanje puteva, pruga, vodotokova, kao i alata za Civil 3D koji olakšavaju rad građevinskim inženjerima i arhitektama. CGS Labs takođe radi i na razvoju i izradi CAD i BIM softverskih rešenja za druge softverske kompanije, kao što su: Autodesk Inc, Symetri (CAD-Q), DHI i dr [7].

Sa svojim proizvodima Plateia, Ferrovia, Aquaterra, Autopath i Autosign, CGS Labs se nalazi među vodećim svetskim kompanijama za razvoj građevinskih softvera. Sva softverska rešenja su prilagođena standardima i jeziku za koji su namenjeni. Kompanija učestvuje, kao koordinator ili partner na mnogim projektima u Sloveniji i Evropi iz oblasti IT-a: putne meteorologije, hidrologije i životne sredine. Softverska rešenja CGS Labs-a se koriste u više od 30 zemalja sveta.

Kreiranjem 3D solid modela koloseka, uključujući i dodatne podatke o materijalima, moguće je preneti projekte u AutoCad Civil 3D, Autodesk InRoads. Plateia model za puteve i Ferrovia model za železničke pruge su spremni za integrisanje IFC (*eng. Industry Foundation Classes*) podataka. IFC predstavlja univerzalni format za pokretanje fajlova sa bazom podataka o objektu u oblastima građevinarstva i infrastrukture, a svoju primenu nalazi u BIM tehnologiji.

### 3.4. Opšte karakteristike softvera Ferrovia

Ferrovia je profesionalno, BIM ready, softversko rešenje za 3D projektovanje železničkih pruga. Istovremeno podržava veliki broj smernica specifičnih za pojedinačne države i njihove železničke uprave, a obezbeđuje i alate za uređenje i projektovanje horizontalnih i vertikalnih elemenata trase železničke pruge. Pored toga omogućava i detaljno projektovanje i uređenje poprečnih profila. Pored konstruktivnih elemenata pruge, Ferrovia nudi i funkcije za crtanje skretnica i veza koloseka, 3D modelovanje i izradu dokumentacije i izveštaja. Regresioni alati Ferrovia za analizu trase u planu i profilu omogućavaju korisnicima opcije za

sveobuhvatne korekcije železničkih koloseka na terenu, pri održavanju pruga [7].

Osnovu softvera čini CAD platforma (AutoCAD, Civil3D ili Map3D) što omogućava korisniku relativno lak rad u već poznatom okruženju. Takođe, Ferrovia je softver koji može da koristi BricsCAD Pro i BricsCAD Platinum kao svoju osnovu. Ovo su softverska rešenja belgijske kompanije Bricsys koja imaju veoma slično okruženje Autodesk softverima.

Ferrovia nudi napredan i sveobuhvatan način za uređenje i regresionu analizu koloseka kao i alate za optimizaciju geometrije. Na osnovu različitih ulaznih geodetskih podataka i višestrukih izmenjivih parametara, automatski se generišu prelazne krivine i pravci trase, čime se korisnicima daje mogućnost kreiranja projekata za održavanje i korekciju trasa svih veličina. Generisanje pojedinačnih regresionih elemenata je, takođe, podržano.

### 4. POREĐENJE I MOGUĆNOSTI SOFTVERA ZA PROJEKTOVANJE ŽELEZNIČKIH PRUGA

Pri izradi projekta, bilo, za nove pruge ili za rekonstrukciju postojećih železničkih pruga koncept projektovnja je gotovo uvek isti. Radi boljeg i lakšeg uočavanja osnovnih karakteristika trase pruge one se prikazuju u planovima i profilima [8]. Digitalizacijom i razvojem računarske grafike obogaćeni su projekti različitim prikazima u 3D projekciji i njegovom vizuelizacijom.

Uporedni prikaz ključnih karakteristika softvera Ferrovia by CGS Labs i OpenRail ConceptStation koji se koriste pri projektovanju železničke infrastrukture dat je u tabeli 1. Prikaz mogućnosti projektovanja železničkih pruga primenom računara sproveden je testiranjem softvera Ferrovia by CGS Labs.

Za projektovanje svake konstrukcije, pa tako i železničkih pruga neophodna je određena terenska podloga. Alat za kreiranje terena sadržan je u CGS Labs softveru i omogućava kreiranje detaljnog digitalnog modela terena (DMT) zasnovanog na različitim geodetskim i drugim ulaznim podacima koje čine podaci iz totalnih stanica, tačke, izohipse, blokovi itd. Softver poseduje i alate za uvoz rasterskih i terenskih podataka iz Google Maps u „dwg” crtež.



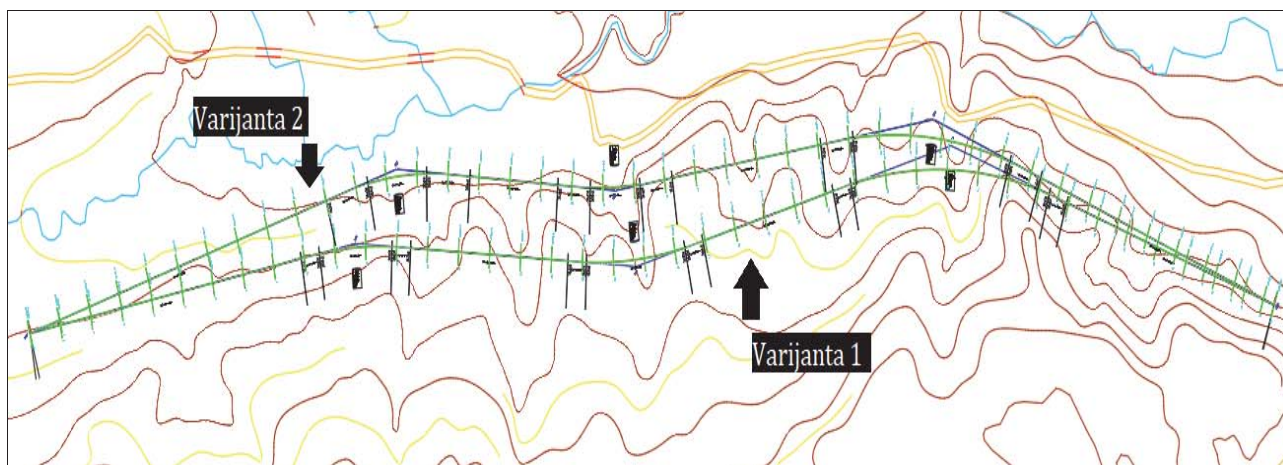
Tabela 1. Poređenje karakteristika softvera za projektovanje železničke infrastrukture

|                                     | Ferrovia by CGS Labs                                                                                                                                                                                                                                              | OpenRail ConceptStation                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Softverska platforma                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD platforma</li> <li>• Nadogradnja na Autodesk softveru (AutoCAD, Civil3D...)</li> </ul>                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jedinstvena platforma</li> <li>• Platforma kreirana od strane kompanije Bentley</li> </ul>                                                        |
| Terenska podloga                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreiranje i unos digitalnih modela terena u .dwg formatu</li> <li>• Uvoz iz GoogleMaps</li> </ul>                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unos digitalnih modela terena u .dmt i .tin formatu</li> <li>• Uvoz iz BINGMaps</li> </ul>                                                        |
| Prikaz trase u situacionom planu    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crtanje osovine pruge tangentnim poligonom (automatsko ili interaktivno određivanje parametara trase u situacionom planu)</li> <li>• Iscrtavanje osovine metodom najboljeg prilagođavanja– Regresiona analiza</li> </ul> |                                                                                                                                                                                            |
|                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prilagođen evropskim i lokalnim standardima</li> </ul>                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prilagođen evropskim standardima</li> </ul>                                                                                                       |
| Prikaz trase u uzdužnom profilu     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatski unos terena</li> <li>• Automatski (BestFit metoda) ili interaktivni unos nivelete pruge</li> <li>• Mogućnost detaljnog uređenja nivelete</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatski unos terena i nivelete pruge, na osnovu terena i trase u situacionom planu</li> <li>• Mogućnost detaljnog uređenja nivelete</li> </ul> |
| Prikaz trase u poprečnim profilima  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detaljno projektovanje i uređivanje poprečnih profila u bilo kom kilometarskom položaju.</li> </ul>                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                            |
| Planimetrisanje i proračun količina | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatski proračun planimetrisanih količina i proračun količina zemljanih radova (količina iskopa, nasipa, tucanika, debljina humusa...)</li> </ul>                                                                     |                                                                                                                                                                                            |
| Projektovanje objekata              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Složeno projektovanje objekata.</li> </ul>                                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jednostavno iscrtavanje železničkih objekata u trupu pruge</li> </ul>                                                                             |
| Projektovanje stanica               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatski unos skretnica i veza koloseka odabirom iz baze koja je integrisana u softver</li> </ul>                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Detaljno projektovanje skretnica i veza koloseka</li> <li>• Pogodan za projektovanje stanica</li> </ul>                                           |
| Realan prikaz pruge                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D solid model predstavljen na osnovu prethodnog izvršenog planimetrisanja</li> </ul>                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreiranje novih ili korišćenje postojećih template-a na osnovu kojih se dobija realan prikaz pruge.</li> </ul>                                    |
| Vizuelizacija                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompatibilnost sa softverima koji podržavaju CAD platformu i omogućavaju vizuelizaciju projekta</li> </ul>                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realna vizuelizacija</li> <li>• Prikaz prolaska voza</li> <li>• Dodavanje dodatnih elemenata (automobili, ljudi, drveće....)</li> </ul>           |

U okviru ovog rada kreirane su dve varijante trase jedne deonice železničke pruge između unapred definisanih tačaka A i B. Najkraće rastojanje između ovih tačaka iznosi 4,01 km, a nalaze se na 297 m (A) i 303 m (B) nadmorske visine. Varijante trase železničke pruge imaju različite tehničke i eksploatacione karakteristike. Varijanta 1 omogućava kretanje vozova brzinama 100 km/h, dok varijanta 2 omogućava kretanje vozova brzinama 120 km/h. Dalja razmatranja sprovedena su analizom funkcionalnosti softvera pri kreiranju situacionog plana, uzdužnog profila, poprečnih profila, proračuna količina, i na kraju 3D modela razmatrane deonice železničke pruge.

#### 4.1. Situacioni plan

Primenom definisanih i ugrađenih funkcija, softver omogućava projektovanje trase u situacionom planu primenom pomoćnih elemenata ili direktnim izborom glavnih elemenata trase. Svakako, najlakši način kreiranja trase je crtanje tangentnog poligona i izbor automatski definisanih elemenata trase. Za potrebe projekta rekonstrukcije koloseka, softver pruža mogućnost automatskog kreiranja trase primenom best-fit funkcije na osnovu geodetskih podataka o postojećem železničkom koloseku. Softver omogućava ucrtavanje jedne ili više osovina pruge u sklopu istog crteža što je i iskorišćeno za prikaz varijanata trase pruge na slici 2.



Slika 2. Definisane varijante 1 i 2 trase železničke pruge na situacionom planu u softveru Ferrovia kompanije CGS Labs

Pre samog ucrtavanja osovine pruge definišu se glavni parametri trase: projektna brzina, širina koloseka i tip prelaznice. Na osnovu ovih parametara i na osnovu generisanih važećih propisa i standarda [9], [10] u samom softveru, automatski se definišu granični parametri:

1. Minimalni poluprečnik krivine,
2. Minimalna dužina krivine,
3. Minimalna dužina prelazne krivine.

Svi ovi elementi trase u situacionom planu za varijantu 1 i varijantu 2 su prikazani u tabelama 2 i 3. Iz

ovih tabela se može zaključiti da su obe varijante na ovoj deonici projektovane sa 3 krivine. U varijanti 2 trasa je duža i projektna brzina je veća u odnosu na varijantu 1.

#### 4.2. Uzdužni profil

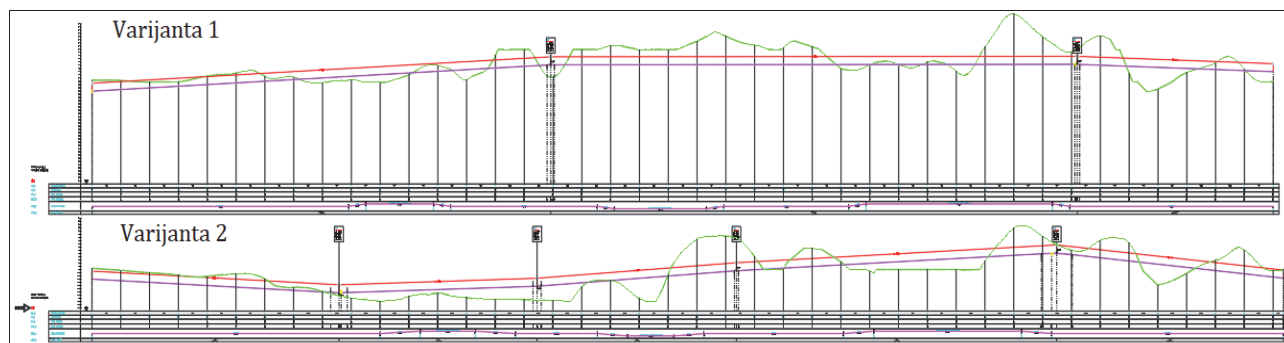
Trasa pruge u profilu predstavljena je položajem nivelete u vertikalnoj ravni, odnosno na uzdužnom profilu. Sastoji se iz više delova različitog nagiba i dužina, a može biti u usponu, padu i horizontali [8]. Uzdužni profil je projekcija čija je izrada primenom računara najviše pojednostavljena

Tabela 2. Osnovni elementi trase u situacionom planu za varijantu 1

| Stacionaža [km+m] | Ime elementa | Dužina [m] | Poluprečnik horiz. krivine [m] | Prelomni ugao |
|-------------------|--------------|------------|--------------------------------|---------------|
| 0+000,00          | -            | -          | -                              | -             |
| 0+932,26          | Pravac       | 932,260    | -                              | -             |
| 1+032,26          | Prelaznica   | 100,000    | 700                            | 14°4'35,6"    |
| 1+103,70          | Kružni luk   | 71,440     |                                |               |
| 1+203,70          | Prelaznica   | 100,000    |                                |               |
| 1+753,32          | Međuprava    | 549,620    | -                              | -             |
| 1+813,32          | Prelaznica   | 60,000     | 1.200                          | 18°7'59,7"    |
| 2+133,06          | Kružni luk   | 319,742    |                                |               |
| 2+193,06          | Prelaznica   | 60,000     |                                |               |
| 2+627,18          | Međuprava    | 434,122    | -                              | -             |
| 2+687,18          | Prelaznica   | 60,000     | 1.200                          | 33°45'54,6"   |
| 3+334,32          | Kružni luk   | 331,645    |                                |               |
| 3+394,32          | Prelaznica   | 60,000     |                                |               |
| 4+100,43          | Pravac       | 706,113    | -                              | -             |

Tabela 3. Osnovni elementi trase u situacionom planu za varijantu 2

| Stacionaža [km+m] | Ime elementa | Dužina [m] | Poluprečnik horiz. krivine [m] | Prelomni ugao |
|-------------------|--------------|------------|--------------------------------|---------------|
| 0+000,00          | -            | -          | -                              | -             |
| 0+999,76          | Pravac       | 999,760    | -                              | -             |
| 1+139,76          | Prelaznica   | 140,000    | 900                            | 21°7'58,3"    |
| 1+330,82          | Kružni luk   | 191,059    |                                |               |
| 1+470,82          | Prelaznica   | 140,000    |                                |               |
| 1+754,51          | Međuprava    | 289,689    | -                              | -             |
| 1+859,51          | Prelaznica   | 105,000    | 1.200                          | 12°40'38,3"   |
| 2+019,81          | Kružni luk   | 160,299    |                                |               |
| 2+124,81          | Prelaznica   | 105,000    |                                |               |
| 2+609,46          | Međuprava    | 484,654    | -                              | -             |
| 2+714,46          | Prelaznica   | 105,000    | 1.200                          | 29°29'25,6"   |
| 3+226,89          | Kružni luk   | 512,433    |                                |               |
| 3+331,89          | Prelaznica   | 105,000    |                                |               |
| 4+136,74          | Pravac       | 804,846    | -                              | -             |



Slika 3. Definisane varijante 1 i 2 nivelete železničke pruge na uzdužnom profilu trase u softveru Ferrovio kompanije CGS Labs

u odnosu na tradicionalni način projektovanja. Crtanje linije terena je potpuno automatizovano. Za već izrađeni situacioni plan, jednom funkcijom iscrtava se linija terena kao i kompletna tabela, sa elementima prenetim iz situacionog plana, koja zajedno sa grafičkim delom čini uzdužni profil. Na slici 3 je prikazana faza izrade uzdužnog profila, odnosno definisanja nivelete za varijantu 1 i varijantu 2.

Softver Ferrovio nudi veliki broj funkcija za izradu i uređivanje nivelete pruge. Crtanje nivelete pruge moguće je interaktivno ili automatski, kreiranjem best-fit osovine, na osnovu definisane linije terena. Nedostatak iscrtavanja best-fit metodom je

nepoštovanje osnovnih kriterijuma za projektovanje nivelete pruge, ali i zbog nedovoljno preciznih podataka koji su potrebni softveru za automatsko definisanje deonica i vertikalnih krivina. Kod interaktivnog unosa nivelete, projektant ima veliku slobodu u izboru prelomnih tačaka i vrednosti.

Crtanje nivelete pruge u ovom ilustrativnom primeru rađeno je interaktivno. Pri izradi varijante 1 prelom nivelete je izvršen na dva mesta, dok je zbog nepovoljnijih terenskih uslova i boljeg prilagođavanja trase prema terenu u varijanti 2 prelom nivelete izvršen na četiri mesta. Svi elementi trase u uzdužnom profilu za varijantu 1 i varijantu 2 dati su u tabeli 4.

*Tabela 4. Osnovni elementi trase u uzdužnom profilu za obe varijante*

|             | Stacionaža<br>[km + m] | Kota nivelete<br>[m] | Dužina<br>[m] | Nagib<br>[‰] | Poluprečnik vert.<br>krivine [m] |
|-------------|------------------------|----------------------|---------------|--------------|----------------------------------|
| Varijanta 1 | 0+000,00               | 297,00               | 1.592,08      | 4,98         | -                                |
|             | 1+592,08               | 304,92               | 1.827,93      | 0,00         | 10.000                           |
|             | 3+420,01               | 304,92               | 680,42        | -2,83        | 10.000                           |
|             | 4+100,43               | 303,00               | -             | -            | -                                |
| Varijanta 2 | 0+000,00               | 297,00               | 857,46        | -5,00        | -                                |
|             | 0+857,46               | 392,71               | 687,85        | 3,00         | 14.400                           |
|             | 1+545,31               | 294,78               | 691,89        | 7,00         | 14.400                           |
|             | 2+237,20               | 299,62               | 1.238,99      | 4,00         | 14.400                           |
|             | 3+476,19               | 304,57               | 660,55        | -2,38        | 14.400                           |
|             | 4+136,74               | 303,00               | -             | -            | -                                |

#### 4.3. Popreni profili i planimetrisanje

Vertikalni presek upravno na osovini pruge zajedno sa terenom pruge, predstavlja poprečni profil pruge. Zbog svoje specifičnosti poprečni profili su složeni za izradu. Inženjerskim crtanjem primenom računara i razvojem računarske grafike crtanje i analiza poprečnih profila je pojednostavljena. Današnja softverska rešenja omogućavaju projektovanje i uređivanje poprečnih profila na detaljan način. Alati ovih softvera omogućavaju postepeno projektovanje poprečnih profila sa opcijama parametričnih definicija, definisanje slojeva i ostalih uslova za kreiranje tačnih i preciznih infrastrukturnih modela sa velikom pažnjom na detalje i projektnu konzistentnost.

Na osnovu unetih poprečnih osa pri izradi situacionog plana, softver automatski unosi liniju terena i tabelarni prikaz visinskog položaja kote terena prikazanih u poprečnom profilu. Takođe, automatski se, na osnovu nivelete pruge, definiše položaj gornje ivice šina, odnosno određena širina koloseka. Pošto Ferrovio podržava važeće propise, u okviru softvera je već generisan oblik gornjeg stroja pruge sa planumom pruge. Oblici zemljanog trupa: nasip, zasek i usek, koji su urađeni u ovom softveru, prikazani su na slici 4. To su poprečni profili za varijantu 2.

Na osnovu izrađenih poprečnih profila i odabirom najpovoljnije trase definišu se planimetrijske količine zemljanog materijala i vrši se njihov proračun. Softver, vrši proračun automatski pomoću

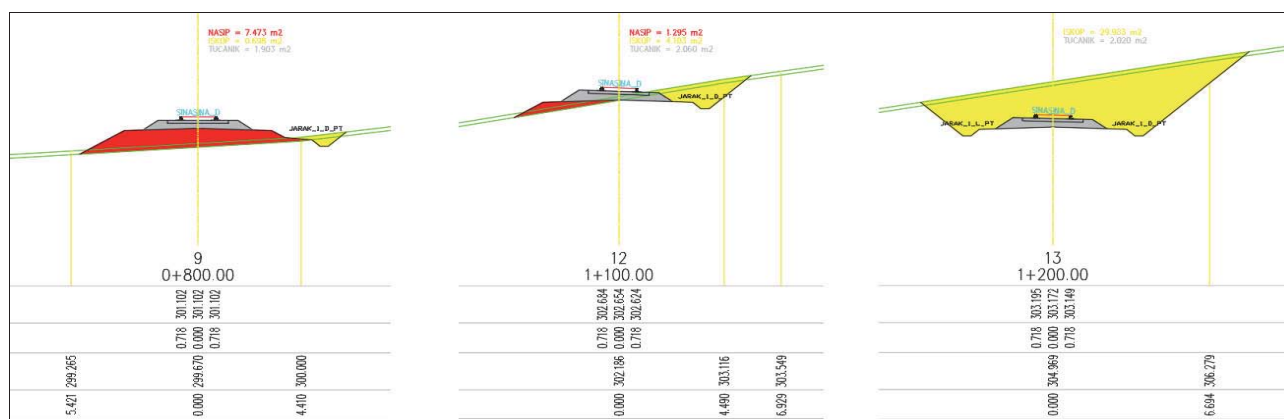
generisanog algoritma. Nekada su se planimetrijske količine računale ručno, pomoću matematičkih formula za površine geometrijskih figura. Danas se pomoću softvera definišu granice površi i softver sam izračuna vrednosti. Svaki karakteristični profil ima određenu vrednost nasipa i/ili useka u m<sup>2</sup> i ona može biti prikazana u samom crtežu (slika 4) ili izvezena u fajl, koji je univerzalan za sve programe koji služe za tabelarnu obradu podataka.

Na osnovu planimetrisanja izračunava se ukupna kubatura zemljanog materijala. Ukupna kubatura se može prikazati tabelarno u samom crtežu. Ova tabela je definisana na osnovu obrasca G105 [11]. Softveri kompanije CGS Labs omogućavaju povezanost sa softverima za procenu i analizu troškova, čime se podržava prenos digitalnih podataka i brzo kreira rekapitulacija troškova i u slučajevima kada dođe do određenih izmena u projektu. Softver kompanije Bentley automatski nakon proračuna ukupne kubature vrši procenu i analizu troškova. Procena ukupne kubature zemljanog materijala definisana u softveru kompanije CGS, u ovom primeru za varijantu 1 i varijantu 2 data je u tabeli 5.

*Tabela 5. Procena ukupne kubature zemljanog materijala varijantata trase železničke pruge [m<sup>3</sup>]*

| Ukupna količina | Varijanta 1 | Varijanta 2 |
|-----------------|-------------|-------------|
| Iskop           | 240.545,14  | 173.987,41  |
| Nasip           | 25.445,11   | 49.840,92   |
| Tucanik         | 7.890,53    | 8.168,21    |

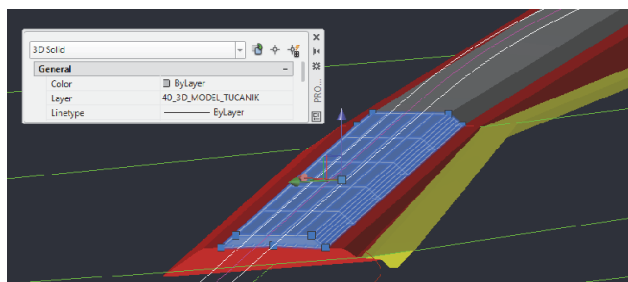




Slika 4. Definisanje poprečnih profila u softveru Ferrovial kompanije CGS Labs

#### 4.4. 3D Solid model

Softver Ferrovial omogućava korisnicima da brzo isprojektuju 3D model železničke pruge zasnovan na osovini, uzdužnom profilu i 3D definisanim ivicama (slika 5). Automatski se kreira finalni 3D BIM model sa svojstvima materijala koji su dodeljeni različitim definicijama materijala. Svi 3D modeli infrastrukture su predstavljeni kao površine ili 3D solid objekti u zavisnosti od korisničke potrebe.



Slika 5. 3D Solid model železničke pruge

CGS Labs rešenja uključuju široku podršku za BIM podatke i mogućnost obezbeđivanja neograničene razmene podataka i sređivanja. Softver omogućava brojne alate za konverziju: instant konverzija AutoCAD Civil 3D osovine pruge u Ferrovial osovinu, mogućnost uvoza i izvoza podataka koji uključuje LandXML i IFC formate podataka. Takođe, pored direktnog kreiranja digitalnog modela terena omogućen je uvoz terena iz Google Maps. Svi infrastrukturni modeli kopiranja CGS Labs se mogu uvesti u softvere, kao što su Autodesk InRoads, Navisworks, Revit i slično.

### 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljene su mogućnosti primene CAD i BIM tehnologije pri planiranju i projektovanju

železničke infrastrukture. Planiranje i projektovanje železničke infrastrukture zasnovano na primeni računara povećava: produktivnost, kvalitet projekta, tačnost proračuna i najvažnije smanjuje vreme koje je potrebno od ideje do izrade gotovog projekta.

Savremeno projektovanje, izgradnja i održavanje zasnivaju se na integrisanom digitalnom i informacionom modeliranju koje omogućava efikasnu izgradnju i dug vek trajanja jedne železničke konstrukcije. Ovako kreirani modeli moraju da sadrže kompletne informacije o stanju železničke pruge kroz ceo njen životni vek. Zbog toga, preduzeća poput CGS Labs i Bentley proizvode softvere koji podržavaju BIM tehnologiju i pripremljeni su za konstantan napredak i razvoj ove tehnologije.

Softver Ferrovial ispunjava sve uslove jednog preciznog i efikasnog softvera za projektovanje železničkih pruga, a korišćenjem BIM tehnologije u ovom softveru daje se mogućnost prilagođavanja najsavremenijim tehnologijama i mogućnost dodatnog uređivanja projekta u nekom drugom softveru koji se koristi za projektovanje građevinskih objekata na samoj trasi pruge ili u njenom neposrednom okruženju (npr. mostovi, vijadukti, tuneli, lokalni putevi itd.).

Softver OpenRail ConceptStation je efikasan softver koji podržava korišćenje BIM tehnologije i u sebi sadrži kompletan ciklus informacija, kao i alate koji omogućavaju projektovanje građevinskih objekata na samoj trasi pruge. Takođe, u sklopu ovog softvera omogućena je vizuelizacija samog projekta, što predstavlja najbolju interakciju između projektanata i investitora.

Na osnovu svega navedenog može se zaključiti da su softveri doneli pravu revoluciju u planiranju i projektovanju železničke infrastrukture. Takođe se može zaključiti da su softveri poput ovih veoma pogodni za analizu i vrednovanje različitih varijantnih rešenja.

### LITERATURA

- [1] Popović Z: *Osnove projektovanja železničkih pruga*, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Beograd, 2004.
- [2] Weisberg D: *The Engineering Design Revolution: The People, Companies and Computer Systems That Changed Forever the Practice of Engineering, 2008*. (dostupno na: <http://www.cadhistory.net/>)
- [3] Cohn D: *Evolution of Computer Aided-Design, Digital Engineering*, 2010. (dostupno na: <https://www.digitalengineering247.com>)
- [4] Eastman C: *The use of computers instead of drawings in building design*, AIA Journal, Vol. 63, No. 3, pp. 46-50, 1975.
- [5] *The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (2007-2012)*, SmartMarket Report, McGraw-Hill Construction, 2012.
- [6] OpenRail Designer CONNECT Edition, Bentley Systems, 2018. (dostupno na <https://www.bentley.com/>)
- [7] Ferrovial by CGS Labs: *BIM-Ready Railway Design Solution*, CGS Labs, 2018. (dostupno na: <https://www.cgs-labs.com/> )
- [8] Ivić M: *Železničke pruge*, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd 2005.
- [9] Pravilnik o tehničkim uslovima i održavanju donjeg stroja železničke pruge, Službeni glasnik Republike Srbije, br. 104/13. Beograd 2013.
- [10] Pravilnik o tehničkim uslovima i održavanju gornjeg stroja železničke pruge, Službeni glasnik Republike Srbije, br. 104/13. Beograd 2013.
- [11] Ivić M., Kosijer M. *Zbirka rešenih zadataka iz železničkih pruga*, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1996.

MILIVOJE VUKOVIĆ\*, SANJIN MILINKOVIĆ\*\*, SLAVKO VESKOVIĆ\*\*\*

# KORIŠĆENJE SIMULACIONOG MODELA „OPEN TRACK” ZA ANALIZU ELEMENATA PLANIRANOG REDA VOŽNJE I ZA KONSTRUKCIJU TRASA REDA VOŽNJE

## USING THE “OPEN TRACK” SIMULATION MODEL FOR THE ANALYSIS OF PLANNED TRAIN TIMETABLE ELEMENTS AND FOR THE CONSTRUCTION OF TRAIN PATHS

Datum prijema rada: 21.4.2018.

UDK: 626.2.519.8

### REZIME:

Red vožnje osnovni je plan organizacije saobraćaja. Planiranje organizacije saobraćaja podrazumeva i planiranje reda vožnje, koji se zatim koristi i za planiranje rada svih službi koje direktno ili indirektno učestvuju u saobraćaju. Osim organizovanja saobraćaja, red vožnje koristi se i u pojedinim segmentima regulisanja saobraćaja. Planiranje i izrada reda vožnje složen je proces koji zahteva poznavanje niza elemenata. Upotrebom kompjuterske tehnike, menjaju se zahtevi koje sa sobom nosi planiranje i izrada reda vožnje. Planiranje i izrada reda vožnje radi se savremenijim načinom, brži je način izrade trasa prevoznih sredstava. Moguće je izraditi više varijanti reda vožnje i izvršiti izbor optimalnog reda vožnje. U ovom radu korišćeni su simulacioni model i simulacioni program za analizu elemenata planiranog reda vožnje u železničkom saobraćaju. Sa više detalja je opisan simulacioni program OPENTRACK za analizu elemenata planiranog reda vožnje za prugu Niš - Dimitrovgrad.

**Ključne reči:** konstrukcija reda vožnje, simulacija saobraćaja, OpenTrack

### SUMMARY:

The timetable is the basic plan for the organization of rail traffic. The planning of the organization of this traffic includes scheduling, which is then used to plan the work of all the services that contribute directly or indirectly to the traffic. In addition to traffic organization, the schedule is also used for traffic regulation and safety. Planning and creating train order is a complex process that requires knowledge of a number of technical elements. By using computer technology, the planning and scheduling requirements change. Planning and scheduling is done in a more modern, faster, more efficient way, especially with regard to the use of rolling stock. It is even possible to make several variations of the timetable of a train and to choose the optimal timetable for this train. In this case, we used a model and a simulation program to analyze the elements of the planned train schedule in rail traffic. We have made a more detailed description of the OPENTRACK simulation program for the analysis of planned train timetables on the Nis-Dimitrovgrad railway line.

**Key words:** train timetable construction the, traffic simulation, OpenTrack

\* Mr Milivoje Vuković, dipl.inž.saobr, Infrastruktura železnice Srbije, Beograd, Nemanjina 6, milivoje.vukovic1962@gmail.com

\*\* Prof. dr Sanjin Milinković, dipl.inž.saobr, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, s.milinkovic@sf.bg.ac.rs

\*\*\* Prof. dr Slavko Veskočić, dipl.inž.saobr, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, veskos@sf.bg.ac.rs

## 1. UVOD

Planiranje i izrada reda vožnje složen je proces koji zahteva poznavanje niza elemenata koji su sadržani u planiranju i izradi reda vožnje. Upotrebom kompjuterske tehnike, menjaju se zahtevi koje sa sobom nosi planiranje i izrada reda vožnje. Moguće je izraditi više varijanti reda vožnje u kratkom roku, a zatim izvršiti izbor optimalne varijante reda vožnje.

U ovom radu opisan je simulacioni program OPENTRACK za analizu elemenata i konstrukciju trasa reda vožnje i izvršena je simulacija kretanja vozova na pruzi Niš (Crveni Krst) – Dimitrovgrad. Rezultati simulacije daju pokazatelje kvaliteta planiranog reda vožnje i iskorišćenosti kapaciteta infrastrukture. Analiza rezultata simulacije značajno bi doprinela donošenju kvalitetnijih odluka prilikom planiranja reda vožnje, planiranja organizacije saobraćaja i konstrukcije trasa reda vožnje.

## 2. MODELIRANJE SAOBRAĆAJA VOZOVA SIMULACIJOM

U radu je urađen model pruge Niš (Crveni Krst) – Dimitrovgrad. Granice modela su stanice Niš, Crveni Krst i Dimitrovgrad. Nakon izrade modela, izvršena je simulacija saobraćaja vozova i analizirani su rezultati simulacije.

Sinhroni modeli simuliraju proces kretanja vozova po pruzi na osnovu zadatog plana ulaza u model s vremenima vožnje, zaustavljanja, ubrzavanja, zadržavanja u stanicama i stajalištima, rangom vozova i drugo. Ovi modeli konstruišu red vožnje za zadata deonicu pruge ili zadati sistem pruga i stanica. Izlazni rezultat je iskorišćenost prostornih odseka, koloseka stanice, značajnih tačaka, ulazno-izlaznih skretničkih zona i drugih službenih mesta, kao i drugi pokazatelji.

### 2.1. Upoređenje nekih od programa za simulaciju železničkog saobraćaja

Neki od programa za simulacije železničkog saobraćaja navedeni su u tabeli 1 [1]. Bliže objašnjenje značenja kolona je sledeće: **Simulacija** – mogućnost grafičkog prikaza kretanja voza; **Optimizacija reda vožnje** – postoji algoritam koji optimizira raspored kretanja vozova u skladu sa funkcijom cilja; **Upravljanje redom vožnje** – mogućnost promene reda vožnje na grafički ili tabelarni način; **Analiza kapaciteta** – procena železničkih kapaciteta (propusna moć); **Upravljanje infrastrukturom** – mogućnost ispitivanja infrastrukture i poređenje različitih varijanti infrastrukture; **Procena modela** – grafičko ili tabelarno praćenje rezultata; **On-line** – analiza železničke mreže u realnom vremenu; **Analiza robustnosti** –

Tabela 1. Softverski programi za simulaciju železničkih sistema

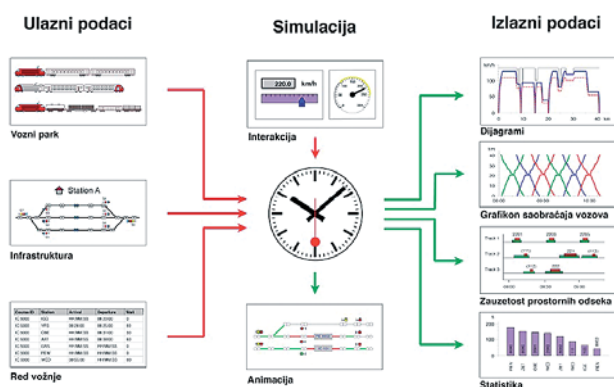
| Softveri  | Simulacija | Optimizacija reda vožnje | Upravljanje redom vožnje | Analiza kapaciteta | Upravljanje infrastrukturom | Procena modela | „On-line” | Analiza robustnosti | Upravljanje stanicom |
|-----------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------|-----------|---------------------|----------------------|
|           | 1          | 2                        | 3                        | 4                  | 5                           | 6              | 7         | 8                   | 9                    |
| RAILSYS   | DA         | NE                       | DA                       | dodatna analiza    | vrlo detaljno               | DA             | NE        | dodatna analiza     | NE                   |
| ROMAN     | DA         | NE                       | DA                       | NE                 | DA                          | DA             | NE        | dodatna analiza     | NE                   |
| OPENTRACK | DA         | NE                       | DA                       | dodatna analiza    | DA                          | DA             | NE        | dodatna analiza     | NE                   |
| CMS       | DA         | DA                       | DA                       | DA                 | DA                          | DA             | NE        | DA                  | DA                   |
| MULTIRAIL | DA         | DA                       | DA                       | dodatna analiza    | DA                          | DA             | NE        | dodatna analiza     | DA                   |



analiza stabilnosti reda vožnje; **Upravljanje stanicom** – upravljanje kretanjem vozova kroz stanicu.

## 2.2. OpenTrack program za simulaciju saobraćaja

Program OpenTrack počeo je da se koristi pre nekoliko godina kao istraživački projekat na Institutu za saobraćajno planiranje i sisteme transporta („IVT“) na švajcarskom Federalnom institutu za tehnologiju. Cilj projekta „*Objektno orijentisano modeliranje u železničkom saobraćaju*“ bio je razvijanje pomoćne alatke koja bi omogućila pristup radu železnice, kao i rešavanju raznih problema kroz simulaciju. Iz tog projekta nastao je proizvod *OpenTrack – simulacija rada sistema železničkog saobraćaja*, koji se danas koristi za potrebe železnice. Šematski prikaz komponenti za simulaciju prikazan je na slici 1 [2].



Slika 1. Komponente alatke za simulaciju

Za unapred definisane vozove izrađen je planirani red vožnje. Za vreme simulacije, OpenTrack računa kretanje voza u skladu sa redom vožnje i daje prikaz rada železničkog sistema prilikom saobraćaja vozova. Nakon završetka simulacije, OpenTrack analizira sve podatke prikupljene tokom simulacije i daje vizuelni prikaz izveštaja u obliku grafikona saobraćaja vozova, dijagrama zauzetosti prostornih odseka, grafikona kašnjenja i ranijih dolazaka vozova i drugih izveštaja.

## 2.3. Ulazni podaci za simulacioni model

Podaci o voznim sredstvima, infrastrukturi i o redu vožnje predstavljaju ulazne podatke za model.

Tehnički podaci o vučnim vozilima su podaci o seriji vučnog vozila, dužini, masi, maksimalnoj brzini, vučni pasoš i drugi. Podaci se koriste prilikom formiranja vozova u modelu.

Pruge su opisane u obliku teorije grafova. Objektima se mogu dodati i menjati osobine koje ih detaljnije opisuju. Kolosek se može opisati dužinama, dozvoljenim brzinama po kategorijama vozova, nagibima, krivinama i drugim podacima. Mogu se dodati i drugi elementi koji pripadaju infrastrukturi – peroni, kontaktne mreže, signalno-sigurnosni sistemi.

Baza podataka o planiranom redu vožnje sadrži podatke koji će biti korišćeni za vreme simulacije: planirano vreme polaska/dolaska/prolaska po službenim mestima, ulazno-izlazni koloseci, vreme sačekivanja i drugi podaci.

## 2.4. Simulacija saobraćaja vozova i planiranog reda vožnje

Za vreme simulacije vozovi na prugama pokušavaju da ostvare unapred određeni red vožnje. Podaci o kretanju voza dobijaju se rešavanjem diferencijalne jednačine kretanja. Za vreme simulacije podaci svakog voza prikupljaju se i iskoriste za različite vrste izlaznih izveštaja. Simulacija može biti predstavljena kao model animacije, tako da korisnik vidi sve vozove, vidi zauzete, rezervisane i slobodne prostorne odseke, stanje signalno-sigurnosnih uređaja.

## 2.5. Izlazni podaci simulacionog modela

OpenTrack nudi veliki broj izlaznih rezultata. Izlazni podaci dobijeni simulacijom mogu se svrstati prema „mestu“ nastanka. Najčešće analizira se kretanje vozova i upoređivanje sa planiranim redom vožnje. Izlazni podaci o kretanju vozova su u obliku raznih dijagrama.

Rezultat simulacije saobraćaja daje i podatke o načinu kretanja vozova jer mogu se videti ubrzanje, brzina, kočenje i zaustavljanje voza. Rezultat simulacije može biti i dijagram zauzetosti koloseka za izabrani interval simulacije. Pojedini izlazni rezultati mogu se prikazati i u obliku tabele, kao što su planirani red vožnje, realizovani red vožnje prilikom simulacije i drugi podaci.

### 3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE PRUGE I KARAKTERISTIČNE DEONICE

Pruga Niš – Dimitrovgrad je magistralna pruga E 70. Pruga je jednokolosečna, nije elektrificirana i u većoj dužini nema ugrađene auto-stop uređaje. Regulisanje saobraćaja od stanica Niš i Crveni Krst do stanice Niška Banja obavlja se u režimu automatskog pružnog bloka (APB), a od stanice Niška Banja do stanice Dimitrovgrad u režimu „Stanični razmak“.

Pruga pripada kategoriji „D3“, na pruži je zastupljen slobodni profil UIC-C1, najmanji poluprečnik krivine je 300 m, a dužina zaustavnog puta je 700 m.

Najznačajnije stanice su Niš, Crveni Krst, Bela Palanka, Pirot i Dimitrovgrad. Stanice Niš, Crveni Krst i Dimitrovgrad su rasporedne stanice i početna i krajnja stanica za veći broj vozova. Bela Palanka je početna i krajnja stanica za dva para vozova, a Pirot početna i krajnja stanica za teretne vozove koji se operativno uvode u saobraćaj.

Osnovi podaci za prugu preuzeti su iz materijala reda vožnje upravljača infrastrukture [3]. i [4]. Podaci koji su preuzeti su dopuštene brzine, udaljenost službenih mesta, sistem upravljanja saobraćajem, ograničene brzine, lagane vožnje, brzine preko skretnica, merodavni nagibi, merodavni otpori i dužine vozova [5].

#### 3.1. Deonica Pirot – Sukovo

Deonica Pirot – Sukovo obuhvata deo pruge od kilometra 72+935 do kilometra 86+193 i službena mesta Božurat stajalište i Veliki Jovanovac stajalište. Saobraćaj vozova vrši se u staničnom razmaku.

Dužina deonice je 13.258 metara, a najveća dopuštena brzina je 100 km/h. Na ovoj deonici uvedene su dve (2) ograničene brzine. Za smer Pirot – Sukovo merodavni uspon je 8 ‰, merodavni pad je 1 ‰, merodavni otpor je 8 daN/t. Za smer Sukovo – Pirot merodavni uspon je 1 ‰, merodavni pad je 8 ‰, merodavni otpor je 1 daN/t.

#### 3.2. Deonica Sukovo – Dimitrovgrad

Deonica Sukovo – Dimitrovgrad obuhvata deo pruge od kilometra 86+193 do kilometra 97+423 i službena mesta Činiglavci stajalište i Srećkovac stajalište. Saobraćaj vozova vrši se u staničnom razmaku.

Dužina deonice je 11.230 metara, a najveća dopuštena brzina je 100 km/h. Na ovoj deonici uvedene su dve (2) ograničene brzine. Za smer Sukovo – Dimitrovgrad merodavni uspon je 10 ‰, merodavni pad je 5 ‰, merodavni otpor je 10 daN/t. Za smer Dimitrovgrad – Sukovo merodavni uspon je 5 ‰, merodavni pad je 10 ‰, merodavni otpor je 6 daN/t.

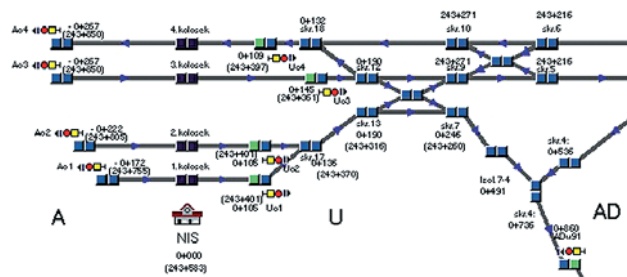
### 4. OSNOVNE KARAKTERISTIKE STANICA

Osnovne karakteristike stanica su značaj na pruži (rasporedna stanica/međustanica), kilometarski položaj na pruži (stacionaža stanice), uloga stanice (za prijem/otpremu putnika i robe), osiguranje stanica, vrsta glavnih signala (svetlosni/likovni), broj prijemno-otpremnh koloseka i postrojenja za vezu koloseka (skretnice).

U stanicama u kojima nema izlaznih signala, položaj međika je predstavljen kao izlazni signal jer postojanje glavnih signala je uslov da se formiraju rute, putanje i itinereri.

#### 4.1. Stanica Niš

Stanica Niš je rasporedna stanica za prugu Niš – Dimitrovgrad i nalazi se na početku pruge – u kilometru 0+000. Otvorena je za prijem i otpremu putnika i za prijem i otpremu robe. Osigurana je elektrorelejnim osiguranjem. Svi glavni signali su svetlosni. Stanica ima 6 prijemno-otpremnh koloseka. Za simulaciju moguć je prijem i otprema vozova sa 4 koloseka, koji su obeleženi brojevima od 1 do 4. Namena ovih koloseka je da 1. i 2. kolosek služe za prijem i otpremu vozova za prevoz putnika, 3. kolosek za otpremu vozova za prevoz robe za smer Dimitrovgrad, a 4. kolosek za prijem vozova iz smeru Dimitrovgrad. Ovi koloseci su povezani sa 6 skretnica i one su obeležene brojevima 4, 7, 12, 13, 17 i 18. Skretnice su u pogledu osiguranja pouzdano pritvrđene. Model stanice Niš prikazan je na slici 2.



Slika 2. Model stanice Niš

## 4.2. Ostale stanice na pruzi

**Stanica Crveni Krst** nalazi se na početku pruge – u kilometru 0+000. Osigurana je elektrotelegrafnim osiguranjem. Svi glavni signali su svetlosni. Stanica ima 8 prijemno-otpremnik koloseka i za simulaciju je moguć prijem i otprema vozova sa 6 koloseka koji su obeleženi brojevima od 2 do 7. Koloseci su povezani sa 5 skretnica obeleženih brojevima od 21 do 25.

**Stanica Bela Palanka** nalazi se u kilometru 44+911. Osigurana elektrotelegrafnim blok uređajem. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 4 prijemno-otpremnik koloseka, koji su obeleženi brojevima od 2 do 5. Glavni prolazni kolosek je 3. kolosek. Koloseci su povezani sa 8 skretnica obeleženih brojevima od 1 do 8.

**Stanica Pirot** nalazi se u kilometru 72+935. Osigurana je elektrotelegrafnim blok uređajem. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 4 prijemno-otpremnik koloseka, koji su obeleženi brojevima od 2 do 5. Glavni prolazni kolosek je 3. kolosek. Koloseci su povezani sa 8 skretnica obeleženih brojevima 1, 2, 3, 5, 8, 9, 10 i 12.

**Stanica Dimitrovgrad** nalazi se u kilometru 97+423. Osigurana je elektrotelegrafnim osiguranjem. Svi glavni signali su svetlosni. Za simulaciju upotrebljeno je 8 prijemno-otpremnik koloseka, koji su obeleženi brojevima od 1 do 8. Glavni prolazni kolosek je 2. kolosek. Koloseci su povezani sa 7 skretnica obeleženih brojevima 1, 3, 4, 5, 7, 8 i 10.

**Stanica Čele Kula** nalazi se u kilometru 5+460. Osigurana je elektrotelegrafnim osiguranjem. Svi glavni signali su svetlosni. Stanica ima 2 prijemno-otpremnik koloseka, koji su obeleženi brojevima 2 i 3. Glavni prolazni kolosek je 3. kolosek. Koloseci su povezani sa 4 skretnice obeležene brojevima od 1 do 4.

**Stanica Niška Banja** nalazi se u kilometru 10+500. Osigurana je elektrotelegrafnim osiguranjem. Svi glavni signali su svetlosni. Stanica ima 3 prijemno-otpremnik koloseka, koji su obeleženi brojevima 2, 3. i 4. Glavni prolazni kolosek je 3 kolosek. Koloseci su povezani sa 6 skretnica obeleženih brojevima od 1 do 6.

**Stanica Ostrovica** nalazi se u kilometru 22+504. Osigurana je elektrotelegrafnim blok uređajem. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 3 prijemno-otpremnik koloseka, koji su obeleženi brojevima 1, 2. i 3. kolosek. Glavni prolazni kolosek je 2. kolosek. Koloseci su povezani sa 4 skretnice obeležene brojevima od 1 do 4.

**Stanica Dolac** nalazi se u kilometru 31+700. Osigurana je elektrotelegrafnim blok uređajem. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 2 prijemno-otpremnik koloseka, koji su obeleženi brojevima 2. i 3. Glavni prolazni kolosek je 3. kolosek. Koloseci su povezani sa 4 skretnice obeležene brojevima od 1 do 4.

**Stanica Crvena Reka** nalazi se u kilometru 36+426. Osigurana je elektrotelegrafnim blok uređajem. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 2 prijemno-otpremnik koloseka, koji su obeleženi brojevima 2. i 3. Glavni prolazni kolosek je 3. kolosek. Koloseci su povezani sa 4 skretnice obeležene brojevima od 1 do 4.

**Stanica Čiflik** nalazi se u kilometru 53+500. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 2 prijemno-otpremnik koloseka, koji su obeleženi brojevima 2. i 3. Glavni prolazni kolosek je 3. kolosek. Koloseci su povezani sa 4 skretnice obeležene brojevima od 1 do 4.

**Stanica Staničenje** nalazi se u kilometru 63+816. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 2 prijemno-otpremnik koloseka, koji su obeleženi brojevima 2. i 3. Glavni prolazni kolosek je 3. kolosek. Koloseci su povezani sa 4 skretnice obeležene brojevima od 1 do 4.

**Stanica Sukovo** nalazi se u kilometru 86+193. Osigurana je elektrotelegrafnim blok uređajem. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 2 prijemno-otpremnik koloseka, koji su obeleženi brojevima 2. i 3. Glavni prolazni kolosek je 3. kolosek. Koloseci su povezani sa 4 skretnice obeležene brojevima od 1 do 4.

## 5. OPIS PLANIRANOG REDA VOŽNJE

### 5.1. Red vožnje vozova za prevoz putnika

Planiranjem reda vožnje za 2017/2018. godinu na pruzi Niš – Dimitrovgrad konstruisano je 14 trasa vozova za prevoz putnika u toku 24 sata.

Spisak vozova za prevoz putnika sa podacima o rednom broju trase, broju voza, masi i dužini voza, kategoriji, relaciji saobraćaja i kalendaru saobraćaja prikazan je:

- za smer Niš – Dimitrovgrad u tabeli 2.;
- za smer Dimitrovgrad – Niš u tabeli 3.

Vreme dolazaka/polazaka/prolazaka vozova za prevoz putnika preuzet je iz grafikona reda vožnje za prugu Niš – Dimitrovgrad [3].

I u tabeli 2 i u tabeli 3, dani u sedmici označeni su brojevima: 1-ponedeljak, 2-utorak i tako redom do broja 7-nedelja.

Tabela 2. Pregled trasa vozova za prevoz putnika za 2017/2018. godinu za prugu Niš–Dimitrovgrad (smer Niš–Dimitrovgrad)

| Broj trase | Broj voza           | Masa (t) | Dužina (m) | Kategorija | Relacija saobraćaja | Pon | Uto | Sre | Čet | Pet | Sub | Ned |
|------------|---------------------|----------|------------|------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1          | 2                   | 3        | 4          | 5          | 6                   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  |
| 1          | 5911 <sup>1)</sup>  | 109      | 45         | 3          | Niš-Bela Palanka    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |     |     |
| 2          | 5901                | 109      | 45         | 3          | Niš-Dimitrovgrad    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 3          | 5903                | 109      | 45         | 3          | Niš-Dimitrovgrad    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 4          | 1491 <sup>2)</sup>  | 200      | 150        | 1          | Niš-Dimitrovgrad    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 5          | 13141 <sup>3)</sup> | 800      | 400        | 2          | Niš-Dimitrovgrad    | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 6          | 5905                | 109      | 45         | 3          | Niš-Dimitrovgrad    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 7          | 5913                | 109      | 45         | 3          | Niš-Bela Palanka    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |

Napomene za tabelu 2:

- 1) Ne saobraća subotom, nedeljom i državnim praznikom
- 2) Kalendar saobraćaja 15.6.–17.9.2018.
- 3) Saobraća prema posebnom kalendaru

Tabela 3. Pregled trasa vozova za prevoz putnika za 2017/2018. godinu za prugu Niš-Dimitrovgrad (smer Dimitrovgrad–Niš)

| Broj trase | Broj voza           | Masa (t) | Dužina (m) | Kategorija | Relacija saobraćaja | Pon | Uto | Sre | Čet | Pet | Sub | Ned |
|------------|---------------------|----------|------------|------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1          | 2                   | 3        | 4          | 5          | 6                   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  |
| 1          | 5910 <sup>1)</sup>  | 109      | 45         | 3          | Bela Palanka-Niš    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |     |     |
| 2          | 13154 <sup>2)</sup> | 800      | 400        | 2          | Dimitrovgrad-Niš    | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 3          | 5900                | 109      | 45         | 3          | Dimitrovgrad-Niš    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 4          | 1490 <sup>3)</sup>  | 200      | 150        | 1          | Dimitrovgrad-Niš    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 5          | 5902                | 109      | 45         | 3          | Dimitrovgrad-Niš    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 6          | 5904                | 109      | 45         | 3          | Dimitrovgrad-Niš    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 7          | 5912                | 109      | 45         | 3          | Bela Palanka -Niš   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |

Napomene za tabelu 3:

- 1) Ne saobraća subotom, nedeljom i državnim praznikom
- 2) Saobraća prema posebnom kalendaru
- 3) Kalendar saobraćaja 15.6.–17.9.2018.

## 5.2. Red vožnje vozova za prevoz robe

Planiranjem reda vožnje za 2017/2018. godinu na pruzi Niš – Dimitrovgrad konstruisano je 26 trasa vozova za prevoz robe u toku 24 sata.

Spisak vozova za prevoz robe sa podacima o rednom broju trase, broju voza, masi i dužini voza,

kategoriji, relaciji saobraćaja i kalendaru saobraćaja prikazan je

- za smer Niš – Dimitrovgrad u tabeli 4;
- za smer Dimitrovgrad – Niš u tabeli 5.

Vreme dolazaka/polazaka/prolazaka vozova za prevoz robe preuzet je iz grafikona reda vožnje za prugu Niš – Dimitrovgrad [3].



Tabela 4. Pregled trasa vozova za prevoz robe za 2017/2018. godinu za prugu Niš–Dimitrovgrad (smer Niš–Dimitrovgrad)

| Broj trase | Broj voza | Masa (t)            | Dužina (m)        | Kategorija | Relacija saobraćaja    | Pon | Uto | Sre | Čet | Pet | Sub | Ned |
|------------|-----------|---------------------|-------------------|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1          | 2         | 3                   | 4                 | 5          | 6                      | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  |
| 1          | 48007     | 1.300               | 530               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 2          | 40779     | 1.300               | 530               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad |     | F   |     | F   | F   |     | F   |
|            | 45023     | 1.300               | 500               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad |     | 2   |     | 4   |     | 6   |     |
|            | 46879     | 1.300               | 530               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 53981     | 1.400               | 530               | 5          | Niš–Dimitrovgrad       | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 72911     | 114 <sup>1)</sup>   | 19 <sup>1)</sup>  | 9          | Niš–Dimitrovgrad       | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 3          | 48009     | 2.300 <sup>4)</sup> | 530 <sup>4)</sup> | 7          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 58195     | 800 <sup>4)</sup>   | 450 <sup>4)</sup> | 8          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 74903     | 232 <sup>2)</sup>   | 36 <sup>2)</sup>  | 10         | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 4          | 47041     | 1.300               | 520               | 4          | Niš–Dimitrovgrad       | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 5          | 40839     | 1.600               | 535               | 5          | Crv. Krst–Dimitrovgrad |     |     |     |     |     |     | 7   |
|            | 46873     | 1.300               | 530               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 53983     | 1.600               | 520               | 5          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 72901     | 114 <sup>1)</sup>   | 19 <sup>1)</sup>  | 9          | Niš–Dimitrovgrad       | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 73981     | 1.300               | Inf <sup>3)</sup> | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 6          | 45031     | 1.800 <sup>4)</sup> | 530 <sup>4)</sup> | 6          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 58191     | 2.300 <sup>4)</sup> | 530 <sup>4)</sup> | 7          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 58197     | 1.800 <sup>4)</sup> | 530 <sup>4)</sup> | 6          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 58199     | 800 <sup>4)</sup>   | 530 <sup>4)</sup> | 8          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 73983     | 1.400               | Inf <sup>3)</sup> | 5          | Niš–Dimitrovgrad       | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 74901     | 232 <sup>2)</sup>   | 36 <sup>2)</sup>  | 10         | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 7          | 40643     | 1.300               | 535               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | 1   |     |     |     |     | 6   |     |
|            | 44153     | 1.300               | 530               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 45005     | 1.400               | 530               | 5          | Niš–Dimitrovgrad       | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 46679     | 1.300               | 520               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad |     |     |     | 4   |     |     | 7   |
| 8          | 48001     | 1.300               | 530               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
|            | 48005     | 1.300               | 530               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 9          | 45003     | 1.400               | 530               | 5          | Niš–Dimitrovgrad       | 1/  | 2/  | 3/  | 4/  | 5/  | 6/  | 7/  |
| 10         | 40609     | 1.450               | 535               | 5          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   |     |     |     | F   |     |     |
|            | 40771     | 1.300               | 535               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad |     | F   |     | F   |     | F   |     |
|            | 40775     | 1.300               | 530               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad |     |     | F   |     |     |     | 7/  |
|            | 46217     | 1.300               | 530               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 11         | 40871     | 1.200               | 520               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 45025     | 1.300               | 500               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad |     | 2/  |     |     | 5/  |     | 7/  |
| 12         | 44155     | 1.300               | 530               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | 1/  |     | 3/  | 4/  | 5/  | 6/  |     |
|            | 46871     | 1.300               | 530               | 4          | Crv. Krst–Dimitrovgrad | F   |     | F   | F   | F   | F   |     |

Napomena za tabelu 4:

1) Lokomotivski voz, vučno vozilo serije 661 podserije 200

2) Lokomotivski voz, dva vučna vozila serije 667 (ili kombinacija sa 647)

3) Trase za potrebe infrastrukture, dužina voza nije definisana

4) Za vuču voza koriste se dvoje vučnih vozila serije 667 (ili kombinacija sa 647)

Tabela 5. Pregled trasa vozova za prevoz robe za 2017/2018. godinu za prugu Niš–Dimitrovgrad (smer Dimitrovgrad–Niš)

| Broj trase | Broj voza | Masa (t)            | Dužina (m)        | Kategorija | Relacija saobraćaja    | Pon | Uto | Sre | Čet | Pet | Sub | Ned |
|------------|-----------|---------------------|-------------------|------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1          | 2         | 3                   | 4                 | 5          | 6                      | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  |
| 1          | 48000     | 1.690               | 520               | 6          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 2          | 45024     | 1.300               | 500               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | 1   |     | 3   |     | 5   |     |     |
|            | 46678     | 1.690               | 520               | 6          | Dimitrovgrad–Crv. Krst |     |     |     | 4   |     |     | 7   |
| 3          | 40608     | 1.450               | 535               | 5          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   |     |     | F   |     |     |     |
|            | 40642     | 1.300               | 535               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst |     |     |     |     | 5   |     | 7   |
|            | 40774     | 1.300               | 530               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst |     |     |     |     | F   |     | F   |
|            | 40870     | 1.200               | 520               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 44150     | 1.100               | 530               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 4          | 40602     | 1.600               | 535               | 5          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | 1   |     |     |     |     |     |     |
|            | 44152     | 1.100               | 530               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst |     | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 5          | 40770     | 1.300               | 535               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   |     | F   |     |     | F   |     |
|            | 40776     | 1.300               | 530               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst |     |     |     | F   |     |     | 7   |
|            | 46872     | 1.300               | 530               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst |     | F   |     |     |     |     |     |
|            | 46878     | 1.300               | 530               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst |     |     |     | 4   |     |     | F   |
|            | 47642     | 1.600               | 530               | 5          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 73980     | 1.300               | Inf <sup>3)</sup> | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 6          | 48008     | 2.300 <sup>4)</sup> | 530 <sup>4)</sup> | 7          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 58194     | 1.800 <sup>4)</sup> | 450 <sup>4)</sup> | 6          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 7          | 45002     | 1.800               | 530               | 6          | Dimitrovgrad–Niš       | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
|            | 47040     | 1.300               | 520               | 4          | Dimitrovgrad–Niš       | F   |     |     |     |     |     |     |
| 8          | 45022     | 1.300               | 500               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst |     | 2   |     | 4   |     | 6   | 7   |
| 9          | 48002     | 1.690               | 520               | 6          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 53982     | 1.300               | 520               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 10         | 47042     | 1.300               | 520               | 4          | Dimitrovgrad–Niš       | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 11         | 45030     | 1.300 <sup>4)</sup> | 530 <sup>4)</sup> | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 58190     | 2.300 <sup>4)</sup> | 530 <sup>4)</sup> | 7          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 58198     | 800 <sup>4)</sup>   | 530 <sup>4)</sup> | 8          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 74900     | 232 <sup>2)</sup>   | 36 <sup>2)</sup>  | 10         | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 12         | 46870     | 1.200               | 530               | 4          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 72900     | 114 <sup>1)</sup>   | 19 <sup>1)</sup>  | 9          | Dimitrovgrad–Niš       | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 13         | 45004     | 1.800               | 530               | 6          | Dimitrovgrad–Niš       | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 53980     | 1.600               | 520               | 5          | Dimitrovgrad–Niš       | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
|            | 73982     | 1.800               | Inf <sup>3)</sup> | 6          | Dimitrovgrad–Niš       | F   | F   | F   | F   | F   | F   | F   |
| 14         | 46830     | 1.600               | 500               | 5          | Dimitrovgrad–Crv. Krst | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |

Napomena za tabelu 5:

- 1) Lokomotivski voz, vučno vozilo serije 661 podserije 200
- 2) Lokomotivski voz, dva vučna vozila serije 667 (ili kombinacija sa 647)
- 3) Trase za potrebe infrastrukture, dužina voza nije definisana
- 4) Za vuču voza koriste se dvoje vučnih vozila serije 667 (ili kombinacija sa 647)

### 5.3. Vrste vučnih vozila

Prema planiranom redu vožnje za 2017/2018. godinu, za vuču vozova koriste se dizel – vučna vozila serije 661, 647, 667 i 711.

Vučna vozila serije 661 koriste se za međunarodne vozove za prevoz putnika, međunarodne vozove za prevoz robe, vozove u unutrašnjem saobraćaju za prevoz robe i lokomotivske vozove. Vučna vozila serije 647 i 667 koriste se za međunarodne vozove za prevoz robe, vozove u unutrašnjem saobraćaju za prevoz robe i lokomotivske vozove. Dizel-motorna garnitura serije 711 koristi se za vozove za prevoz putnika u unutrašnjem saobraćaju.

## 6. MODELIRANJE U SIMULACIONOM PROGRAMU OPENTRACK

Početak izrade modela je prikupljanje podataka koji opisuju prugu, stanice, koloseke, signale, nagibe, krivine, tunele, vozna sredstva, red vožnje. Nakon prikupljanja podataka, pristupa se izradi modela prema Uputstvu za korišćenje softverskog programa OpenTrack. Izvor [6].

### 6.1. Formiranje modela infrastrukture železničke pruge

#### 6.1.1. Čvor (Vertex) i put (Edge)

**Čvor (Vertex):** „dvostruka” je tačka koja predstavlja mesto koje ima svoj značaj u modelu.

Prilikom formiranja modela železničke stanice, čvor predstavlja skretnicu, međik, izolovani sastav, glavni signal (ulazni, izlazni, prostorni, zaštitni), iskliznicu, staničnu zgradu, mesto zaustavljanja voza, promene nagiba koloseka, položaj krivine, tunel, sekciju kontaktne mreže, mesto promene brzine i drugo.

**Put (Edge):** veza je između dva čvora.

Prilikom formiranja puta između dva čvora, važno je znati da povezivanje sa sobom nosi i podatak o smeru povezivanja.

Put sa sobom nosi vrednosti za rastojanje između dva čvora, nagibe, krivine, tunele i drugo. Mada program može sam da računa otpore prilikom kretanja voza, u ovaj rad uneti su podaci o merodavnim otporima jer su i vozna vremena u planiranom redu vožnje urađena prema merodavnim otporima.

#### 6.1.2. Postavljanje glavnih signala u modelu

U četvrtom poglavlju, u kojem su opisane sve stanice na pruzi, navedene su i bitne karakteristike stanica koje su korišćene u modelu.

Stanice Niš, Crveni Krst i Dimitrovgrad najznačajnije su, osigurane savremenim sistemima osiguranja. Iz ovih razloga su i glavni signali u ovim stanicama svetlosni i dvoznačni.

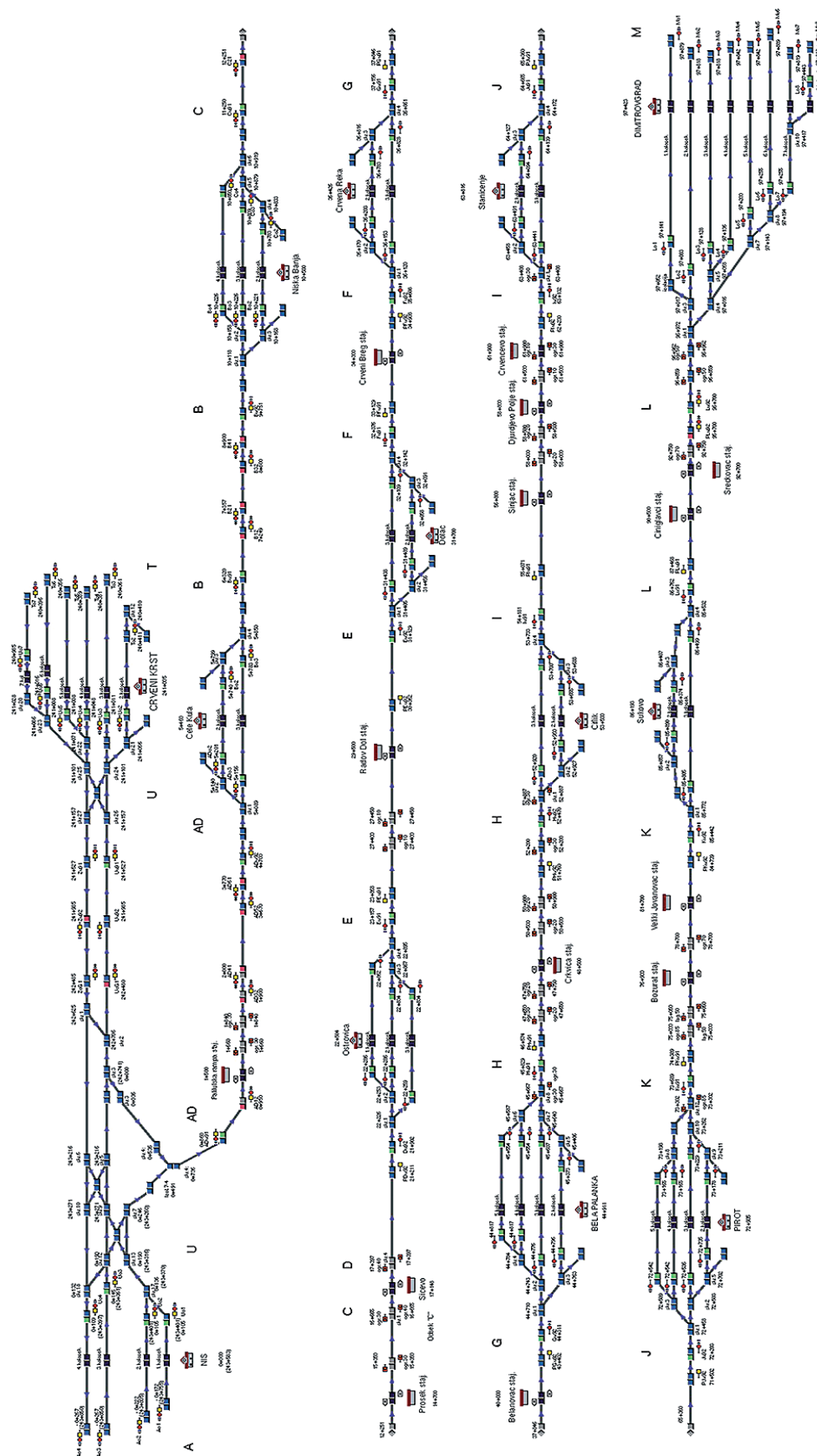
Stanice Bela Palanka i Pirost manjeg su značaja, osigurane starijim sistemom osiguranja, glavni signali su likovni i jednoznačni.

Od ostalih stanica bitno je izdvojiti stanice Niška Banja i Čele Kula, koje su osigurane savremenim sistemima osiguranja i imaju glavne signale koji su svetlosni i dvoznačni. Sve ostale stanice na ovoj pruzi su međustanice koje od glavnih signala imaju likovne ulazne signale i predsignale ulaznih signala, dok izlazne signale nemaju.

#### 6.1.3. Formiranje službenih mesta – železnička stanica

Određeni broj čvorova međusobom povezanih putevima po odgovarajućem pravilu predstavljaju železničku stanicu ili železničku prugu.

Izborom opcije iz programa, tačno određen broj čvorova i puteva grupišu se i tako predstavljaju službeno mesto – stanično područje. U bazi podataka za stanice nalaze se i drugi podaci o stanicama – geografske koordinate, vrsta osiguranja itd. Model infrastrukture za prugu Niš (Crveni Krst) – Dimitrovgrad prikazan je na slici 3.



Slika 3. Model infrastrukture za prugu Niš (Crveni Krst) – Dimitrovgrad



## 6.2. Kreiranje ruta, putanja i itinerera

**Ruta** je prvi nivo kretanja voza i formirane su između susednih glavnih signala, za svaki smer vožnje posebno.

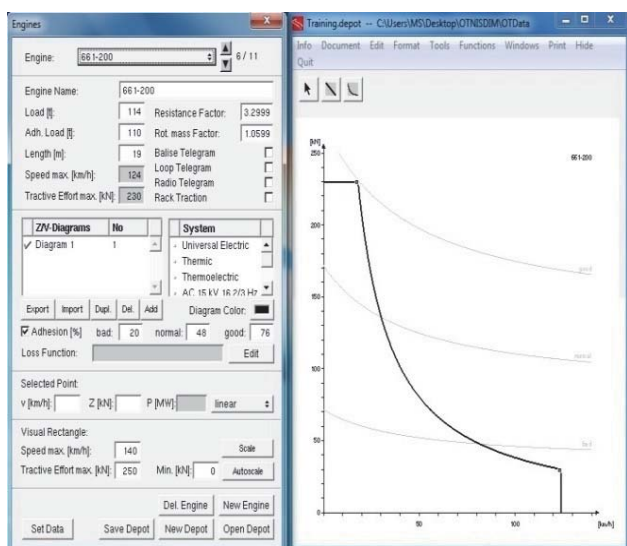
**Putanja** je drugi nivo kretanja voza i formirana je za svaki smer vožnje posebno od izlaznog signala polazne do ulaznog signala naredne stanice i od ulaznog signala do izlaznog signala jedne stanice.

**Itinereri** su treći nivo kretanja voza, formirani su za svaki smer vožnje posebno i za svaku trasu posebno, od izlaznog signala polazne stanice voza do izlaznog signala krajnje stanice voza. Svi formirani itinereri imaju svoja imena, a to su brojevi vozova koji ih koriste. Pored osnovnih itinerera, formirani su i pomoćni itinereri za vozove.

## 6.3. Podaci o vučnim vozilima

Vučna vozila koja se koriste za vuču vozova su vučna vozila serija 661, 647, 667 i 711.

U bazu podataka uneti su podaci za brojnu oznaku vozila, masu i dužinu vozila, silu adhezije, otpor i drugi podaci, na osnovu kojih se nastao i dijagram Snaga/Brzina. Podaci o vučnim vozilima i dijagram Snaga/Brzina za vučno vozilo serije 661 prikazani su na slici 4.



Slika 4. Dijagram Snaga/Brzina i podaci o vučnom vozilu serije 661

## 6.4. Podaci o vrsti, broju, rangi i kategoriji voza

Da bi simulacija saobraćaja bila preciznija i zbog velikog broja vozova različitih osobina, model sadrži tri vrste („Interciti“, „Regio“, „Freight“) i deset kategorija vozova:

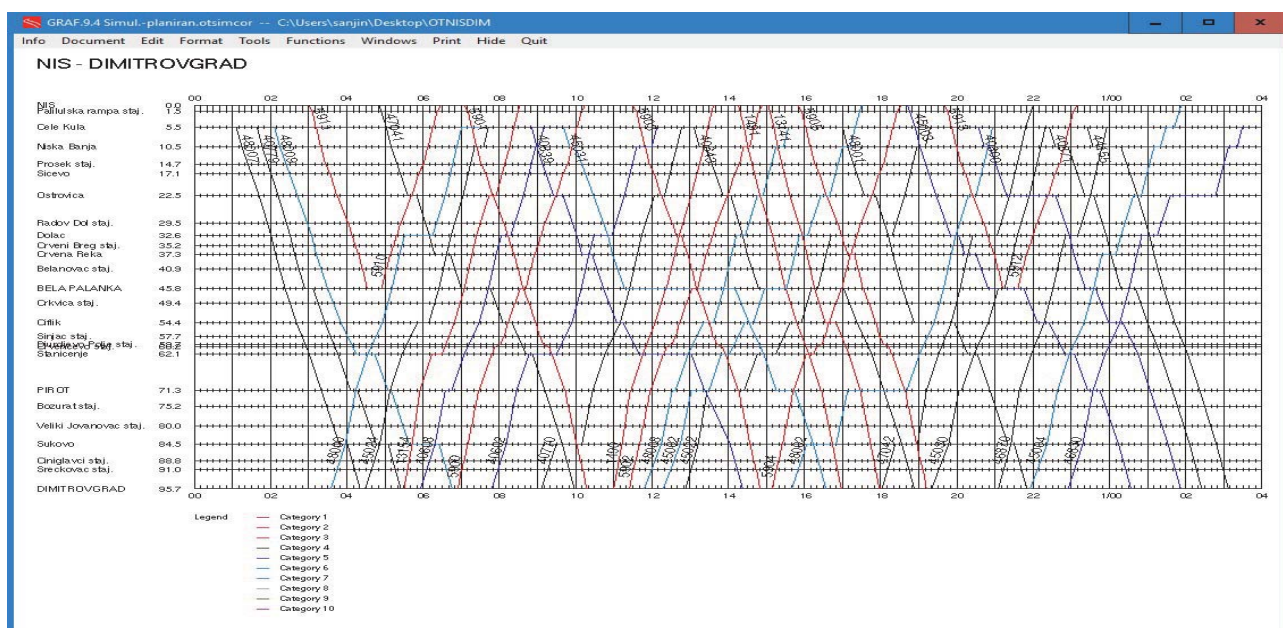
|                 |               |          |       |
|-----------------|---------------|----------|-------|
| 1. Intercity 1, | Category 1",  | 314 t,   | 119 m |
| Intercity 2,    | Category 2",  | 914 t,   | 319 m |
| 2. Regio,       | Category 3",  | 109 t,   | 45 m  |
| 3. Freight 1,   | Category 4",  | 1.412 t, | 554 m |
| Freight 2,      | Category 5",  | 1.712 t, | 554 m |
| Freight 3,      | Category 6",  | 1.912 t, | 549 m |
| Freight 4,      | Category 7",  | 2.412 t, | 549 m |
| Freight 5,      | Category 8",  | 912 t,   | 549 m |
| Freight 6,      | Category 9",  | 114 t,   | 19 m  |
| Freight 7,      | Category 10", | 232 t,   | 36 m  |

Prva vrsta su „Intercity“ međunarodni vozovi za prevoz putnika, sa četvoro kola su kategorije 1 i sa četrnaest kola su kategorije 2. Druga vrsta su „Regio“ vozovi za prevoz putnika u unutrašnjem saobraćaju kategorije 3. Treća vrsta su „Freight“ vozovi za prevoz robe, čije se mase i dužine razlikuju, tako da ova vrsta ima sedam kategorija vozova – od kategorije 4 do kategorije 10.

## 6.5. Planirani red vožnje u programu OpenTrack

Nakon unetih podataka planiranog reda vožnje za sve vozove, može se formirati grafikon planiranog reda vožnje. Ovaj grafikon je za 2017/2018. godinu za prugu Niš (Crveni Krst) – Dimitrovgrad, sadrži 40 trasa i u programu OpenTrack prikazan je na slici 5. Na grafikonu su trase prikazane po bojama, tako da svaka boja predstavlja jednu kategoriju voza.

U planiranom redu vožnje postoji više karakterističnih situacija, od kojih je jedna da je na jednoj trasi upisano više vozova (mada ne saobraćaju istog dana, ali sa razlikama u masi i dužini voza), a druga je da su vremena vožnje vozova rađena po kategorijama koje je odredio upravljač i rađena su za merodavni otpor pruge.



Slika 5. Grafikon planiranog reda vožnje prikazan u OpenTrack

## 7. SIMULACIJA SAOBRAĆAJA VOZOVA I ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

### 7.1. Simulacija saobraćaja vozova

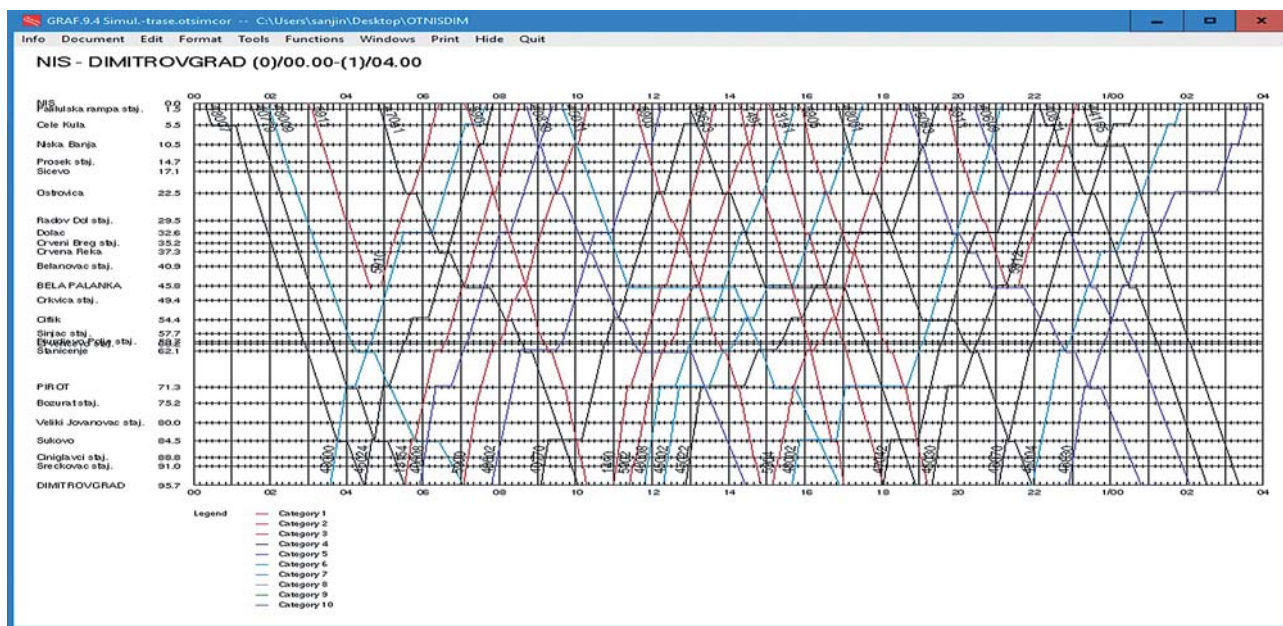
Simulacija saobraćaja vozova izvršena je za period od 00:00 časova „nultog“ dana do 04:00 „prvog“ dana. Na grafikonu nisu prikazane trase planiranog reda vožnje, zbog bolje preglednosti.

Nakon izvršenja simulacije, program prikazuje položaj trasa na grafikonu reda vožnje. Trase su

prikazane u bojama prema kategoriji voza koja im je određena.

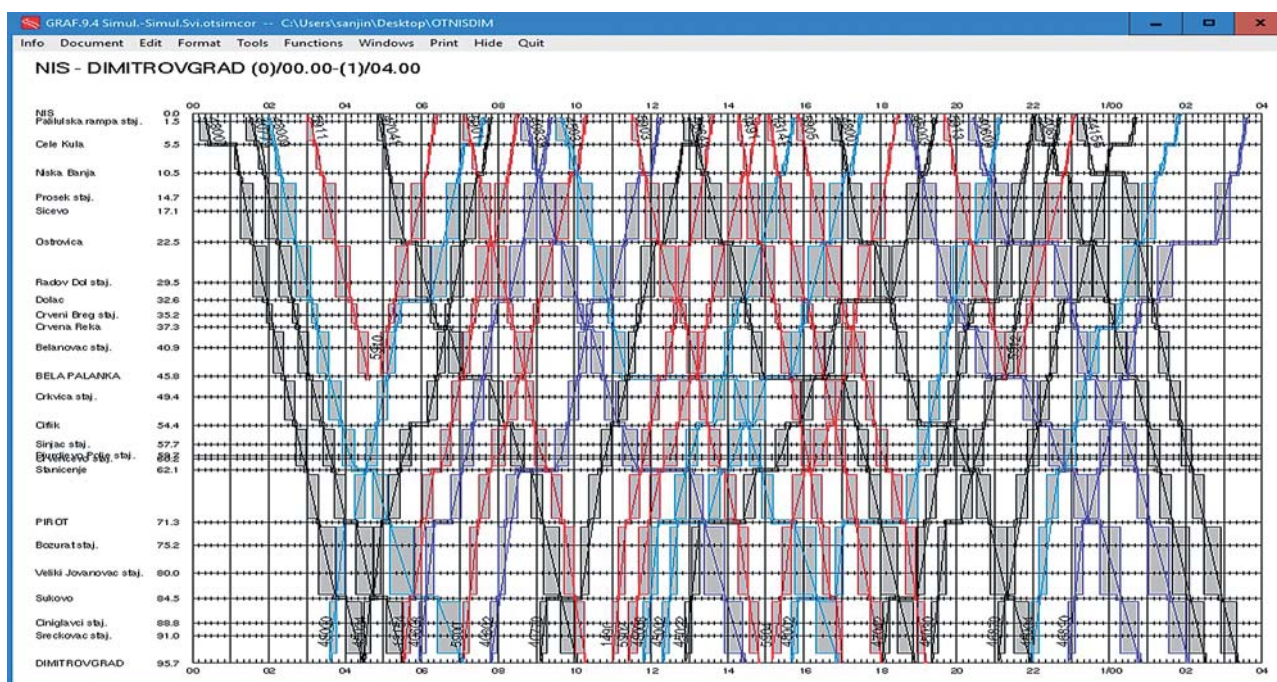
Za simulaciju svih 40 trasa, izlazni rezultat je grafikon reda vožnje prikazan na slici 6.

Izlazni rezultat u obliku grafikona reda vožnje sa prikazanim zauzećima prostornih odseka (APB-a i međustaničnih rastojanja) nakon izvršenja simulacije svih 40 trasa prikazan je na slici 7.



Slika 6. Grafikon reda vožnje nakon simulacije svih trasa vozova



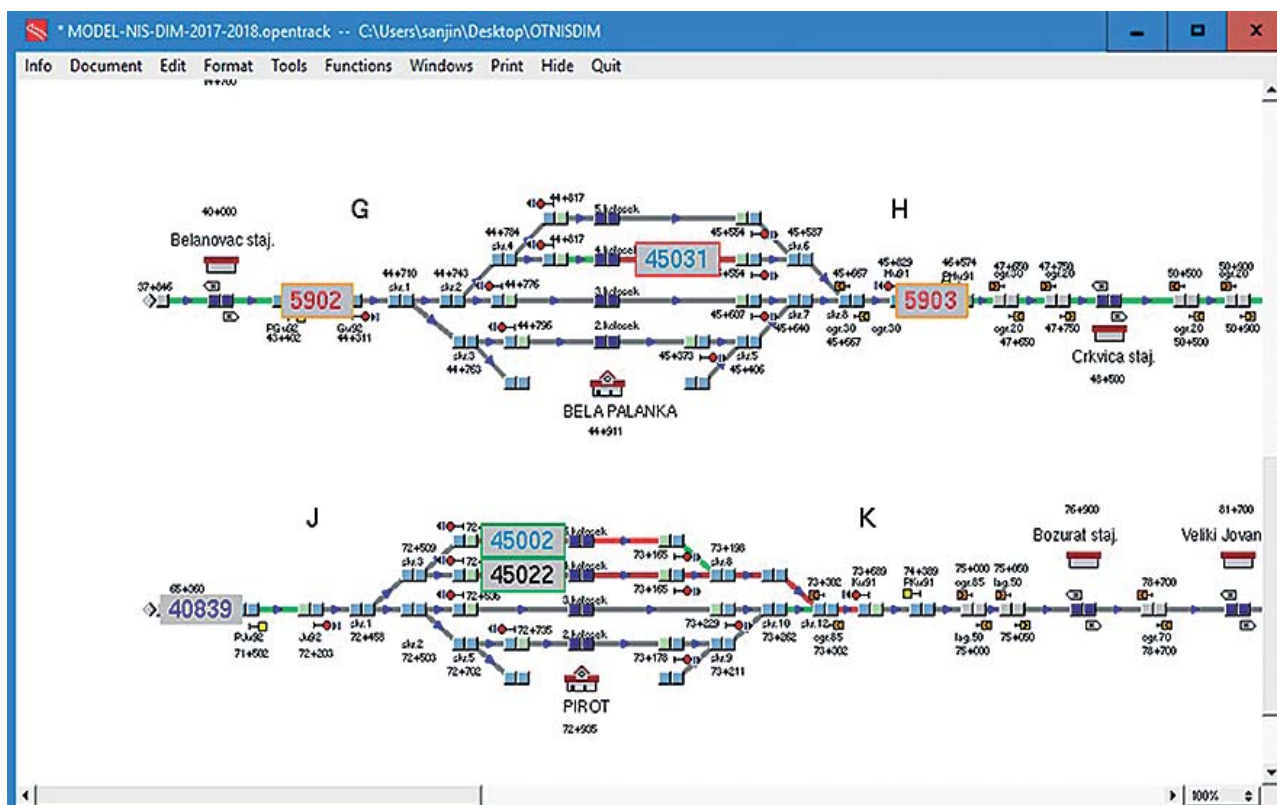


Slika 7. Grafikon reda vožnje sa prikazanim zauzećima prostornih odseka nakon simulacije

## 7.2. Prikaz simulacije saobraćaja u obliku animacije

animiranom obliku prikaže odvijanje saobraćaja. Na slici 8. prikazana je animacija saobraćaja vozova – ukrštavanje u stanicama Bela Palanka i Pirot.

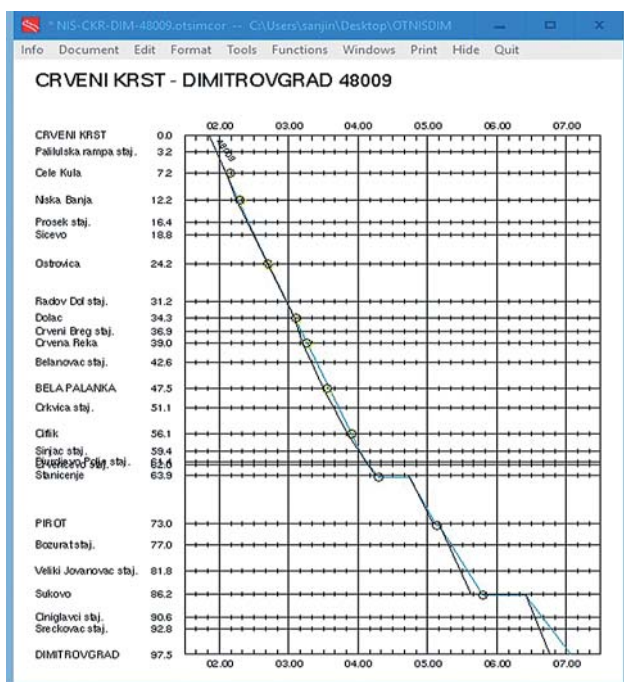
Program za simulaciju omogućava da se u



Slika 8. Prikaz animacija saobraćaja vozova – ukrštavanja u stanicama Bela Palanka i Pirot.

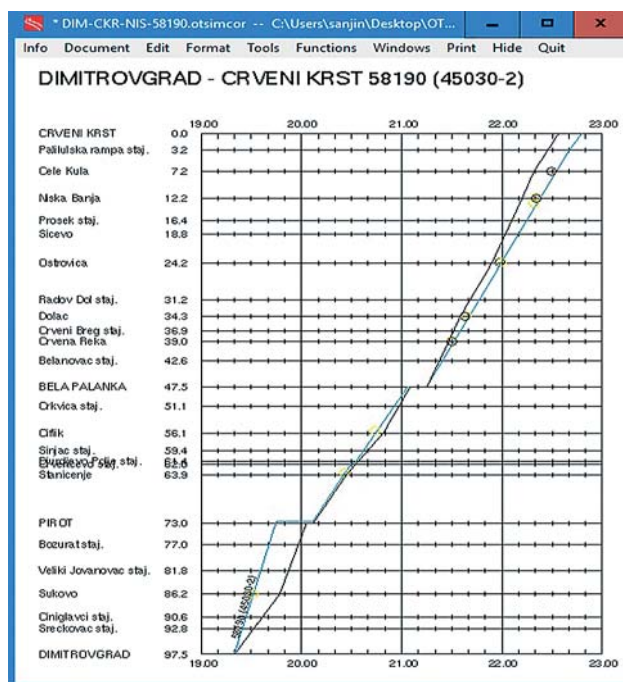
### 7.3. Simulacija saobraćaja izabranih vozova

Simulirano je kretanje vozova 48009 i 74903 koji se nalaze na istoj trasi (trasa broj 3 iz tabele 4). Voz broj 48009 je 7. kategorije, mase 2300 tona. Voz broj 74903 je 10. kategorije, mase 232 tone. Red vožnje dobijen simulacijom prikazan je na slici 9. za voz 48009 i na slici 10 za voz 74903.

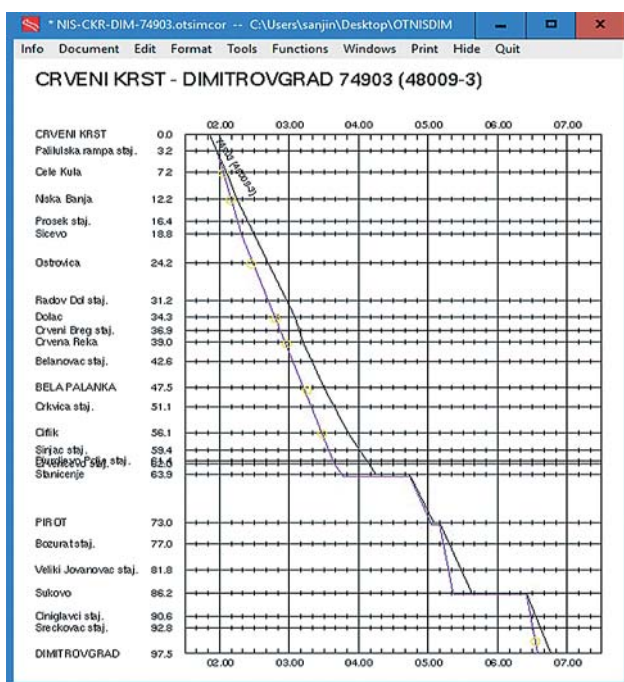


Slika 9. Prikaz simuliranog saobraćaja voza 48009

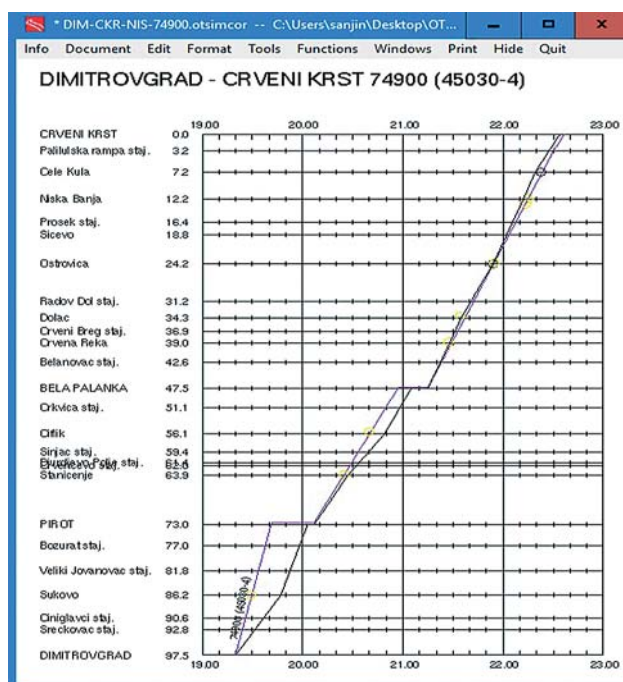
Simulirano je kretanje vozova 58190 i 74900 koji se nalaze na istoj trasi (trasa broj 11 iz tabele 5). Voz broj 58190 je 7. kategorije, mase 2300 tona. Voz broj 74900 je 10. kategorije, mase 232 tone. Red vožnje dobijen simulacijom prikazan je na slici 11. za voz 58190 i na slici 12 za voz 74900.



Slika 11. Prikaz simuliranog saobraćaja voza 58190



Slika 10. Prikaz simuliranog saobraćaja voza 74903



Slika 12. Prikaz simuliranog saobraćaja voza 74900



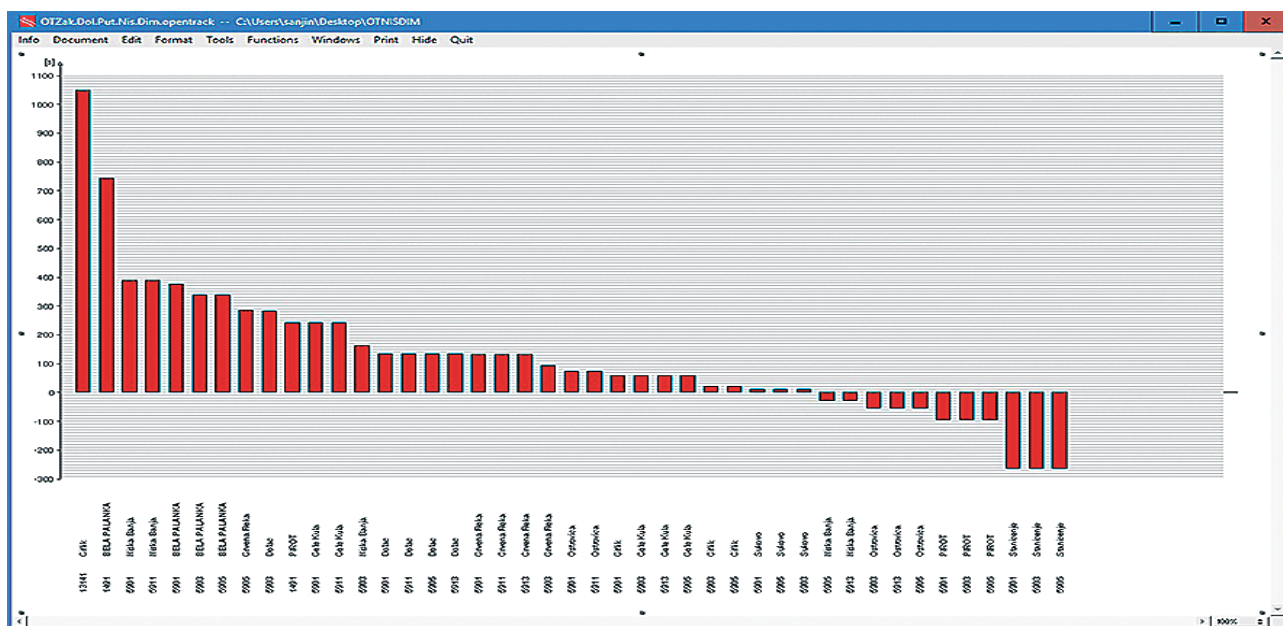
U prethodna četiri primera je evidentna razlika u voznim vremenima i brzini kretanja vozova koji se u planiranom redu vožnje nalaze na istoj trasi.

#### 7.4. Analiza dobijenih rezultata simulacijom

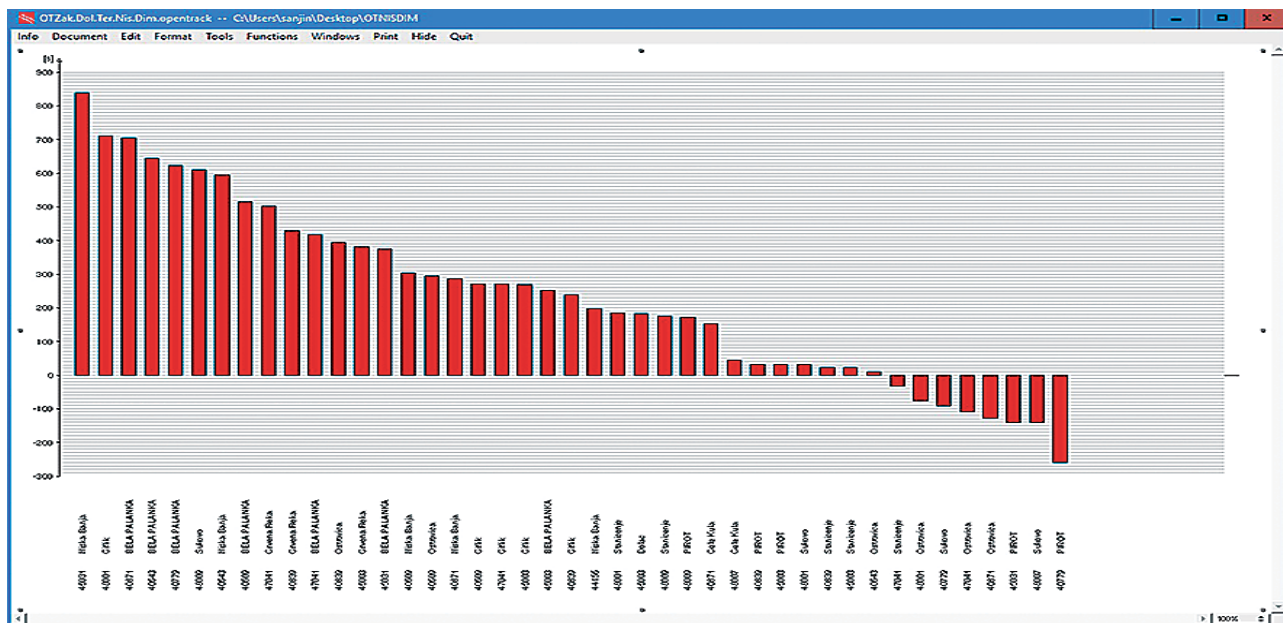
Od izlaznih rezultata u ovom radu su za kraću analizu izabrani zakašnjenja i raniji dolasci vozova, po vrstama prevoza za smer Niš – Dimitrovgrad.

Zakašnjenja i raniji dolasci vozova za prevoz putnika prikazani su na slici 13. Najveće zakašnjenje ima voz 13141 u stanici Čiflik (1.050 s), a dolazak pre planiranog vremena ima voz 5905 u stanici Staničenje (260 s).

Zakašnjenja i raniji dolasci vozova za prevoz robe prikazani su na slici 14. Najveće zakašnjenje ima voz 45031 u stanici Niška Banja (840 s), a dolazak pre planiranog vremena ima voz 40779 u stanici Pirot (260 s).



Slika 13. Zakašnjenja vozova za prevoz putnika za smer Niš – Dimitrovgrad



## 8. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršene su simulacije kretanja vozova korišćenjem programa OpenTrack, koji se već izvesno vreme koristi u Saobraćajnom institutu CIP i na Saobraćajnom fakultetu Universiteta u Beogradu.. Izvršeno je više simulacija. Program OpenTrack daje veliki broj izlaznih rezultata, koji mogu da se koriste za upoređenje realizovanog (simuliranog) i planiranog reda vožnje. Karakteristična je simulacija saobraćaja vozova koji su različitih kategorija (mase i dužine), koji po planiranom redu vožnje saobraćaju po istoj trasi, ali su različiti izlazni podaci za istu trasu voza. Simulacija može da bude predstavljena kao model animacije, tako da korisnik vidi vozove, zauzete, slobodne i rezervisane prostorne odseke i druge elemente. Analizom rezultata simulacije mogu da se vide nedostaci u planiranju reda vožnje, uoče uzroci zakašnjenja vozova i ranijih dolazaka vozova u službena mesta.

Proračun voznih vremena u planiranom redu vožnje zasnovan je na merodavnim otporima i merodavnim nagibima na pruzi. Drugi način iznalaženja voznih vremena koji je u primeni je „snimanje na terenu“, odnosno evidentiranje vremena kretanja vozova na pruzi i statističkom obradom tih podataka.

Ovi navedeni nedostaci mogu da se uz malo angažovanja isprave i tako poboljša i način i kvalitet konstrukcije trasa vozova i planiranja reda vožnje. Mogućnosti simulacionih programa velike su, zbog čega je potrebno da se što pre počne sa upotrebom simulacionih programa.

## LITERATURA

- [1] Milinković S: Modeliranje saobraćajnih procesa u složenim sistemima sa rasputnicom, Magistarska teza, 2007.
- [2] <http://www.opentrack.at/>
- [3] Grafikon reda vožnje 9.4 - pruga Niš (Crveni Krst) – Dimitrovgrad, za 2017/2018. godinu
- [4] Knjižica reda vožnje 9.4 - pruga Niš (Crveni Krst) – Dimitrovgrad, za 2017/2018. godinu
- [5] Poslovni red stanica koje se nalaze na pruzi Niš (Crveni Krst) – Dimitrovgrad
- [6] Huerlimann D, Nash A: „OpenTrack Simulation of Railway Networks Version 1.6,“ OpenTrack Railway Technology Ltd. and ETH Zurich, Institute for Transport Planning and Systems, 2010.

BOJAN DRAGIĆEVIĆ\*, MIRJANA BUGARINOVIĆ\*\*

# MERENJE PERFORMANSI ŽELEZNIČKIH SISTEMA EVROPE

## EUROPEAN RAILWAY PERFORMANCE MEASURING

Datum prijema rada: 19.2.2018.

UDK: 656.2.+33:658+658.8

**REZIME:**

Sa donošenjem prve direktive o reformi železničkog sistema, direktiva 91/440/EEZ, železnički sistem kreće putem promena u pogledu stanja železničkog tržišta, broja aktera na tržištu i načina pružanja usluga. Te promene se odražavaju i na sveobuhvatnost i način merenja performansi, pokazatelja rada i poslovanja aktera. Za praćenje opštih performansi železničkog sistema trenutno se koriste dva sistema: Rail Liberalization Index, koga je razvio IBM Global Business Service, i drugi European Railway Performance Index (RPI), koga je razvila Boston Consulting Group. U ovom radu su prikazana i diskutovana oba sistema, ukazano na uticaj javnih troškova, subvencija i investicija, na performanse železničkog sistema i data je ocena performansi železničkog sistema Srbije

**Ključne reči:** performanse, železnički sistem, LIB index, RPI index

**SUMMARY:**

With adoption of directive (91/440/EEC), first regarding the railway system reform, railway system started to change railway market condition, number of actors on the market, and way of services providing. Those changes affect comprehensiveness and the way of measuring of performance, operation indicators as well as operators and infrastructure manager business. For monitoring of railway system performances, two systems are in use currently: Rail Liberalization Index, which developed IBM Global Business Service, and European Railway Performance Index – RPI, which developed Boston Consulting Group. Both systems are shown and discussed in this paper, with indication on public costs impact on railway system performance and assessment of the Serbian railway sector performances.

**Key words:** performances indicators, railway system, LIB index, RPI index

**1. UVOD**

Do pred kraj dvadesetog veka veliki broj železničkih sistema širom Evrope još uvek karakteriše delimično otvoreno tržište i monopol nacionalnih prevoznika na nacionalnim tržištima. Razvijenost železničkih sistema se prati merenjem određenih performansi koje ukazuju na nivo razvijenosti prevoza i korišćenje osnovnih resursa infrastrukture. Podaci o performansama se predstavljaju kao statističke veličine i pri njihovoj analizi se ne uzimaju u

obzir karakteristike država odnosno ekonomski standard stanovništva, gustina železničke mreže, struktura privrede, itd. Takvo praćenje performansi je omogućavalo u kontinuitetu praćenje stanja železničkog transporta i infrastrukture odnosno korišćenje njihovih kapaciteta. Merenje performansi železničkog tržišta nije bilo tema.

Nakon usvajanja direktive 91/440/EEZ, krenulo se sa restrukturiranjem nacionalnih železnica tj. razdvajanje prevoza od upravljanja infrastrukturom

\* Bojan Dragićević, dipl. inž. saobr, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, bojan.dragicevic.bd@gmail.com

\*\* Doc. dr Mirjana Bugarinović, dipl. inž. saobr, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, mirab@sf.bg.ac.rs

i liberalizacija nacionalnih železničkih tržišta u cilju stvaranja jedinstvenog Evropskog železničkog sistema. Ostvarenje postavljenog cilja sada se prati kroz performanse rada više aktera, performanse železničkog tržišta i njihovi zajednički efekti. Sada je akcenat na praćenju njihovih relacija izraženih kroz produktivnost, efikasnost, efektivnost kao i uočavanje mogućih mesta za njihovo konstantno unapređenje. Rezultati merenja performansi sada indirektno pokazuju i položaj železničkog sistema i tržištajedne zemlje u odnosu na druge.

Da bi se mogli upoređivati železnički sistemi, meriti njihovi nivoi razvijenosti i mogućnosti za unapređenje razvijena su dva vrlo značajna indeksa, LIB index i RP index kojim se mere performanse železničkog tržišta.

U radu je najpre dat kratak osvrt na glavne probleme koji su uzrokovali promenu načina merenja performansi i inicirali stvaranje LIB i RP indeksa. U trećem i četvrtom poglavlju su detaljnije razmatrani ovi indeksi, prikazana je njihova metodologija i rezultati koje su zemlje članice Evropske unije ostvarivale tokom godina, kao i analiza tih rezultata. Zatim je detaljnije sagledano da li postoji uticaj javnih troškova, subvencija i investicija, na performanse železničkog sistema. Na kraju, merenjem ovih indeksa za železnice Srbije, analiziran je stepen otvorenosti tržišta i nivo performansi kako bi se uvidelo gde se Srbija nalazi u odnosu na zemlje članice i šta je to na čemu treba raditi kako bi se celokupna slika železnica Srbije popravila.

## 2. KRATAK OSVRT NA NASTANAK INDEXA

Prethodne studije (Gannon and Shalzi, 1995) koje su se bavile ispitivanjem pokazatelja učinka železničkih kompanija prikazivale su analizu statističkih podataka i oni nisu bili dovoljni za praćenje stanja železničkog tržišta.

Kako jedan od glavnih ciljeva reforme železnice, liberalizacija tržišta bilo je neophodno sagledati rezultate koje su države članice postigle po tom pitanju. Zbog toga je 2002. godine definisan indeks koji meri stepen liberalizacije tržišta, poznatiji kao LIB indeks, a iniciran je od strane novih železničkih kompanija koje traže pristup železničkoj mreži (Kirchner, 2002). On je ažuriran tokom godina i poslednje merenje je bilo 2011 godine.

Nakon toga, javila se potreba za sveobuhvatnijim merenjem performansi učinka, gde će biti obuhvaćeno više faktora i korelacije između njih. Na osnovu toga 2012. urađena je studija i definisan je tzv. Rail Performance Index (Duranton et al., 2012). Ovaj index je izuzetno značajan, jer je on omogućavao sistematizovanje i usaglašavanje pojedinih grupa performansi. U ovom indeksu meri se iskorišćenost kapaciteta železničke infrastrukture, kvalitet usluga prevoza i bezbednost nacionalnih železničkih sistema. Cilj ovog istraživanja bio je da se otkrije da li postoji korelacija između modela alokacija državnih subvencija i performansi nacionalnih železničkih sistema.

## 3. INDEKS LIBERALIZACIJE ŽELEZNIČKOG SISTEMA (RAIL LIBERALIZATION INDEX – LIB INDEKS)

LIB indeks se koristi kao alat koji ima za cilj da vrši uporednu analizu prepreka koje onemogućavaju slobodan pristup železničkom tržištu sa aspekta železničkih kompanija u državama Evropske unije uključujući i Norvešku i Švajcarsku. Postoje četiri verzije studija koje su rađene 2002, 2004, 2007 i 2011. a koje je radila kompanija „IBM Global Business Services” u saradnji sa prof. Kristijanom Kirchnerom sa Humbolt univerziteta u Berlinu. Studija predstavlja benčmarking zakonskih i de fakto prepreka pristupu železničkom tržištu.

Dodatni razlog razvijanja LIB indeksa jeste to što kompanije da bi se odlučile da li će ući na tržište ili ne, kao i pri pravljenju planova poslovanja, moraju prethodno da sakupe relevantne podatke za čije sakupljanje je potrebno dosta vremena a zatim urade i empirijska istraživanja. Korišćenjem LIB indeksa vrlo brzo mogu da se odluče da li će pristupiti tržištu krenuti u dublju analizu tržišta i svog poslovanja.

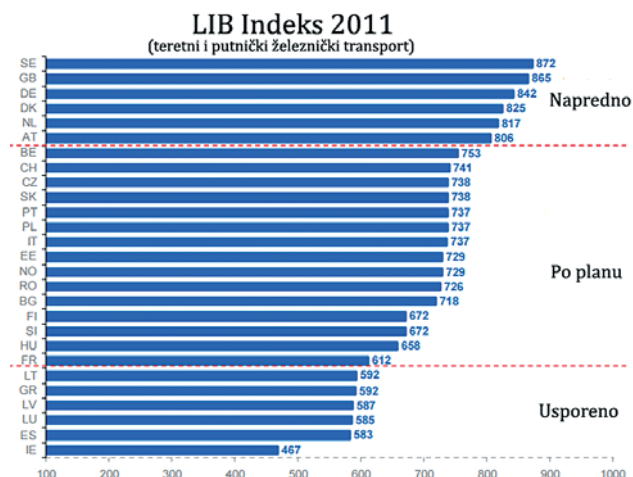
Kadanove železničke kompanije planiraju ulazak na tržište, one razmatraju sledeća tri principijelna pitanja:

1. Šta je za nove železničke kompanije zakonska prepreka u državi na čije tržište ulaze
2. Kog su oblika stvarne moguće (de fakto) prepreke pristupu tržišta
3. U kom obimu je zastupljena konkurencija na tom železničkom tržištu



Ova tri aspekta su predstavljena u obliku tri podindeksa, a to su LEX, ACCESS i COM indeksi. S obzirom na stepen otvorenosti železničkog tržišta, liberalizacije, razlikuju se 4 kategorije država. To su sledeće kategorije: „Napredno“, „Po planu“, „Usporeno“ i „Čeka se početak“.

U prvoj kategoriji se nalaze države koje imaju 800-1000 LIB indeks poena. U drugoj se nalaze države sa 600-799 poena, u trećoj od 300 do 599, dok se u četvrtoj kategoriji nalaze države sa manje od 300 poena. U verzijama iz 2002. i 2004. godine (Kirchner, 2002) nije bilo država iz prve kategorije, jer se tržišta nisu još uvek liberalizovala u tolikoj meri, a u verzijama iz 2007. (Kirchner, 2007) i 2011. godine nema država iz četvrte kategorije, jer su sve države imale više od 300 poena, što ukazuje na vidno poboljšanje rezultata po tom pitanju. Na slici 1. se mogu videti rezultati iz verzije iz 2011. Prema prikazanom, može se zaključiti da je stepen otvorenosti železničkog tržišta na zadovoljavajućem nivou, i da se, gledajući i prethodne studije, trend liberalizacije nastavlja. Međutim, iako izuzetno važan segment, samo otvoreno tržište nije dovoljno kako bi se železnički sistem razvijao u celini i kako bi postao konkurentan drugim vidovima transporta, a naročito drumskom. Za to je potrebno unaprediti kvalitet usluga prevoza, povećati bezbednost saobraćaja i još mnogo toga. Zbog toga, LIB indeks kao takav postaje nedovoljan za adekvatno praćenje performansi železničkog sistema. Shodno tome, kao odgovor na te zahteve nastao je Rail Performance Index koji je detaljnije prikazan u narednom poglavlju.



Slika 1. Rezultati LIB indeksa iz 2011. godine  
(Izvor: IBM Global Business Services)

## 4. RAIL PERFORMANCE INDEX – RPI

Kako bi se što bolje razumele performanse železničkih sistema u Evropi, bostonska konsultantska kuća (BCG – Boston Consulting Group) je razvila indeks performansi železničkog sistema (RPI – Railway Performance Index). RPI predstavlja najobuhvatniji benčmarking železničkog transporta u Evropi do sada. Postoje tri verzije ovih studija. Prva je iz 2012. godine, druga iz 2015. godine, a treća iz 2017. godine (Duranton et al., 2017). S obzirom da glavni izvor podataka koji se koriste za proračun RPI predstavljaju podaci dobijeni od Međunarodne železničke unije (UIC), a neke zemlje ne pružaju informacije kakve UIC zahteva, nije bilo moguće proračunom obuhvatiti sve zemlje EU. To su Grčka i Estonija, a u prvoj verziji pored njih nalazi se i Danska. Pored zemalja Evropske unije obuhvaćene su Švajcarska i Norveška.

### 4.1. Metodologija RPI

RPI uključuje tri komponente železničkih performansi i pruža značajan uvid svim akterima koji teže povećanju performansi evropskog železničkog sistema. RPI meri performanse železničkog sistema zajedno i za putnički i za teretni transport. i to su:

- Intenzitet korišćenja kapaciteta železničke infrastrukture (obim saobraćaja) – koliko se putnika i robe preveze železnicom;
- Kvalitet usluge prevoza – da li su vozovi tačni, brzi i udobni;
- Bezbednost – da li se železnički sistem pridržava najviših bezbednosnih standarda.

Svaka od ovih dimenzija sadrži po još najmanje dve poddimenzije, koje su jednako važne. Za proračun indeksa obuhvaćene su vrednosti svih dimenzija i poddimenzija po njihovoj težini.

Kao posledica ovako definisane metodologije javljaju se tri nepravilnosti:

1. Kvalitet usluge prevoza odnosno ocena kvaliteta usluge prevoza u putničkom i teretnom saobraćaju zavisi od dostupnosti i kvaliteta informacija. Performanse putničkog saobraćaja su merodavnije u odnosu na performanse teretnog transporta zbog dostupnih informacija o kvalitetu usluga – posebno vezanih za cenu i tačnost, dok su za prevoz robe te informacije nedostupne. Zbog toga, u nekim

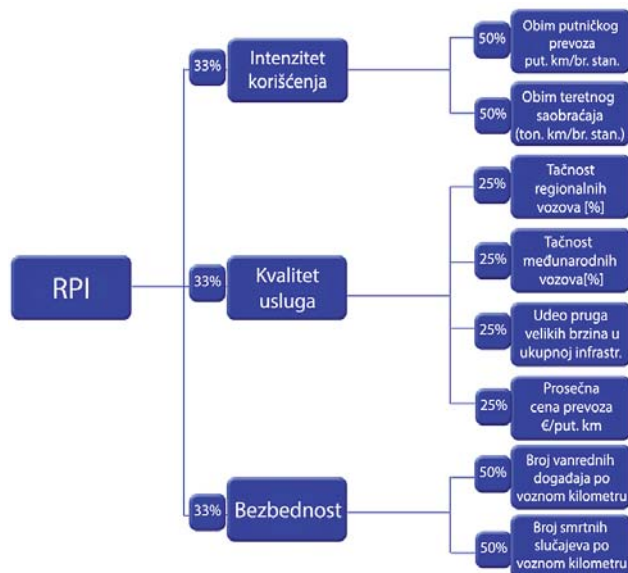
zemljama, visok RPI ne mora značiti i stvarno visok kvalitet usluga u teretnom saobraćaju.

2. Na ocenu kvaliteta usluga utiču i karakteristike putovanja putnika, veličina železničke mreže i učešće pruga za vozove velikih brzina. Po pitanju kvaliteta uslugazemlje sa većim obimom rada u daljinskom saobraćaju su favorizovane u odnosu na one sa manjim. Te zemlje imaju veći procenat putnika koji koriste vozove velikih brzina, odnosno putnike koji koriste usluge železnice za putovanja na većim rastojanjima.
3. Zemlje čiji potrošači imaju slabiju kupovnu moć su favorizovane u odnosu na one sa većom kupovnom moći zbog manjih cena prevoza, jer u metodologiji nije uračunata prosečna cena prevoza na osnovu pariteta kupovne moći.

Radi lakše analize performansi železničkih sistema pojedinih država, zemlje uključene u analizu svrstane su u tri nivoa, zavisno od njihovog RPI indeksa:

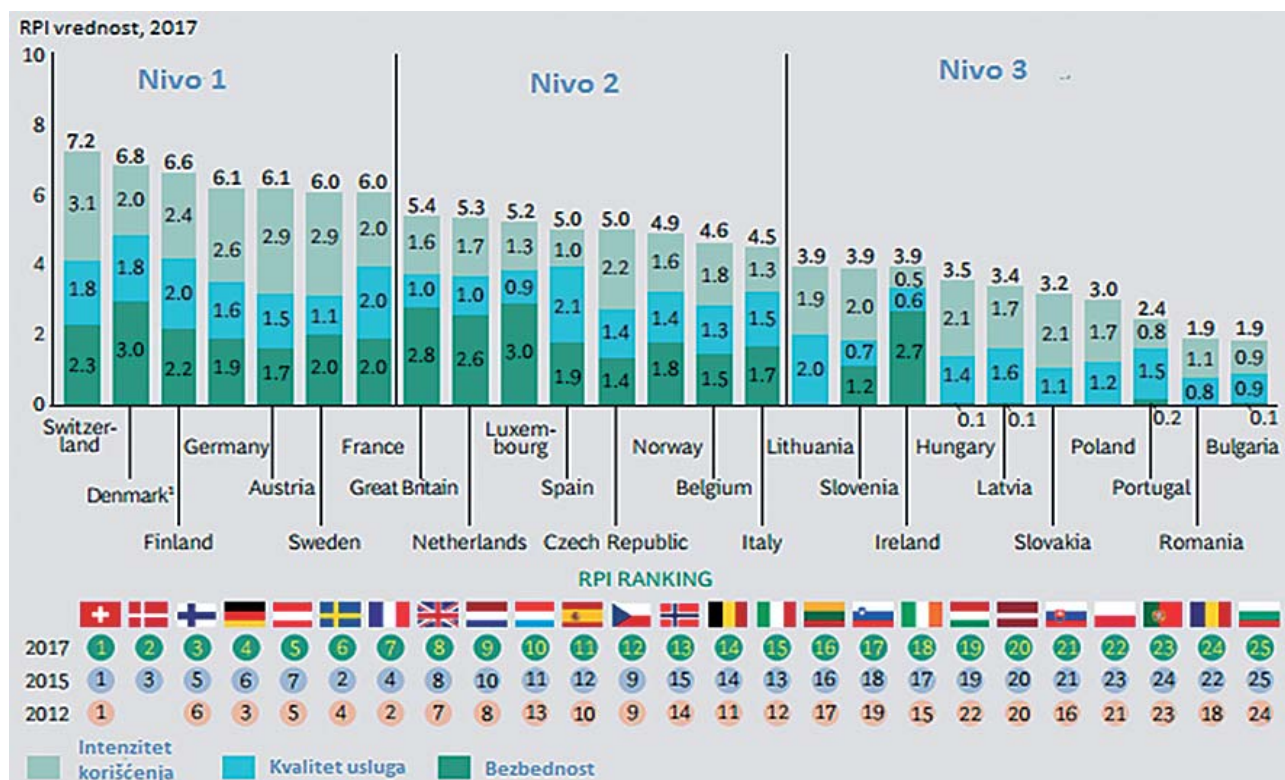
- Prvom nivou (RPI od 6 do 10) pripadaju zemlje koje imaju najbolje performanse železničkih sistema
- Drugom nivou (RPI od 4,5 do 6) pripadaju zemlje koje imaju srednji nivo performansi železničkih sistema

- Trećem nivou (RPI ispod 4,5) pripadaju zemlje sa relativno lošim performansama železničkih sistema.



Slika 2. Metodologija Rail Performance Index-a (Izvor: The Boston Consulting Group)

Na sledećoj slici su prikazani rezultati RPI, studija iz 2017. godine.



Slika 3. Rezultati RPI studije iz 2017. godine (Izvor: Boston Consulting Group)

Zemlje iz prve grupe imaju uglavnom dobre i vrlo dobre performanse za najmanje dve dimenzije. Zajednička karakteristika za sve zemlje ovog nivoa je da sve imaju najmanje vrlo dobru ocenu za bezbednost, kao i dobre ocene za kvalitet usluge.

U drugom nivou sve zemlje imaju dobre ocene za bezbednost dok, su preostale dve performanse nešto slabije u poređenju sa zemljama iz prvog nivoa, a naročito pokazatelj intenziteta korišćenja kapaciteta železničke infrastrukture.

U trećem nivou sve zemlje osim Irske imaju prilično loš pokazatelj bezbednosti. Takođe, ni preostale dve performanse nisu na zavidnom nivou.

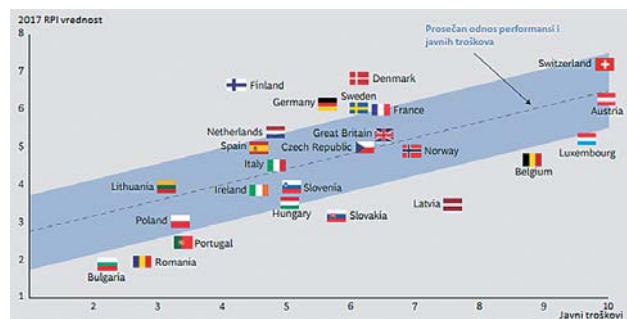
Rezultati RPI iz 2017 se uglavnom podudaraju sa rezultatima iz 2012. i 2015. godine uz nekoliko izmena. Danska, Finska, Francuska, Nemačka, Švedska i Švajcarska su i dalje na prvom nivou. Danska, Finska, Nemačka su napredovale, dok su Švedska i Francuska nešto lošije pozicionirane. Najveća promena je to što se Austrija vratila na prvi nivo zahvaljujući unapređenju na polju tačnosti i intenziteta korišćenja infrastrukture. Na drugom nivou takođe nije bilo znatnih izmena – Luksemburg, Holandija, Španija i Norveška su se poboljšale dok su Češka i Italija nazadovala. Treći nivo sadrži iste države kao i u verziji iz 2015. godine, a unutar samog nivoa je došlo do nekoliko promena. Najveći pad RPI indeksa od 0.5 ostvarila je Bugarska, a ova zemlja je i 2012. i 2015. godine ocenjena kao zemlja sa najnižim performansama železničkog sistema među ispitanim zemljama. Posebno indikativan podatak je pad ocene za bezbednost, koja je, iako ocenjena vrlo niskom ocenom od 0.4 u 2012. godini, dodatno pala na 0.1 u 2015. godini. Zatim u studiji se išlo dalje u analizu uticaja pojedinih performansi na stanje železničkog sektora i to posebno na performanse koje odražavaju odnos države prema železničkom sistemu. Da li postoji korelacija između javnih troškova i stanja železničkog sektora?

#### 4.2. Uticaj javnih troškova, subvencija i investicija na performanse železničkog sistema

U ovoj studiji javne troškove predstavljaju javne subvencije i javne investicije u železnički sistem. Javne subvencije predstavljaju stalne doprinose

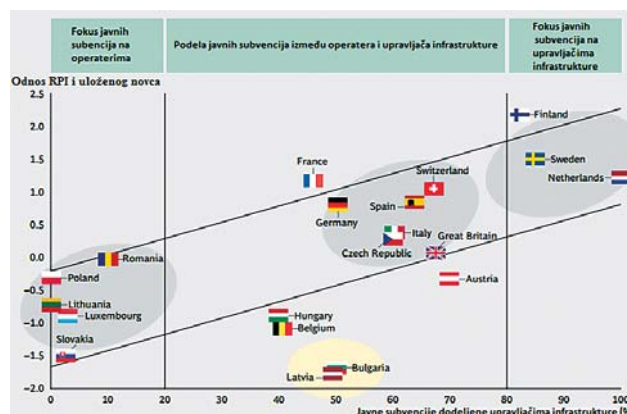
vlade i daju se za funkcionisanje nacionalnih operatora i održavanje infrastrukture. Javne investicije su jednokratni troškovi i daje ih vlada za realizaciju infrastrukturnih projekata.

Na slici 4. je prikazana korelacija između javnih troškova i performansi železničkog sistema. Može se primetiti da se RPI ne odražava isto na količinu javnih troškova kod svih država. Danska, Finska, Nemačka, Francuska, Holandija, Švedska i Švajcarska imaju visok RPI s obzirom na prosečan odnos performansi i troškova. Suprotno od njih, Luksemburg, Belgija, Letonija, Slovačka, Portugal, Rumunija, Bugarska i Mađarska imaju relativno nisku vrednost performansi u odnosu na uloženi novac.



Slika 4. Korelacija između javnih troškova i RPI  
(Izvor: Boston Consulting Group)

Zatim je uzeta u obzir i alokacija javnih sredstava, odnosno da li se subvencije više daju upravljačima infrastrukture ili operatorima. Kako bi se to utvrdilo, analizirana je veza između vrednosti javnih troškova i procenta ulaganja javnih sredstava u železničku infrastrukturu. Danska, Irska, Norveška, Portugal i Slovenija su isključeni iz analize zbog nedostupnosti podataka (slika 5).



Slika 5. Alokacija javnih troškova  
(Izvor: Boston Consulting Group)



Može se uočiti da korelacija postoji. Zemlje sa većim RPI su one koje uglavnom ulažu više sredstava u železničku infrastrukturu odnosno dodeljuju sredstva upravljačima infrastrukture.

Međutim, može se primetiti da postoje izuzeci, kao što su Francuska i Nemačka koje imaju poprilično visok RPI u odnosu na uloženi novac iako ulažu podjednako i u operatore i u upravljača infrastrukture. Ove države imaju visok nivo RPI pre svega zbog intenziteta korišćenja i istorijskog konstantnog ulaganja u železnicu. S druge strane, Austrija, iako ulaže 70% subvencija u infrastrukturu ne može se pohvaliti dobrim odnosom RPI i uloženoj jer se ukupni efekti na kvalitet prevoza mogu očekivati tek za neku godinu. Kvalitet prevoza i cena usluga su još uvek u disparitetu.

Veza između odnosa RPI i uloženoj novca i alokacije javnih sredstava ogleda se i u tome što se direktnim subvencionisanjem upravljača infrastrukture omogućava prostor za smanjenje visine naknada za korišćenje infrastrukture. Samim tim, operatori mogu ponuditi korisnicima jeftinije usluge, imaju veće rezerve u smislu operativnih prihoda i ulaganja u poboljšanja performansi i bezbednosti, što utiče na povećanje RPI rejtinga.

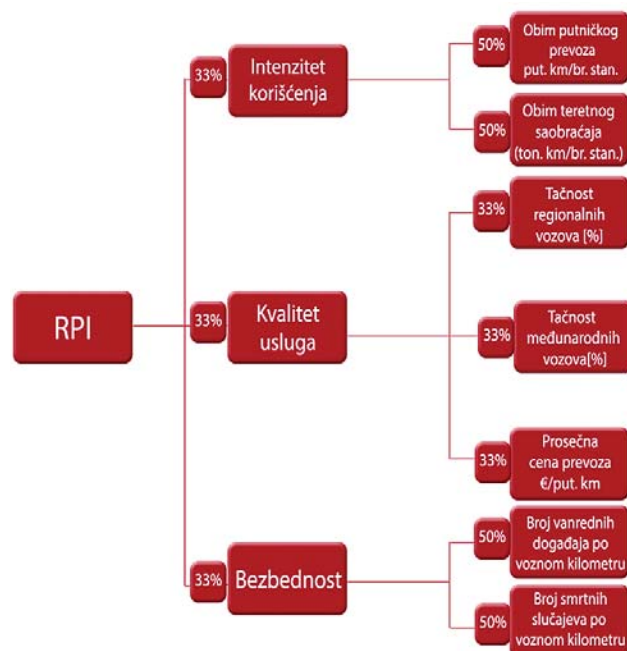
## 5. LIB i RAIL PERFORMANCE INDEX PRIMENJEN NA SRBIJI

Železnički sektor Srbije je u procesu reforme i karakteriše ga proces restrukturiranja železničkih preduzeća kao i državnih institucija koje se bave železnicom. Železničko tržište Srbije nije otvoreno. Kao učesnici na železničkom tržištu prisutne železničke kompanije: Infrastruktura železnice Srbije, Srbija Voz, Srbija Kargo, Despotija i Kombinovani prevoz. Postoji još 5 kompanija koje su registrovane za prevoz robe ali one ne dejstvuju na tržištu. Dominantni prevoz je tranzitni prevoz robe i on čini više od 60% prevoza na železničkoj mreži.

Izračunavanje indeksa LIB za železničko tržište Srbije nije obuhvaćeno studijom „Indeks liberalizacije tržišta železnice“. Korišćenjem definisane metodologije, a prema Cerović i Nedeljković (2012) vrednost indeksa LIB 2011 za železničko tržište Srbije je 393 poena. To je ispod najnižeg iznosa u poslednjoj grupi, grupa zemalja sa usporenim

otvaranjem tržišta, koja uključuje 6 zemalja članica EU. Ni danas u 2017 nije došlo do promene grupe kojoj pripada železnički sektor Srbije. I dalje je nizak stepen otvaranja tržišta iako zakoni sve više omogućavaju otvaranje tržišta i usklađuju se sa zakonodavstvom EU. Uticaj niskog indeksa pristupa je još važniji, tj. postoje sve vrste prepreka za otvaranje tržišta koje nameće Infrastruktura železnice Srbije, koja je jedini menadžer infrastrukture na nacionalnom tržištu. Ove barijere su usled činjenice da su železnički prevoznici još u početnoj fazi restrukturiranja.

Kada je u pitanju izračunavanje RP Indeksa železničkog sektora Srbije moralo se pribeci maloj modifikaciji definisane metodologije. Železnička mreža Srbije ne raspolaže sa prugama velikih brzina tako da ta poddimenzija nije obuhvaćena u proračunu time su i drugačiji težinski koeficijenti za dimenziju kvalitet usluge. Prema načinu organizacije saobraćaja vozovi koji saobraćaju na velikim rastojanjima definisani u ovoj metodologiji, u slučaju Srbije to su samo međunarodni vozovi. Na slici 6. je grafički prikazana metodologija za izračunavanje RPI prilagođena ambijentu železničkog sektora u Srbiji.



Slika 6. Metodologija Rail Performance Index-a primenjena na Srbiji

Na osnovu ulaznih podataka za 2016. godinu o obimu saobraćaja, redovitosti i elementima



bezbednosti na infrastrukturi Srbije, vrednost dimenzije intenzitet korišćenja infrastrukture je 0,9 i na njega je primetno uticao intenzitet teretnog saobraćaja, kvalitet usluge prevoza je ocenjen 0,8 a bezbednost 0,1. Kao što se može uočiti prema performansama železnički sektor Srbije pripada trećoj grupi zemalja koje imaju slične karakteristike po pitanju bezbednosti. Sa druge strane ocena kvaliteta prevozne usluge je niska jer još uvek cena karata prevoza nije usklađena sa kvalitetom prevozne usluge a ni sa zahtevima tržišta za prevozom.

## 6. ZAKLJUČAK

U cilju povećanja udela železničkog transporta u ukupnom transportu tržištu, železnički sektor u Evropi je morao pretrpeti ogromne promene. Nacionalne železničke monopolističke kompanije su se podelile na upravljača infrastrukture i operatore, i uvedeni su tržišni odnosi u jedan sistem koji je bio monopolski organizovan. Stoga, tradicionalni način merenja performansi sistema nije mogao dati odgovor na nova pitanja koja su se postavljala, a to je merenje stepena liberalizacije tržišta zemalja članica, pa je zbog toga stvoren LIB indeks koji daje odgovor upravo na to pitanje. Prema rezultatima poslednjeg istraživanja može se primetiti da je do sada mnogo učinjeno po pitanju liberalizacije tržišta, što pokazuje da trenutno ne postoji ni jedna država EU koja se nalazi u poslednjoj četvrtoj kategoriji, „čekaju“ otvaranje tržišta.

S obzirom da liberalizacija tržišta nije jedini preduslov za povećanje obima prevoza i konkurentnosti železničkog saobraćaja, moralo se dosta uraditi i na drugim poljima, poput povećanja kvaliteta usluga prevoza, bezbednosti itd. Iz tog razloga javila se potreba za drugačijem, sveobuhvatnijem pristupu merenja performansi, a kao rešenje za to razvijen je Rail Performance Index koji meri performanse železničkog sistema kombinovanjem više veličina i to: iskorišćenost kapaciteta infrastrukture, kvalitet usluga prevoza i bezbednost saobraćaja. Komparativna analiza RPI indeksa iz perioda 2012, 2015. pokazuje da je RPI konzistentan. Drugim rečima većina zemalja je zadržala sličan nivo performansi (uz minimalne oscilacije). Analizirana veza javnih

troškova sa vrednošću RPI indeksa je pokazala da količina javnih troškova nema direktan uticaj na njegovu vrednost. Ustanovljeno je da je u većini zemalja gde se investicije daju upravljačima infrastrukture vrednost RPI indeksa veća u poređenju sa zemljama koje novac ulažu podjednako i u operatore i u upravljače infrastrukture, a naročito u poređenju sa zemljama čiji je fokus na subvencionisanju operatora. Izuzetak su jedino Nemačka i Francuska zbog toga što su godinama unazad ulagali dosta u železnicu.

Danas se železnice Srbije nalaze u drugoj fazi restrukturiranja, uspostavljanje tržišnih odnosa između upravljača infrastrukture i nacionalnih operatora. Prema vrednosti LIB indeksa za Srbiju Srbija se nalazi na poslednjem mestu treće kategorije, a razlog za to je što je Srbija počela sa reformama tek pre nekoliko godina i što je još u fazi stvaranje uslova za nediskriminatorni pristup drugih operatora. Loš rezultat RP indeksa, ukazuje da je potrebno dosta ulaganja kako bi se stanje infrastrukture i pružanja usluge korišćenja infrastrukture poboljšalo. Učeći iz iskustva drugih zemalja, fokus tih ulaganja bi trebalo da bude na održavanju i investicijama u infrastrukturu, jer se na taj način najbolje postiže poboljšanje usluge i bezbednosti saobraćaja odnosno vrednost ovog indeksa. Naravno, jako je bitna i liberalizacija tržišta koja bi pratila sve to.

## LITERATURA

- [1] Cerović N, Nedeljković B, (2012) Trends in liberalisation of the european railway market according to the liberalisation index, Railcon 2012, 04-05.10.2012, Niš, Serbia
- [2] Duranton S, Audier A, Hazan J. and Gauche V. (2017) The 2017 European railway performance index: The Boston Consulting Group.
- [3] Duranton, S, Audier, A., Hazan, J. and Gauche, V. (2015) The 2015 European railway performance index: exploring the link between performance and public cost. Paris: The Boston Consulting Group.
- [4] Gannon C. and Shalzi Z. (1995) The Use of Sectoral and Project Performance Indicators

in Bank-Financed Transport Operations, Washington, DC, *The world bank environmentally sustainable development*

- [5] Kirchner, C. (2011) Rail Liberalisation Index 2011: Brussels, IBM Deutschland GmbH and Humbolt-University, Berlin,
- [6] Kirchner, C. (2007) Summery of the Study Rail liberalization index 2007: Brussels, IBM Global Business Services
- [7] Kirchner, C. (2002) Summery of the Study Rail liberalization index 2002: Brussels, IBM Global Business Services

ALEKSANDAR RADOŠAVLJEVIĆ\*

# UREĐAJI ZA PODMAZIVANJE DODIRA TOČAK-ŠINA NA PRUGAMA U SRBIJI

## WAYSIDE LUBRICATION SYSTEMS IN SERBIA

Datum prijema rada: 9.3.2018.

UDK: 656.2.629.4.625.1/.5

### REZIME:

Podmazivanjem dodira venca točka i čeone glave šine smanjuje se habanje točka i šine i produžava njihov radni vek. Takođe, smanjuje se buka koja nastaje u njihovom dodiru i znatno se smanjuje opasnost od iskliznuća vozila iz šina. Kao posledica dobrog podmazivanja smanjuju se otpori kotrljanja i, na kraju, ukupni otpori kretanja vozniha sredstava što dovodi do smanjene potrošnje energije/goriva za vuču vozova. U radu je prikazano stanje uređaja za podmazivanje na vučnim vozilima u Srbiji, kao i uređaji za podmazivanje dodira točak/šina koji su već instalirani na prugama u Srbiji. Dat je prikaz savremenih stacionarnih uređaja za podmazivanje. Posebna pažnja je ukazana na efekte podmazivanja dodira točak/šina, u zavisnosti od uslova eksploatacije, na ubrzano habanje točkova, potrošnju energije/goriva, radni vek točka i šine i uštede koje su ostvarene na mnogim železničkim prugama u svetu. Na kraju, date su i preporuke kakve uređaje treba ugrađivati na naše pruge kako uloženi novac u uređaje ne bi bio bespotrebno potrošen, planirani efekti realizovani samo na papiru, a ideja o korisnosti podmazivanja kompromitovana. Tek ispunjenjem navedenih zahteva, pri nabavci novih (savremenih) uređaja za podmazivanje pored pruge, mogu se očekivati pozitivni efekti instaliranja uređaja za podmazivanje dodira točak/šina pored pruga.

**Ključne reči:** železnica, podmazivanje, točak, šina, habanje

### SUMMARY:

Lubrication of contact the wheel flange and the head of the track reduces the wear of wheel and rails and prolongs their service life. It also reduces the noise that occurs in their contact and significantly reduces the risk of derailment vehicle from rail. As a result of good lubrication, the rolling resistance decrease and, finally, the total running resistance of the rolling stock, which leads to reduce energy/fuel consumption for train traction. The paper presents condition of lubrication devices on the traction vehicles in Serbia, as well as way side lubrication systems for lubrication wheel/rail contact that have already been installed on railways in Serbia. An overview of modern way side lubrication devices is given. Special attention has been paid to the effects of accelerated wheel wear on lubrication, energy/fuel consumption, total wheel/rail life and savings that have been achieved on many railroads in the world, all depending on the conditions of operation. Finally, recommendations are given on what type of devices should be installed on the tracks in Serbia so that the money invested in the devices would not be wasted, planned effects realized only on paper, and idea of the utility of lubrication compromised. During purchasing new (modern) way side lubrication systems positive effects of installing the way side lubrication systems can be expected after completing the mentioned requirements.

**Key words:** railway, lubrication, wheel, rail, wear

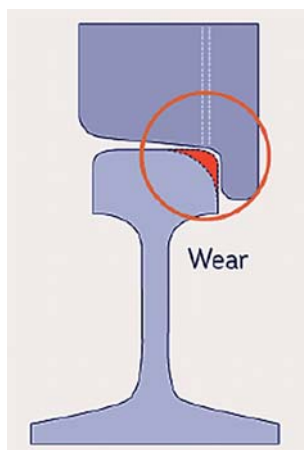
\* Dr Aleksandar Radosavljević, dipl. inž. maš, Saobraćajni institut CIP, Beograd, Nemanjina 6, radosavljevica@sicip.co.rs

## 1. UVOD

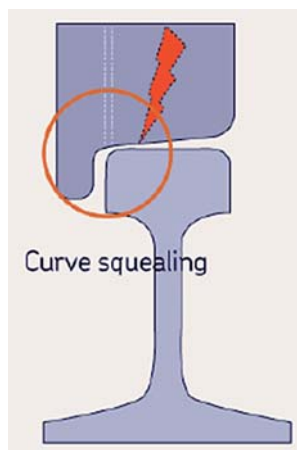
Kao što je poznato, pri kretanju voza na prugama sa mnogo „oštrih” krivina (krivina sa poluprečnikom krivine  $R \leq 500\text{m}$ ) preovlađuje habanje venaca točkova za razliku od pruga sa malo krivina većeg radijusa, kod kojih se skoro isključivo javlja habanje površina kotrljanja točkova. Postojeće pruge u Srbiji su, globalno posmatrano, pruge sa mnogo „oštrih” krivina, te se po tome mogu porediti sa prugama Austrije, Švajcarske ili Norveške.

Habanje šina je dugo godina predmet istraživanja u oblastima „oštrih” krivina ili na veoma opterećenim prugama. Dodatno, pri suvom vremenu, dolazi do neželjene pojave škripanja tj. cviljenja. Razlozi za ovo su poznati:

- habanje koje nastaje između venca točka i spoljašnje šine u krivini prouzrokuje buku ukoliko kontakt nije podmazan (sl. 1)[1],
- buka nastaje kao rezultat tzv. „stick-slip” efekta kada uzdužno i poprečno mikropomeranje točka na površini šine prouzrokuje da točak vibrira, što dovodi do škripanja visoke frekvencije; ovo se uglavnom dešava na unutrašnjoj šini u krivini (na donjoj šini) što dovodi do habanja unutrašnje šine (sl. 2).



Slika 1. Habanje spoljne šine



Slika 2. Škripanje unutrašnje šine

Da bi se otklonili negativni efekti trenja dodira točak/šina razvijene su različite metode podmazivanja: pomoću uređaja instaliranih pored koloseka i/ili na voznim sredstvima i pomoću specijalnih vozila za podmazivanje dodira točak/šina.

Metoda podmazivanja pomoću uređaja smeštenih pored koloseka široko je primenjena u svetu, kao i metoda podmazivanja venca točka pomoću uređaja smeštenih na vučnim vozilima.

Metodom podmazivanja pomoću specijalnih vozila adaptiranih za ovu namenu (sa specijalnim rezervoarom i sistemom za podmazivanje) nanosi se podmazujući sloj sa strane glave šine tako da se obezbeđuje sigurno podmazivanje dodira točak/šina.

## 2. UREĐAJI ZA PODMAZIVANJE NA VOZNIM SREDSTVIMA U SRBIJI

Od ukupno 129 električnih lokomotiva serija 441, 444 i 461; koje se nalaze u vlasništvu preduzeća „Srbija Voz” i „Srbija Kargo”; 115 lokomotiva imaju uređaj za podmazivanje, a 14 nemaju.

U tabeli 1: prikazana je opremljenost uređajima za podmazivanje vodećih vučnih vozila u Srbiji, kao i tehnički podaci o vozilima koji su bitni za postavljanje stacionarnih uređaja za podmazivanje pored koloseka na pruzi.

Tabela 1. Uređaji za podmazivanje na voznim sredstvima u Srbiji

| Vozno sredstvo   | Dužina [m] | Broj osovina | Sa ili bez uređaja za podmazivanje [kom.] |    |
|------------------|------------|--------------|-------------------------------------------|----|
| Teretna kola     |            |              |                                           |    |
| Hbis             | 14,00      | 2            | -                                         | -  |
| Gbs              | 14,00      | 2            | -                                         | -  |
| Rgs              | 20,74      | 2            | -                                         | -  |
| Teretna kola     |            |              |                                           |    |
| Gas              | 16,50      | 4            | -                                         | -  |
| Eanos            | 15,70      | 4            | -                                         | -  |
| Habis            | 21,70      | 4            | -                                         | -  |
| Sgn              | 19,74      | 4            | -                                         | -  |
| Tads             | 19,00      | 4            | -                                         | -  |
| El. lok. 441/444 | 15,50      | 4            | 62                                        | 14 |
| El. lok. 461     | 20,00      | 6            | 53                                        | -  |
| EMV 412/416      | 102,00     | 16           | 25                                        | -  |
| EMV 413/417      | 77,10      | 10           | 21                                        | -  |
| DMV 711          | 45,00      | 8            | 39                                        | -  |

Svi elektromotorni vozovi serije 412/416 opremljeni su uređajima za podmazivanje venca točkova. Nalaze se na obrtnim postoljima motornih kola i uređaj je proizvodnje „Secheron” i MZT „Hepos” – Skoplje.



Svi elektromotorni vozovi serije 413/417 opremljeni su uređajima za podmazivanje venaca točkova proizvođača BEKA. Uređaj je ugrađen u dva pogonska obrtna postolja krajnjih kola i njime upravlja upravljačka jedinica vozila. U intervalima i zavisno od brzine vozila; uređaj podmazuje vence točkova na odgovarajućoj vodećoj osovini mešavinom masti i vazduha kako bi se smanjilo trenje i habanje točka i šina, kao i stvaranje buke. U zavisnosti od stepena istrošenosti točka moguće je podesiti odstojanje mlaznice od točka.

Svi dizel-motorni vozovi serije 711 opremljeni su uređajima za podmazivanje venaca točkova. DELIMON uređaj ima namenu da nanosi mazivo na venac prvog, u pravcu kretanja, osovinskog sklopa pogonskih postolja kola DMV-a, u zavisnosti od pređenog puta i brzine kretanja da bi smanjio intenzitet habanja venaca točkova i unutrašnjih bočnih strana šina, kao i da smanji potrošnju energije na račun smanjenja sila otpora kretanja.

### 2.1. Sastav prosečnog teretnog voza

Teretni vozovi vuku se, na mreži pruga Srbije, uglavnom sa 441, 444 i 461 lokomotivama. Vozovi mogu biti i sa dvoosovinskim i sa četvoosovinskim kolima. U teretnim vozovima više su zastupljena četvoosovinska kola nego dvoosovinska kola, ali nema pravila u sastavljanju vozova (slučajna veličina). Na sl. 3 prikazan je jedan prosečan teretni voz, na mreži pruga Srbije, mase 1561 t, dužine 466m i ukupnog broja osovina  $n = 112$  sastavljen i od četvoosovinskih i od dvoosovinskih kola. Ovaj voz može služiti kao ilustrativan primer za postavljanje uređaja za podmazivanje točka i šine opremljenih sa brojačima osovina podešenih da se podmazivanje vrši tek nakon prolaska određenog broja osovina voza.

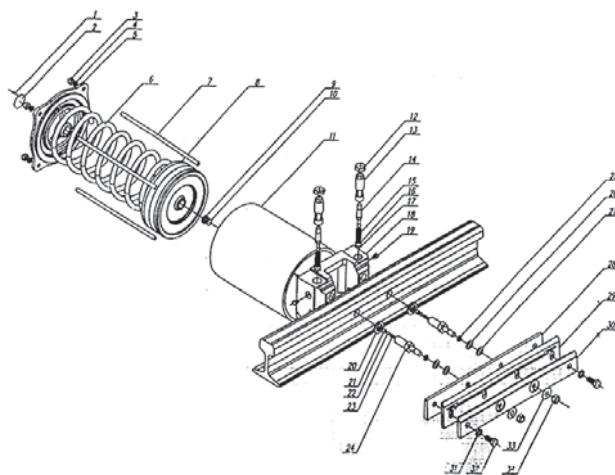


Slika 3. Prosečan teretni voz

## 3. STACIONARNI UREĐAJI ZA PODMAZIVANJE ŠINA

### 3.1. Stacionarni uređaji za podmazivanje šina instalirani u Srbiji

Pružnu mazalicu UPM-10 (sl. 4, tabela 2) proizvela je firma PRVI PARTIZAN iz Užica na osnovu baznog modela P&M Model C4 firme PORTEC[2].



Slika 4. Pružna mazalica UPM-10

Tabela 2. Tehnički podaci PM-10

|                                                                                     |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Ukupna masa pune mazalice [kg]                                                      | 86          |
| Dimenzije [mm]                                                                      | 575x550x250 |
| Maksimalna količina masti u mazalici [l]                                            | 10          |
| Hod pritisknog klipa [mm]                                                           | 0 – 8       |
| Količina masti koja se izbaci pri jednom pritiskivanju oba klipa [cm <sup>3</sup> ] | 0 – 1,47    |

Princip rada pružne mazalice je da prilikom prolaska voza točak nagazi pritisne klipove koji potiskuju mast kroz razvodnik i kanale razvodne ploče, koja ostavlja mast sa unutrašnje strane spoljne šine, odakle je točak svojim vencem raznese duž cele krivine [3]. Mazalica se puni mašću pomoću specijalne pumpe i cevi za punjenje. Svakih šest meseci potrebno je mazalicu demontirati, temeljno očistiti razvodnike, ploče i sklop pritisknog klipa i otkloniti eventualne kvarove. U cilju održavanja povremeno je potrebno uraditi sledeće:

- ispustiti zaostali vazduh,
- izvršiti korekciju visine pritisknih klipova,
- izvršiti korekciju visine razdelne ploče.

Čim se količina masti u mazalici potroši do pola preporučuje se dopunjavanje mazalice. Kontrola punoće mazalice vrši se pri svakom obilasku pruge.

Prototip pružne mazalice PM-10 ugrađen je 1998. god. na tri lokacije Sekcije za održavanje pruga Užice i to u km: 156+450 između stanica Požega i Sevojno, 163+250 između stanica Užice Teretna i Užice Putnička i 171+220 između stanica Stapari i Sušica. U posmatranom periodu od oko godinu dana konstatovano je da se najbolji učinak mazanja postiže na daljini do 2 km.

Od 2001. do 2009. god. na teritoriji ŽTP „Beograd” ugrađeno je 117 pružnih mazalica i to: ZOP Zrenjanin 5 kom, TJ Vršac 7 kom, TJ Kikinda 9 kom, ZOP Novi Sad 33 kom, ZOP Subotica 5 kom, ZOP Požarevac 45 kom. i ZOP Valjevo 13 kom.

Institut Mihajlo Pupinje 2017. god. isporučio „Infrastrukturi železnica Srbije” 6 kompleta pružnih mazalica firme HY-POWER Produktions und Handels Austrija (sl. 5) i ugradio na pruzi Resnik-Valjevo između stanica Resnik – Bela Reka [4].

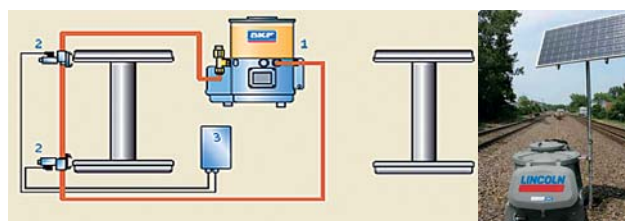


Slika 5. Pružna mazalica HY-POWER

Ova pružna mazalica je ugrađena i na području Željeznica Republike Srpske. Ukupno su ugrađena 43 kompleta najvećim delom na pruzi Doboj – Banja Luka. Napajanje mazalice se vrši preko solarnog panela i dva akumulatora smeštena u kućici, koji daju pogon pumpi za izbacivanje masti u dodiru točak/šina. Takođe, u uređaj je smešten i potencijometar kojim se određuje hoće li uređaj izbacivati mast nakon prolaska svakog ili svakog drugog, trećeg, ... voza. Potencijometrom se reguliše i količina masti koja se izbacuje u zavisnosti od spoljašnje temperature (vrši se podešavanje rada uređaja).

### 3.2. Pregled savremenih stacionarnih uređaja za podmazivanje šina

Savremeni uređaj za podmazivanje firme LINCOLN (električni) sastoji se od pumpne stanice, senzora točka (brojača osovina), uređaja za raspodelu masti sa četkom, solarnim panelom za napajanje električnom energijom i ormanom sa akumulatorima smeštenim na stubu (ili nekom drugom prikladnom mestu) pored pruge (sl. 6) [5].



Slika 6. Uređaj za podmazivanje LINCOLN

Prolaskom voza senzor, smešten u koloseku, broji osovine voza i kada se ostvari prolaz unapred zadatog broja osovina (električna komanda) uključuje se sistem i pumpa transportuje mast u uređaje sa četkom. Četka služi da bi se obezbedio bolji dodir između vena točka, glave šine i podmazujuće masti (minimizira potrošnju i zagađenje masti). Trajanje impulsa, koji određuje isporuku sredstva za podmazivanje, podešava se i zavisi od uslova eksploatacije. Prolaskom voza preko uređaja za raspodelu masti četkom se fino premazuju venci točkova. Ulaskom točka u krivinu nastaje proklizavanje točka i trenje između vena točka i glave šine. Mast smanjuje trenje i habanje između točka i šine. Na pravom delu pruge nema proklizavanja, nema trenja u dodiru točak/šina i dolazi do vrlo malog skidanja masti sa točka. Zadatak sistema za centralno podmazivanje je da precizno dozira potrebnu količinu masti.

U principu, treba vršiti podmazivanje što češće što manjom količinom masti tako da je precizno doziranje masti izuzetno značajno za efikasno podmazivanje. Važnu ulogu u doziranju masti ima progresivni razvodnik; koji obezbeđuje pouzdano i kontrolisano podmazivanje preko kontrole pritiska masti.

Uređaj za podmazivanje LINCOLN se primenjuje kako za redovnu eksploataciju na železnici, tako i za tramvaje, gradsku, prigradsku i podzemnu železnicu (metro).



Francuske železnice (SNCF) su 2016. god. izvršile ispitivanje pružnih mazalica firme LINCOLN instaliranih na pruzi Lion – Marsej, preko Grenobla. Ustanovili su da se tragovi podmazivanja vide i do 3 km iza postavljene pružne mazalice [6].

Na sl. 7 i 8 prikazani su uređaji firme LINCOLN instalirani na austrijskim železnicama (ÖBB) u mestima Kledering (km 2+000) i Semmering (km 111+700).



Slika 7. LINCOLN uređaj u mestu Kledering



Slika 8. LINCOLN uređaj u mestu Semmering

PORTEC-M&S 761 Hydraulube (sl. 9) je efikasan (hidraulički) uređaj sa hidrauličkim motornim pogonom koji se aktivira prolaskom točka (sl. 10) preko aktuatora (mehanička komanda); koji pretvara energiju voza koji prolazi u impuls hidrauličnoj motornoj pumpi koja ubrizgava mast u dodiru točak/šine [7].



Slika 9. PORTEC-M&S 761 Hydraulube



Slika 10. Aktuator uređaja

### 3.3. Mazivo u uređajima za podmazivanje

Mazivo koje se isporučuje sa ili bez uređaja za podmazivanje točka/šine mora zadovoljavati uslove standarda [8]. Prilikom kupovine sistema, uređaj treba da se isporuči od strane proizvođača namiren mazivom i spreman za rad. Izuzetno je važan proces namirenja maziva kada se potroši mazivo u rezervoaru (proces mora biti operativno što jednostavniji, mora biti opisan u Tehničkom opisu sistema, a radnici u eksploataciji pravilno obučeni).

## 4. UTICAJ PODMAZIVANJA DODIRA TOČKA/ŠINE NA SMANJENJE OTPORA KOTRLJANJA, POTROŠNJU ENERGIJE I HABANJE

Primarna korist od podmazivanja dodira točak/šina ogleda se u smanjenju trošenja šine i venca točka i smanjenju potrošnje pogonske energije bez prouzrokovanja štetnih efekata u krivinama [9]. Energija voza je važna oblast gde podmazivanje točka i šine može dati značajne rezultate.

### 4.1. SAD – Ispitivanja pri dizel vuči vozova

Pod unapred određenim i kontrolisanim uslovima u postrojenju Facility for Accelerated Service Testing (FAST) smeštenom u centru Transportation Technology Center (TTC) u Pueblu (Kolorado, SAD) izvršena su merenja razlika potrošenog goriva između vožnje voza po suvim i podmazanim šinama. Ustanovljeno je prosečno smanjenje potrošnje energije od 32% [10].

Brojna demonstraciona ispitivanja sprovedenana železnicama sa dugim pravcima, „oštrim“ krivinama i nagibima pokazala su da se može postići rutinska ušteda goriva od 5 do 15% kada se koristi odgovarajuće sredstvo za podmazivanje. Ove uštede su, uopšteno gledano, zasnovane na upoređenju vuče voza po „suvim šinama“ i „potpuno podmazanim šinama“, iako su obe varijante vrlo retko u primeni za vreme normalne eksploatacije. Kapljanje ulja iz lokomotiva i ležajeva, zaostalo podmazivanje od strane uređaja za podmazivanje smeštenih pored koloseka, rđa i druga sredstva zagađivanja dovode do stanja šina koja odgovaraju „polusuvim“ uslovima za vreme osnovnih

ispitivanja sprovedenih na železnici Norfolk Southern Railroad (NS).

Za proračun uticaja podmazivanja na otpor kotrljanja korišćen je simulacioni model NUCARS [10]. Rezultati programa NUCARS su kao osnovni slučaj za upoređenje koristili slučaj suvih šina. Važno je napomenuti da su izvršena predviđanja samo za smanjenje dela otpora kotrljanja u ukupnom otporu voza, a neuključuju otpor nagiba pruge. Proračun ukupne energije potrebne da se pokrene voz mora uključiti otpor ležajeva, aerodinamički otpor, otpor nagiba, kao i energiju za ubrzanje. Korišćenjem podmazivanja smanjuje se otpor kotrljanja tj. trenja venca točka za 33%, a ukupni otpor kretanja za 13%. U ovom slučaju, smanjenje otpora kotrljanja zahvaljujući podmazivanju šina ima za posledicu smanjenje potrošnje energije voza za oko 13%.

Inteligentne tehnologije; koje služe da se smanji potrošnja energije, goriva i habanja materijala vozničkih sredstava; sve više se prihvataju u železničkom sektoru. Američko železničko udruženje (AAR) procenjuje da habanje i trenje; koje se pojavljuje u dodiru točak/šina zbog neefikasnog podmazivanja; košta železničke operatore Amerike više od 2 milijarde US \$ svake godine [1, 11]. Više od 10 milijardi US \$ potrošeno je 2004. godine na održavanje železničkih sistema zbog slabog podmazivanja [12].

#### **4.2. Rusija – Ispitivanja pri električnoj vuči vozova**

Nanošenjem tankog sloja podmazujućeg sredstva na bočne strane glave šine; koje vodi do brzog smanjenja trošenja venca točka osovinskog sklopa i šina na deonicama pruga sa krivinama; takođe je praćeno smanjenjem otpora kretanja voza i smanjenim troškovima u električnoj energiji za vuču vozova [13].

Sveruski železnički institut (VNIIZhT) sproveo je ispitivanja čiji je cilj bio da se približno procene vrednosti smanjenja trošenja venca točka. Za ova ispitivanja korišćeni su teretni vozovi sa kritičnim masama na planinskim sekcijama Dalekoistočne železnice gde su nagibi do 28‰ i poluprečnici krivina do 200 m, kao i sa praznim vozovima na ravnim deonicama Zapadnosibirske železnice sa

nagibima do 4‰ i poluprečnicima krivina preko 1000 m. Ispitivanja su sprovedena uz pomoć mernih kola koja su bila opremljena složenim uređajima za automatsko merenje i izračunavanje zahvaljujući kontinuiranom registrovanju brzine voza i vučnih parametara električne lokomotive (napon i struja vučnih motora, snaga za vuču,...) u funkciji koordinata pruge.

Upoređeni su rezultati merenja i proračuna izvedenih na šinama bez i sa podmazivanjem. Za vreme ispitivanja specijalna pažnja je bila posvećena uporedivosti rezultata merenja. Da bi se uporedivost rezultata obezbedila, izvršene su ispitne vožnje na istoj deonici pruge sa istom električnom lokomotivom i istim mašinovođom; kao i pod istim vremenskim uslovima. Na Dalekoistočnoj železnici ispitivanja su izvršena vozom mase 4000 t; sastavljenog od 23 osmoosovinske cisterne i punim vozom mase 3400 t; sastavljenog od četvoroosovinskih kola vučenih sa dve lokomotive. Na ravnim deonicama Zapadnosibirske železnice sve vožnje su izvršene istim praznim vozom mase 2136 t. Na svim eksperimentalnim vožnjama pridržavalo se istog režima vožnje na celoj dužini deonice pruge. Ovakav pristup minimizirao je broj slučajnih faktora koji su mogli uticati na rezultate eksperimenta.

Režim podmazivanja šina posle ispitnih vožnji; izvršenih na šinama bez podmazivanja svake deonice pruge; bio je takođe identičan. Prvobitno je podmazujući sloj nanesen na delove pruge sa krivinama pomoću autonomnog pokretnog vozila za podmazivanje šina (projektovanog u VNIIZhT-u) u 5–7 dnevnih prolaza sa saobraćajem od oko 50 teretnih vozova na dan. Ispitivanja su sprovedena nakon što je podmazujući sloj preko osovina vozničkih sredstava prenesen sa krivina na ostatak deonice. Za vreme ispitivanja, jednom u dva dana, izvršeno je dodatno podmazivanje korišćenjem iste tehnologije (nanošenjem podmazujućeg sredstva na sekcije pruge sa krivinama).

Vreme zadržavanja podmazujućeg sredstva na šinama definisano je na način da se odredi željeni period podmazivanja. Ispitne vožnje su vršene sve dok se ne čuje tipična piska koja pokazuje da više nema sredstva za podmazivanje.



Na osnovu izveštaja iz depoa za održavanje lokomotiva; analizirana je promena potrošnje venaca točkova lokomotiva koje su vukle vozove pre i posle uvođenja podmazivanja. Potrošnja venaca točkova lokomotiva koje su saobraćale na najtežim deonicama pruge, prvenstveno sa vozovima kritičnih masa, smanjena je sa 4–5 mm/104 km na 0,5–0,7 mm/104 km (oko 10 puta), a prosečni mesečni broj obrada točkova električnih lokomotiva zbog trošenja venaca točkova smanjen je sa 220 na 10.

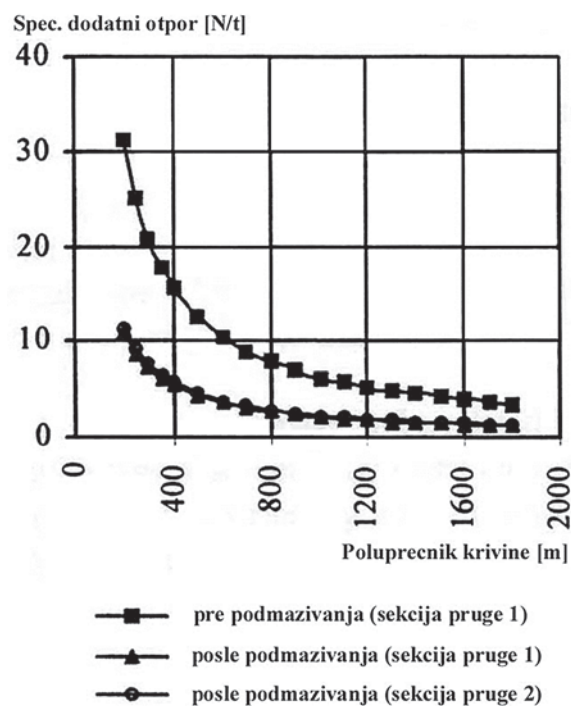
Prema teoriji vuče vozova, ukupni otpor kretanju voza sastoji se od otpora na pravim horizontalnim deonicama pruge, koji zavisi od tipa voznog sredstva, konstrukcije pruge i brzine, dodatnog otpora na nagibu i otpora krivina. Nanošenjem podmazujućeg sloja na bočnu stranu glave šine smanjiće se dodatni otpor u krivinama; kao i osnovni otpor kretanju voza pošto su ove dve komponente povezane međusobnom vezom venca točka i šine. Razdvajanjem ovih komponenti i praveći kvantitativnu analizu za serije ispitnih vožnji na deonicama pruge pre i posle primenjivanja podmazivanja, može se izvući zaključak u vezi sa stepenom uticaja podmazivanja na smanjenje otpora kretanja.

Pošto su u serijama ispitnih vožnji mase vozova, tip voznog sredstva, konstrukcija i stanje pruge i vremenski uslovi nepromenjeni, u nameri da se olakša komparativna analiza uticaja podmazujućeg sredstva na promenu otpora kretanja voza dovoljno je da se prihvati (uspostavi) kvantitativna zavisnost otpora kretanja u odnosu na sledeće odgovarajuće faktore: brzina, prosečan nagib i prosečan poluprečnik krivine pod vozom u datoj tački pruge.

Pošto se ukupan otpor kretanja može predstaviti kao zbir osnovnog i dodatnog otpora kretanja na nagibima i u krivinama, da bi se dobile vrednosti eksperimentalnih koeficijenata zavisnosti podeljene su deonice pruge, korišćene za ispitivanje, na odgovarajuće delove (obično dužine 1 km). Na ovim deonicama ukupan otpor kretanja, brzina, kao i konfiguracija pruge menja se beznačajno, što čini mogućim da se odredi svaki deo pruge sa srednjom vrednošću svakog od navedenih faktora, s obzirom da karakteristike nagiba i krivina pruge uzimaju u račun dužinu voza pri kretanju. Posle toga su vrednosti eksperimentalnih koeficijenata

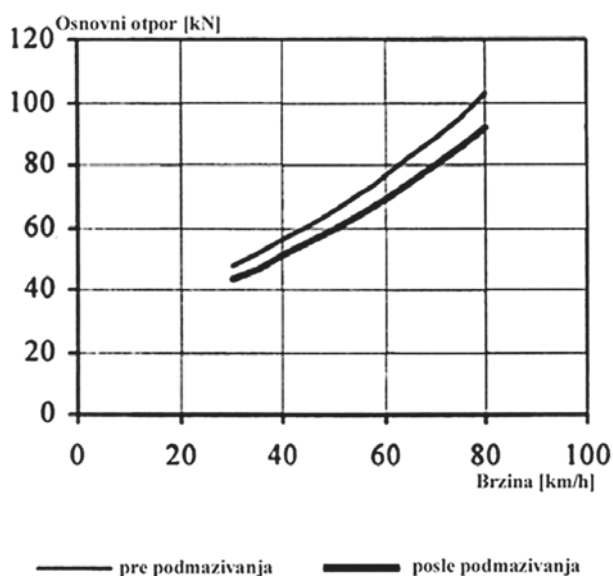
zavisnosti izračunate za svaku seriju ispitnih vožnji na odgovarajućim mestima.

Na slici 11 prikazane su eksperimentalne zavisnosti vrednosti specifičnog dodatnog optora u zavisnosti od poluprečnika krivina snimljenih pre i posle primene podmazivanja na Dalekostočnim železnicama sa nagibom od 10 do 12‰ i poluprečnikom krivina od 300m i više (sekcija pruge 1). Ista slika takođe prikazuje zavisnosti postignute pod uslovom primene podmazivanja na delove pruge iste železnice sa nagibima do 28‰ i poluprečnicima krivina iznad 200m (sekcija pruge 2). Zavisnosti su date specifično pošto se mase vozova na ovim delovima pruge značajno razlikuju. Upoređenja eksperimentalnih zavisnosti pokazuju da primena podmazivanja na bočnu stranu šine smanjuje komponentu ukupnog otpora kretanja za 2,8 puta.



Slika 11. Uticaj podmazivanja na dodatni otpor kretanja na krivinama

Na slici 12 predstavljeni su rezultati analize uticaja podmazivanja na promenu osnovnog otpora kretanja. Eksperimentalne zavisnosti dobijene na ravnim horizontalnim prugama Zapadnosibirske železnice pokazuju da se podmazivanjem šina dobija smanjenje osnovnog otpora kretanja od 10 do 12% u odnosu na stanje bez podmazivanja.



Slika 12. Uticaj podmazivanja na osnovni otpor kretanja

Dakle, analize rezultata ispitivanja pokazuju da se primenom podmazujućeg sloja na bočnu stranu šine saglasno VNIIZhT tehnologiji smanjuje dodatni otpor kretanja u krivinama 2,8 puta i osnovni otpor kretanja za 10–12%.

Za planinske delove pruge sa preovladavajućim nagibom pruge od 6 do 10‰ i poluprečnicima krivina od 400 do 1000 m, koji se nalaze na do 50% ukupne dužine deonice pruge, dobija se smanjenje ukupnog otpora kretanja za 7–9%. Na ravnim horizontalnim delovima pruga sa preovladavajućim nagibom od 0 do 4‰ i sa poluprečnicima krivina preko 1000 m dolazi do smanjenja ukupnog otpora kretanja za 8–11%.

Komparativne analize potrošnje električne energije po kilometru puta pokazuju da je opšti nivo potrošnje energije za vuču voza smanjen za 6–12% u uslovima kada su deonice pruge bile podmazane.

Rezultatima istraživanja dokazano je da su najbolji efekti podmazivanja prikazani pošto se podmazujući sloj raspodeli pomoću vozova duž cele deonice pruge. Takođe je utvrđeno da, s obzirom na primenjenu tehnologiju podmazivanja, praktično nema uticaja na adhezione uslove na pruzi. Izvesno povećanje proklizavanja osovinjskih sklopova i odgovarajuće povećanje potrošnje peska je primećeno samo kada voz ide neposredno iza vozila za podmazivanje šina. U ovom slučaju opšti eksponenti proklizavanja električnih lokomotiva

se nalaze unutar graničnih vrednosti proklizavanja koje su u klasifikaciji Instituta VNIIZhT označeni kao „intenzivno” i „razumno”. Prema tome, nije bilo potrebno izvršiti korekciju normi kritičnih masa voza.

#### 4.3. Efekti uslova eksploatacije (podmazivanja dodira točak/šina) na ubrzano habanje točkova

I u Srbiji su realizovana istraživanja uticaja zakrivljenosti koloseka na habanje venaca točkova [14, 15]. U okviru odgovarajućih ispitivanja analiziran je uticaj zakrivljenosti koloseka na habanje venaca točkova putničkih kola sa obrtnim postoljima MD52. Utvrđeno je da je brzina habanja, merena kao pređeni put između dva uzastopna reprofilisiranja točkova, 3 puta veća na pruzi sa mnogo krivina (Beograd–Bar) nego na ravničarskoj pruzi (Beograd–Subotica).

U literaturi se relativno često ističe značajan uticaj podmazivanja na smanjenje habanja i točka i šine. Kao što se zna, podmazivanje se vrši uređajima na pruzi, koji se postavljaju u krivini na spoljnu šinu, i uređajima na vozilima, koji podmazuju vence vodećih točkova. Kombinacija oba načina podmazivanja daje najbolje rezultate. Prema podacima dobijenim na osnovu ORE istraživanja [16], indeks habanja vodećeg točka je, za iste ostale uslove kretanja, u krivini bez podmazivanja 2,7 puta veći od indeksa habanja u krivini u kojoj se podmazuje spoljna šina, pa je na primer u krivini poluprečnika 250 m bez podmazivanja indeks habanja oko 570 J/m, a sa podmazivanjem oko 210 J/m. U Rusiji je u periodu od 1989. do 1997. godine vršeno sistematsko podmazivanje venaca točkova i šina na tri glavne pruge [17]. Rezultati tih dugotrajnih ispitivanja pokazali su da je vek trajanja točkova i šina na taj način povećan za 2 do 3 puta. Konkretni rezultati pokazuju da je:

- specifično habanje venaca lokomotivskih točkova po pređenom putu vozila smanjeno za 3 do 5 puta, a tamo gde je to habanje bilo izraženije i za 5 do 10 puta,
- vek trajanja monoblok točkova na većini lokomotiva primenom podmazivanja povećan na 600.000 km,
- broj teretnih kola, koja se izbacuju zbog opravke točkova (pohabani venci), smanjen je za 12 do 15%,

- dužina šina koje se zamenjuju zbog bočnog habanja smanjena je za 2,5 do 3,7 puta u zavisnosti od deonice pruge.

U tabeli 3 prikazani su snimljeni podaci o poboljšanju životnog veka točkova i godišnjim troškovima za točkove primenom podmazivanja u železničkom sistemu ERL Malezija [18].

Tabela 3. Životni vek točka ERL Malezija

| Stanje šina/vozila  | Životni vek točka [km] | Životni vek točka [nedelja] | Godišnji troškovi točkova [£] |
|---------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Bez podmazivanja    | 170.000                | 20                          | 1.600.000                     |
| Podmazivanje šine   | 300.000                | 35                          | 825.000                       |
| Podmazivanje vozila | 1.000.000              | 118                         | 250.000                       |
| Cilj                | 1.500.000              | 177                         | 170.000                       |

Očigledno je da se uvođenjem podmazivanja habanje venaca točkova može drastično smanjiti i da je to jedan od značajnijih uticajnih faktora na brzinu habanja točkova.

Uređaji za podmazivanje šine firme PORTECPW instalirani su u Engleskoj na liniji Eurostar brzih putničkih vozova koji polaze iz stanice Waterloo ka kanalu Lamanš. Maksimalna brzina na ovoj pruzi je 160 km/h, a maksimalni radijus krivine na kome su instalirani uređaji iznosi 1000 m. Ostvarene uštede su:

- interval obrade bandaža točkova je povećan sa 75.000 km na više od 400.000 km;
- troškovi održavanja, zbog potrošnje venca točka, smanjeni su oko 80%;
- predviđeni interval zamene točkova je povećan sa jedne na pet godina.

PORTECPW uređaji za podmazivanje šine instalirani su i na pruzi WestCoastMain Line od stanice Euston u Londonu do Glazgova. Na pruzi dugoj 186 km (maksimalne brzine 180 km/h) instalirano je preko 180 uređaja koje je instalirala, održava i dopunjuje firma GTRM (GT Railway Maintenance Limited).

Takođe, PORTECPW uređaji za podmazivanje šine odobreni su i za instalaciju na prugama firme Railtrack u Engleskoj maksimalne brzine 125 mph (201 km/h), kao i NetworkRail infrastrukture.

Ispitivanja, izvršena na mreži pruga North American Transit (Light Rail System), na krivinama poluprečnika manjih od 400 m i sa deonicama krivina dužine oko 800 m, pokazala su znatno smanjenje koeficijenta trenja u krivinama i smanjenje nivoa buke u redovnom saobraćaju [19].

U SAD je primenom podmazivanja venaca točka izmereno smanjenje otpora kotrljanja voza u krivinama do 50%, a na pravcu do 30% što je dovelo do uštede energije između 20% i 30% pod istim uslovima eksploatacije [20].

Železnička kompanija Spoornet (Južna Afrika) izvršila je ispitivanja na krivinama poluprečnika 200 m u uslovima bez podmazivanja i sa podmazivanjem venca točka. Ustanovljeno je da je pri podmazivanju potrošena energija manja za 48%. Takođe, izračunato je da se na prugama sa dobro podmazivanim šinama može povećati masa vučenog bruta za 10–20%.

Poluprečnik krivine ima najveći uticaj na intenzitet bočnog habanja šina. Intenzitet bočnog habanja šina je veličina habanja u mm posle svakih pređenih milion tona tereta preko određenog mesta na pruzi. Ako se poluprečnik krivine poveća sa 300 na 600 m intenzitet bočnog habanja šina se smanjuje od 2,1 do 3,2 puta, a ako se poveća sa 600 na 900 m intenzitet bočnog habanja šina se smanjuje od 1,6 do 1,9 puta [21].

Takođe, ustanovljeno je da širina koloseka ima važnu ulogu kod bočnog habanja šina. Za krivine sa poluprečnikom krivine 350 do 400 m širina koloseka ne bi smela biti manja od 1526 mm (odnosi se na koloseke standardne širine 1530 mm). Širina koloseka od 1530 umesto 1520 mm može smanjiti habanje dva puta [18].

Takođe, studije pokazuju da se može uštedeti do 8% u potrošnji goriva natovarenih vozova kada se koristi odgovarajuće podmazivanje i zaštita od habanja i „stick-slip” efekta [1].

## 5. ZAKONSKA REGULATIVA

Na osnovu Zakona [22] Direkcija za železnice Srbije donela je Pravilnik [23] kojim se regulišu tehnički uslovi i održavanje gornjeg stroja železničkih pruga.

Pravilnikom [23] propisani su tehnički uslovi koje mora ispunjavati gornji stroj železničkih pruga; kao



i industrijski koloseci. Tako je definisana i upotreba uređaja za podmazivanje šina (šinskih mazalica).

Radi umanjenja habanja šina ugrađenih u kolosek, kao i venaca bandaža točkova šinskih vozila, šine se podmazuju:

1. u krivinama poluprečnika  $R \leq 600$  m,
2. u ostalim krivinama, bez obzira na poluprečnik, ako je to potrebno.

Šine se, po pravilu, podmazuju stabilnim šinskim mazalicama ugrađenim u kolosek ili uređajima ugrađenim na vučno vozilo, a izuzetno i ručno. Podmazuje se spoljašnja šina krivine koloseka i to po unutrašnjoj ivici glave šine; koja je u dodiru sa vencem točka vozila.

Dužina efikasnog podmazivanja zavisi od broja i dužine krivina, kao i od podešenosti same mazalice. Svaka šinska mazalica maže samo istosmerne krivine, te je važno pri njihovom ugrađivanju voditi računa o mestu njihovog ugrađivanja. Šinska mazalica se ugrađuje na početku prelazne krivine; odnosno ispred mesta gde počinje bočno habanje glave šine na otvorenoj pruzi. Primjenjuje se i na spuštalicama ranžirnih stanica gde dve šinske mazalice mogu uspešno podmazivati više grupa koloseka.

## 6. DOZVOLA ZA KORIŠĆENJE OPREME

Svaki uređaj za podmazivanje dodira točak/šina mora imati dozvolu za korišćenje opreme za železničku infrastrukturu na mreži pruga „Infrastruktura železnice Srbije a.d.“. Dozvolu izdaje Direkcija za železnice Srbije [24]. Za izdavanje dozvole proizvođač uređaja podnosi zahtev koji obavezno sadrži:

- naziv, adresu, sedište, PIB i matični broj podnosioca zahteva,
- naziv organa kome se zahtev podnosi,
- predmet zahteva-naziv, oznaku, tip, seriju sistema ili sredstva za koje se traži dozvola,
- naziv proizvođača proizvoda za železnicu za koji se izdaje dozvola.

Uz zahtev, podnosilac zahteva dostavlja sledeću dokumentaciju:

- izvod iz registra privrednih subjekata,
- deklaraciju isporučioca o usaglašenosti, saglasno standardu JUS ISO/IEC 17050-1/2005, za proizvod za koji se izdaje dozvola,

- dokumentaciju podrške za proizvod, saglasno standardu JUS ISO/IEC 17050-/2005,
- dokumentaciju podrške korisnicima (uputstva za ugradnju, korišćenje, održavanje),
- ostala dokumentacija u skladu sa određenim važećim propisom iz oblasti železničkog saobraćaja.

Procedura za izdavanje dozvola definisana je Pravilnikom [25], a naknadna izdata dozvole Pravilnikom [26].

## 7. KORISTI PODMAZIVANJA

Ispravno podmazivanje dodira točak/šina smanjuje habanje i buku (sl. 13). Sa tribološke tačke gledišta želi se smanjenje trenja i habanja profila šine, kao i venca točka; te je stoga potrebno podmazivanje.



Slika 13. Ispravno podmazivanje dodira venca točka/šina

Otpor kretanja voza u krivinama može se drastično smanjiti podmazivanjem dodira venca točka/šina. Uspešno podmazivanje daje železničkoj industriji velike koristi dovođenjem trenja na željeni nivo, smanjenjem habanja šine i točka, produžavanjem životnog veka točkova i šina, uštedom energije, smanjenjem buke i troškova održavanja. Slika 14 prikazuje glavne koristi podmazivanja i upravljanja trenjem dodira venca točka i šine.



Slika 14. Efekti podmazivanja

U radu je pokazano da podmazivanje nudi značajne uštede u potrošenoj energiji za vuču voza, trošenju



šina i poboljšanju performansi upisivanja obrtnih postolja u krivine. Na raspoloženju su različiti sistemi i uređaji za podmazivanje svaki sa svojim jedinstvenim karakteristikama.

Prilikom izbora uređaja potrebno je voditi računa o njegovoj sinergiji sa uređajima za podmazivanje na vučnim vozilima i izbegavati dvostruko podmazivanje. Zbog toga prednost treba dati uređajima koji imaju brojače osovine sa senzorskim parovima (električni uređaji) koji broje osovine koje su ušle i osovine koje su napustile pružnu sekciju. Brojači osovine su mnogo podesniji za upravljanje eksploatacijom stacionarnih uređaja za podmazivanje od uređaja koji komandu za istiskivanje masti dobijaju mehaničkim putem ili pomoću vibracija.

Pored osnovne funkcije detektovanja prisustva ili dolaska železničkog točka, prednost treba dati senzorskom parukoji, takođe, omogućava detekciju smera i brzine šinskih vozila. Samo na ovakav način moguće je ispravno i potpuno upravljanje eksploatacijom stacionarnih uređaja za podmazivanje šina (šinskih mazalica).

Preko 90% električnih lokomotiva u Srbiji i skoro svi elektro i dizel-motorni vozovi imaju ugrađene uređaje za podmazivanje venaca točkova. Veoma je važno u eksploataciji održavati njihovu ispravnost; kako bi se postigli efekti zbog kojih su i uređaji ugrađeni na vučna vozila. Sve navedeno treba dopuniti u propisima za održavanje voznih sredstava.

Za određivanje mesta postavljanja uređaja za podmazivanje venca točka/šine važno je da li je pruga jednokolosečna ili dvokolosečna i da li se saobraćaj po njima odvija u jednom ili u oba smera. Ove činjenice diktiraju konkretna mesta postavljanja uređaja, a u skladu sa Pravilnikom [24]. Pri ovome, mora se voditi računa i o prosečnom teretnom vozu na određenoj pruzi i u skladu sa njim definisati rad uređaja za podmazivanje.

Pravilnikom [23] definisana je upotreba uređaja za podmazivanje šina. Samo izuzetno moguće je vršiti podmazivanje i ručno. U praksi se mora voditi računa da, u 21. veku, „izuzetno” ne postane redovno.

Takođe, Pravilnik [23] definiše potrebu instaliranja uređaja za podmazivanje u krivinama poluprečnika  $R \leq 600$  m. Ovaj zahtev potrebno je ažurirati tako što će se izvršiti eksperimentalna merenja na

krivinama do npr. 1000 m i u skladu sa dobijenim rezultatima (i praksom na železničkim upravama u svetu) izmeniti Pravilnik.

Brzom analizom potrebnog broja stacionarnih uređaja za podmazivanje došlo se do podatka da je na prugama „Infrastrukture železnica Srbije” potrebno nabaviti preko 100 uređaja, a na delu pruge Gostun – Bar u Crnoj Gori preko 40 uređaja. Određivanje tačnog broja biće moguće tek nakon izrade projekata rekonstrukcije svake postojeće pruge, tako da bi u svakom projektnom zadatku za rekonstrukciju ili izgradnju nove deonice pruge (sa  $R \leq 600$  m) trebao da stoji i zahtev za izradu projekta stacionarnih uređaja za podmazivanje.

Veliki efekti podmazivanja, u smislu smanjenja buke i vibracija vozova, mogu se ostvariti i u Beogradskom železničkom čvoru, u tunelima ispod gradskih stambenih zona, postavljanjem uređaja za podmazivanje na karakteristična mesta gde se generiše najveća buka. Uređaji za podmazivanje su vrlo efikasni i kod gradske i prigradske železnice, kao i metroa. Ispravnim podmazivanjem može se smanjiti buka od škripanja točkova u „oštrim” krivinama za 5–20 (dBA)[27].

Takođe, posebnu pažnju treba obratiti na postavljanje stacionarnih uređaja za podmazivanje na ulasku u ranžirne. Ovo se navodi zato što su, neretko, poluprečnici krivina u ovakvim stanicama  $R = 200$  m, pa i manje, što dovodi do veoma zahtevnih uslova eksploatacije.

Da bi se obezbedile optimalne performanse podmazivanja veoma je važno da su stacionarni uređaji pozicionirani i podešeni na ispravan način. Za ovu namenu potrebno je izvršiti obuku radnika koji su određeni da se brinu o uređajima za podmazivanje (čišćenje mlaznica, redovno punjenje rezervoara mašču, stalna provera mesta raspršivanja mlaznica, podešavanje uređaja u skladu sa vremenskim uslovima, ...).

Uređaji, koji su instalirani na prugama u Srbiji, starije su konstrukcije, koja je i kod samih matičnih kompanija proizvođača napuštena i modifikovana prema zahtevima savremenog tržišta. Mali broj uređaja, koji su još u funkciji, ima zastarelu konstrukciju, nedostatak rezervnih delova, nepouzdan su u radu, neefikasni (nedokazanih koristi podmazivanja u Srbiji) tako da je njihov doprinos

smanjenju habanja točkova i šina i smanjenju buke; koja nastaje u dodiru točak/šina; gotovo minoran. Sve navedeno ukazuje na činjenicu da je potrebna potpuna rekonstrukcija i modernizacija stacionarnih uređaja za podmazivanje u Srbiji da bi se ostvarili efekti slični navedenim u ovom radu, tim pre što su ulaganja u uređaje za podmazivanje vrlo mala u odnosu na ukupnu modernizaciju ili izgradnju nove pruge (manje od 0,5%, u zavisnosti od konstrukcije pruge, njenih parametara i uslova saobraćaja).

## 8. ZAKLJUČAK

Sprovedene studije su pokazale da železnički operateri mogu duplo povećati životni vek točka primenjujući odgovarajuće podmazivanje dodira točak/šina. Stacionarni uređaji za podmazivanje mogu smanjenjem habanja produžiti vek šine tri do šest puta [1]. Sve ovo rezultira smanjenjem eksploatacionih troškova i troškova održavanja.

Pri nabavci novih uređaja treba strogo voditi računa da mazivo u uređajima za podmazivanje odgovara zahtevima navedenih standarda (da bi se obezbedio nesmetan rad uređaja u celom temperaturnom radnom opsegu), kao i da se dosledno primenjuje postupak verifikacije strukturnog podsistema uređaja za podmazivanje pored pruga Direkcije za železnice Srbije kako se ne bi nabavljali uređaji koji nisu dokazani u praksi.

Po pravilu, treba nabavljati uređaje koji su se već dokazali u eksploataciji na prugama železničkih uprava u okruženju u sličnim vremenskim uslovima. Npr. austrijske železnice (ÖBB) imaju instalirano preko 600 stacionarnih uređaja za podmazivanje dodira točak/šina tako da njihovo iskustvo može biti, za nas, dragoceno. Ovoliki broj instaliranih uređaja pored pruge dobija još više na značaju ako se uzme činjenica da je održavanje i pruga i vozni sredstava na austrijskim železnicama znatno bolje nego kod nas.

Prilikom nabavke novih uređaja za podmazivanje dodira točka/šine treba voditi računa da ispunjavaju sledeće zahteve:

- visok nivo pouzdanosti u radu,
- da se punjenje mazalice obavlja bez zaustavljanja saobraćaja,
- potpunu bezbednost radnika pri punjenju mazalice,

- ekonomičan rad mazalice,
- jednostavna montaža i održavanje,
- smanjenje troškova radne snage,
- smanjenu (minimalnu) potrošnju maziva,
- smanjene neplanirane zastoje rada uređaja,
- eliminisanje ručnog podmazivanja na teško pristupačnim mestima na pruži,
- eliminisanje prevelikog podmazivanja (predoziranja),
- raspoloživost rezervnih delova u životnom veku uređaja,
- raspoloživost masti za podmazivanje.

Tek ispunjenjem velike većine prethodno navedenih zahteva (koji treba da predstavljaju sastavni deo tenderske dokumentacije pri budućoj nabavci), prilikom nabavke novih (savremenih) stacionarnih uređaja za podmazivanje, mogu se očekivati pozitivni efekti instaliranja stacionarnih uređaja za podmazivanje dodira venac točka/šina. U suprotnom, sama ideja o korisnosti podmazivanja biće kompromitovana, uloženi novac bespotrebno potrošen, a planirani efekti realizovani samo na papiru.

## LITERATURA

- [1] SKF-LINCOLN: Managing friction successfully, 2014.
- [2] PORTEC: Sprava za podmazivanje šina P&M Model C4, Wales (UK).
- [3] PRVI PARTIZAN: Glavni projekat pružne mazalice PM-10 za šine tipa 45 i 49, Užice, 2001.
- [4] [www.hy-power.eu](http://www.hy-power.eu)
- [5] SKF-LINCOLN: Stationary rail lubrications systems for theme in line rail infrastructure, 2012.
- [6] SNCF: SNCF report graissage 26 juillet 2016, 2016.
- [7] <http://www.portecrail.com>
- [8] SRPS EN 16028:2013 Primene na železnici - Podmazivanje venca točka - Maziva za uređaje na vozilima i na koloseku
- [9] Radosavljević A.: Matematičko modeliranje, simulacija, određivanje osnovnih otpora pri kretanju voza i optimizacija potrošnje pogonske energije železničkih vučnih vozila (Doktorska disertacija), Mašinski fakultet, Beograd, 2002.

- [10] Reiff R., Cregger D.: Systems Approach to Best Practices for Wheel/Rail Friction Control, Wheel/Rail Conference, Moscow, Russia, June 14–17, pp. 323–330, 1999.
- [11] Sid, D., Wolf, E.: TracGlide Top-of-Rail Lubrication System, Report from Department of Energy, Transportation for the 21st century, 2002.
- [12] Daniels, L.: Track main tenance costs on rail transit properties, Transit Co-operative Research Program, Transport Research Board, Fair Oaks, CA, 2008.
- [13] Rakhmaninov V.I., Andreyev A.V.: Practical Ways to Estimate Reduction of Resistance to Train Motion when Applying Lubricant on Lateral Sides of Rails, Wheel/Rail Conference (Vol. 2), Moscow, Russia, June 14–17, pp. 541–543, 1999.
- [14] SI CIP: Uzroci ubrzanog trošenja točkova šinskih vozila JP „ŽELEZNICE SRBIJE” i mogućnosti poboljšanja stanja, Beograd, 2009.
- [15] Lučanin, V., Simić, G.: Istraživanje uzroka habanja venaca točkova putničkih kola, Železnice br. 8, Beograd, 1990.
- [16] ORE B176, Bogies a essieux orientables, RP1, Vol. 1,2,3, Etudes prealables et chaires des charges, Utrecht, 1989.
- [17] Barteneva, L. i dr.: Lubrication of Rails and Wheels on Russian Railways, IHHA, Moskva, 1999.
- [18] CRC for Rail Innovation: Rail curve lubrication best practice for Australian heavy haul lines, Annual report, Brisbane, 2011.
- [19] Santoro, M.: Effective Gauge Face/Wheel Flange Lubrication: A Solutions Based Approach, 22nd Annual Wheel Rail Interaction Conference, Las Vegas, 2016.
- [20] de Koker, J.J.: Rail lubrication on the Richards Bay coal line, 2004. <http://www.ipet.co.za/news/2004raillube1.htm>,
- [21] Povilaitiene, I., Podagelis, I.: Research into rail side wearing on curves, Transport, Vol. 18, pp. 124–129, 2003.
- [22] Zakon o bezbednosti i interoperabilnosti železnice, „Sl. gl. R. Srbije”, br. 104/2013, 66/2015 – dr. zakon i 92/2015.
- [23] Pravilnik o izmenama i dopunama Pravilnika o tehničkim uslovima i održavanju gornjeg stroja železničkih pruga, „Sl. gl. RS”, br. 74/16.
- [24] <http://www.raildir.gov.rs/dozvole.html>
- [25] Pravilnik o ocenjivanju usaglašenosti činilaca interoperabilnosti i elemenata strukturnih podsistema, verifikaciji strukturnih podsistema i izdavanju dozvola za korišćenje strukturnih podsistema, „Sl. gl. R. Srbije”, br. 5/16.
- [26] Pravilnik o visini takse za izdavanje sertifikata o verifikaciji podsistema ili njegovog dela, sertifikata o usaglašenosti elemenata podsistema i sertifikata o pogodnosti za upotrebu elemenata podsistema, „Sl. gl. RS”, br. 24/16.
- [27] UIC: Railway noise, Technical Measures Catalogue, July 2013.

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

656.2(497.11)

**ŽELEZNICE** : naučno-stručni časopis Železnica Srbije  
/ glavni urednik Milan Marković ; odgovorni urednik  
Vesna Gojić Vučićević. - 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

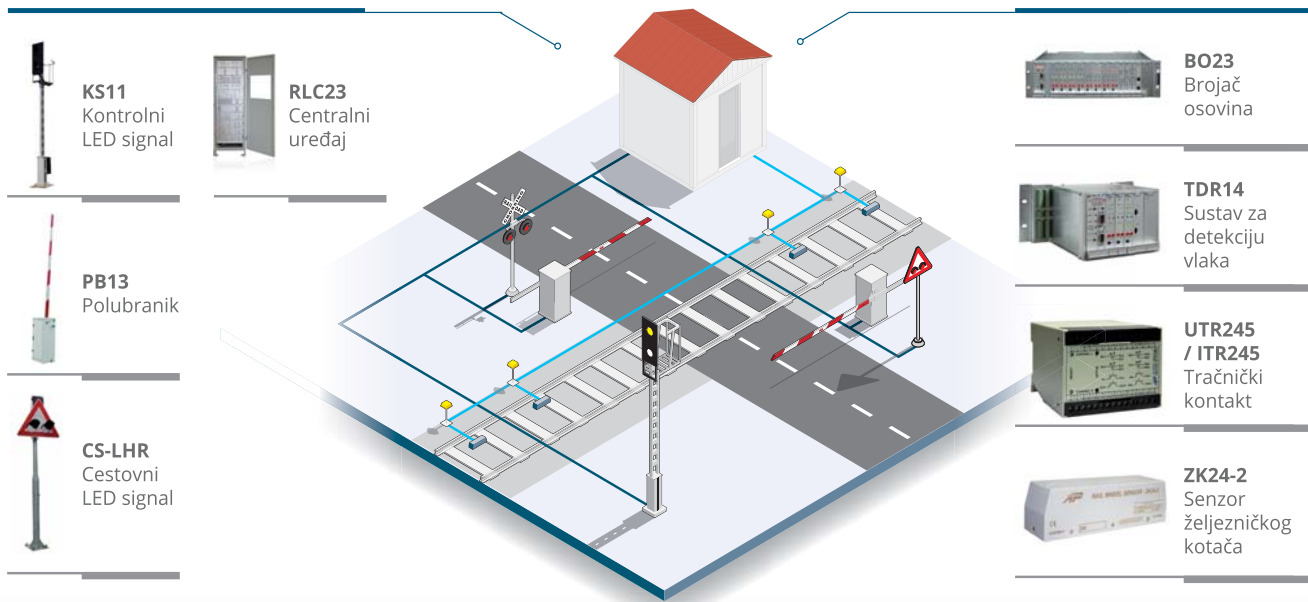
Polugodišnje.

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



## ŽELJEZNIČKA INFRASTRUKTURA

### OSIGURANJE ŽELJEZNIČKO CESTOVNIH PRIJELAZA



## SIGURNOSNI SUSTAV ZA ŽELJEZNIČKA VOZILA

### SUSTAV BUDNOSTI (SIFA)



### AUTOSTOP SUSTAV



### SUSTAV REGISTRACIJE

