

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. god.
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** –

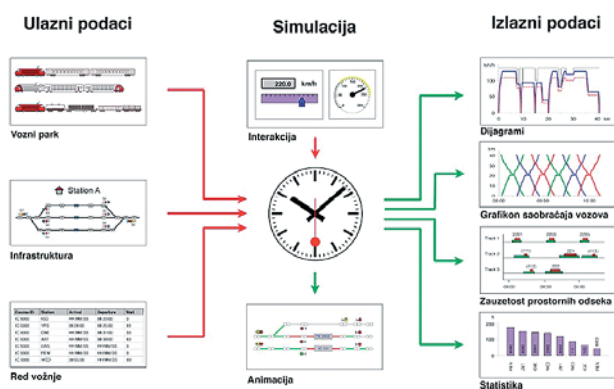
Tabela 1. Softverski programi za simulaciju železničkih sistema

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, kontaktna mreža, 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 pruzi 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.

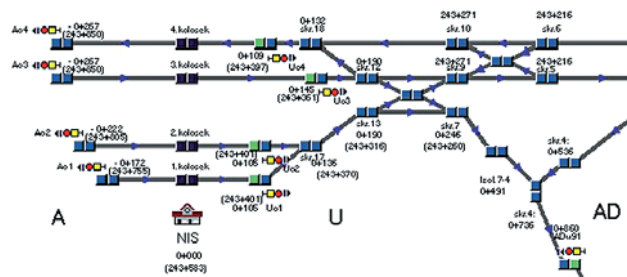
4. OSNOVNE KARAKTERISTIKE STANICA

Osnovne karakteristike stanica su značaj na pruzi (rasporedna stanica/međustanica), kilometarski položaj na pruzi (stacionaža stanice), uloga stanice (za prijem/otpremu putnika i robe), osiguranje stanica, vrsta glavnih signala (svetlosni/likovni), broj prijemno-otpremnih 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 elektrotelegrafnim osiguranjem. Svi glavni signali su svetlosni. Stanica ima 6 prijemno-otpremnih 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 smera 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 pritrđene. 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-otpremnih 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 elektrotehničkim blok uređajem. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 4 prijemno-otpremnih 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 elektrotehničkim blok uređajem. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 4 prijemno-otpremnih 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-otpremnih 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 Ćele Kula nalazi se u kilometru 5+460. Osigurana je elektrotelegrafnim osiguranjem. Svi glavni signali su svetlosni. Stanica ima 2 prijemno-otpremnih 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-otpremnih 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 elektrotehničkim blok uređajem. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 3 prijemno-otpremnih 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 elektrotehničkim blok uređajem. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 2 prijemno-otpremnih 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 elektrotehničkim blok uređajem. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 2 prijemno-otpremnih 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-otpremnih 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-otpremnih 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 elektrotehničkim blok uređajem. Svi glavni signali su likovni. Stanica ima 2 prijemno-otpremnih 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 ¹⁾	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 ²⁾	200	150	1	Niš-Dimitrovgrad	1	2	3	4	5	6	7
5	13141 ³⁾	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 ¹⁾	109	45	3	Bela Palanka-Niš	1	2	3	4	5		
2	13154 ²⁾	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 ³⁾	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 ¹⁾	19 ¹⁾	9	Niš–Dimitrovgrad	F	F	F	F	F	F	F
3	48009	2.300 ⁴⁾	530 ⁴⁾	7	Crv. Krst–Dimitrovgrad	F	F	F	F	F	F	F
	58195	800 ⁴⁾	450 ⁴⁾	8	Crv. Krst–Dimitrovgrad	F	F	F	F	F	F	F
	74903	232 ²⁾	36 ²⁾	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 ¹⁾	19 ¹⁾	9	Niš–Dimitrovgrad	F	F	F	F	F	F	F
	73981	1.300	Inf ³⁾	4	Crv. Krst–Dimitrovgrad	F	F	F	F	F	F	F
6	45031	1.800 ⁴⁾	530 ⁴⁾	6	Crv. Krst–Dimitrovgrad	F	F	F	F	F	F	F
	58191	2.300 ⁴⁾	530 ⁴⁾	7	Crv. Krst–Dimitrovgrad	F	F	F	F	F	F	F
	58197	1.800 ⁴⁾	530 ⁴⁾	6	Crv. Krst–Dimitrovgrad	F	F	F	F	F	F	F
	58199	800 ⁴⁾	530 ⁴⁾	8	Crv. Krst–Dimitrovgrad	F	F	F	F	F	F	F
	73983	1.400	Inf ³⁾	5	Niš–Dimitrovgrad	F	F	F	F	F	F	F
	74901	232 ²⁾	36 ²⁾	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 ³⁾	4	Dimitrovgrad–Crv. Krst	F	F	F	F	F	F	F
6	48008	2.300 ⁴⁾	530 ⁴⁾	7	Dimitrovgrad–Crv. Krst	F	F	F	F	F	F	F
	58194	1.800 ⁴⁾	450 ⁴⁾	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 ⁴⁾	530 ⁴⁾	4	Dimitrovgrad–Crv. Krst	F	F	F	F	F	F	F
	58190	2.300 ⁴⁾	530 ⁴⁾	7	Dimitrovgrad–Crv. Krst	F	F	F	F	F	F	F
	58198	800 ⁴⁾	530 ⁴⁾	8	Dimitrovgrad–Crv. Krst	F	F	F	F	F	F	F
	74900	232 ²⁾	36 ²⁾	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 ¹⁾	19 ¹⁾	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 ³⁾	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 Pirot 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.

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.

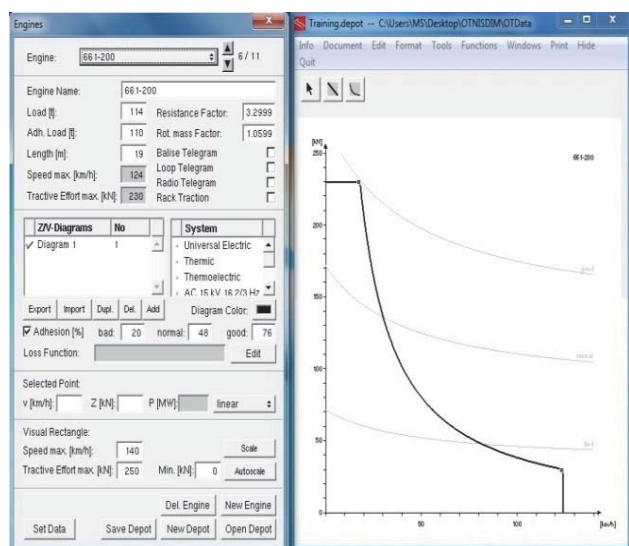
Putanja je drugi nivo kretanja voza i formirana je za svaki smer vožnje posebno od izlaznog signala polazne do ulaznog signala naredne stanice i od ulaznog signala do izlaznog signala jedne stanice.

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, rangu 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:

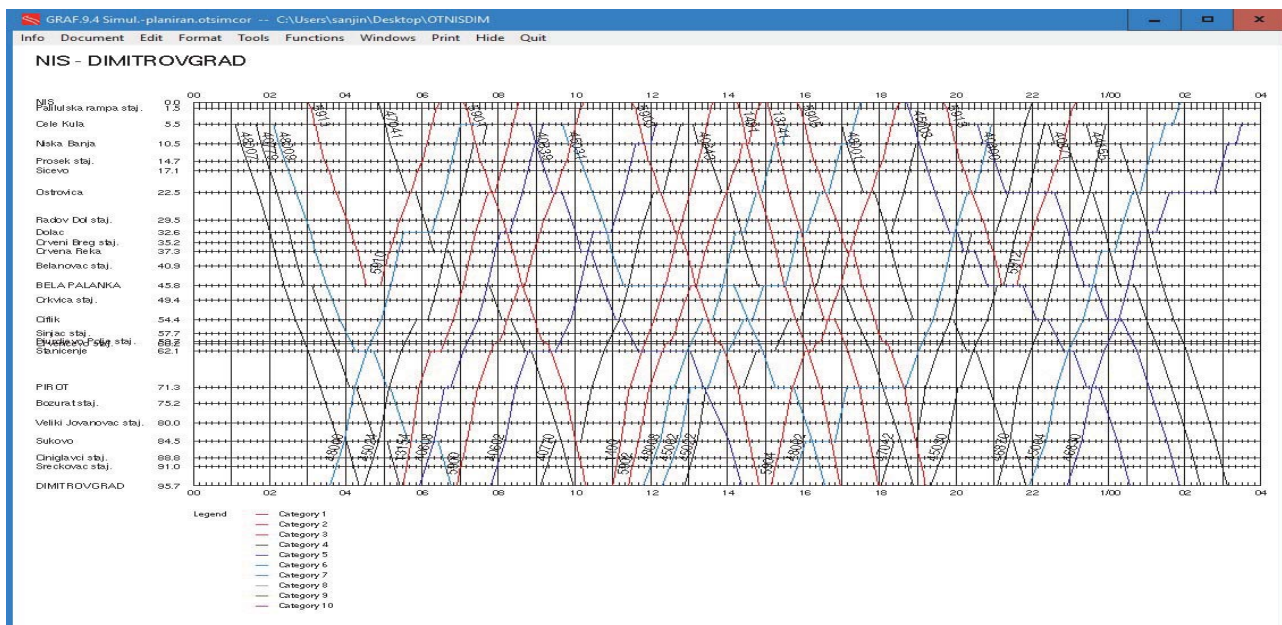
1. Intercity 1,	Category 1",	314 t,	119 m
Intercity 2,	Category 2",	914 t,	319 m
2. Regio,	Category 3",	109 t,	45 m
3. Freight 1,	Category 4",	1.412 t,	554 m
Freight 2,	Category 5",	1.712 t,	554 m
Freight 3,	Category 6",	1.912 t,	549 m
Freight 4,	Category 7",	2.412 t,	549 m
Freight 5,	Category 8",	912 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 četvero 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

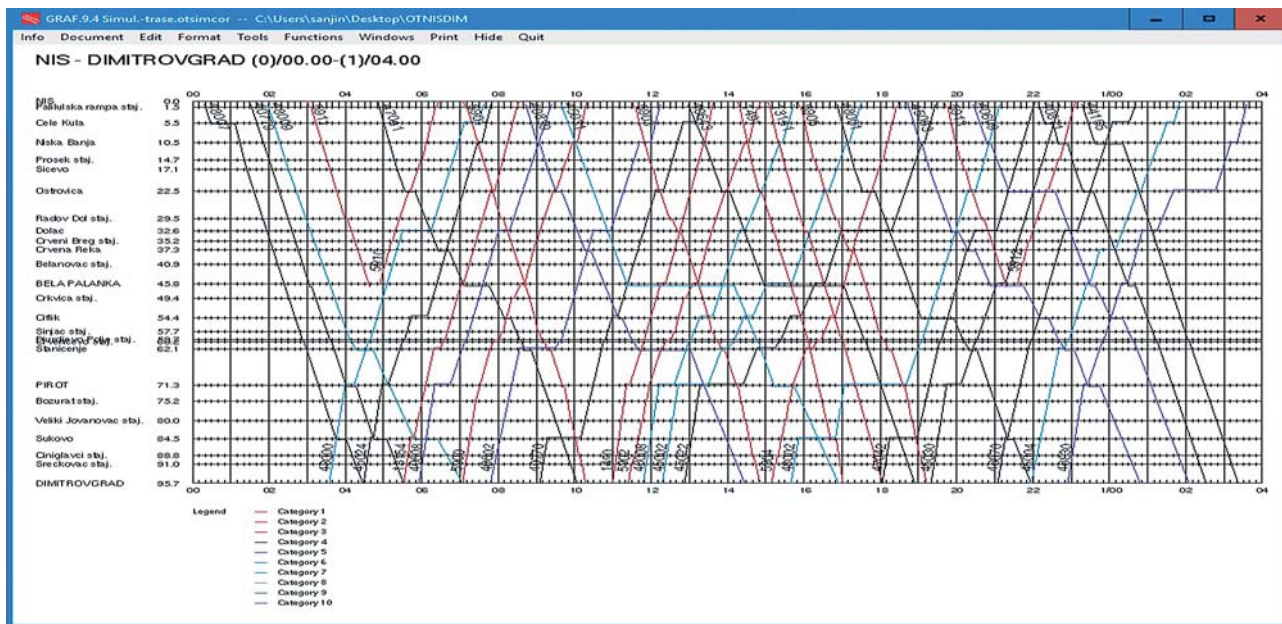
Simulacija saobraćaja vozova izvršena je za period od 00:00 časova „nultog“ dana do 04:00 „prvog“ dana. Na grafikonu nisu prikazane trase planiranog reda vožnje, zbog bolje preglednosti.

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

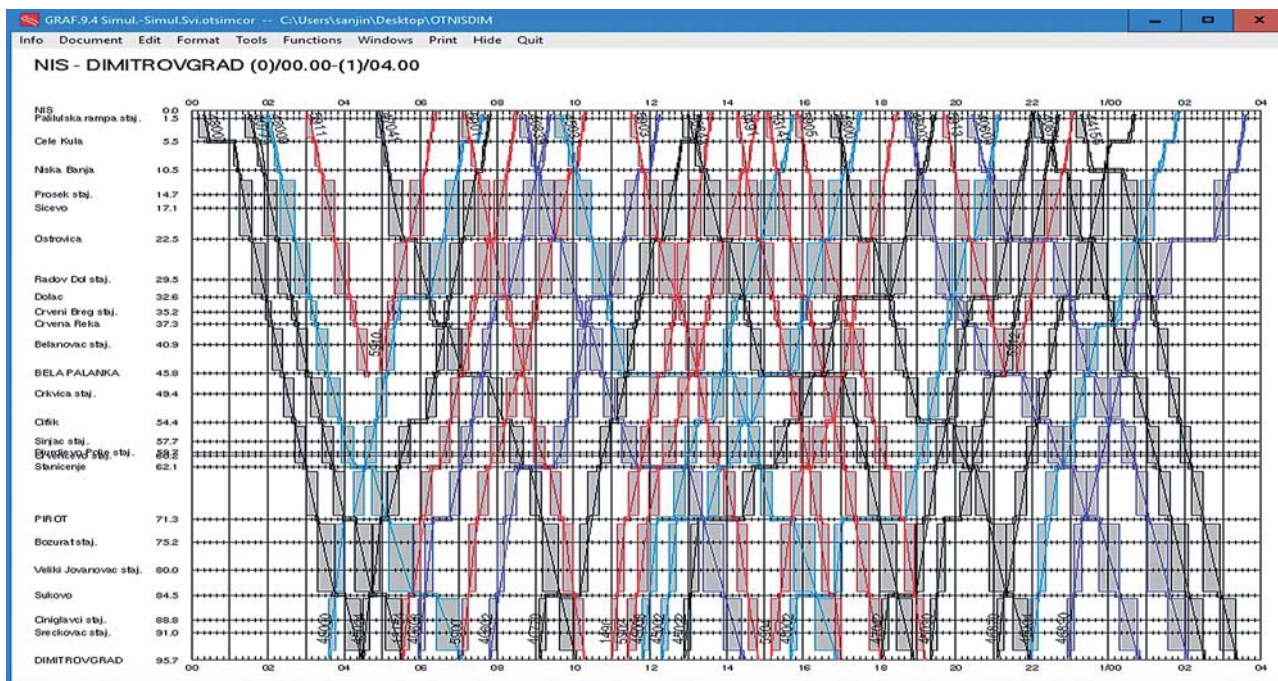
prikazane u bojama prema kategoriji voza koja im je određena.

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

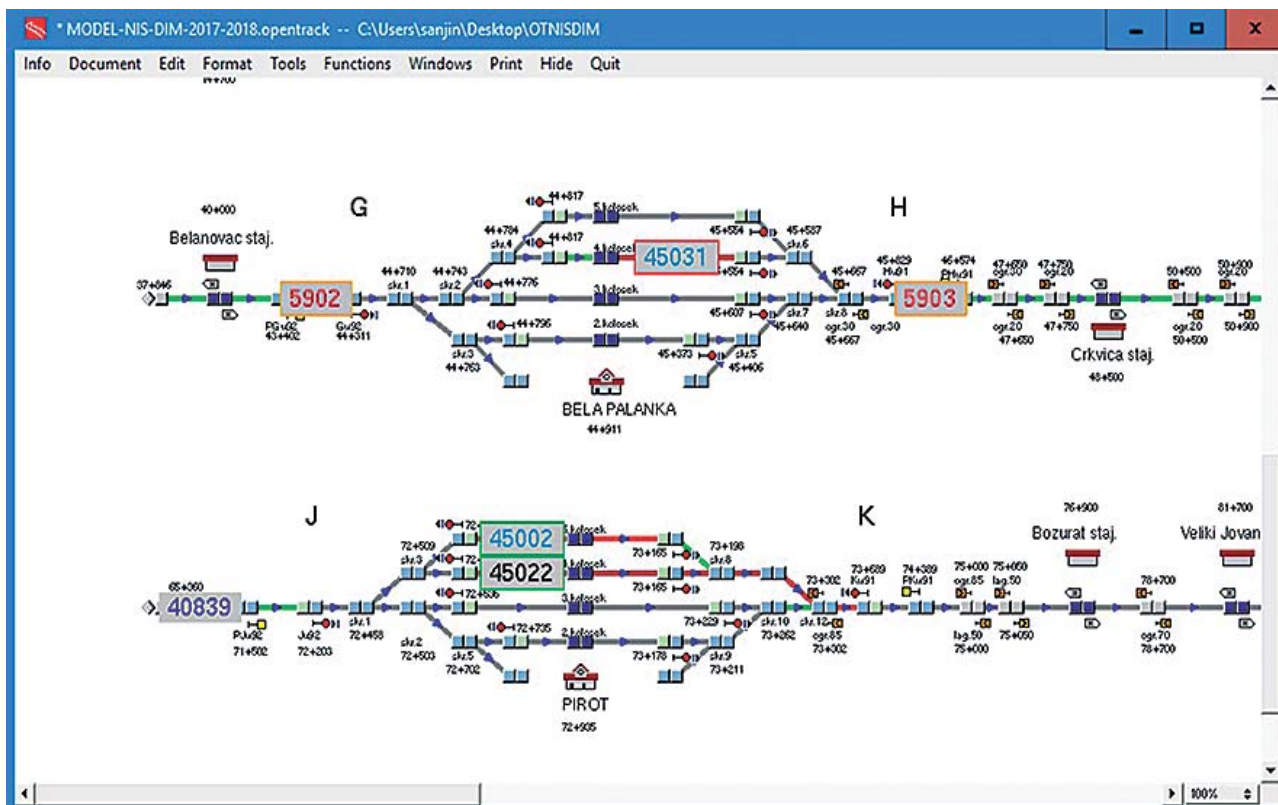


Slika 7. Grafikon reda vožnje sa prikazanim zauzećima prostornih odseka nakon simulacije

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.

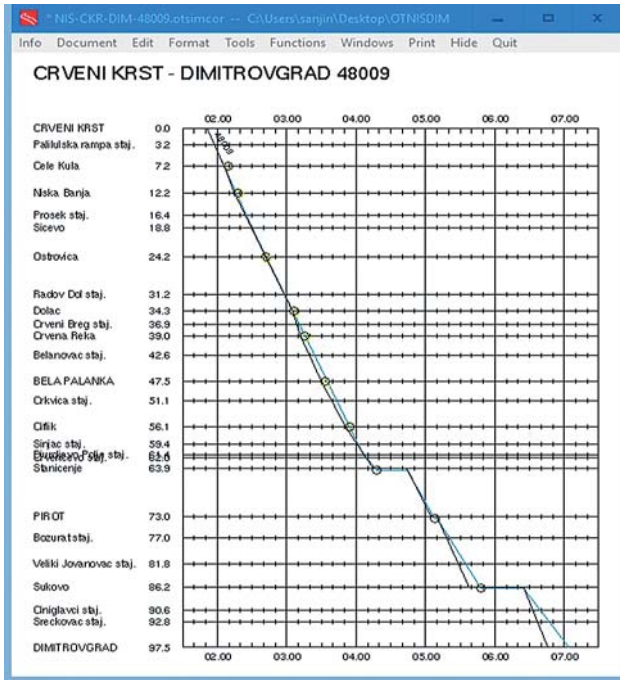
Program za simulaciju omogućava da se u



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

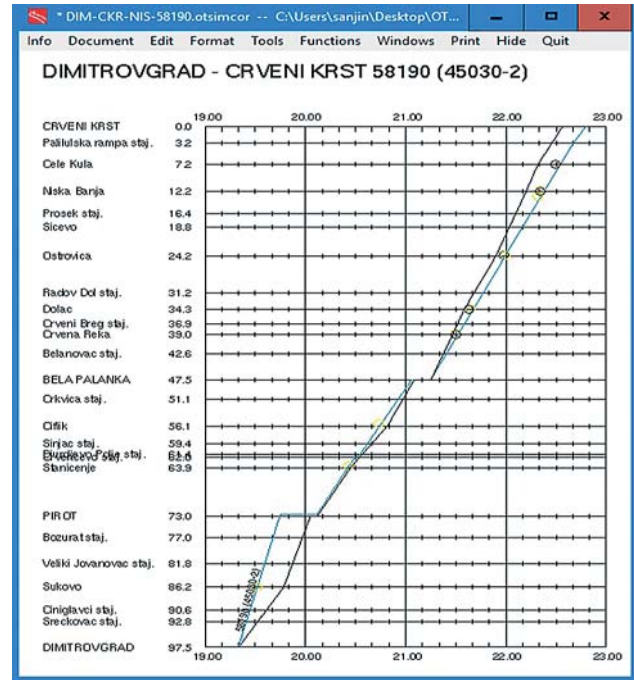
7.3. Simulacija saobraćaja izabranih vozova

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.

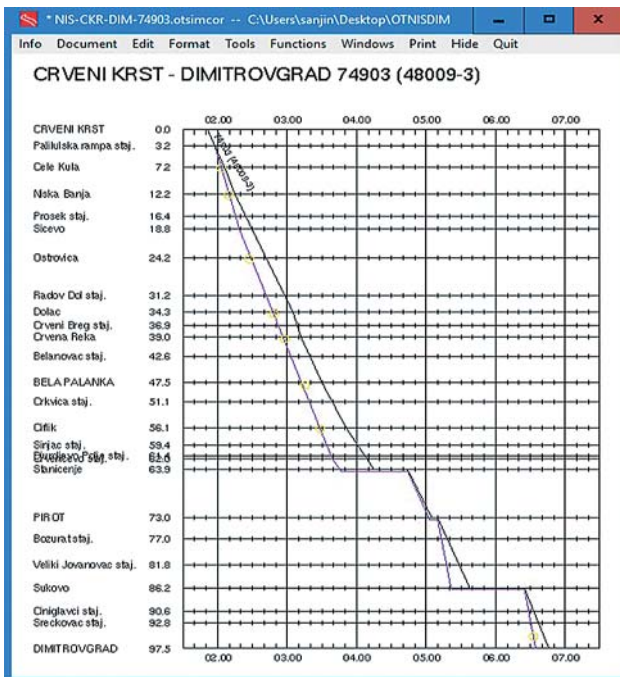


Slika 9. Prikaz simuliranog saobraćaja voza 48009

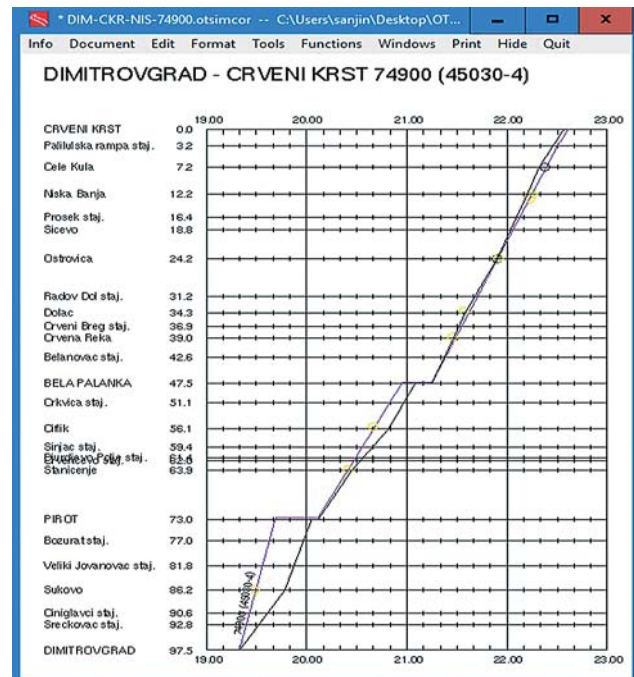
Simulirano je kretanje vozova 58190 i 74900 koji se nalaze na istoj trasi (trasa broj 11 iz tabele 5). Voz broj 58190 je 7. kategorije, mase 2300 tona. Voz broj 74900 je 10. kategorije, mase 232 tone. Red vožnje dobijen simulacijom prikazan je na slici 11. za voz 58190 i na slici 12 za voz 74900.



Slika 11. Prikaz simuliranog saobraćaja voza 58190



Slika 10. Prikaz simuliranog saobraćaja voza 74903



Slika 12. Prikaz simuliranog saobraćaja voza 74900

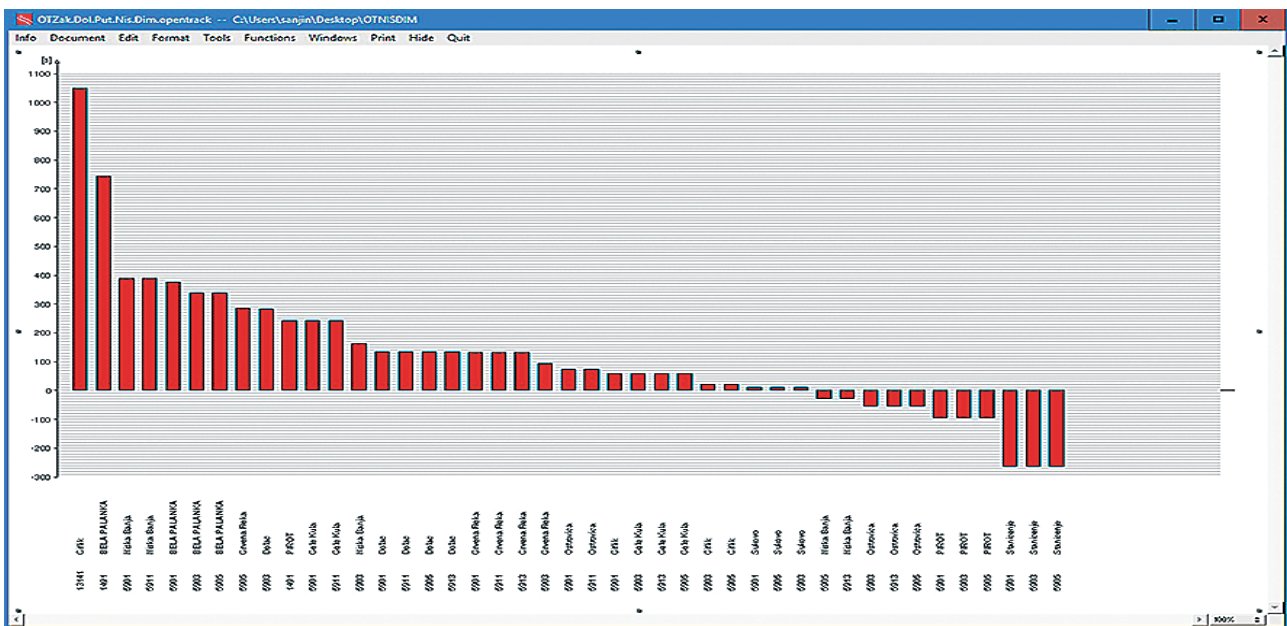
U prethodna četiri primera je evidentna razlika u voznim vremenima i brzini kretanja vozova koji se u planiranom redu vožnje nalaze na istoj trasi.

7.4. Analiza dobijenih rezultata simulacijom

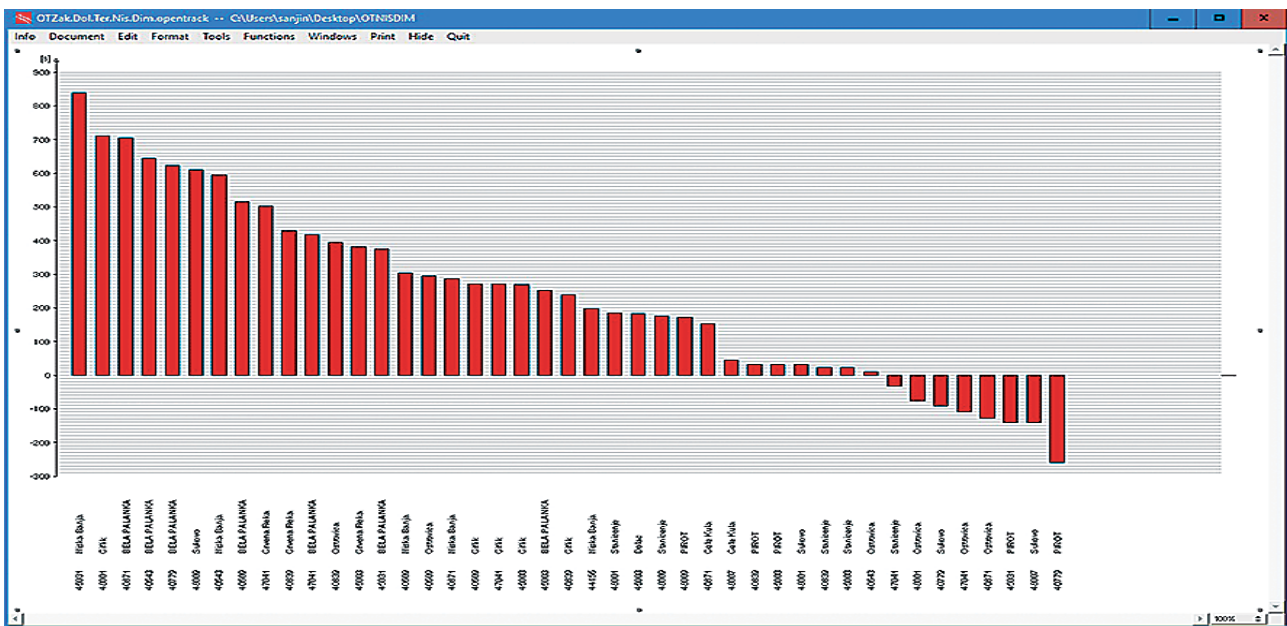
Od izlaznih rezultata u ovom radu su za kraću analizu izabrani zakašnjenja i raniji dolasci vozova, po vrstama prevoza za smer Niš – Dimitrovgrad.

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



Slika 14. Zakašnjenja vozova za prevoz robe 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.