

ALEKSA BOJANIĆ\*, SLAVKO VESKOVIĆ\*\*

# **SIMULACIONA ANALIZA ORGANIZACIJE SAOBRAĆAJA VOZOVA NA DEONICI PRUGE LAPOVO - JAGODINA**

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

UDK: 656.2+656.33.01:517.876.5

### **REZIME:**

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

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

### **SUMMARY:**

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

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

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

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

## 1. UVOD

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

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

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

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

### 2.1. Položaj deonice pruge Lapovo - Bagrdan - Jagodina

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

#### 2.1.1. Postojeće stanje deonice

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

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

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

Pregled službenih mesta na deonici prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Pregled službenih mesta na deonici Lapovo - Bagrdan

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

#### 2.1.2. Opis službenih mesta

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

Stanica Lapovo u pogledu uloge i vršenja saobraćajne službe:

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

## 2.2. Eksploatacione karakteristike

### 2.2.1. Pregled brzina

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

Tabela 2. Pregled najvećih dopuštenih brzina i međusobna udaljenost službenih mesta na deonici Lapovo - Bagrdan po redu vožnje 2020/21<sup>3</sup>

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

### 2.2.2. Organizacija saobraćaja i vremena vožnje

#### Putnički saobraćaj

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

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

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

Vreme vožnje na deonici Lapovo - Bagrdan iznosi:

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

Vreme vožnje na deonici Bagrdan - Lapovo iznosi:

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

Vreme vožnje na deonici Bagrdan - Jagodina iznosi:

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

Vreme vožnje na deonici Jagodina - Bagrdan iznosi:

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

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

### Teretni saobraćaj

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

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

#### Vreme vožnje teretnih vozova

Međustanično rastojanje Lapovo - Bagrdan:

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

Međustanično rastojanje Bagrdan - Jagodina:

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

## 2.3. Obim saobraćaja

### 2.3.1. Putnički saobraćaj

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

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

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

### 2.3.2. Teretni saobraćaj

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

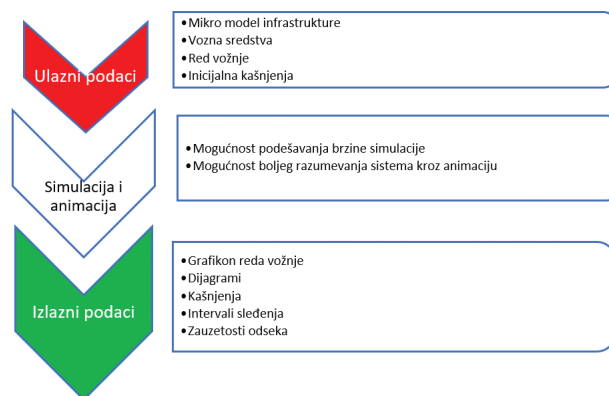
Tabela 4. Planirani broj teretnih vozova na deonici Lapovo - Bagrdan po redu vožnje 2020/21

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

## 3. SOFTVERSKI PAKET TRENO

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

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



Slika 2. Šematski prikaz strukture rada programa „Treno“

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

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

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

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



Slika 3. Proces softvera TRENO

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

### 3.1. Trenoplus

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

| #      | Train    | Train number | Active | Departure st. | Departure s. | Arrival station | Arrival time | Category | Train group | Operating (s.) | Collection | User | Last saved s. |
|--------|----------|--------------|--------|---------------|--------------|-----------------|--------------|----------|-------------|----------------|------------|------|---------------|
| 102707 | PZ2048_P | 2910_28      | true   | BARRY.ISA.    | 11:26:00     | RHMANY          | 13:06:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 102708 | PZ2048_P | 2912_28A     | true   | BARRY.ISA.    | 12:20:00     | RHMANY          | 13:06:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 102709 | PZ2048_P | 2914_282     | true   | BARRY.ISA.    | 13:26:00     | RHMANY          | 17:06:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 102710 | PZ2048_P | 2916_282     | true   | BARRY.ISA.    | 14:26:00     | RHMANY          | 17:06:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 102711 | PZ2048_P | 2920_287     | true   | BARRY.ISA.    | 16:26:00     | RHMANY          | 21:06:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 102712 | PZ2048_P | 2922_281     | true   | BARRY.ISA.    | 17:26:00     | RHMANY          | 21:06:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 102846 | PZ2048_P | 2924_288     | true   | RHMANY        | 22:19:00     | RHMANY S.       | 22:28:00     | EE       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 102847 | PZ2048_P | 2926_282     | true   | RHMANY        | 22:19:00     | RHMANY S.       | 22:28:00     | EE       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119343 | PZ1527_P | 2910_288     | true   | RHMANY        | 07:45:00     | CARDIFF CE      | 08:43:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119342 | PZ1527_P | 2912_282     | true   | RHMANY        | 26:40:00     | CARDIFF CE      | 27:49:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119349 | PZ1527_P | 2914_287     | true   | RHMANY        | 18:43:00     | CARDIFF CE      | 20:43:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119350 | PZ1527_P | 2916_288     | true   | RHMANY        | 19:43:00     | CARDIFF CE      | 20:43:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119351 | PZ1527_P | 2918_284     | true   | RHMANY        | 07:17:00     | RHMANY          | 08:20:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119352 | PZ1527_P | 2920_282     | true   | RHMANY        | 08:16:00     | RHMANY          | 10:18:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119353 | PZ1527_P | 2922_281     | true   | RHMANY        | 08:16:00     | RHMANY          | 11:18:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119354 | PZ1527_P | 2924_276     | true   | RHMANY        | 11:02:00     | RHMANY          | 12:10:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119355 | PZ1527_P | 2926_282     | true   | RHMANY        | 11:02:00     | RHMANY          | 13:10:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119356 | PZ1527_P | 2912_28A_2   | true   | RHMANY        | 13:02:00     | RHMANY          | 14:10:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119357 | PZ1527_P | 2914_287     | true   | RHMANY        | 13:02:00     | RHMANY          | 15:10:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119358 | PZ1527_P | 2916_288     | true   | RHMANY        | 13:02:00     | RHMANY          | 16:10:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119359 | PZ1527_P | 2918_284     | true   | RHMANY        | 13:02:00     | RHMANY          | 17:10:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119360 | PZ1527_P | 2920_282     | true   | RHMANY        | 13:02:00     | RHMANY          | 18:10:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119361 | PZ1527_P | 2922_281     | true   | RHMANY        | 13:02:00     | RHMANY          | 19:10:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119362 | PZ1527_P | 2924_276     | true   | RHMANY        | 13:02:00     | RHMANY          | 20:10:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |
| 119363 | PZ1527_P | 2926_282     | true   | RHMANY        | 13:02:00     | RHMANY          | 21:10:00     | DD       | -           | AW             | -          | Mech | 06/02/2017    |

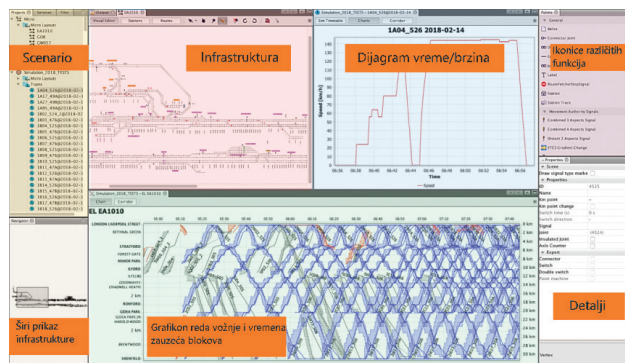
Slika 4. Prikaz unetog reda vožnje



Slika 5. Izgled mikro železničke infrastrukture

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

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



Slika 6. Izgled radnog prostora u softveru Trenissimo

### 3.2. Trenissimo

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

Ulazni podaci koji se unose u trenissimo su sledeći:

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

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

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

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

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

Detaljan model železničke infrastrukture uključuje sledeće elemente:

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

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

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

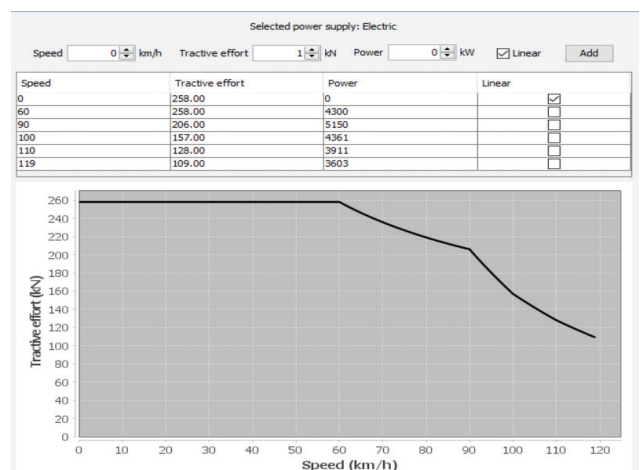
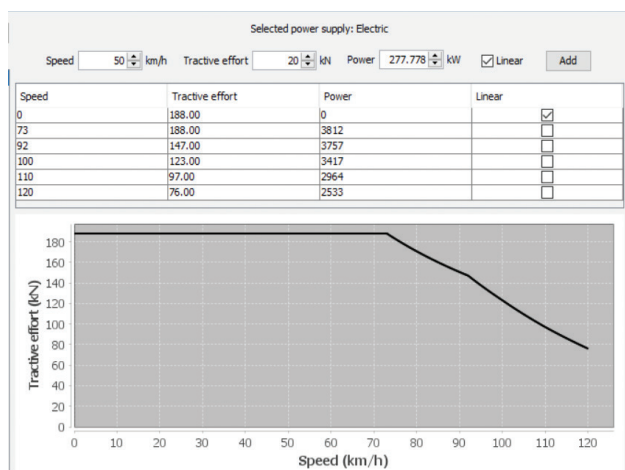
Nakon unosa svih podataka u trenoplus i trenissimo, potrebno je te podatke objediniti u trenissimo, podesiti vreme trajanja simulacije i brzine (slika 8), pa je zato potrebno ispoštovati sledeće korake:

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

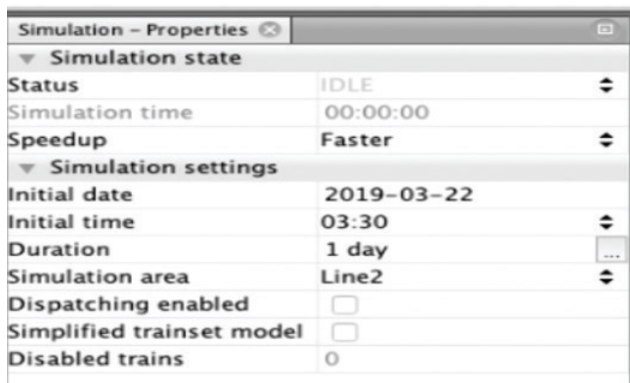
Tokom trajanja simulacije moguće je istovremeno gledati i animaciju (slika 9), ako to korisnik želi. U toku simulacije moguće je da alat izbaci grešku, koja može biti posledica mikro železničke infrastrukture, reda vožnje ili neusklađenosti mikro i makro železničke infrastrukture. Takve greške se lako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

Nakon završetka simulacije softver izbacuje sledeće podatke:

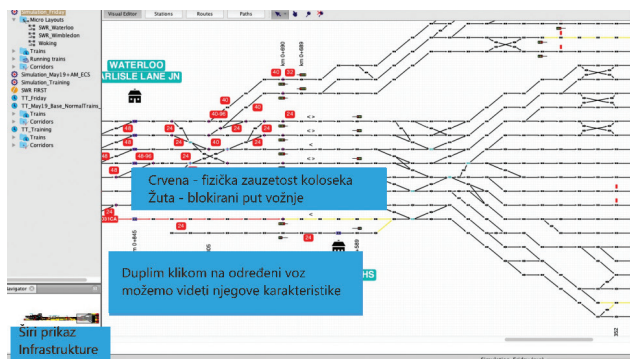
- grafikon reda vožnje,
- statistiku svakog voza,
- statistiku zauzetosti koloseka,
- ponovni prikaz animacije,
- razne izlazne podatke.



Slika 7. Prikaz vučnog pasoša lokomotiva 441 i 461



Slika 8. Podešavanje trajanja simulacije i brzine



Slika 9. Animacija na mikro železničkoj infrastrukturi

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

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

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

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

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

#### Opis izrade modela

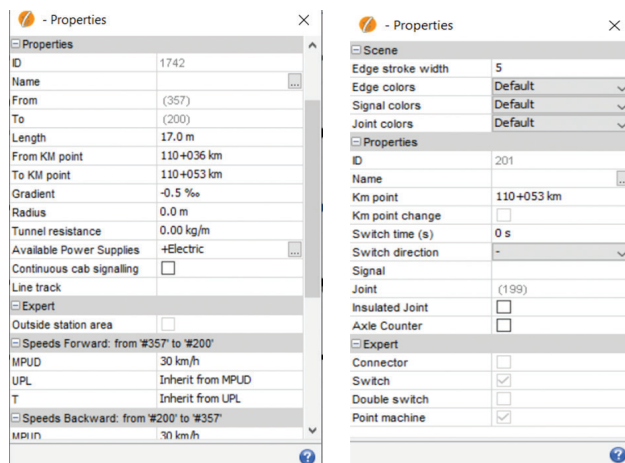
U ovom poglavlju biće opisan način na koji je urađen model uz detaljan opis nekih od funkcija alata iz kojih se sastoji softverski paket Treno.

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

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

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

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



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

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

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

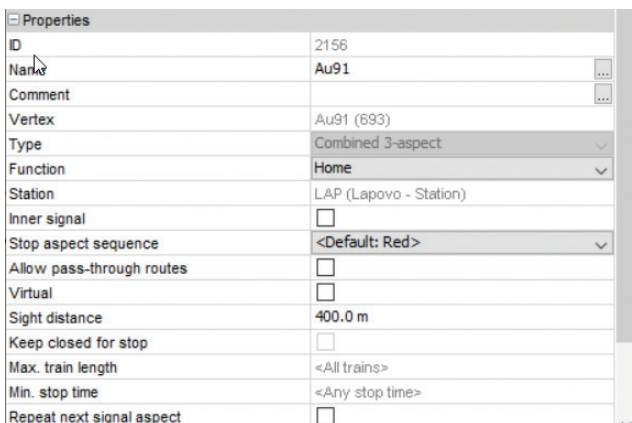


Nakon povezivanja svih krakova, odnosno koloseka, potrebno je postaviti signale na odgovarajuća mesta u modelu. U model su uneti glavni signali, predsignali i prostorni signali. Svaki signal u modelu ima svoj "Joint" sa kojim je povezan. Pritiskom na neki od signala u paleti, možemo ga privući određenom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

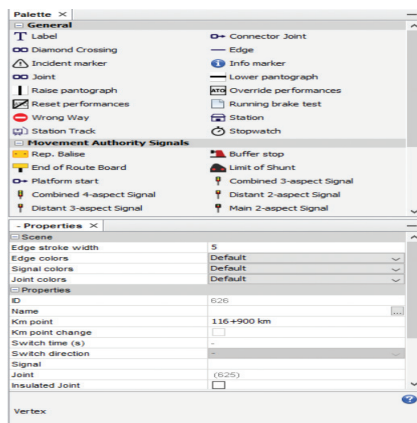
Takođe, u meniju, pritiskom desnim klikom na već postavljeni signal, možemo definisati njegov naziva,

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

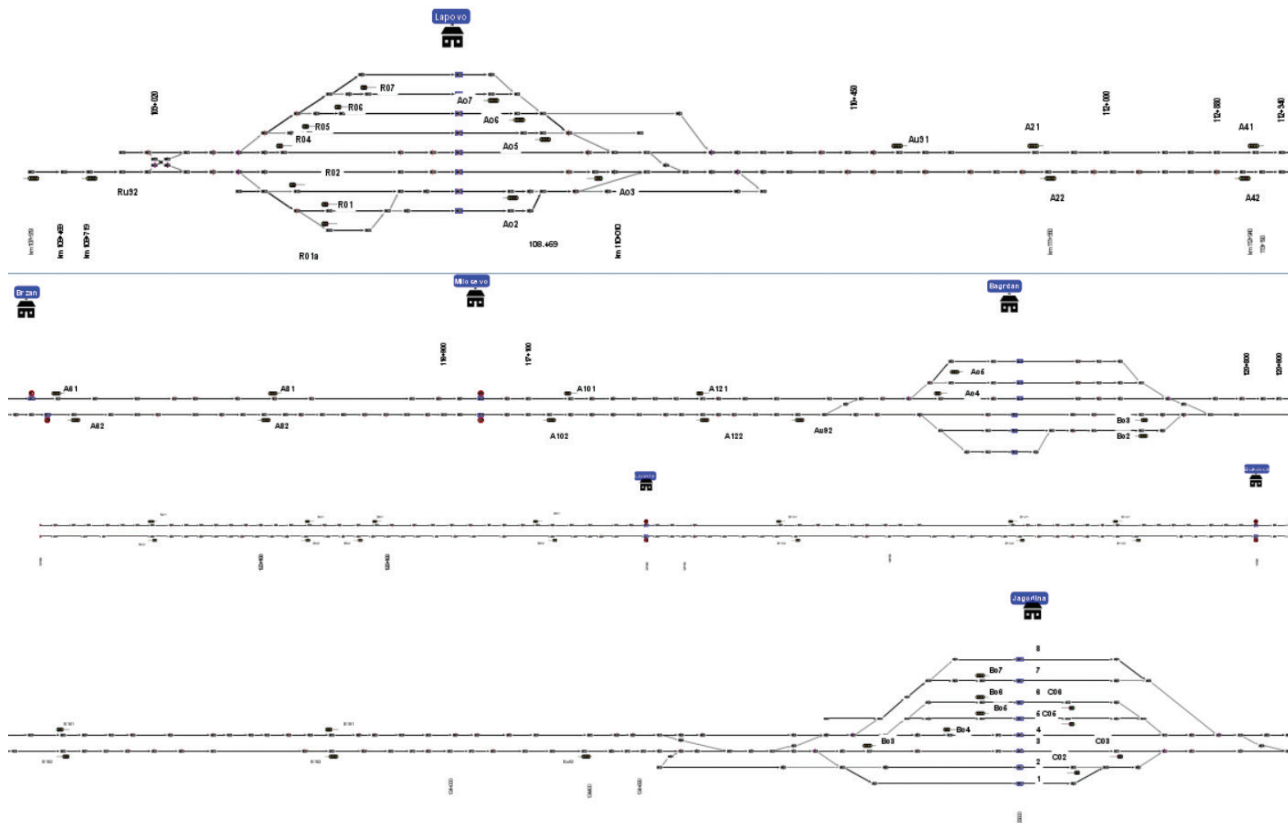
Definisanje rute se vrši pritiskom desnog klika na signal i nakon toga možemo odabrati željenu rutu do narednog signala. Definisanje itinerera se vrši automatski, tako što program na osnovu već zadatih algoritama, izvrši kombinaciju svih mogućih puteva vožnje. Detaljan prikaz železničke infrastrukture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



Slika 11. Prikaz prozora signala



Slika 12. Izgled palete za izbor ikonica



Slika 13. Prikaz mikro železničke infrastrukture deonice Lapovo - Jagodina

**5. UPOREDNA ANALIZA MODELA**

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

U ovom poglavlju biće prikazana uporedna analiza

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

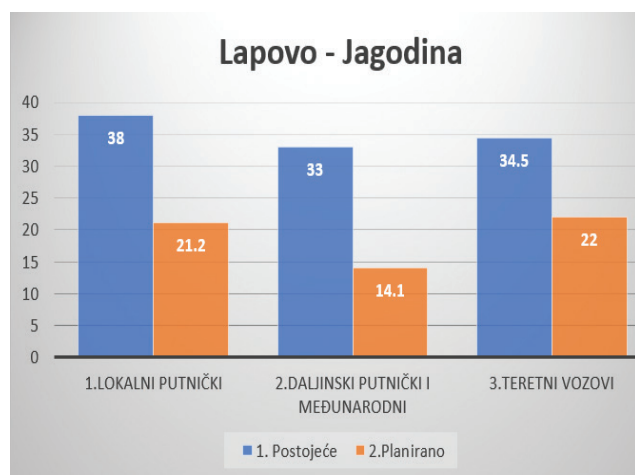
| Kategorija voza      | Vremena vožnje (min) |                   | Prosečna brzina (km/h) |                   |
|----------------------|----------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
|                      | Lapovo - Jagodina    | Jagodina - Lapovo | Lapovo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

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

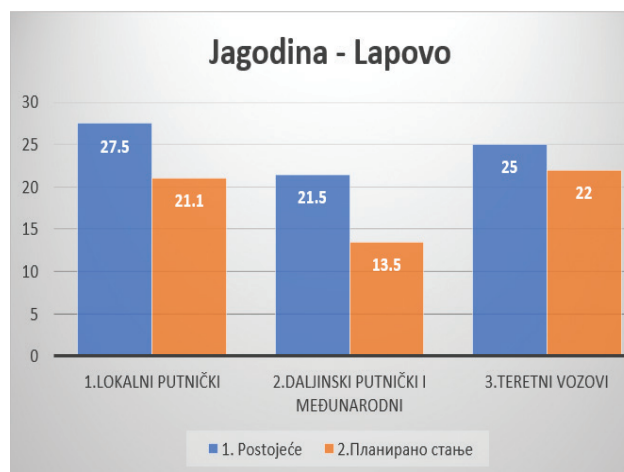
| Kategorija voza      | Vremena vožnje (min) |                   | Prosečna brzina (km/h) |                   |
|----------------------|----------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
|                      | Lapovo - Jagodina    | Jagodina - Lapovo | Lapovo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

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

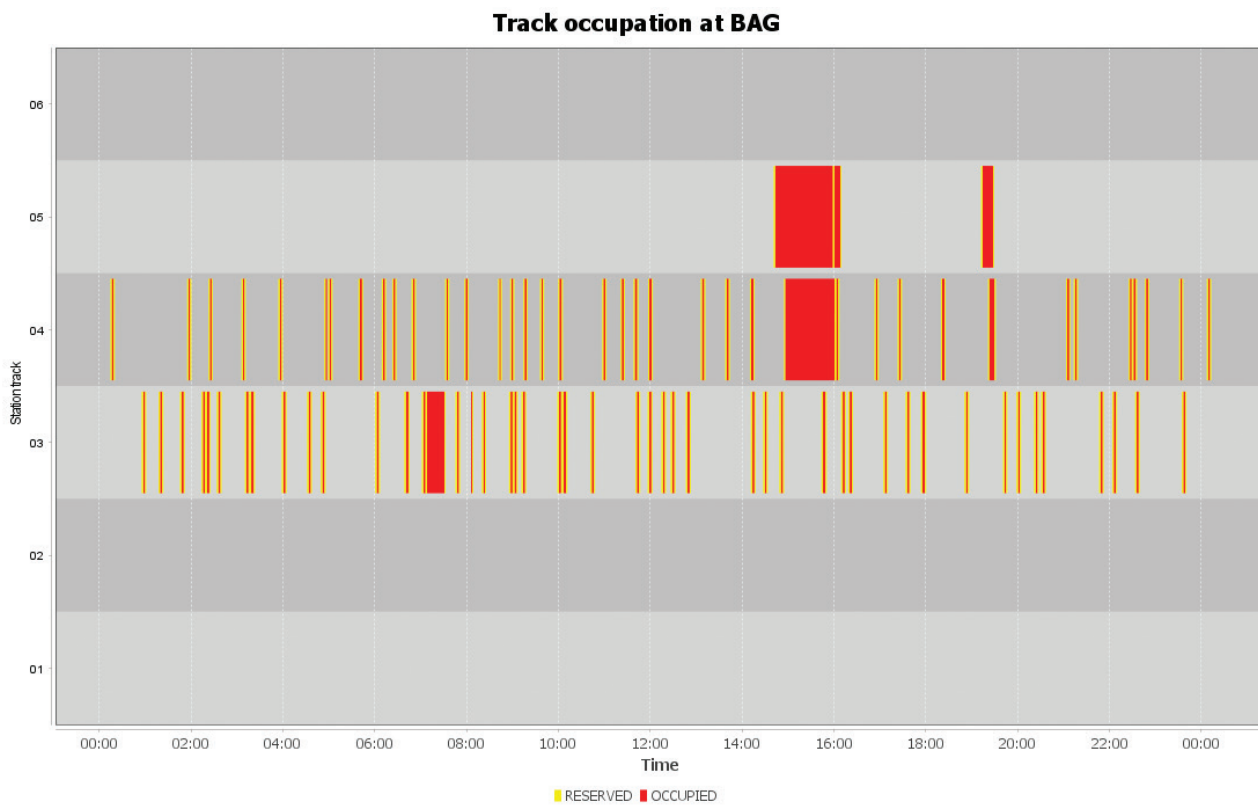
| Izlazni podatak  | Postojeće stanje | Planirano stanje | Razlika (%) |
|--|------------------|------------------|-------------|
| Prosečno kašnjenje vozova u ukupnom kašnjenju                        | 110 sec          | 66 sec           | - 40        |
| Maksimalno kašnjenje   | 3.200 sec        |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



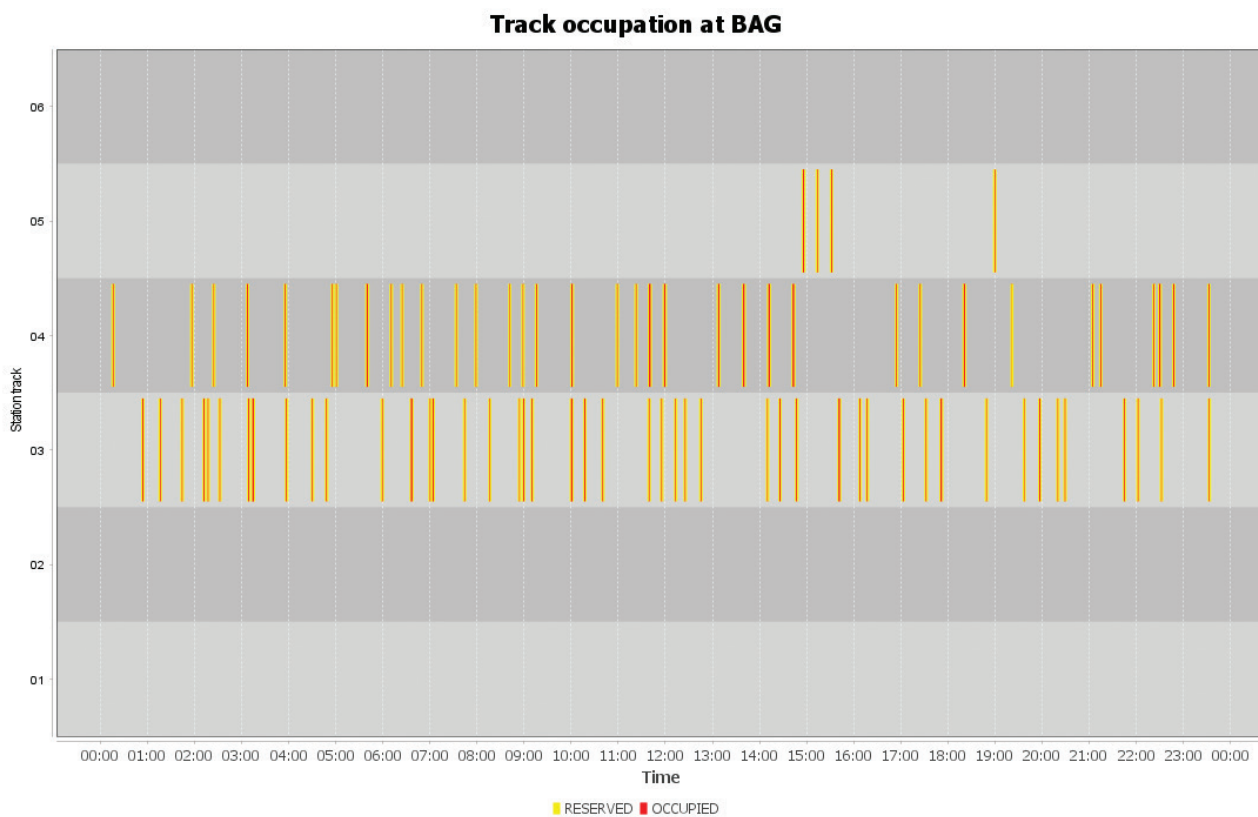
Slika 14. Grafikon prikaza vremena vožnje pri postojećem i planiranom modelu za smer Lapovo - Jagodina (desni kolosek)



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



Slika 16. Zauzetost koloseka stanice Bagrdan pri postojećem stanju



Slika 17. Zauzetost koloseka stanice Bagrdan pri planiranom stanju

**Status of signal Au91 and its outgoing routes**



Slika. 18. Status signala stanice Lapovo pri postojećem stanju

**Status of signal Au91 and its outgoing routes**



Slika .19. Status signala stanice Lapovo pri planiranom stanju

## 6. ZAKLJUČAK

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

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

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

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

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

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

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

## LITERATURA

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