

# SIMULACIONI MODELI ZA ANALIZU ORGANIZACIJE SAOBRAĆAJA VOZOVA NA INDUSTRIJSKOJ ŽELEZNICI „TENT“

## SIMULATION MODELS FOR THE ANALYSIS OF THE TRAIN TRAFFIC ON „TENT“ INDUSTRIAL RAILWAYS

Datum prijema rada: 17.5.2016. god.  
UDK: 656.33.01:517.876.5

### REZIME

U ovom radu predstavljeno je pet simulacionih modela za utvrđivanje optimalne organizacije saobraćaja vozova na industrijskoj železnici „TENT“. Prva tri modela odnose se na deo jednokolosečne pruge između stanice Stubline i stanica Obrenovac i Vorbis, dok je u druga dva modela razvijena celokupna mreža pruge i staničnih koloseka na industrijskoj železnici „TENT“ sa posebnim osvrtom na deo pruge između stanica Brgule i Vreoci. Simulacioni modeli saobraćaja vozova definisani su u softverskom paketu Matlab – SimEvents. Planovi za povećanje proizvodnje u „TENT“ zahtevaće pažljivo planiranje saobraćaja vozova, gde bi prva tri modela imala primenu kod strateških odluka, dok bi se druga dva modela mogla koristiti kao alati za podršku u odlučivanju kod operativnog upravljanja saobraćajem vozova. **Ključne reči:** Industrijska železnica, organizacija saobraćaja vozova, simulaciono modeliranje.

### SUMMARY

We present five simulation models for analysis of the train traffic on „TENT“ industrial railway. First three models are for the single track railway line (Stubline – Obrenovac, Vorbis), and other two models are for the entire network with special emphasis on the section Brgule – Vreoci. Simulation models are developed in Matlab – SimEvents. Plans for the increase of the production in „TENT“ will require a detailed analysis of the train traffic, where three models could be used for the strategic planning, and other two for operational decision making of train management. **Key words:** Industrial railways, train traffic management, simulation modelling

### 1. UVOD

Industrijska železnica „TENT“, kao deo Elektroprivrede Srbije, predstavlja složen sistem unutar kog se saobraćaj vozova odvija nezavisno od saobraćaja na prugama javne železničke infrastrukture.

Na prugama industrijske železnice „TENT“ saobraćaju teretni, službeni i pomoćni vozovi sa osnovnim zadatkom da se preveze određena količina uglja

između površinskih kopova - ogranka RB „Kolubara“ i termoelektrana - ogranka „TENT“. Pored uglja na industrijskoj železnici „TENT“ obavlja se i prevoz raznog materijala i opreme, kako za potrebe industrijske železnice, tako i za potrebe rada termoelektrana.

U ovom radu razvijeno je pet modela za utvrđivanje optimalne organizacije saobraćaja vozova na industrijskoj železnici „TENT“. Prva tri modela odnose

1 Miroslav Pejić, dipl. inž. saob, EPS – Ogranak TENT, Bogoljuba Uroševića – Crnog 44, Obrenovac, miroslav.pejic1983@gmail.com

2 Doc. dr Sanjin Milinković, dipl. inž. saob, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, s.milinkovic@sf.bg.ac.rs

3 Prof. dr Slavko Vesković, dipl. inž. saob, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, veskos@sf.bg.ac.rs+

se na deo jednokolosečne pruge između stanice Stubline i stanica Obrenovac i Vorbis, dok je u druga dva modela razvijena celokupna mreža pruge na industrijskoj železnici „TENT“ sa posebnim osvrtnom na deo pruge između stanica Brgule i Vreoci. Kao programski paket korišćen je Matlab – SimEvents. Prva tri modela korišćena su kod rada „Simulacioni model za analizu varijantnih rešenja organizacije saobraćaja vozova na industrijskoj pruzi „TENT“, koji je objavljen na Simpozijumu o operacionim istraživanjima 2010. godine na Tari [1,2,3]. U ovom radu su pomenuti modeli [1,2,3] doručeni i na taj način su približeni realnom sistemu.

U okviru mreže pruga industrijske železnice „TENT“ nalaze se dve posebne celine:

- mreža pruge normalnog koloseka širine 1435 mm, pozicionirana desno od pruge Beograd – Bar
- mreža pruge uzanog 900 mm i upletenog koloseka širine 1435/900 mm, pozicionirana levo od pruge Beograd – Bar (slika 1).

S obzirom na to da je predmet našeg istraživanja deo pruge koji se nalazi u okviru mreže pruge normalnog koloseka, u daljem tekstu ćemo se baviti samo pomenutom mrežom pruge.

Mrežu pruge normalnog koloseka čine dve utovarne (Vreoci i Tamnava), dve istovarne (granične stanice, Obrenovac i Vorbis) i dve međustanice (Stubline i Brgule) koje su istovremeno i stanice prelaza sa dvokolosečne na jednokolosečnu prugu, odnosno odvojne stanice (u daljem tekstu međustanice).

Jednokolosečni saobraćaj:

- od međustanice Stubline ka istovarnim stanicama Obrenovac i Vorbis;
- od međustanice Brgule ka utovarnim stanicama Vreoci i Tamnava.

Dvokolosečni saobraćaj je na delu pruge između međustanica Stubline i Brgule. Na pomenutom delu pruge ugrađen je uređaj za automatsko regulisanje saobraćaja uzastopnih vozova (u daljem tekstu APB). Međustanice Stubline i Brgule uključene su u uređaj telekomande.

Za potrebe rada termoelektrana, definisana je moguća količina uglja, neophodna za rad termoblokova, koja na dnevnom nivou iznosi:

- „TENT“ A u Obrenovcu – 37 vozova, odnosno
- „TENT“ B u Ušću – 26 vozova.

Svaki teretni voz koji je tovaran, prevozi oko 1.500 tona uglja, što prema teorijskoj mogućnosti iznosi oko

94.500 tona za 24 časa, odnosno na mesečnom nivou oko 2.800.000 tona. Ovaj podatak svrstava industrijsku železnicu „TENT“ među najopterećenije pruge u Evropi.

## 2. OPŠTE O REGULISANJU SAOBRAĆAJA VOZOVA

Uzastopni vozovi mogu da slede jedan za drugim samo u prostornom razmaku [4,5]. Prostorni razmaci mogu da budu stanični, odjavni i blokovni ako su pruge opremljene APB-om.

### Blokovni prostorni odsek

Oslobađanje prvog prostornog odseka na prugama opremljenim APB-om od voza koji se otpremi iz stanice, što se na određeni način prikazuje na postavnici, predstavlja odjavu za dati voz. Uzastopni voz može se otpremiti iz stanice čim se ispune uslovi iz prethodnog stava, imajući u vidu i propisane intervale sleđenja [4].

Sve to ukazuje da vozovi prema propisima iz Saobraćajnog pravilnika, mogu da slede u međusobnom razmaku od jednog prostornog odseka, tj. na signalni znak „oprežno, očekuj stoj“. Ne bi bilo dobro da to bude pravilo na svim prostornim (blok) odsecima. Ovo može biti izuzetak, ili čak pravilo, ali samo na polaznom odseku ako će na sledećim odsecima doći do povećanja prostornog razmaka, odnosno ako će vozovi nastaviti vožnju u međusobnom razmaku od dva prostorna odseka, tj. na signalni znak „slobodno, očekuj slobodno ili oprežno“.

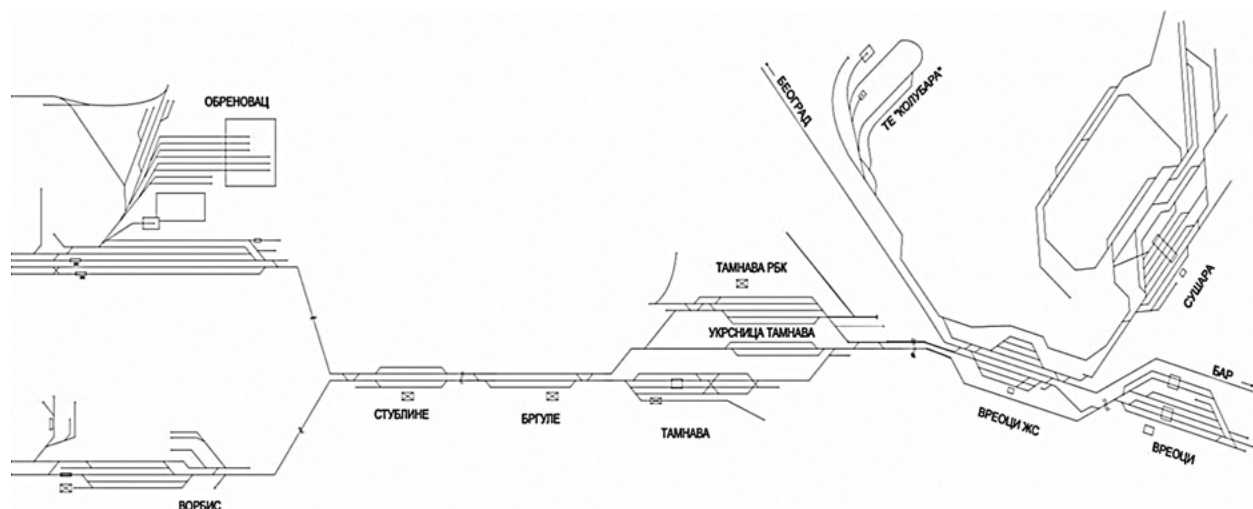
Pri vožnji na signalni znak „oprežno, očekuj stoj“ mašinovođa je dužan da vozi takvom brzinom da može da stane ispred sledećeg prostornog signala ako je on u položaju „stoj“. To znači da će doći do izrazitog smanjenja brzine kretanja voza, a time i do produžavanja vremena vožnje. Ako bi se na svim prostornim odsecima vozilo na signalni znak „oprežno, očekuj stoj“, tada bi vreme vožnje bilo znatno produženo. Po pravilu, mašinovođa mora da bude siguran da ima dovoljan deo pruge slobodan, kako bi mogao da vozi maksimalno dozvoljenom brzinom, a to mu omogućuje minimum dva slobodna blok-odseka, tj. vožnja na signalni znak „slobodno, očekuj slobodno ili oprežno“.

### Odjavni prostorni odsek

Odjavni prostorni odsek je prostorni odsek između stanice i odjavnice, ili između dveju odjavnica ili između odjavnice i stanice koje regulišu sleđenje uzastopnih vozova. Uzastopni voz se može otpremiti tek kada je prethodni voz prošao pored signala na odjavnici.

### Stanični prostorni odsek

Prilikom regulisanja saobraćaja vozova u staničnom razmaku, uzastopni voz se može otpremiti tek kada



Slika 1. Mreža pruge industrijske železnice „TENT“

je prethodni voz napustio međustanično rastojanje, i smestio se unutar međika koloseka naredne stanice ili ukrsnice, odnosno na prugama sa elektrorelejnim osiguranjem bez APB-a, kada je voz potpuno i ceo ušao u stanicu i kada je za njim ulazni signal postavljen da pokazuje signalni znak „Stoj“. U stanicama i ukrsnicama, može se vršiti ukrštavanje vozova. Pod ukrštavanjem se podrazumeva sastajanje dva voza iz suprotnih smerova pri jednokolosečnom saobraćaju.

### 3. MODELI ZA SIMULACIJU SAOBRAĆAJA VOZOVA U MATLAB – SIMEVENTS

Za potrebe ovog rada razvijeno je pet modela korišćenjem programskog paketa Matlab – Simevents. Pomenutim modelima se u određenoj meri oponaša rad industrijske železnice „TENT“. Ovde je važno napomenuti da nisu uzete u obzir sve okolnosti pod kojima se odvija saobraćaj na industrijskoj pruzi (saobraćaj pružnih vozila, dodavanje ispravnih kola vozovima, isključivanje kola iz saobraćaja, zamena vučnih vozila, saobraćaj službenih vozova, itd.) . Kao što smo na početku napomenuli, industrijska železnica „TENT“ predstavlja složen sistem, te bi za apsolutno reprezentativan model bilo neophodno s jedne strane utrošiti mnogo vremena kako bi se svi mogući događaji prikazali kroz model, a sa druge strane, neophodno bi bilo korišćenje savršenijih programskih paketa [6,7], koji pružaju mogućnost detaljnijeg opisivanja železničkih sistema, kao što je npr. OpenTrack.

Prva tri modela odnose se na deo pruge između međustanice Stubline i istovarnih stanica Obrenovac i Vorbis u cilju utvrđivanja propusne moći pruge između međustanice Stubline i istovarne stanice Vorbis. U ovim modelima nije prikazana industrijska pruga normalnog

koloseka u celosti, već je model koncipiran tako da oponaša rad samo dela pruge između pomenutih stanica. Tok vozova koji dolaze u međustanicu Stubline iz susedne međustanice Brgule, može se apsolutno smatrati tokom gde vozovi pristupaju nezavisno jedan od drugog u sistem opsluživanja. Osobina da klijenti pristupaju u sistem nezavisno jedan od drugog jeste osobina odsustva posledica.

Za potrebe prva tri modela, korišćeni su podaci iz stvarnog grafikona saobraćaja vozova, odabranih, u periodu kada je obim saobraćaja vozova znatno veći, kao i podaci iz teorijskog (maksimalnog) grafikona saobraćaja vozova. Na osnovu analize podataka uzetih iz stvarnog grafikona reda vožnje, došlo se do rezultata prikazanih na slici 5. Dolasku vozova u međustanicu Stubline, najviše odgovara Eksponencijalna raspodela. Analiza rezultata rađena je u softverskom paketu ExpertFit.

Za razliku od prva tri modela, gde su entiteti generisani na osnovu semena generatora slučajnih brojeva, u druga dva modela određen broj entiteta nastaje u trenutku puštanja u rad simulacije, nakon čega se pomenuti entiteti kreću kroz model simulirajući pri tom kretanje vozova, utovar, istovar garnitura, kao i rad manevarskih lokomotiva na utovaru i istovaru.

Svih pet modela obuhvataju objekte, a to su elementi pruga i stanica (prostorni odseci, koloseci u stanicama, ulazno-izlazne skretničke zone) i vozovi sa svojim atributima i međusobne odnose objekata i njihovih atributa kroz koje se obezbeđuje funkcionisanje modela.

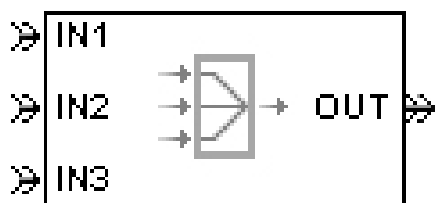
Modeli se sastoje iz niza podsistema i pomoćnih podsistema koji predstavljaju međustanice Stubline i Brgule, istovarne stanice Vorbis i Obrenovac, utovarne

stanice Tamnavu i Vreoce, ukrsnicu Grabovac, ukrsnicu Tamnava kao i podsistema delovi pruge, prostorni blok odseci, skretnice itd.

**Model saobraćaja vozova na jednokolosečnoj pruzi aktiviranjem ukrsnice Grabovac** – razvijen je tako da simulira saobraćaj vozova na jednokolosečnoj pruzi između međustanice Stubline i istovarnih stanica Vorbis i Obrenovac, korišćenjem ukrsnice Grabovac na delu pruge Stubline – Vorbis. Sastoji se iz podsistema Stubline, Vorbis i Obrenovac, pomoćnog podsistema Stubline, a čine ga još i podsystemi koji predstavljaju delove jednokolosečne pruge, kao i podsystemi skretnice.

Da bi se zadovoljio zahtev da se između stanica može naći samo jedan voz, u modelu su korišćeni podsystemi, koji dozvoljavaju prolaz samo jednom vozu u datom trenutku vremena. Podsystem ima dva inputa, preko kojih vozovi odlaze u red. Zatim odlaze u blok Path Combiner (slika 2.) i onaj voz koji je prvi došao u ovaj podsystem, odlazi u blok Singl Server (slika 3.), dok voz koji je došao kao drugi, ostaje da čeka u redu dok se kanal ne oslobodi od prethodnog voza. Dalje se voz upućuje u blok Output Switch (slika 4.) gde se na osnovu kriterijuma From attribute (entitet koji dolazi u ovaj blok, napušta ga kroz izlazni port koji odgovara vrednosti atributa po izboru korisnika), upućuje na jedan od dva outputa.

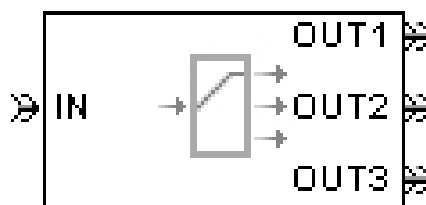
Kada voz dođe do ukrsnice Grabovac, ukoliko je njegov smer kretanja ka Vorbisu, onda se on na skretnici upućuje u pravac, dok se voz u smeru ka Stublinama upućuje u skretanje. Ideja je bila da se tovarnim vozovima zbog veće težine, omogući prolaz u pravac kroz ukrsnicu Grabovac.



Slika 2. Path Combiner blok- prihvata entitete kroz bilo koji od ulaznih portova, a otprema ih kroz jedan izlazni port



Slika 3. Singl Server blok - opslužuje jedan entitet u toku određenog vremena, nakon čega pokušava da pošalje entitet kroz OUT port



Slika 4. Output Switch blok- prima entitete kroz jedan ulazni port, koje će dalje otpremiti kroz jedan od izlaznih portova

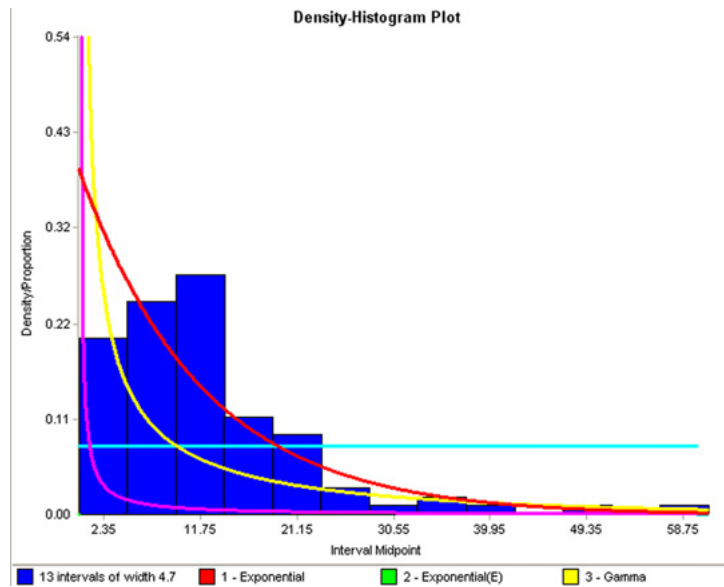
**Model saobraćaja vozova na dvokolosečnoj pruzi u staničnom razmaku u smeru Stubline-Vorbis i odjavnom razmaku u smeru Vorbis-Stubline** – razvjen je tako da simulira saobraćaj vozova na dvokolosečnoj pruzi između međustanice Stubline i Vorbis i jednokolosečnoj pruzi između Stublina i Obrenovca. U smeru Stubline – Vorbis, saobraćaj se odvija u staničnom razmaku, dok je u smeru Vorbis – Stubline uvedena odjavnica Grabovac. Osnovna ideja postavke ovog modela, bila je da se uvođenjem odjavnice u smeru Vorbis – Stubline, brže prazne stanični kapaciteti istovarne stanice Vorbis.

Model se sastoji iz niza podsistema međusobno povezanih, čiji je zadatak da prikažu efekte uvođenja drugog koloseka i odjavnice u smeru Vorbis – Stubline. Pored podsistema koji su zajednički za sve modele, u ovom modelu, nalaze se još podsystemi delova koloseka. U smeru Stubline – Vorbis, nalazi se jedan podsystem koji predstavlja deo koloseka, u kojem je smešten jedan blok Singl Server (slika 3.), što znači da se u ovom smeru može naći samo jedan voz. Suprotan smer Vorbis – Stubline, karakteriše postojanje tri ovakva podsystema, sa po jednim blokom Singl Server (slika 3.). Na ovom delu koloseka u smeru ka Stublinama, može se naći tri voza u nekom trenutku vremena. Na taj način, omogućeno je da se stanični kapaciteti znatno brže oslobađaju od vozova.

**Model saobraćaja vozova na dvokolosečnoj pruzi sa APB-om** – razvijen je tako da simulira saobraćaj vozova na dvokolosečnoj pruzi koja je opremljena APB – om. Ovakav način regulisanja saobraćaja vozova omogućava da se poveća propusna moć pruge otpremanjem vozova po utvrđenom minimalnom intervalu.

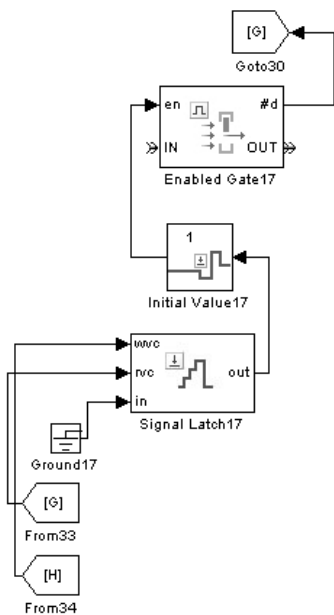
Ovaj model pored zajedničkih podsistema koje imamo u svim razvijenim modelima, čini još i veći broj signala i podsistema Blok odsek.

Sleđenje vozova koji se kreću u istom smeru u modelu rešeno je po principu saobraćaja vozova u blok odsecima. Kada voz napusti pomoćni podsystem Stubline u smeru ka podsystemu Vorbis, „zatvara se“ izlazni signal, i tek pošto voz napusti treći podsystem Blok odsek, stvoren je uslov za puštanje narednog voza. Na taj način se vozovi u modelu kreću na rastojanju od dva slobodna podsystema Blok odsek (sleđenje na „zelenu“ svetlost).



Slika 5. Dolasci vozova u međustanicu Stubline-Histogram

Da bi se simuliralo sleđenje vozova na zelenu svetlost, u modelu su korišćene kapije, Enabled Gates koje puštaju vozove kada prime pozitivan signal iz bloka Initial Value. Na svakom serveru, izlaz „#d“, koji predstavlja broj vozova koji su prošli kroz server, povezan je sa blokom Signal Latch, koji je dalje povezan sa blokom Initial Value. Kada voz prođe neki posmatrani server, ta informacija stiže u Signal Latch, a preko njega i do Initial Value bloka, koji u tom trenutku uzima vrednost 1 i otvara kapiju koja je povezana sa drugim po redu prethodnim serverom. Izgled signala, korišćenog pri izradi ovog modela, prikazan je na slici 6.



Slika 6. Šematski prikaz prostornog signala, korišćenog u modelima sa APB-om

**Model saobraćaja vozova na postojećim pružnim i staničnim kapacitetima** – razvijen je tako da simulira saobraćaj vozova i rad manevarskih lokomotiva sa u ovom trenutku raspoloživim pružnim i staničnim postrojenjima na industrijskoj železnici „TENT“ (slika 8). U početnom trenutku vremena rada simulacije, u podsistemima Vreoci, Tamnava, Vorbis i Obrenovac nastaju sledeći entiteti:

- **Podsistem Obrenovac – dva entiteta** koja predstavljaju tovarne garniture sa po 27 kola (koji čini redovan broj kola u sastavu garnitura koje saobraćaju na industrijskoj pruzi TENT, a koji odgovara kriterijumima definisanim Saobraćajnim pravilnikom 2, Uputstvom o kočenju vozova 233 i korisnim dužinama staničnih koloseka na industrijskoj železnici „TENT“), spremne za prolazak kroz Singl Server blok (slika 3.) koji simulira rad istovarnog mesta; **dva entiteta** koja predstavljaju dve prazne garniture sa po 27 kola, spremne za otpremu iz pomenutog podsistema; **dva entiteta** koja predstavljaju dve manevarske lokomotive koje se nakon prolaska kroz blok Entity Combiner (slika 7.) spajaju sa entitetima koji predstavljaju tovarne garniture i na taj način formiraju dva nova entiteta koja predstavlja manevarske sastave za istovar i **dva entiteta** koji predstavljaju dve vozne lokomotive, koje se takođe nakon prolaska kroz gore pomenuti blok spajaju sa praznim garniturama i na taj način formiraju dva nova entiteta koja predstavlja dva prazana voza za otpremu.
- **Podsistem Tamnava – dva entiteta** koja predstavljaju prazne garniture sa po 27 kola, spremne za prolazak kroz Singl Server blok (slika 3.) koji simulira rad utovarnog mesta; **dva**

**entiteta** koja predstavljaju dve tovarene garniture sa po 27 kola, spremne za otpremu iz pomenutog podsistema; **dva entiteta** koja predstavljaju dve manevarske lokomotive koje se nakon prolaska kroz blok Entity Combiner (slika 7) spajaju sa entitetima koji predstavljaju prazne garniture i na taj način formiraju dva nova entiteta koja predstavlja manevarske sastave za utovar i **dva entiteta** koji predstavljaju dve vozne lokomotive, koje se takođe nakon prolaska kroz gore pomenuti blok spajaju sa tovarenim garniturama i na taj način formiraju dva nova entiteta koja predstavlja dva tovarena voza za otpremu.



Slika 7. Entity Combiner blok generiše jedan novi entitet za svaki niz entiteta koji dolaze u ovaj blok kroz nekoliko ulaznih portova

- **Podsistem Vorbis – jedan entitet** koji predstavlja tovarenu garnituru sa 27 kola, spremnu za prolazak kroz Singl Server blok (slika 3.) koji simulira rad istovarnog mesta; **jedan entitet** koji predstavlja jednu praznu garnituru sa 27 kola, spremnu za otpremu iz pomenutog podsistema; **jedan entitet** koji predstavlja jednu manevarsku lokomotivu koja se nakon prolaska kroz blok Entity Combiner (slika 7.) spaja sa entitetom koji predstavlja tovarenu garnituru i na taj način formira novi entitet koji predstavlja manevarski sastav za istovar i **jedan entitet** koji predstavlja jednu voznu lokomotivu, koja se takođe nakon prolaska kroz gore pomenuti blok spaja sa praznom garniturom i na taj način formira novi entitet koji predstavlja prazan voza za otpremu.
- **Podsistem Vreoci – dva entiteta** koja predstavljaju prazne garniture sa po 27 kola, spremne za prolazak kroz Singl Server blok (slika 3.) koji simulira rad utovarnog mesta; **dva entiteta** koja predstavljaju dve tovarene garniture sa po 27 kola, spremne za otpremu iz pomenutog podsistema; **dva entiteta** koji predstavljaju manevarske lokomotive koje se nakon prolaska kroz blok Entity Combiner (slika 7.) spajaju sa entitetima koji predstavljaju prazne garniture i na taj način formira nove entitete koji predstavljaju manevarske sastave

za utovar i **jedan entitet** koji predstavlja voznu lokomotivu, koja se takođe nakon prolaska kroz gore pomenuti blok spaja sa tovarenom garniturom i na taj način formira novi entitet koji predstavlja tovaren voza za otpremu. Ostali podsistemi u modelu imaju zadatak da sve entitete koji dolaze iz gore pomenutih podsistema prosleđuju ka podsistemima sa kojima su povezani, a na osnovu kriterijuma koji su definisani u određenim blokovima i atributa koje entiteti nose.

**Model saobraćaja vozova sa ukrsnicom Tamnava –** razvijen je tako da simulira saobraćaj vozova na celokupnoj mreži pruga industrijske železnice „TENT“. Model funkcioniše po istom principu kao prethodno opisan model, s tom razlikom što je između podsistema Brgule i Vreoci dodat podsistem Ukrsnica\_Tamnava u cilju povećanja propusne moći pruge. (slika 9.)

#### 4. ANALIZA REZULTATA

S obzirom na to da su razvijeni modeli svrstani u dve grupe, na taj način će biti prikazani i rezultate modela. Kod prva tri modela zastupljene su stohastičke veličine, dok se kod druga dva modela radi o determinističkim veličinama.

##### 4.1. Stohastički modeli

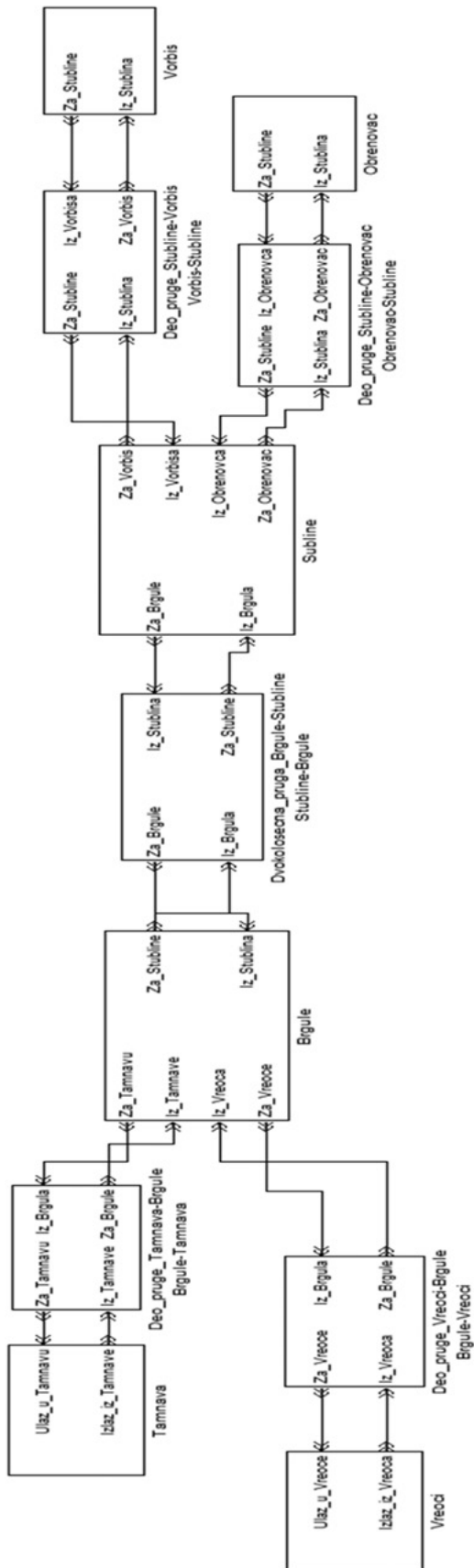
Ulazni podaci koji podrazumevaju spiskove vozova, vremena polazaka i sl. pripremani su u softverskom paketu Excel. Pri formulisanju ulaznih podataka, uzete su u obzir informacije o realnom broju vozova koji saobraća na industrijskoj pruzi „TENT“, zatim kao što je u prethodnom poglavlju utvrđeno, intervali polazaka vozova generisani su po Eksponencijalnoj raspodeli (1) za vrednosti

$$t = - \frac{1}{\lambda} * \ln (\gamma_i) [s] \quad (1)$$

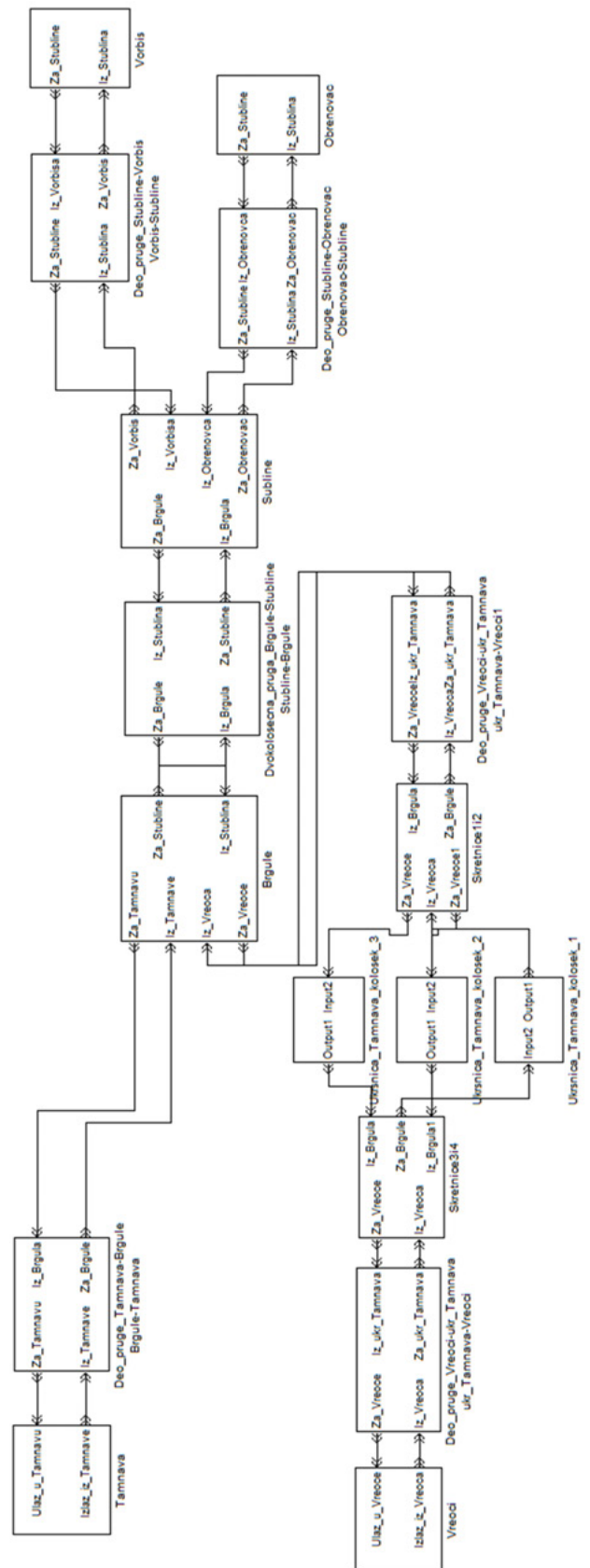
Da bi dobijeni rezultati bili što uverljiviji, neophodno je sprovesti značajan broj simulacija. Na kraju svake simulacije, obrađivani su podaci o ukupnom broju zaustavljenih vozova kao i o vremenu čekanja vozova u periodu od 24 sata.

##### Rezultati simulacije u slučaju saobraćaja vozova na jednokolosečnoj pruzi aktiviranjem ukrsnice Grabovac

U narednoj analizi biće dat grafički pregled rezultata na osnovu 50 ponovljenih simulacija. U svakoj od ovih 50 ponovljenih simulacija, kao izlazni red vožnje dobijali smo različite vrednosti vremena polazaka na osnovu različitih grupa slučajnih brojeva.

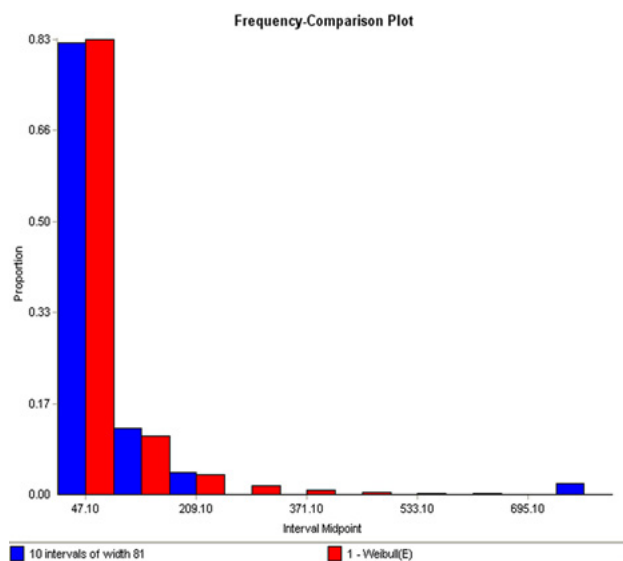


Slika 8. Model industrijske železnice „TENT“- postojeće stanje



Slika 9. Model saobraćaja vozova sa ukrsnicom Tamnava

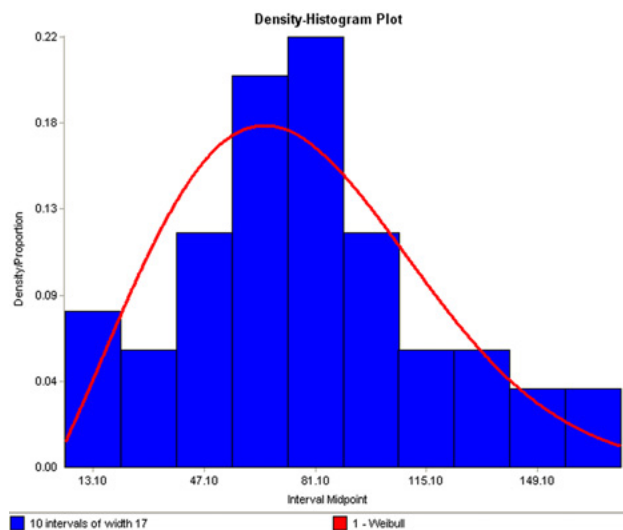
a) Čekanje vozova u Stublinama



Slika 10. Raspodela vremena zadržavanja vozova u podsistemu Stubline

Na slici 10., kao i na svim ostalim slikama koje će biti prikazane iza slike 10. plavom bojom označeni su rezultati koje smo dobili puštanjem simulacije u rad, dok su crvenom bojom predstavljene vrednosti odgovarajuće raspodele. Izlazni rezultati vozova koji čekaju u Stublinama, odgovaraju raspodeli Weibull(E)- a.

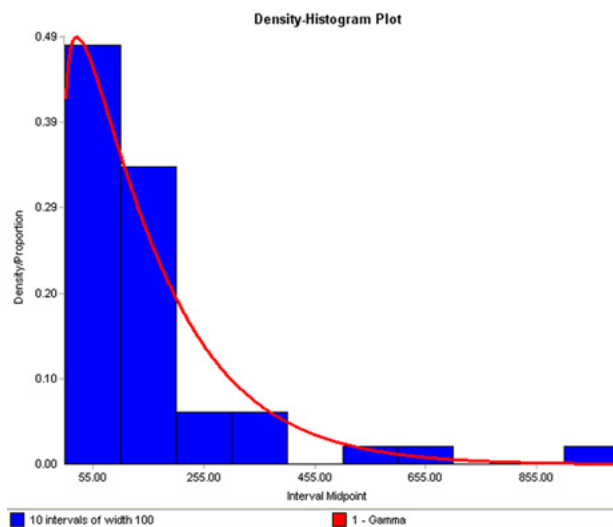
b) Čekanje na ukrštavanje (Grabovac-Stubline)



Slika 11. Raspodela vremena zadržavanja vozova zbog čekanja na ukrštavanje (Grabovac-Stubline)

Na slici 11. vidimo, izlazni rezultati vozova koji čekaju na ukrštavanje u ukrsnici Grabovac u smeru ka Stublinama, ponašaju se po raspodeli Weibull-a.

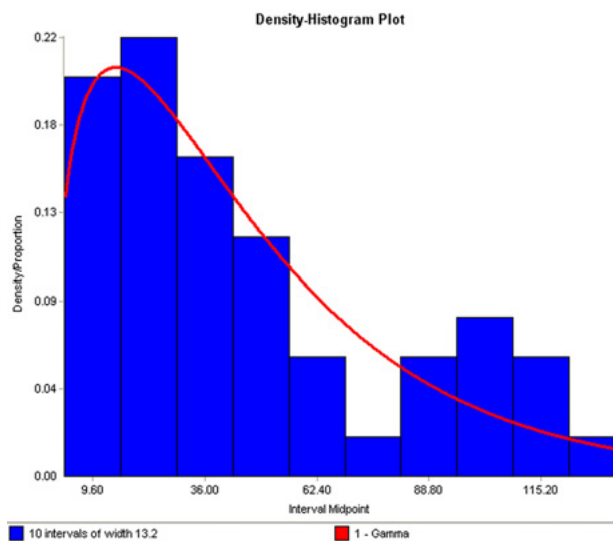
c) Čekanje na ukrštavanje (Stubline-Grabovac)



Slika 12. Raspodela vremena zadržavanja vozova zbog čekanja na ukrštavanje (Stubline-Grabovac)

Na slici 12. vidimo, izlazni rezultati vozova koji čekaju na ukrštavanje u Stublinama u smeru ka Grabovcu, ponašaju se po Gamma raspodeli.

d) Čekanje na ukrštavanje (Grabovac-Vorbis)

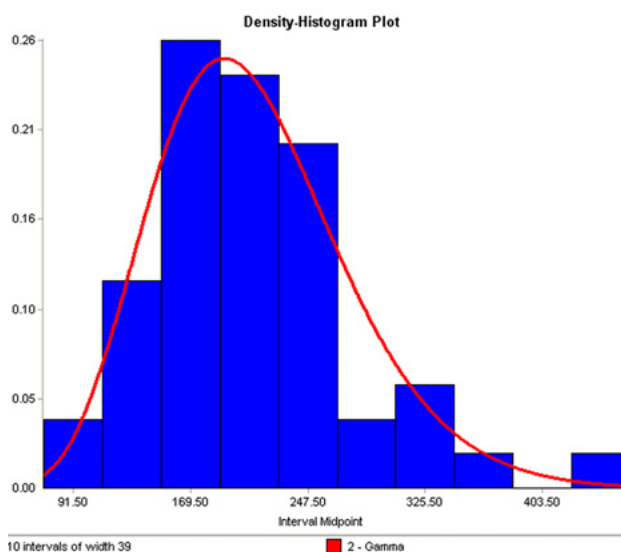


Slika 13. Raspodela vremena zadržavanja vozova zbog čekanja na ukrštavanje (Grabovac-Vorbis)

Na slici 13. vidimo, izlazni rezultati vozova koji čekaju na ukrštavanje u ukrsnici Grabovac u smeru ka Vorbisu, ponašaju se po Gamma raspodeli.



e) Čekanje u smeru (Stubline-Obrenovac)

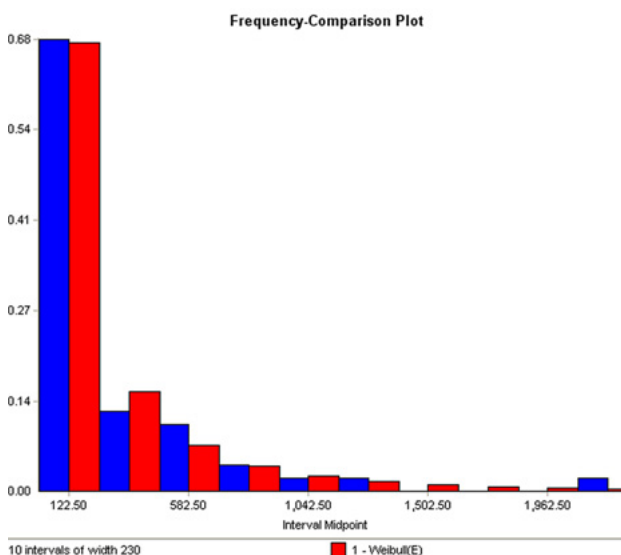


Slika 14. Raspodela vremena zadržavanja vozova u smeru (Stubline-Obrenovac)

Na slici 14. vidimo, izlazni rezultati vozova koji čekaju u Stublinama u smeru ka Obrenovcu, ponašaju se po Gamma raspodeli.

**Rezultati simulacije u slučaju saobraćaja vozova na dvokolosečnoj pruzi u staničnom razmaku u smeru Stubline-Vorbis i odjavnom razmaku u smeru Vorbis-Stubline**

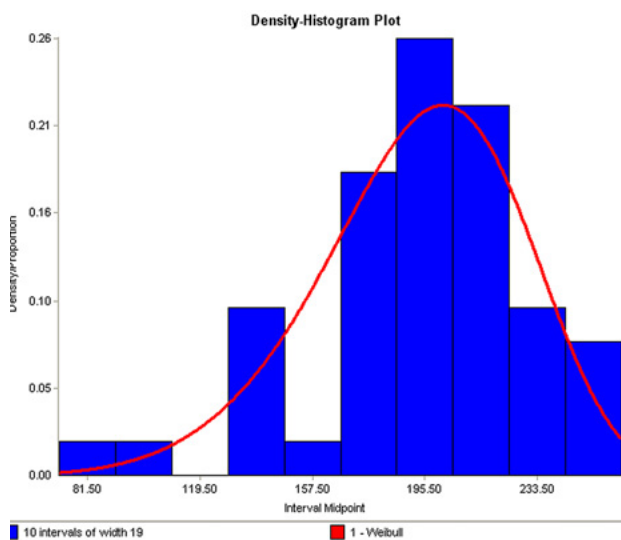
a) Čekanje vozova u Stublinama



Slika 15. Raspodela vremena zadržavanja vozova u podsistemu Stubline

Na slici 15. vidimo, izlazni rezultati vozova koji čekaju u Stublinama, ponašaju se po raspodeli Weibull(E)- a.

b) Čekanje u smeru (Stubline-Obrenovac)

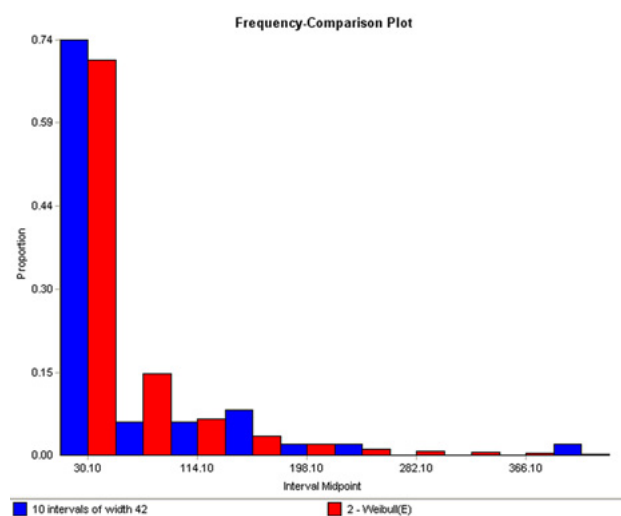


Slika 16. Raspodela vremena zadržavanja vozova u smeru (Stubline-Obrenovac)

Na slici 16. vidimo, izlazni rezultati vozova koji čekaju u Stublinama u smeru ka Obrenovcu, ponašaju se po raspodeli Weibull-a.

**Rezultati simulacije u slučaju saobraćaja vozova na dvokolosečnoj pruzi sa APB-om**

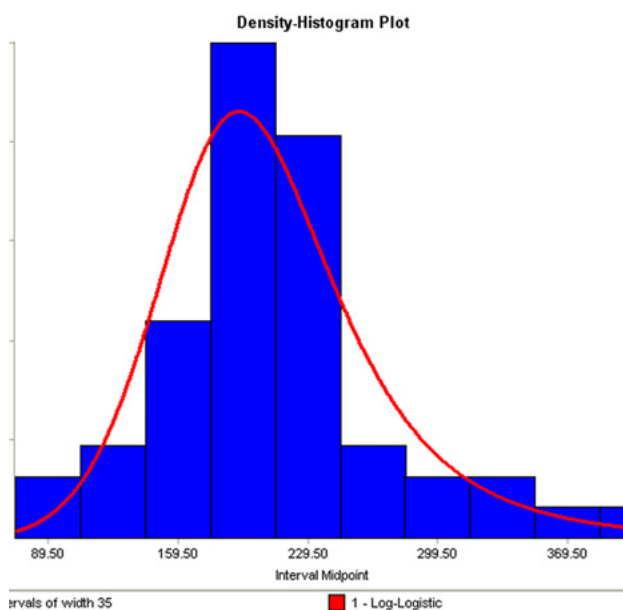
a) Čekanje vozova u Stublinama



Slika 17. Raspodela vremena zadržavanja vozova u podsistemu Stubline

Na slici 17. vidimo, izlazni rezultati vozova koji čekaju u Stublinama, ponašaju se po raspodeli Weibull(E)- a.

b) Čekanje u smeru (Stubline-Obrenovac)



Slika 18. Raspodela vremena zadržavanja vozova u smeru (Stubline-Obrenovac)

Na slici 18. vidimo, izlazni rezultati vozova koji čekaju u Stublinama u smeru ka Obrenovcu, ponašaju se po raspodeli *Log-Logistic*.

Čekanja vozova u Stublinama razlikuju se kod prethodna tri modela, zavisno od primenjene organizacije saobraćaja.

Najduža čekanja vozova u Stublinama su u slučaju jednokolosečnog saobraćaja aktiviranjem ukrsnice Grabovac, što je i bilo za očekivati. Međutim, interesantno je primetiti da vozovi u slučaju dvokolosečnog saobraćaja sa APB-om nešto duže čekaju od vozova kod načina organizacije saobraćaja sa istim brojem koloseka bez APB-a. Razlog za to je taj što model radi

Tabela 1. Prosečna vremena čekanja vozova na ukrštavanju u oba modela za 24 časa izražena u minutima

Model	u Stublinama ka Vorbisu	u Stublinama ka Obrenovcu	u Brgulama ka Tamnavi	u Brgulama ka Vreocima	u Vreocima ka Brgulama
bez ukrsnice Tamnava	5,2	3,2	0,3	9,5	2,6
sa ukrsnicom Tamnava	4,3	3,5	0,7	3,1	0

Tabela 2. Broj utovareni/istovarenih vozova u graničnim stanicama za 24 časa

Model	Vorbis	Obrenovac	Tamnava	Vreoci
bez ukrsnice Tamnava	28	36	40	24
sa ukrsnicom Tamnava	29	38	41	26

po principu čim se ukaže prilika, voz (entitet) se upućuje, čime nastaje veliki broj vozova koji ne odgovara realnom sistemu. To bi bio nedostatak ovih modela, jer u realnom sistemu, otpravnici vozova – TK dispečeri upućuju voz ka jednom od pravaca na osnovu nekoliko kriterijuma (potreba istovarnih mesta za ugljem sa određenog utovarnog mesta, broj termoblokova koji se nalazi u radu, saobraćajna situacija u stanicama upućivanja vozova, stanje deponija, plan dovoza uglja, itd.).

#### 4.2. Deterministički modeli

Ono što je karakteristično za ove modele je to da na početku rada simulacije nastaje određen broj entiteta u podsistemima Obrenovac, Vreoci, Vorbis i Tamnava, na način opisan u poglavlju 3. Vozovi nastali iz složenih entiteta kruže kroz model i na taj način formiraju deterministički red vožnje.

Prosečna vremena čekanja vozova u međustanicama Stubline i Brgule, kao i u utovarnoj stanici Vreoci prikazana su u tabeli 1. Na isti način za oba modela prikazan je i broj „obrađenih“ vozova u graničnim stanicama u periodu od 24 časa (tabela 2.).

Iz tabele 1. vidimo da se adaptacijom ukrsnice Tamnava prosečno vreme zadržavanja vozova smanjuje u stanici Brgule u smeru ka Vreocima, dok se u suprotnom smeru ono u potpunosti izgubilo. Smanjilo se i vreme čekanja vozova u Stublinama ka Vorbisu, ali se ne može tvrditi da je ono poledica adaptacije ukrsnice Tamnava, već je ono rezultat odgovarajuće raspodele vozova prema istovarnim stanicama.

Tabela 2. nam pokazuje za koliko bi se povećao broj vozova samo adaptacijom postojeće ukrsnice. Na dnevnom nivou taj broj bi bio tri utovarena i tri istovarena voza više. Ako bismo ovaj broj vozova posmatrali kao istovarenu količinu uglja na

termoelektranama, na dnevnom nivou bi bilo za oko 4500 tona uglja više, odnosno na mesečnom za oko 135.000 tona.

Ovde je važno pomenuti dve stvari. Prvo, u ovom radu nije razmatrana mogućnost aktuelne ideje da se ukrsnica Tamnava dvema skretnicama poveže sa stanicom Tamnava. U tom slučaju bi ovaj broj vozova svakako bio viši, ukoliko bi to dozvolila tehnološka vremena utovara i istovara vozova. Drugo, kao nedostatak razvijenih modela, treba pomenuti njihovu ograničenost u optimalnoj raspodeli vozova prema utovarnim odnosno istovarnim stanicama.

## 5. ZAKLJUČAK

Razvijeni modeli mogli bi da predstavljaju polaznu osnovu kod donošenja različitih odluka.

Njihova primena je dvojaka. Prva tri modela bi se mogla koristiti za strateške odluke, gde se simulacija koristi sa stohastičkim veličinama za analizu kapaciteta sistema, dok bi se druga dva modela mogla koristiti kod operativnog planiranja, gde se simulacioni model koristi za testiranje konkretnog determinističnog reda vožnje.

Kod prva tri modela razmatrali smo tri slučaja organizacije saobraćaja vozova. Najpre smo adaptirali ukrsnicu Grabovac, zatim smo kroz model predstavili dvokolosečnu prugu između stanica Stubline i Vorbis, iskoristivši postojeći kolosek kod ukrsnice Grabovac za smer Vorbis – Stubline, i na kraju smo u model implementirali uređaj APB. Rezultati simulacija su nam pokazali da se vreme čekanja u Stublinama smanjuje sa uvođenjem drugog koloseka, što je i očekivano. Raspodele vremena zadržavanja vozova prikazane su na mestima koji su „pogođeni“ promenama organizacije saobraćaja. Simulacija je ponavljana 50 puta, kako bi uzorak bio što reprezentativniji.

Kod druga dva modela analizirali smo kako rad industrijske železnice sa postojećim staničnim i pružnim kapacitetima, tako i sa adaptacijom ukrsnice Tamnava.

Adaptacijom ukrsnice Tamnava kao rezultat smo dobili smanjenje prosečnog zadržavanja vozova u stanici Brgule i povećanje broja tovarnih i praznih vozova.

Razvijeni modeli bi se mogli ili dalje usavršavati, ili bi se ideja na kojoj su oni zasnovani mogla preneti u drugi programski paket koji pruža mogućnost detaljnijih kako ulaznih, tako i izlaznih podataka. Kako bi rezultati bili još primenljiviji, neophodno bi bilo da se u modele uključi i višekriterijumsko odlučivanje kod izbora pravaca.

## LITERATURA

- [1] Pejić, M., Stanojević, M., Vesković, S., Milinković, S., *Simulacioni model za analizu varijantnih rešenja organizacije saobraćaja vozova na industrijskoj pruzi „TENT“*, SYMOPIS - 2010, Tara, Srbija, pp. 717-720.
- [2] Pejić, M., *Simulacioni model za analizu varijantnih rešenja organizacije saobraćaja vozova na industrijskoj pruzi „TENT“*, Završni rad, Saobraćajni fakultet, Beograd 2010.
- [3] Pejić, M., *Simulaciona analiza efekata izgradnje ukrsnice Tamnava na industrijskoj železnici „TENT“*, Master rad, Saobraćajni fakultet, Beograd 2013.
- [4] Marković, M., *Osnovi funkcionisanja železnice*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1998.
- [5] Čičak, M., Vesković, S., Mladenović, S., *Modeli za utvrđivanje kapaciteta železnice*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2002.
- [6] Čičak, M., *Modeliranje u železničkom saobraćaju*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2003.
- [7] Radenković, B., Stanojević, M., Marković, A., *Računarska simulacija*, Fakultet organizacionih nauka i Saobraćajni fakultet, Beograd, 2009.