

PRETHODNO SAOPŠTENJE

SLAVKO VESKOVIĆ*, SANJIN MILINKOVIĆ, MILORAD SARAVOLAC

PROGNOZA BROJA PUTNIKA U SISTEMU GRADSKE ŽELEZNICE PRIMENOM FUZZY LOGIKE

IFORECASTING THE NUMBER OF PASSENGERS IN THE CITY RAILWAY SYSTEM USING FUZZY LOGIC

Datum prijema rada: 11.2.2026. god.
Datum prihvatanja rada: 11.3.2026. god.
UDK: 656.2+519.8

REZIME:

Prevoz putnika železničkim sistemima u gradu, krajem prošlog i početkom ovog veka postao je trend u svetu, pa je tako i Beograd dobio svoj sistem 2010. godine nazvan BG voz. U ovom radu je rađeno na projektovanju modela koji na bazi fuzzy logike dolazi do broja putnika koji koriste ovaj vid prevoza. Definisanane su postavke modela, ključni parametri za prognozu, a na kraju razvijen je Fuzzy model za prognozu broja putnika po stanicama jedne linije gradske železnice. Treba naglasiti da je i fuzzy logika relativno nov način realizacije ovakvih projekata. Dakle, na osnovu unapred urađenih ispitivanja došlo se do konačnog izgleda modela i do rezultata koji su u zadovoljavajućim granicama preciznosti.

Ključne reči: gradska železnica, modeliranje železničkih sistema, Fuzzy logika, prognoza broja putnika.

SUMMARY:

Passenger transport by rail systems in the city at the turn of the century, became a trend in the world, and so the Belgrade got its system in 2010th named BG train. This project was done on the basis of fuzzy logic, and we managed to calculate number of passengers who use this form of transport. Model settings, key parameters for forecasting were defined, and finally a Fuzzy model was developed for forecasting the number of passengers per station of one city railway line. It should be noted that the fuzzy logic is a relatively new way of realization of such projects. Therefore, based on the pre-tests performed, we came to the final model and the results we got are within the required limits of precision.

Keywords: City railway, Raiway system Modelling, Fuzzy logic, Forecast of the number of passengers

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

1. UVOD

Nemogućnost da se sve aktivnosti smeste na istom urbanom prostoru, udaljavanje pojedinih aktivnosti paralelno sa porastom veličine gradova, kao i polarizacija aktivnosti, izazivaju povećanu potrebu za premeštanjem između mesta stanovanja, mesta rada, školovanja, snabdevanja, rekreacije i drugih aktivnosti [1].

Korisnike prevozne usluge nekog transportnog sistema ne interesuje tehnologija prevoza, nego kvalitet transportne usluge koji obezbeđuje odgovarajući vid prevoza i na taj način zadovoljava njihove zahteve i potrebe za putovanjem. Najveći značaj za korisnike imaju sledeći parametri [2]:

- kapacitet;
- brzina prevoza;
- pouzdanost;
- komfor;
- bezbednost;
- ekonomičnost.

Osnovni princip uspešne koncepcije moderne gradske železnice je adekvatna frekvencija polazaka. Da bi gradska železnica bila konkurentna u transportu putnika unutar gradskog tkiva, na kratkim ali najmasovnijim putovanjima, potrebno je da se obezbedi dovoljan broj garnitura kojima će se ostvariti veliki broj polazaka u toku dana, a naročito u vršnom času kada najveći broj stanovništva odlazi na posao ili u školu, tj. vraća se kući.

Na ove korisničke zahteve grad Beograd odgovorio je realizacijom projekta "Gradske železnice – BG voz novi gradski prevoz" od 2010. godine. Broj korisnika ovog vida prevoza svake se godine povećava, što pokazuju i redovna snimanja putnika. Korisnici se sve više odlučuju za ovaj vid prevoza pre svega zbog njegove brzine, pouzdanosti i frekvencije polazaka. Da bi ovaj sistem bio u potpunosti iskorišćen potrebno je raditi na njegovom daljem razvoju, a pre svega na nabavci novih elektromotornih garnitura [3].

2. PREVOZ PRIGRADSKIH I GRADSKIH PUTNIKA

Prevoz prigradskih i gradskih putnika karakteriše masovnost, odnosno prevoz velikog broja putnika

obično na kratkom rastojanju od 10 do 50 km od glavne stanice deonice.

Druga važna karakteristika prevoza prigradskih putnika je neravnomernost koja se javlja po sezonama, godini, mesecima, danima u nedelji i satima dana. Neravnomernost je u prvom redu uslovljena velikim brojem putnika, koji ujutro putuju na posao ili u školu, a posle podne se vraćaju kući. U dane odmora i praznika tok putnika ima obrnute tendencije. Koeficijent dnevne neravnomernosti kod velikih gradova može da se kreće u granicama od 1,5 do 2,5. Za pojedine deonice koje karakteriše veliki broj sezonskih vozova koeficijent mesečne neravnomernosti menja se u granicama od 1,3 do 1,8 [1]. Zbog toga je za prevoz celokupnog toka putnika neophodno obezbediti posebne uslove tehnologije rada na prigradskim linijama, zatim za sastavljanje adekvatnog reda vožnje prigradskih vozova, iskorišćenje i izbor tipa prevoznog sredstva. Neravnomernost raspodele prigradskih putničkih tokova u toku dana zahteva, osim toga, i odgovarajuću propusnu moć prigradskih linija, koja treba da obezbedi u časovima maksimalnog opterećenja prevoz celog toka prigradskih putnika.

Treća karakteristika prevoza prigradskih putnika je neravnomerna raspodela prigradskih tokova putnika u predelima prigradske deonice. Što je veća udaljenost od grada, po pravilu, gustina ovih tokova se smanjuje. U takvim uslovima u cilju što efikasnijeg iskorišćenja prevoznog sistema, drugih tehničkih sredstava i osoblja, kod velikih gradova često je celishodno organizovati saobraćaj prigradskih vozova po zonama. Deljenje prigradskih deonica na zone koje se opslužuju zonskim vozovima omogućava bolje iskorišćenje prigradskih garnitura kako po vremenu tako i po rastojanju saobraćaja od grada [1].

Jedna od važnih mera za ublažavanje ili odstranjivanje ovih nedostataka je racionalna koordinacija rada železničkog i drugih vidova saobraćaja (tramvaja, trolejbusa, autobusa i dr.) pri prevozu prigradskih putnika.

Jedan od najvažnijih uslova za što bolje opsluživanje putnika je minimizacija utroška vremena na čekanje voza i na sam prevoz. To zahteva prilično visoku frekvenciju saobraćaja vozova.

Važna karakteristika prigradskog saobraćaja je i ta da se na pojedinim linijama zahteva veoma često zaustavljanje ovih vozova. Rastojanje između zaustavljanja na bližim zonama iznosi 1,5 do 2 km, a na daljim od 3 do 4 km. To znatno snižava komercijalnu brzinu vozova.

Za dobru organizaciju prigradskog saobraćaja i brz prevoz putnika broj vozova po časovima dana i danima treba u potpunosti da odgovara obimu putničkih tokova, uzimajući pri tome u obzir neophodnu frekvenciju saobraćaja vozova. Osim toga, potrebno je obezbediti [4]:

- visoku čisto tehničku brzinu kretanja vozova,
- minimalno vreme za ubrzanje i usporavanje, što je važno pri čestim zaustavljanjima,
- kratko vreme zadržavanja pri zaustavljanju voza u stanicama na račun brzog izlaza i ulaza putnika, a to znači da na kolima mora biti dovoljan broj vrata i široki prolazi kroz kola.

Velika gustina saobraćaja zahteva na prigradskim linijama veliku propusnu moć. U nizu slučajeva na takvim linijama prigradski saobraćaj se odvaja od daljinskog i teretnog na posebne koloseke.

2.1. Organizacija saobraćaja na prigradskim i gradskim linijama

Tokovi putnika na prigradskim linijama znatno se smanjuju sa povećanjem rastojanja od glavne stanice. Najveći pad postiže se na stanicama u predelima gradova-satelita, industrijskih preduzeća, mesta rekreacije i odmora, velikih stambenih naselja. Na ostalim stanicama doći će do ulaza i izlaza putnika, ali u znatno manjim razmerama. To uslovljava organizaciju saobraćaja na prigradskim linijama po zonama. U tim slučajevima prigradski vozovi saobraćaju do određenih stanica deonice namenjenih za prevoz putnika do tih stanica ili njima najbližih. Te stanice na prigradskim deonicama nazivaju se zonskim odnosno krajnjim stanicama zone, a deo linije između glavne i zonske stanice, prigradskom zonom. Saobraćaj prigradskih vozova obavlja se na prigradskim zonama, a obrt na zonskim stanicama. Osnovni faktori koji utiču na dužinu prigradskih zona, a u vezi s tim i na lokaciju zonskih stanica, jesu [1]:

- udobnost opsluživanja prigradskih putnika, smanjenje vremena putovanja,

- postojanje tačaka masovnog ulaza i izlaza prigradskih putnika,
- obezbeđenje efikasnog iskorišćenja tehničkih sredstava prigradskih linija, a time i prigradskih garnitura,
- minimalni društveni troškovi za prevoz prigradskih putnika.

Vreme koje utroše putnici za putovanje sastoji se iz vremena čekanja voza i vremena prevoza. Što je veći intezitet saobraćaja prigradskih vozova time je manje vreme čekanja putnika na voz. Minimalno vreme čekanja na vozove biće ako postoji samo jedna zona. U takvim slučajevima svi vozovi staju na svim stanicama prigradske deonice. Utrošak vremena za putovanje zavisi od broja zona i tehničke i komercijalne brzine kretanja prigradskih vozova. Što je veći broj zona na deonici tim je manji utrošak vremena koje putnik provede u vozu. Obično se za zonske stanice uzimaju stanice nagle promene veličine toka putnika. U cilju izbora optimalnog broja zona u zavisnosti od karaktera prigradskih putničkih tokova za svaku varijantu određuju se sledeći pokazatelji [5, 6]:

- utrošak putnik časova zbog čekanja na voz,
- utrošak putnik časova pri prevozu vozom,
- obim voznih kilometara,
- izdaci za stabilna postrojenja (zonske stanice) i prevozni sastav,
- troškovi eksploatacije.

Kao rezultat upoređenja varijanata po navedenim pokazateljima dobija se optimalna varijanta podele deonice na zone. Jedan od najvažnijih pokazatelja visokog kvaliteta opsluživanja putnika u prigradskom saobraćaju je dovoljna frekvencija saobraćaja prigradskih vozova. Ovaj parametar direktno utiče na vreme čekanja putnika na putničke vozove. Pri velikom intezitetu putničkih tokova neophodno je obezbediti odgovarajuću frekvenciju saobraćaja, čak i pri znatnom broju mesta u sastavu.

2.2. Propusna moć i red vožnje za prigradske i gradske vozove

Propusna i prevozna moć prigradskih linija uglavnom zavisi od njihove tehničke opremljenosti. Stvarni uticaj na propusnu i prevoznu moć ovih linija imaju vrsta vuče, tip prevoznog sastava, broj

mesta u vozu, a na potrebnu prevoznu moć takođe utiče i intezitet prigradskih putničkih tokova [7].

Važni elementi tehničke opremljenosti prigradskih linija su sredstva veze, signalno-sigurnosnih postrojenja i centralizacije, razmeštaj signala na prigradskim linijama, radio-veza i automatski sistemi upravljanja kretanjem vozova i stepen razvoja glavnih i zonskih stanica. Podaci o ovim postrojenjima neophodni su za proračun intervala sleđenja i staničnih intervala. Osim toga, kao proračunski normativi neophodni su masa i srednja čisto tehnička brzina kretanja prigradskih vozova, dozvoljena brzina zavisno od plana i profila koloseka, gornjeg stroja, skretnica i prevoznog sastava.

Na propusnu moć prigradske linije znatan uticaj ima vreme zadržavanja prigradskih vozova u stanicama, zatim broj vrata na kolima, visina perona i broj putnika koji izlaze i ulaze po stanicama. Propusnu i prevoznu moć prigradskih linija moguće je povećati u uslovima tekuće eksploatacije ili za perspektivu. U uslovima tekuće eksploatacije ovaj zadatak se rešava na račun smanjenja intervala sleđenja smanjivanjem proračunskog rastojanja, ukoliko je to moguće.

Druge mere za povećanje propusne i prevozne moći prigradske linije su povećanje mase i brzine ovih vozova. Povećanjem srednje čisto tehničke brzine smanjuje se interval sleđenja, a to znači povećava se propusna i prevozna moć linije. Kod lokomotivske vuče povećanje mase i brzine može se ostvariti uvođenjem zaprežne, odnosno potiskujuće lokomotive. Pri motornoj vuči vučna snaga može se povećati povećanjem broja motornih kola, a time i srednje čisto tehničke brzine kretanja prigradskih vozova.

Povećanje propusne moći prigradskih linija moguće je ostvariti primenom paralelnog grafikona saobraćaja vozova umesto komercijalnog, zatim prebacivanjem saobraćaja dela vozova drugih kategorija u noćne časove, tj. kada ne saobraćaju prigradski vozovi, racionalnom namenom glavnih koloseka i dr. Da bi se povećala propusna moć prigradskih linija do željenih razmera, u nizu slučajeva treba ostvariti neku od rekonstruktivnih mera. Mnoge od tih mera usmerenu su na smanjenje intervala sleđenja. Povećanje brzine kretanja prigradskih

vozova u svim slučajevima daje mogućnost da se smanji interval sleđenja. Povećanje brzine kretanja prigradskih vozova je najvažniji problem poboljšanja kvaliteta opsluživanja prigradskih putnika. Smanjenje intervala sleđenja moguće je postići i na račun smanjenja vremena zadržavanja vozova na stanicama zbog ulaza i izlaza putnika. Ovo vreme u znatnoj meri zavisi od tipa kola, broja vrata na njima i visine perona. Kod novih linija celishodno je graditi visoke perone u stanicama, čime se stvaraju posebne udobnosti za putnike i smanjuje interval sleđenja vozova.

Trenutna situacija mobilnosti stalno se menja kako se ljudi sve više sele u urbana područja. Stoga je neophodan fleksibilan način prevoza sa putničkim vozovima velikog kapaciteta i visokim stepenom modularnosti u sastavu vozova. Virtuelno spajanje (eng. Virtual coupling - VC) je obećavajuće rešenje za ovaj problem jer značajno povećava kapacitet pruge i pruža fleksibilniji način rada od konvencionalnih sistema signalizacije [8]. Ovaj novi pregled, u kojem je analizirano približno 200 radova, identifikuje glavne teme trenutnih istraživanja VC vezanih za železnicu i predstavlja prvi korak ka implementaciji VC u budućim železnicama. Utvrđeno je da su se istraživanja u industriji uglavnom fokusirala na izvodljivost implementacije i rada VC, dok su se istraživanja u akademskim krugovima, koja su koordinisana sa industrijom, fokusirala na sisteme upravljanja i komunikacije. Sa tehnološke perspektive, glavni izazovi za VC identifikovani su u vezi sa aspektima kao što su bezbednost, tehnologija upravljanja, blokade, komunikacija između vozila, kooperativna zaštita i upravljanje vozovima i integrisano upravljanje saobraćajem. Važni pravci za buduća istraživanja koji su identifikovani za buduću razvoj uključuju kompletne dinamičke modele, kontrolere u realnom vremenu, pouzdanu i bezbednu komunikaciju, različite komunikacione topologije, sajber bezbednost, inteligentno upravljanje, učenje pojačanjem i analitiku velikih podataka (Big Data).

3. GRADSKE ŽELEZNICE - BG VOZ

U cilju pružanja bolje usluge javnog gradskog prevoza u Beogradu, a po ugledu na druge evropske gradove, grad Beograd je, u saradnji sa JP "Železnice Srbije" realizovao projekat "Gradske železnice – BG

voz, novi gradski prevoz" [9], što predstavlja nado-granju na raniji koncept gradske železnice, tada, ŽTP-a Beograd BEOVOZ, koji je počeo da funkcioniše još davne 1980 godine.

BG voz je sistem gradske železnice u Beogradu koja funkcioniše u okviru integrisanog tarifnog sistema i deo je integrisanog sistema gradskog prvoza putnika. Ovaj tip javnog prevoza počeo je da funkcioniše 1. Septembra 2010. godine na relaciji Novi Beograd – Pančevački most, a 15. aprila 2011. godine linija je produžena do Batajnica. Kasnije je linija produžena do stanice Ovča. Putovanje od prve do poslednje stanice traje 48 minuta.

Radno vreme linije Batajnica – Ovča je od 3.45 do 21.00 čas svakodnevno, sa planiranim intervalom sleđenja kompozicija od:

- 15 minuta radnim danom u periodima vršnih opterećenja tj. od 6.00 – 9.00 i od 14.00 – 18.00 časova;
- 30 minuta radnim danom u periodima vanvršnog opterećenja;
- 30 minuta subotom u periodu od 6.00 do 12.00 časova, a 60 minuta subotom tokom ostalog perioda dana;
- 60 minuta celodnevno nedeljom i državnim praznikom [9].

3.1. Osnovne karakteristike i klasifikacija posmatranog sistema

Transportni sistemi su sistemi organizovani sa zadatkom da zadovolje transportne potrebe. Javni gradski transportni sistem je transportni sistem iz grupe organizacijsko-tehnoloških, složenih, otvorenih sistema sa stohastičkom promenom stanja. Osnovne karakteristike sistema javnog transporta putnika kao transportnog sistema su:

- ciljevi i ciljna funkcija;
- struktura;
- funkcionisanje;
- upravljanje i
- druge karakteristike.

Elementi sistema transporta putnika su vozila, saobraćajnice, terminali, energija i organizacija i upravljanje. Vozila koja se koriste na liniji BG-voza su elektromotorne garniture 412/416. Saobraćajnica

je dvokolosečna pruga na deonici Batajnica - Ovča i na toj deonici postoji 15 terminala, odnosno stanica i stajališta. To su Batajnica – Kamendin stajalište – Zemunsko polje – Altina stajalište – Zemun - Tošin bunar stajalište – Novi Beograd – Beograd centar – Karađorđev park – Vukov spomenik – Pančevački most – Krnjača most – Krnjača ukrasnica – Sebeš stajalište – Ovča. Energija koja se koristi za pokretanje garnitura je električna a organizacija i upravljanje se odvija preko telekomande na stanicama "Beograd Ranžirna" i "Beograd centar" i preko APB-a na stanicama koje ih poseduju i koje su posednute osobljem.

Osnovni element transportne mreže je linija JGTP (javni gradski transport putnika). Linija JGTP je deo transportne mreže na kome se transport putnika obavlja prema unapred poznatim uslovima u prostoru i vremenu. Osnovni elementi linije su:

- statički elementi (elementi strukture) i
- dinamički elementi (elementi funkcionisanja).

Statički elementi predstavljaju one elemente linije koji se ne menjaju u određenom dužem periodu a to je trasa, terminusi, stajališta, međustanična rastojanja i dužina linije. Deonica pruge od stanice Batajnica do stanice Ovča dugačka je 31 km i ona predstavlja trasu ove linije. Terminusi su krajnje stanice na liniji na kojima vozila menjaju smer kretanja i to su u ovom slučaju stanice Batajnica i Ovča.

Dinamički elementi predstavljaju one elemente linije čijom se promenom u skladu sa spoljnim kriterijumima postiže optimalno funkcionisanje linije. To su broj vozila i kapacitet vozila. Na liniji BG-voza dnevno saobraća 105 vozova a to se postiže sa 9 elektromotornih garnitura. Njihov kapacitet je 672 putnika po vozilu gde je 308 za sedenje i 364 za stajanje [11].

Radno vreme linije je od 3.44 do 20.48 časova, svakodnevno, sa planiranim intervalom sleđenja: od 15 minuta u špicu (od 6 do 10 i od 14 do 18 časova) i od 30 minuta van špica. Red vožnje BG-voza za 2026. godinu prikazan je na slikama 1. i 2. Ukupna dužina linije je 62 km a vreme za koje se ta razdaljina pređe jednom garniturom je 96 minuta u oba smera [11].

БГ:803	БАТАЈНИЦА - ОВЧА																												
Број воза→	7901	7101	8001	8003	8201	8005	8007	8009	8011	8013	8015	8203	8017	8019	8021	8023	8025	8027	8029	8031	7113	8033	8035	7905	8037	8039	8041	8043	8045
↓Станица																													
Батајница			6.00	6.30		7.10	7.30	8.00	8.30	8.57	9.30		10.10	11.20	12.00	13.20	14.00	14.30	15.10	15.30		16.00	16.30		17.10	17.30	18.30	19.10	20.00
Каменица стајалиште			6.04	6.34		7.14	7.34	8.04	8.34	9.01	9.34		10.14	11.24	12.04	13.24	14.04	14.34	15.14	15.34		16.04	16.34		17.14	17.34	18.34	19.14	20.04
Земунско поље			6.06	6.36		7.16	7.36	8.06	8.36	9.03	9.36		10.16	11.26	12.06	13.26	14.06	14.36	15.16	15.36		16.06	16.36		17.16	17.36	18.36	19.16	20.06
Алтина стајалиште			6.08	6.38		7.18	7.38	8.08	8.38	9.05	9.38		10.18	11.28	12.08	13.28	14.08	14.38	15.18	15.38		16.08	16.38		17.18	17.38	18.38	19.18	20.08
Земун	3.44	4.10	6.12	6.42	7.15	7.22	7.42	8.12	8.42	9.18	9.42	9.47	10.22	11.32	12.12	13.32	14.12	14.42	15.22	15.42	16.16	16.12	16.42	16.37	17.22	17.42	18.42	19.22	20.12
Тошин бунар стај.	3.47	4.13	6.16	6.46	7.18	7.26	7.46	8.16	8.46	9.22	9.46	9.50	10.26	11.36	12.16	13.36	14.16	14.46	15.26	15.46	16.20	16.16	16.46	16.40	17.26	17.46	18.46	19.26	20.16
Нови Београд	3.49	4.15	6.19	6.49	7.21	7.29	7.49	8.19	8.49	9.25	9.49	9.53	10.29	11.39	12.19	13.39	14.19	14.49	15.29	15.49	16.23	16.19	16.49	16.43	17.29	17.49	18.49	19.29	20.19
Београд Центар	3.52	4.18	6.22	6.52	7.24	7.32	7.52	8.22	8.52	9.28	9.52	9.56	10.32	11.42	12.22	13.42	14.22	14.52	15.32	15.52	16.26	16.22	16.52	16.46	17.32	17.52	18.52	19.32	20.22
Београд Центар	3.54	4.20	6.23	6.53	7.24	7.33	7.53	8.23	8.53	9.29	9.53	9.57	10.33	11.43	12.23	13.43	14.23	14.53	15.33	15.53	16.27	16.23	16.53	16.47	17.33	17.53	18.53	19.33	20.23
Карађорђеви парк			6.27	6.57	7.37	7.57	8.27	8.57	9.33	9.57		10.37	11.47	12.27	13.47	14.27	14.57	15.37	15.57		16.27	16.57		17.37	17.57	18.57	19.37	20.27	
Вуков споменик			6.31	7.01		7.41	8.01	8.31	9.01	9.37	10.01		10.41	11.51	12.31	13.51	14.31	15.01	15.41	16.01		16.31	17.01		17.41	18.01	19.01	19.41	20.31
Панчевачки мост			6.35	7.05		7.45	8.05	8.35	9.05	9.41	10.05		10.45	11.55	12.35	13.55	14.35	15.05	15.45	16.05		16.35	17.05		17.45	18.05	19.05	19.45	20.35
Крњача мост			6.39	7.09		7.49	8.09	8.39	9.09	9.45	10.09		10.49	11.59	12.39	13.59	14.39	15.09	15.49	16.09		16.39	17.09		17.49	18.09	19.09	19.49	20.39
Крњача укр.			6.42	7.12		7.52	8.12	8.42	9.12	9.48	10.12		10.52	12.02	12.42	14.02	14.42	15.12	15.52	16.12		16.42	17.12		17.52	18.12	19.12	19.52	20.42
Себеш стај.			6.45	7.15		7.55	8.15	8.45	9.15	9.51	10.15		10.55	12.05	12.45	14.05	14.45	15.15	15.55	16.15		16.45	17.15		17.55	18.15	19.15	19.55	20.45
Овча			6.48	7.18		7.58	8.18	8.48	9.18	9.54	10.18		10.58	12.08	12.48	14.08	14.48	15.18	15.58	16.18		16.48	17.18		17.58	18.18	19.18	19.58	20.48
ЗА	Видеокамера	Лидар											Ресик								Лидар				Мозинаца				

Slika 1. – Red vožnje Bg-voza Batajnica – Ovča [11]

БГ:803		ОВЧА - БАТАЈНИЦА																																			
Број воза→		8000	7900	8002	8004	8006	8008	8010	8012	8200	8014	8016	8310	8018	8020	8022	8024	8026	7108	8028	8030	8032	7110	8034	8036	8038	8040	8042	8202	8044	7114	8046	8048	7116	8204	8050	8340
↓Станица	ИЗ	Возачки								Ресни								Пазарски				Ресни				Пазарски				Ресни							
Овча	5.40	6.10	6.40	7.10	7.40	8.10	8.40				9.10	9.50	10.00	10.50	11.20	12.10	13.10	13.50		14.40	15.10	15.40		16.20	16.40	17.10	17.50	18.40		19.10		19.40	20.20		21.10	22.35	
Себеш стај.	5.44	6.14	6.44	7.14	7.44	8.14	8.44				9.14	9.54	10.04	10.54	11.24	12.14	13.14	13.54		14.44	15.14	15.44		16.24	16.44	17.14	17.54	18.44		19.14		19.44	20.24		21.14	22.39	
Крњача укр.	5.48	6.18	6.48	7.18	7.48	8.18	8.48				9.18	9.58	10.08	10.58	11.28	12.18	13.18	13.58		14.48	15.18	15.48		16.28	16.48	17.18	17.58	18.48		19.18		19.48	20.28		21.18	22.43	
Крњача мост	5.50	6.20	6.50	7.20	7.50	8.20	8.50				9.20	10.00	10.10	11.00	11.30	12.20	13.20	14.00		14.50	15.20	15.50		16.30	16.50	17.20	18.00	18.50		19.20		19.50	20.30		21.20	22.45	
Панчевачки мост	5.56	6.26	6.56	7.26	7.56	8.26	8.56				9.26	10.06	10.16	11.06	11.36	12.26	13.26	14.06		14.56	15.26	15.56		16.36	16.56	17.26	18.06	18.56		19.26		19.56	20.36		21.26	22.51	
Вуков споменик	5.59	6.29	6.59	7.29	7.59	8.29	8.59				9.29	10.09	10.19	11.09	11.39	12.29	13.29	14.09		14.59	15.29	15.59		16.39	16.59	17.29	18.09	18.59		19.29		19.59	20.39		21.29	22.54	
Карађорђеви парк	6.03	6.33	7.03	7.33	8.03	8.33	9.03				9.33	10.13	10.21	11.13	11.43	12.33	13.33	14.13		15.03	15.33	16.03		16.43	17.03	17.33	18.13	19.03		19.33		20.03	20.43		21.33	22.58	
Београд Центар	6.05	6.23	6.35	7.05	7.35	8.05	8.35	9.05	9.12	9.35	10.15	10.23	11.15	11.45	12.35	13.35	14.15	15.09	15.05	15.35	16.05	15.40	16.45	17.05	17.35	18.15	19.05	19.17	19.35	20.09	20.05	20.45	21.47	21.47	21.35	23.00	
Београд Центар	6.06	6.25	6.36	7.06	7.36	8.06	8.36	9.06	9.13	9.36	10.16		11.16	11.46	12.36	13.36	14.16	15.10	15.06	15.36	16.06	15.41	16.46	17.06	17.36	18.16	19.06	19.18	19.36	20.10	20.06	20.46	21.48	21.48	21.36	23.01	
Нови Београд	6.10	6.28	6.40	7.10	7.40	8.10	8.40	9.10	9.17	9.40	10.20		11.20	11.50	12.40	13.40	14.20	15.14	15.10	15.40	16.10	15.45	16.50	17.10	17.40	18.20	19.10	19.22	19.40	20.14	20.10	20.50	21.52	21.52	21.40	23.05	
Тошин бунар стај.	6.13	6.31	6.43	7.13	7.43	8.13	8.43	9.13	9.20	9.43	10.23		11.23	11.53	12.43	13.43	14.23	15.17	15.13	15.43	16.13	15.48	16.53	17.13	17.43	18.23	19.13	19.25	19.43	20.17	20.13	20.53	21.55	21.55	21.43	23.08	
Земун	6.17	6.34	6.47	7.17	7.47	8.17	8.47	9.17	9.23	9.47	10.27		11.27	11.56	12.47	13.47	14.27	15.20	15.17	15.47	16.17	15.51	16.57	17.17	17.47	18.27	19.16	19.28	19.47	20.20	20.17	20.57	21.58	21.58	21.47	23.11	
Алтина стајалиште	6.20		6.50	7.20	7.50	8.20	8.50	9.20			9.50	10.30		11.30		12.50	13.50	14.30		15.20	15.50	16.20		17.00	17.20	17.50	18.30			19.50		20.20	21.00		21.50		
Земунско поље	6.22		6.52	7.22	7.52	8.22	8.52	9.22			9.52	10.32		11.32		12.52	13.52	14.32		15.22	15.52	16.22		17.02	17.22	17.52	18.32			19.52		20.22	21.02		21.52		
Каменица стајалиште	6.24		6.54	7.24	7.54	8.24	8.54	9.24			9.54	10.34		11.34		12.54	13.54	14.34		15.24	15.54	16.24		17.04	17.24	17.54	18.34			19.54		20.24	21.04		21.54		
Батајница	6.28		6.58	7.28	7.58	8.28	8.58	9.28			9.58	10.38		11.38		12.58	13.58	14.38		15.28	15.58	16.28		17.08	17.28	17.58	18.38			19.58		20.28	21.08		21.58		

Slika 2. – Red vožnje Bg-voza Ovča – Batajnica [11]

Svi elementi linije:

- $L_{b-o} = 31$ km (Rastojnje od stanice "Batajnica" do stanice "Ovča" Napomena: rastojanje od stanice "Batajnica" do stanice "Ovča" jednako je u oba smera);
- $T_{b-o}^o = 120$ min (Vreme obrta na liniji Batajnica - Ovča. Napomena: Dobijeno je aritmetičkom sredinom obrta u toku dana);
- $V_o = 2 L_{b-o} / T_{b-o}^o = 2 * 31 * 60 / 120 = 31$ km/h (Srednja realizovana brzina obrta vozila na liniji u toku dana);
- $m = 672$ put/voz (Kapacitet vozila. Napomena: 308 mesta za sedenje i 364 za stajanje);
- $N = 9$ voz (Broj vozila na liniji u toku dana);
- $c_{max} = 2688$ putnik/h (Maksimalni kapacitet linije. Napomena 4 vozila na intervalu od 15 min.);

- $f = c = N * 60 / T_{b-o}^o = 9 * 60 / 120 = 4,5$ voz/h (Radni kapacitet linije);
- $i_{b-o} = T_{b-o}^o / N$ (Interval sleđenja);
- $VKM = c * L_{b-o} = 4,5 * 31 = 139,5$ vozkm/h (Rad izražen u voznim kilometrima na čas).

3.2. Tehničko-eksploatacione karakteristike vozila

Za razliku od lokomotivske vuče vozova, sa jednim vučnim vozilom na čelu kompozicije, elektromotorni vozovi (EMV) čine kompoziciju sa većim brojem motornih osovinskih slogova složenih u motorna kola, koja su pored uloge vučnog vozila istovremeno i kola za prevoz putnika. Međutim, na ova vučna vozila ne može se računati u nekom

slobodno formiranom sastavu voza, već su ona deo obaveznog sastava u kome je broj motornih kola i prikolica, kao i njihov međusobni raspored unapred određen. Samohodna i nezavisna elektromotorna kola za prevoz putnika danas su sve ređa.

Izuzetak čine rešenja motornih kola u sastavu EMV za velike brzine, kod kojih se zbog velike instalisane vučne snage jedan deo opreme ugrađuje i nadpatosno u izdvojenom mašinskom prostoru. Prema nameni i eksploatacionim uslovima razlikuju se:

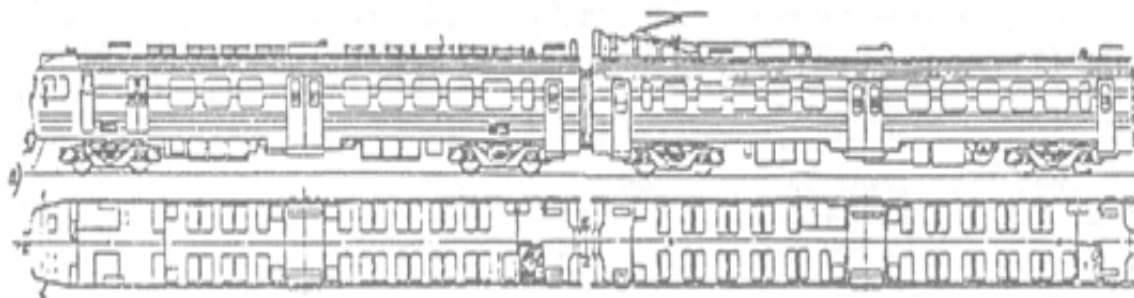
- EMV za gradski i prigradski železnički saobraćaj i
- EMV za saobraćaj na magistralnim pravcima.

Prigradski železnički saobraćaj u velikim gradovima čini sistem javnog masovnog prevoza, sa posebnim zahtevima u odnosu na tehničko-eks-

ploatacione karakteristike voznih sredstava. EMV za magistralne pruge namenjeni su za drugačije eksploatacione uslove pa se i njihove tehničko-eksploatacione karakteristike značajno razlikuju od onih za prigradski saobraćaj. Razlike se ogledaju u komforu, enterijeru, zahtevima za većim brzinama, primeni većeg broja kočnica itd.

3.3. Elektromotorni voz 412/416

BG voz još uvek koristi elektromotorne garniture serije 412/416 [10]. U osnovnom sastavu su M+P+P+M. Jedna motorna kola i jedna prikolica čine sekciju (slika 3). Vozom može da se upravlja iz jedne ili druge sekcije iz upravljačnice motornih kola. Dve sekcije elektromotornog voza spojene su zadnjim delovima svojih prikolica. U kompoziciji se mogu nalaziti do tri osnovna sastava. (slika 4).



Slika 3. - Sekcija elektromotornog voza (motorna kola+prikolica) [10]



Slika 4 - Broj osnovnih sastava u kompoziciji elektromotornog voza [10]

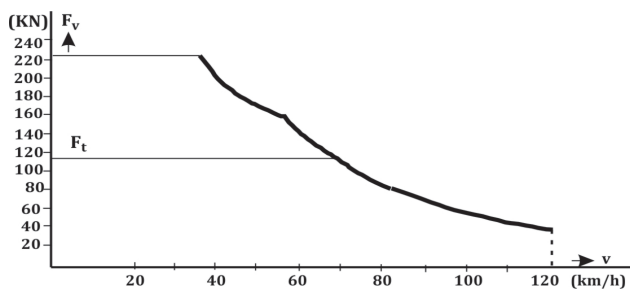
Kapacitet garniture, tj ukupan broj mesta je 598, od čega je 294 sedišta. Nakon remontovanja garnitura za Bg voz, ukupan broj mesta je povećan na 672 (308 za sedenje i 364 za stajanje).

Prema vučnom pasošu na slici 5., maksimalna vučna sila je 225 kN, kritična brzina je 38 km/h, a maksimalna brzina je 120 km/h (95 km/h). U tabeli 1 prikazane su glavne tehničke karakteristike

elektromotorne garniture 412/416.

Tabela 1. Pregled glavnih tehničkih karakteristika elektromotornoe garniture 412/416 [10]

412/416	S a s t a v: M + P +P M		
	Garnitura	Pojedinačna kola	
		412	416
Raspored osovina	Bo'Bo' + 2'2' + 2'2' + Bo'Bo'		
Dužina [mm]	102160	25540	25080
Širina sanduka [mm]	2810		
Broj izlaznih vrata (po strani)	10	2	3
Širina vrata [mm]	755, 1510	755, 1510	755, 1510, 755
Sopstvena masa [t]	217,2	60,1	48,5
Masa u službi [t]	258,0	68,9	60,0
Masa po osovini [t/os]	18	18	16
Srednji prečnik točka [mm]	1010		
Srednje ubrzanje voza [m/s^2]	0,7		
Broj mesta za sedenje	294 + 8	66 + 2	81 + 2
Broj mesta za stajanje	296	62	86
Ukupan broj mesta	590 + 8	128 + 2	167 + 2
Maksimalna brzina [km/h]	120		



Slika 5. – Vučni pasoš elektromotornu garnituru 412/416 [10]

Treba napomenuti da je navedena garnitura u upotrebi već preko četrdeset godina. Na slikama 6. i 7. prikazan je spoljni i unutrašnji izgled elektromotornih garnitura Bg-voza nakon izvršenog generalnog remonta.

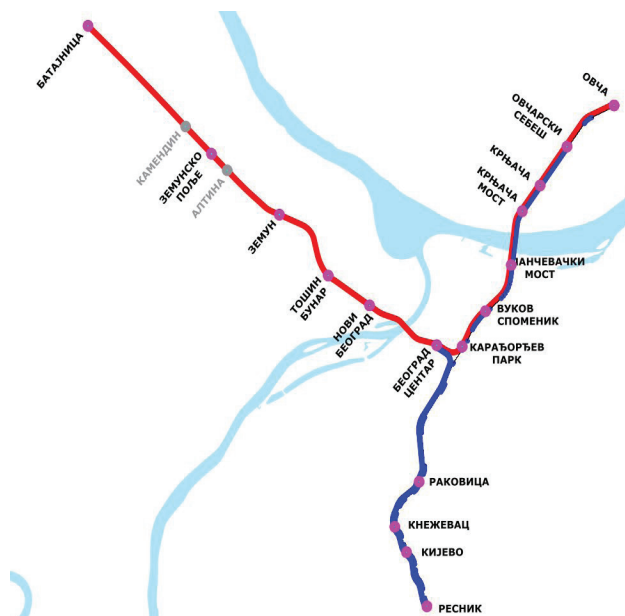


Slika 6. - Spoljni izgled garniture 412/416



3.4. Stanice / Stajališta BG voza

Na trasi od Ovče do Batajnice ima 15 stanica / stajališta (slika 8.) i to su sledeće stanice i stajališta: Ovča, Sebeš, Krnjača, Krnjača most, Pančevački most, Vukov spomenik, Karađorđev park, Beograd centar, Novi Beograd, Tošin bunar, Zemun, Altina, Zemunsko polje, Kamendin, Batajnica.



Slika 8. - Mapa linija BG VOZ-a sa stajalištima

Vremena vožnje po deonicama, odnosno međustaničnim rasejanjima od naselja Batajnica do naselja Ovča izražena u minutima predstavljena su u tabeli 2.

Tabela 2. Vremena vožnje po deonicama na liniji Batajnica - Ovča

	Zemunsko polje	Zemun	Tošin bunar	Novi Beograd	Beograd centar	Karađorđev park	Vukov spomenik	Pančevački most	Ovča
Batajnica	6	12	16	19	22	27	31	35	48
Zemunsko polje		6	10	13	16	21	25	29	42
Zemun			4	7	10	15	19	23	36
Tošin Bunar				3	6	11	15	19	32
Novi Beograd					3	8	12	16	29
Beograd centar						5	9	13	26
Karađorđev Park							4	8	21
Vukov spomenik								4	14

4. MATEMATIČKI ALATI I TEHNIKE KOJE SE KORISTE ZA REŠAVANJE PROBLEMA U SAOBRAĆAJU I TRANSPORTU

Matematički alati i tehnike koje se primenjuju za rešavanje saobraćajnih problema brojni su i raznovrsni. Za određene oblike neizvesnosti i nepreciznosti, nedovoljnog broja podataka koristi se teorija verovatnoće i testiranje hipoteza, teorija slučajnih procesa, teorija mogućih događaja. Za veliki broj problema sa elementima neizvesnosti, novi pristup zasniva se na primeni fuzzy skupova,

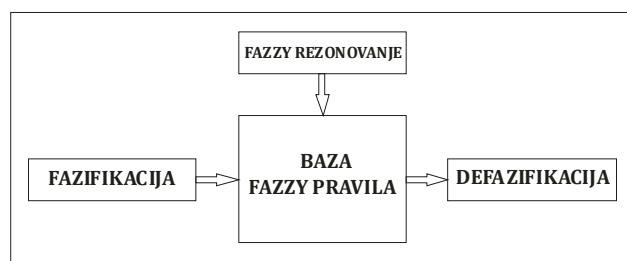
fuzzy mešovite tehnike, ka i na neuronskim mrežama i genetskim algoritmima [4, 12, 13, 14 i 15].

4.1. Fuzzy logika

Teorija fuzzy skupova predstavlja pogodan matematički aparat za tretiranje nezavisnosti, višeznačnosti, subjektivnosti i neodređenosti. Procesi planiranja saobraćaja povezani su sa donošenjem određenih odluka. U zavisnosti od konteksta problema osnovne ulazne podatke neophodne za donošenje odluke predstavljaju vreme putovanja,

cena putovanja, broj putnika, frekvencije, vreme na čekanja na opslugu, transporti troškovi itd. U određenim slučajevima raspoložemo veoma preciznim ulaznim podacima i tada se uz pretpostavku postojanja adekvatnog modela mogu očekivati zadovoljavajuća rešenja koja podstiču iz određene odluke. S druge strane veoma često ne posedujemo dovoljno precizne ulazne podatke i u takvim slučajevima primenjuje se teorija fuzzy skupova [16].

Prilikom planiranja saobraćaja, broja vozova u železničkom preduzeću na nekim linijama, osnovne ulazne podatke za izradu plana predstavljaju brojevi putnika na tim linijama u narednih desetak godina. Najčešće, usled postojanja niza socio-ekonomskih faktora koji utiču na generisanje putovanja, nismo u stanju da sa potpunom izvesnošću odredimo broj putnika na pojedinim linijama saobraćanja vozova. Ovo pokazuje na to da često postoji neizvesnost u pogledu ulaznih podataka neophodnih za donošenje određenih odluka. Takođe, u određenim situacijama, odluka se donosi na osnovu iskustva, intuicije i subjektivne procene određenih parametara od strane donosioca odluke. Čitav niz sličnih saobraćajnih parametara okarakterisan je neizvesnošću, subjektivnošću, nepreciznošću i višeznačnošću. Samim tim u fazi matematičkog modeliranja saobraćajnih procesa čiji su pojedini parametri nedovoljno izvesni, neodređeni ili subjektivno procenjeni, neophodno je koristiti matematičke modele koji mogu na zadovoljavajući način da tretiraju neizvesnost, neodređenost ili subjektivnost. Teorija fuzzy skupova predstavlja najpogodniji matematički model za to.



Slika 9. – Fuzzy sistem [15]

Na slici 9. prikazana je opšta šema Fuzzy logičkog sistema. Proces fazifikacije predstavlja određivanje količine pripadnosti određenih podataka u

određenim lingvističkim skupovima. Ovo predstavlja ulazni podatak prilikom primene ovog modela. Fazifikacija se uglavnom vrši na osnovu znanja stručnjaka u oblasti iz koje su podaci. Na primer, da li je broj putnika na određenoj železničkoj liniji "malo", "srednje", "mnogo" ili "vrlo mnogo" možemo pitati konduktera na toj liniji ili bilo koje drugo lice čiji je posao da svakodnevno prati broj putnika na toj liniji. Mišljenja o tome šta je "malo" a šta "mnogo" subjektivna su pa je zato potrebno dobro razmotriti podatke i suočiti više mišljenja kako bi se uradila, recimo to tako, najbolje fazifikacija. Fazifikacija se radi u programu primenom "IF - THEN" pravila.

Defazifikacija je proces izračunavanja izlazne promenljive na osnovu rezultujućeg fuzzy skupa. Vrednost izlazne promenljive uslovljena je vrednošću ulazne promenljive. Zbog toga bilo koja tvrdnja za izlaznu promenljivu može da bude istinita koliko je istinita i tvrdnja da ulazna promenljiva ima datu vrednost. Izlaznom promenljivom mogu se dobiti razni podaci u zavisnosti od toga šta je cilj primene ulaznih podataka.

Za razliku od klasičnog pristupa, fuzzy pristup ne zahteva velike ljudske resurse, nije skup (cena softvera i angažman malog broja stručnjaka) a vremenski je veoma povoljan jer od vremena dobijanja prikupljenih podataka do rešenja prođe nekoliko dana, u nekim nekompleksnim slučajevima samo nekoliko sati.

4.2. Problemi u saobraćaju i transportu koji se najčešće rešavaju primenom fuzzy tehnika

U oblasti železničkog saobraćaja fuzzy tehnike su u najširoj primeni kod tri tipa problema: kod kontrole vozova i kontrole vozila, projektovanje vozila, problemi reda vožnje i različiti problemi u vezi sa prognozama u saobraćaju [17]. Za rešavanje nekih od ovih tipova problema koriste se tehnike teorije verovatnoće i slučajnih procesa, kao i fuzzy mešovite tehnike. Problem realizacije reda vožnje je problem kontrole najvišeg nivoa. Sistem koji treba da se kontroliše je železnička mreža, kontrolne odluke se odnose na specifikaciju vremena polazaka i dolazaka koja su data u redu vožnje. Kod merenja izvršenje reda vožnje posmatra se redovitost, nivo

nakupljanja, izbegavanje konflikata, kontrola komfora itd. Kontrolna akcija koja treba da se sprovede odabrana između različitih alternativa, je ona koja najviše odgovara postojećem stanju sistema, njegovom očekivanom razvoju i očekivanim posledicama na buduću situaciju. Ulazni podaci su matrice putovanja, kašnjenja, vremena putovanja, zadržavanja, nivo zagađenja, informacije za prognoze. Rešavanje kontrole zavisi od podataka i informacija koje se mogu dobiti rešavanjem klasičacionih i problema prognoze simulacija [18]. Pored ovih, mogu da se koriste i podaci koji se dobijaju snimanjem na terenu uključujući i istraživanja zapažanja, stavova i mišljenja operativnog osoblja ali i korisnika, itd.

5. MODEL

Prognoza broja putnika primenom fuzzy logičkih sistema, na relativno novom vidu javnog gradskog prevoza u Beogradu, tj. BG vozu ima za cilj da predvidi tokove putnika za svako stajalište, za oba smer, kako za vršni period, tako i za čitav dan i time možda olakša neka dalja ispitivanja u ovoj oblasti.

5.1. Opis modela

Model koji je razrađen u ovom radu zasniva se na teoriji fuzzy logike. Program koji je korišćen za rad je MATLAB, koji pored mnogobrojnih funkcija poseduje i računanje pomoću Fuzzy logike. Model je zamišljen tako da na osnovu unetih ulaznih podataka, na izlazu dobija broj putnika koji koristi BG voz, za svako stajalište ponaosob. Dakle ovim modelom se predviđa broj putnika. Ukoliko želimo ili imamo potrebu za novim stajalištem, putem ovog modela, doduše malo proširenim, možemo izračunati koliki bi nam bio protok putnika na tom stajalištu. U tekstu je naglašeno da model mora biti proširen, jer je ovde rađeno ispitivanje na osnovu samo tri ulazna parametra, dok bi se u realnom ispitivanju koristilo mnogo više, što znatno proširuje obim rada na samom ispitivanju. Dakle, parametri koji su korišćeni u ovom radu, a koji će detaljnije biti objašnjeni u daljem tekstu su: atrak-

tivnost stajališta, povezanost stajališta sa drugim vidovima gradskog prevoza i procena broja putnika koji se u zoni stajališta opredeljuju za BG voz u odnosu na druge vidove javnog gradskog prevoza.

5.1.1 Povezanost stajališta BG voza sa ostalim vidovima javnog gradskog prevoza

Ovaj parametar jeste jedan od najbitnijih parametara, kako u ovom radu, tako i uopšte, jer bitno utiče na korišćenje BG voza. Naime, što je ovaj parametar bolji to je iskorišćenje stajališta bolje. Ukoliko je stajalište dobro povezano sa drugim vidovima javnog gradskog prevoza, upravo ti drugi vidovi dopunjuju nedostatak BG voza, tj železničkih sistema uopšte, i odvoze putnike do udaljenijih i za železnički sistem, nedostupnih mesta. Stajališta BG voza su linijama JGP povezane na sledeći način:

1. Stanica Batajnica

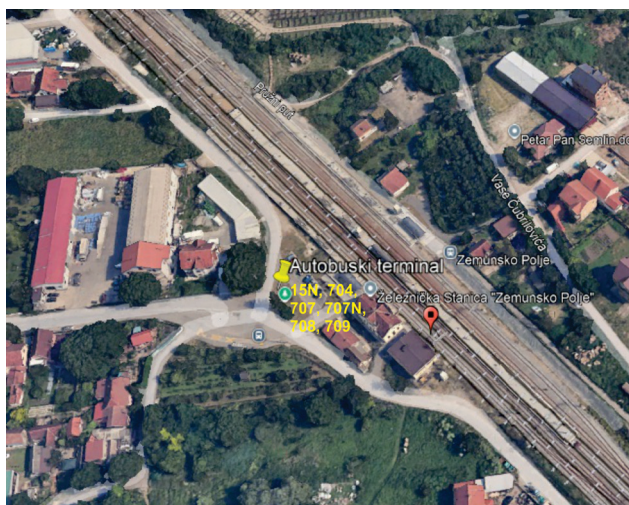
Autobuske linije 73, 702, 703 i lokalna linija br. 700 (slika 10).



Slika: 10 Stanica Batajnica

2. Stanica Zemunsko polje

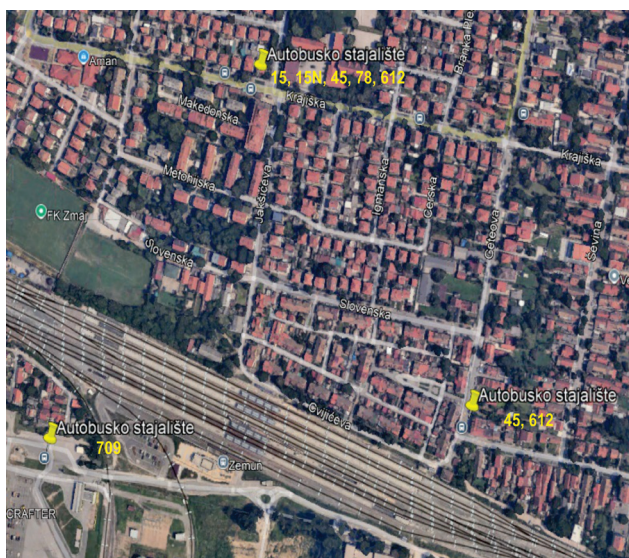
Autobuske linije 15N, 704, 707, 707N, 708 i 709 (slika 11).



Slika 11. Stanica Zemunsko polje

3. Stanica Zemun

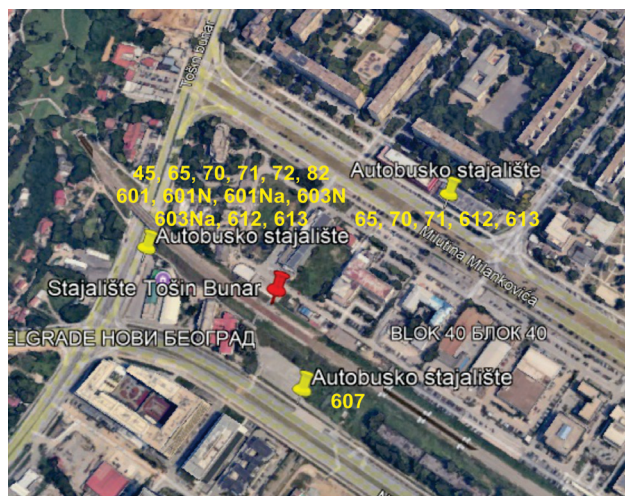
Autobuske linije 15, 15N, 45, 78 i 612, a sa druge strane stanice linija 709 (slika 12).



Slika 12. - Stanica Zemun

4. Stajalište Tošin bunar

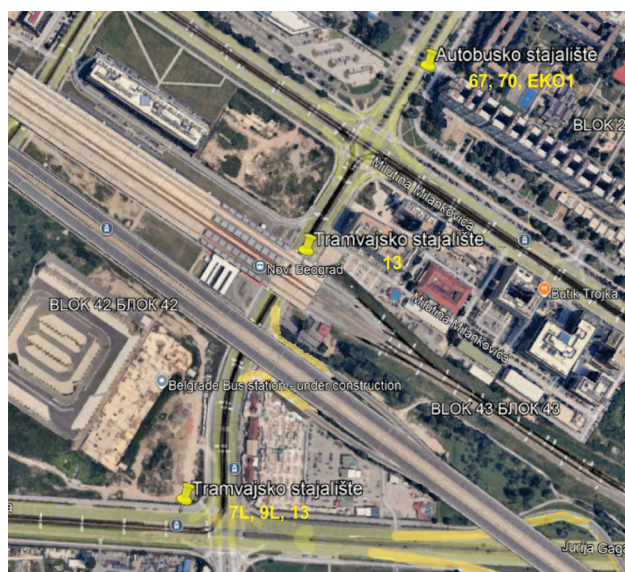
Autobuske linije 65, 70, 71, 612 i 613 imaju stajalište u ulici Milutina Milankovića, linije 45, 65, 70, 71, 612 i 613 72, 82 i 601, 601N, 601Na, 603N, 603Na, 612 i 613 u ulici Tošin bunar i linija 607 u Bulevaru Heroja sa Košara (slika 13).



Slika 13. - Stajalište Tošin bunar

5. Stanica Novi Beograd

Tramvajske linije 7L, 9L, 13 i autobuske linije 67, 70 i EKO1 (Slika 14).



Slika 14 Stanica Novi Beograd

6. Stanica Beograd centar

Autobuske linije na Okretnici kod stanice 34, 36, 38L, 80 i 600, a nešto dalje na Bulevaru Franša Deparea linije 17, 18, 38L, 46 i 55, kao i trolejbuske linije 40 i 41A na Bulevaru kneza Aleksandra Karađorđevića (Slika 15).

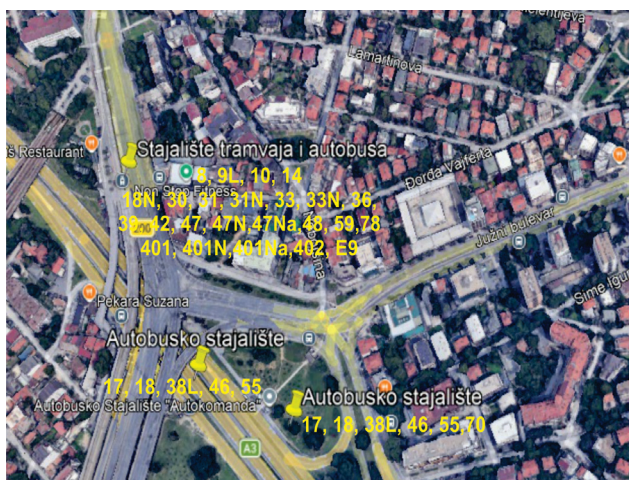
Proгноза броја путника у систему градске железнице применом fuzzy logike



Slika 15. - Stanica Beograd centar

7. Stajalište Karađorđev park

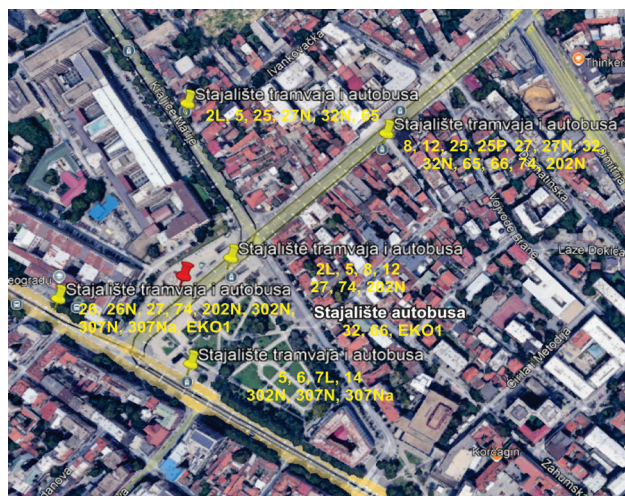
Tramvajske linije 8, 9L, 10, 14 i autobuske linije 18N, 30, 31, 31N, 33, 33N, 36, 39, 42, 47, 47N, 47Na, 48, 59, 78, 401, 401N, 401Na, 402 i E9, a na Bulevaru Franša Deparea autobuske linije 17, 18, 38L, 46 i 55, 70 (slika 16).



Slika 16. - Stajalište Karađorđev park

8. Stanica Vukov spomenik

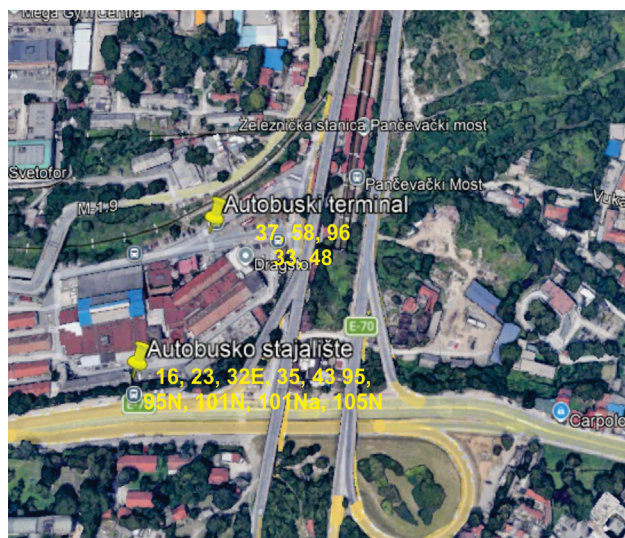
Tramvajske linije 2L, 5, 8, 12 i autobuske linije 27, 74 i 202N, a u neposrednoj blizini u Bulevaru kralja Aleksandra tramvajske linije 5, 6, 7L, 14 i autobuske linije 302N, 307N, 307Na, 26, 27, 27N, 74 i EKO1, kao i u ulici Kraljice Marije autobuske linije 32N, 65 i 66, odnosno Rutzveltovoj autobuske linije 25, 25P i 32 (slika 17).



Slika 17. - Stanica Vukov spomenik

9. Stajalište Pančevački most

Autobuske linije na Okretnici Pančevački most 33, 37, 48, 58 i 96, a malo dalje u Bulevaru despota Stefana autobuske linije 16, 23, 32E, 35, 43, 95, 95N, 96, 101N, 101Na i 105N (Slika 18).



Slika 18 - Stajalište Pančevački most

10. Stanica Ovča

Autobuske linije 105 i 105L (Slika 19).

Na osnovu gore navedenih slika definisana je tabela 3. u kojoj su autori izvršili ocenjivanje parametara Povezanost vozila JGP u zoni posmatrane stanice.



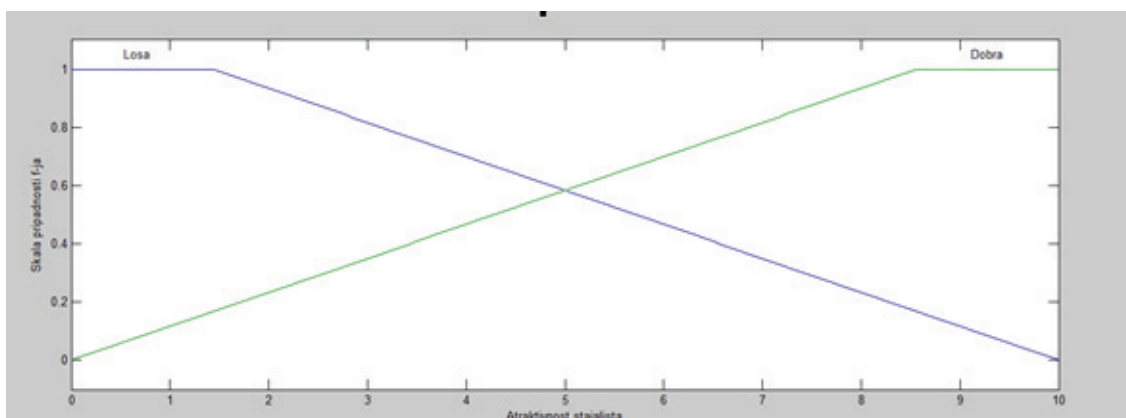
Slika 19. – Stanica Ovča

Treba naglasiti da su u tabeli date različite ocene ovog parametra za oba smera, kao i to da se oni razlikuju i u odnosu na vremenski period posmatranja, tj. za vršni period od 6 do 9 časova, i za čitav dan. Razlike nastaju iz razloga što nije svaka linija gradskog prevoza pogodna za oba smera, kao na primer linija 25 od Karaburme ka Kumodražu koja ima stajalište kod Vukovog spomenika, nije od koristi za putnike koji dolaze BG vozom iz pravca Pančevačkog mosta.

Izgled ovog parametra definisanog u programu MATLAB dat je na slici 20.

Tabela 3. Ocena parametra Povezanost BG voza sa linijama JGP

Povezanost BG voza sa linijama JGP						
Naziv stanice	Broj linija JGP u zoni stanice	Linije JGP	Ocena iskorišćenosti JGP u zoni stanice (smer ka Ovči) 6-9 h	Ocena iskorišćenosti JGP u zoni stanice (smer ka Batajnici) 6-9 h	Ocena iskorišćenosti JGP u zoni stanice (smer ka Ovči) 6-23 h	Ocena iskorišćenosti JGP u zoni stanice (smer ka Batajnici) 6-23 h
Batajnica	4	73, 702, 703 i 700	10		10	
Zemunsko polje	6	15N, 704, 707, 707N, 708, 709	2	0	3	1
Zemun	6	15, 15N, 45, 78, 612, 709	2	1	4	3
Tošin bunar	6 + 8	65, 70, 71, 607, 612, 613 45, 72, 82, 601, 601N, 601Na, 603N, 603Na	2	2	3	3
Novi Beograd	6	7L, 9L, 13, 67, 70, EK01	4	2	3	3
Beograd centar	5 + 7	34, 36, 38L, 80, 600 17, 18, 38L, 46, 55, 40, 41A	0	1	0	3
Karađorđev park	24 + 6	8, 9L, 10, 14, 18N, 30, 31, 31N, 33, 33N, 36, 39, 42, 47, 47N, 47Na, 48, 59, 78, 401, 401N, 401Na, 402 i E9 17, 18, 38L, 46, 55, 70	1	9	2	10
Vukov spomenik	7 + 17	2L, 5, 8, 12, 27, 74, 202N 6, 7L, 14, 302N, 307Na, 307N, 26, 27, 27N, 74, EK01, 32N, 65, 66, 25, 25P, 32	1	5	1	9
Pančevački most	5 + 11	33, 37, 48, 58, 96 16, 23, 32E, 35, 43, 95, 95N, 96, 101N, 101Na, 105N	1	9	1	8
Ovča	2	105, 105L		2		4



Slika 20. - Izgled ulaznog parametra "povezanost sa linijama JGP-a"

Kako bi linija BG voza bila pristupačna što većem broju korisnika obezbeđen je parking prostor u sistemu "Parkiraj i vozi" (Park and Ride). Sistem "Parkiraj i vozi" obezbeđuje parking za vozila putnika koji menjaju vid prevoza, odnosno za putnike koji ostavljaju svoja vozila na parkiralištu i prelaze na javni prevoz. Parkirališta sistema "Parkiraj i vozi" mogu kao integralni deo složenog transportnog sistema da ohrabre putnike da promene način prevoza i da sa korišćenja individualnih vozila pređu na prevoz vozilima javnog prevoza putnika i tako povećaju efikasnost celokupnog saobraćajnog sistema. Parking prostor nalazi se između ulica Jurija Gagarina i Antifašističke borbe, u zoni železničkog stajališta "Novi Beograd", ovaj parking korisnici mogu da koriste besplatno svakog radnog dana od 6-23 časa, a u dane vikenda vrši se naplaćivanje.

5.1.2. Atraktivnost stajališta

Atraktivnost je, jedan od nekoliko, vrlo bitnih parametara u ispitivanju. U ovom radu atraktivnost je definisana kao parametar koji je u direktnoj zavisnosti sa objektima od velike važnosti, tj objekti koji privlače veliki broj putnika, u zoni stajališta i time bitno utiču na broj putnika koji će koristiti ovo stajalište. Na osnovu broja takvih objekata, od strane autora data je i ocena parametra koja je data u tabeli 4.

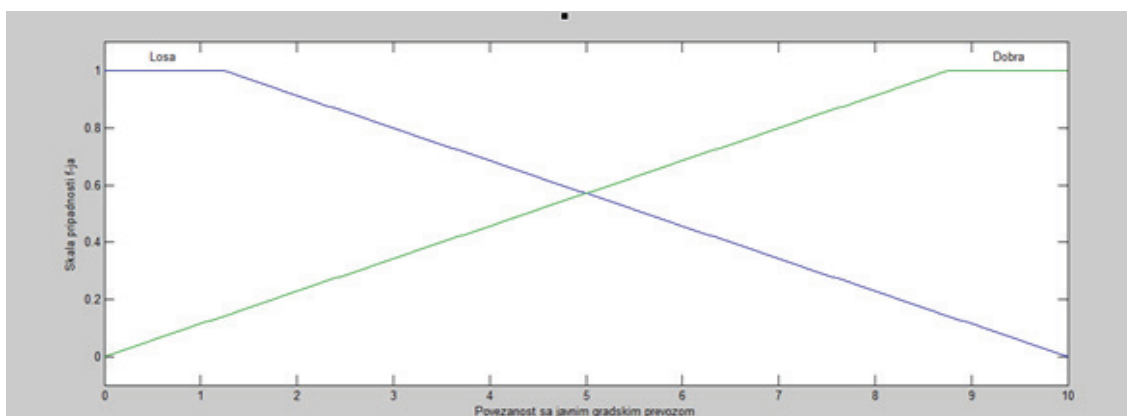
Ovde takođe treba naglasiti da su ocene date za svaki smer posebno, kao i za vremenske periode za koje je računato, jer relevantni objekti koji su uzimani u obzir, zapravo nisu jednako merodavni za oba smera, tj. za oba vremenska perioda za koje je računat broj putnika.

Tabela 4. Ocena parametra Atraktivnost stajališta

Naziv stanice	Ocena atraktivnosti stanice			
	Ocena atraktivnosti stanice (smer ka Ovči) 6-9 h	Ocena atraktivnosti stanice (smer ka Batajnici) 6-9 h	Ocena atraktivnosti stanice (smer ka Ovči) 6-23 h	Ocena atraktivnosti stanice (smer ka Batajnici) 6-23 h
Batajnica	10		10	
Zemunsko polje	1	0	2	0
Zemun	1	0	3	3
Tošin bunar	3	1	3	3
Novi Beograd	2	1	3	3
Beograd centar	1	2	1	3
Karađordev park	1	8	1	10
Vukov spomenik	1	7	0	9
Pančevački most	0	9	0	8
Ovča		8		7

Izgled parametra kao ulazne funkcije predstavljen je u softverskom paketu MATLAB i definisan je po-

moću dva ulazna skupa kako je to predstavljeno na slici 21.



Slika 21. - Izgled ulaznog parametra "Atraktivnost stajalista" u softverskom paketu MATLAB

Vrednosti definisane u tabeli 4. jasnije se mogu prikazati na slikama 22, 23, 24 i 25.



Slika 22. - Atraktivnost stanice Batajnica



Slika 24. - Atraktivnost stajališta Karađorđev park



Slika 23. - Atraktivnost stajališta Vukov spomenik



Slika 25. - Atraktivnost stajališta Pančevački most

5.1.3 Korišćenje BG voza u zoni stajališta

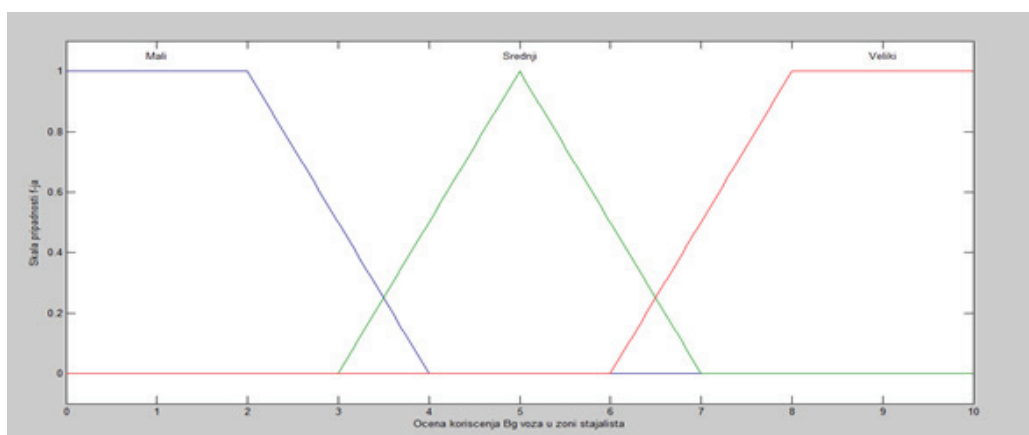
Kao treći parametar ovog ispitivanja uzeta je procentualna vrednost, izražena ocenama od 1 do 10, broja ljudi koji se u zoni stajališta pre opredeljuju za BG voz nego za neki drugi vid javnog gradskog prevoza. Ovaj parametar uzet je kao alternativa, umesto broja stanovnika u zoni stajališta jer je bio

podesniji za ovaj model. Vrednosti parametara za svako stajalište, za svaki smer i vremenski period posmatranja vrednovane su od strane autora, a prikazane su u tabeli 5.

Izgled ovog parametra definisanog u MATLAB-u sa dva ulazna skupa ima izgled kako je prikazano na slici 26.

Tabela 5: Ocena korišćenja BG voza

Ocena korišćenja BG voza u zoni stanice				
Naziv stanice	Ocena korišćenja BG voza u zoni stanice (smer ka Ovči) 6-9 h	Ocena korišćenja BG voza u zoni stanice (smer ka Batajnici) 6-9 h	Ocena korišćenja BG voza u zoni stanice (smer ka Ovči) 6-23 h	Ocena korišćenja BG voza u zoni stanice (smer ka Batajnici) 6-23 h
Batajnica	10		10	
Zemunsko polje	1	1	3	1
Zemun	2	1	4	3
Tošin bunar	4	1	4	3
Novi Beograd	3	2	4	4
Beograd centar	0	3	0	3
Karađorđev park	1	9	2	10
Vukov spomenik	0	3	1	9
Pančevački most	1	10	1	9
Ovča		4		7

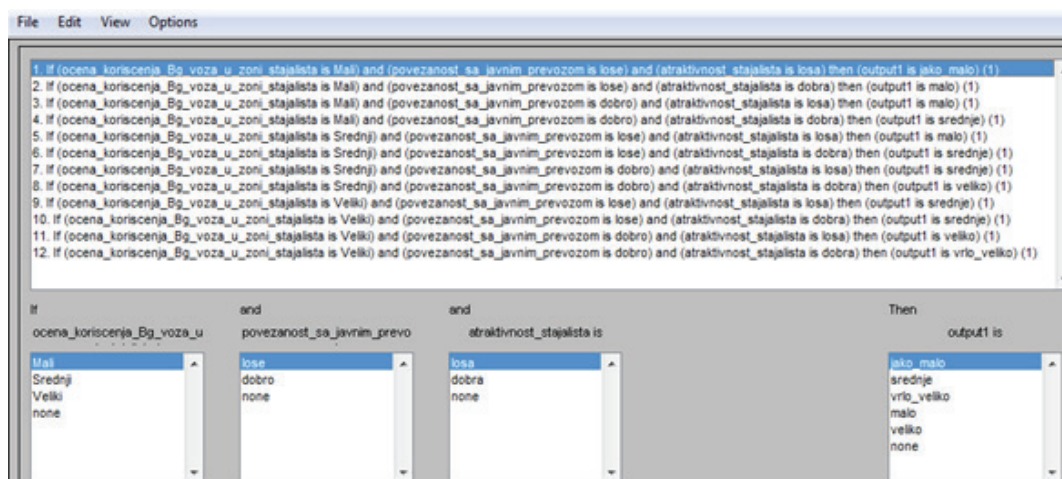


Slika 26. - Ocena korišćenja BG voza u Matlabu

5.2. Postupak izrade modela

U procesu dizajniranja modela na početku su razmatrana tri ulazna parametra od kojih je prvi bio u funkciji od tri ulazna skupa. To je bio parametar broj stanovnika u gravitacionoj zoni stajališta. Međutim, taj parametar pokazao se kao nekompatibilan za ovaj model, jer nije moglo da se dođe do pouzdane vrednosti broja stanovnika, pa je zamenjen parametrom koji predstavlja procenat, tj. broj ljudi u gravitacionoj zoni koji se opredeljuju za BG voz u odnosu na broj ljudi koji biraju drugi vid

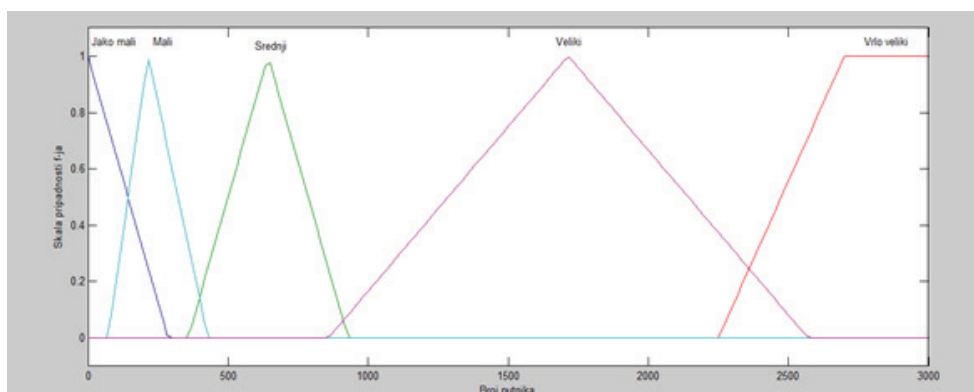
javnog gradskog prevoza. Ovaj parametar je ocenjen od 1 do 10, za svaki smer, svako stajalište, posebno. Druga dva parametra su povezanost stajališta BG voza sa ostalim vidovima JGP-a i atraktivnost stajališta. Oba su ocenjena za svako stajalište, oba smeri i oba vremenska perioda, ocenama od 1 do 10. Takođe, oba parametra su u funkciji od po dva ulazna skupa. Broj ulaznih skupova svih ulaznih promenljivih definiše broj pravila koja moraju da se definišu u samom programu i koja čine osnovu pravilnog funkcionisanja modela. Spisak pravila dat je na slici 27.



Slika 27.- Spisak pravila u MATLABU

Zbog preciznosti izlaznih rezultata izlaz je, definisan sa pet izlaznih skupova (slika 28). Za potrebe ovog rada ovaj broj skupova bio je sasvim zadovoljavajući, ali moguće je prema potrebi znatno uve-

ćanje broja izlaznih skupova. Prvenstveno bio je u opticaju model koji računa sve putnike koji ulaze u BG voz na određenom stajalištu za obe smeru zajedno i to za čitav dan.



Slika 28 - Izgled skupova izlazne promenljive u Matlabu

Međutim, razvojem modela došlo se do zaključka da smerove treba razdvojiti, i da bi bilo korisno ispitati model na vršnom periodu od 6 do 9 časova, što se kasnije pokazalo i kao ispravno. Tako da na su na kraju dizajnirana 4 različita modela, a to su:

1. za smer ka Ovči u vršnom periodu (6-9 časova);
2. za smer ka Batajnici u vršnom periodu (6-9 časova);
3. za smer ka Ovči za čitav dan i
4. za smer ka Batajnici za čitav dan.

Treba napomenuti da su modeli u suštini isti sa jedinom razlikom u opsegu izlazne promenljive. Razlike postoje jer broj putnika koji je dobijen pri likom merenja na terenu [9] nije isti po smerovima i vremenskim periodima.

5.3. Rezultati modela i analiza rezultata

Rezultati su prikazani tabelarno za svaki model ponaosob radi lakšeg uočavanja i praćenja rezultata (Tabela 6, Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9).

Zbog neravnomernosti tokova putnika, koja proizilazi iz potrebe prevoza ka određenim delovima grada, u određeno vreme, postoje određena neslaganja. Naime ako pogledamo samo vršne periode, možemo uočiti da samo na stajalištu Batajnica uđe putnika ka gradu više nego što uđe na svim stajalištima zajedno u suprotnom smeru za isti vremenski period, tj. ka Batajnici od 6 do 9 časova (Tabela 6. i Tabela 7), što nam opravdava postupak izrade modela za svaki smer ponaosob.

Tabela 6. Rezultati modela u vršnom periodu ka Ovči

Smer ka Ovči – vršni period 6 – 9 h							
Stajalište BG voza	Ocena korišćenja voza u zoni stanice	Ocena iskorišćenosti JGP u zoni stanice	Ocena atraktivnosti stanice	Broj putnika (merenje)	Broj putnika (model)	Razlika merenog i dobijenog broja putnika	Greška (%)
Batajnica	10	10	10	2101	1910	191	10
Zemunsko polje	1	2	1	266	206	60	29
Zemun	2	2	1	291	237	54	23
Tošin bunar	4	2	3	571	705	-134	-19
Novi Beograd	3	4	2	407	318	89	28
Beograd centar	0	0	1	22	34	-12	-36
Karađorđev park	1	1	1	127	151	-24	-16
Vukov spomenik	0	1	1	32	35	-3	-8
Pančevački most	1	1	0	55	70	-15	-21
Ovča							

U tabeli 6. javlja se velika greška sa negativnim predznakom i to za stajalište Beograd Centar. Naime, u modelu dobijen je mnogo veći broj putnika nego što su snimanja pokazala. To znači da bi ovo mogla da bude prva tačka gde bi trebalo da se pro-

veri tačnost modela detaljnijim merenjem putika na ovom stajalištu. Međutim, ovde treba istaći da je to stanica sa veoma malim brojem putnika, pa se i relativno male razlike izražavaju velikom vrednosti procenta.

Tabela 7. Rezultati modela u vršnom periodu ka Batajnici

Smer ka Batajnici – vršni period 6 – 9 h							
Stajalište BG voza	Ocena korišćenja voza u zoni stanice	Ocena iskorišćenosti JGP u zoni stanice	Ocena atraktivnosti stanice	Broj putnika (merenje)	Broj putnika (model)	Razlika merenog i dobijenog broja putnika	Greška (%)
Batajnica							
Zemunsko polje	1	0	0	17	22	-5	-23
Zemun	1	1	0	49	61	-12	-20
Tošin bunar	1	2	1	86	119	-33	-28
Novi Beograd	2	2	1	105	81	24	29
Beograd centar	3	1	2	151	136	15	11
Karađorđev park	9	9	8	650	551	99	18
Vukov spomenik	3	5	7	382	344	38	11
Pančevački most	10	9	9	722	582	140	24
Ovča	4	2	8	185	215	-30	-14

Takođe, treba obratiti pažnju na neravnomernost broja putnika duž čitave trase posmatranog sistema, tj. BG voza. Ta neravnomernost uočljiva je u smeru od Batajnice ka Ovči (Tabela 8), i ne postoji nikakva linearna veza koja bi mogla logično da poveže razlike putnika koji ulaze na stajališta u ovom smeru. Što se tiče suprotnog smera, od Ovče ka Batajnici (Tabela 9), raspored putnika je daleko logičniji. Linearno opadanje broja putnika od početne do krajnje tačke ovog sistema jeste prepoznatljivost ovakvih sistema prevoza putnika, ne samo kod nas već i u svetu, što opravdava ulaganje grada i države u ovakav sistem, a povrhu svega i

broj putnika se povećava iz dana u dan.

Pošto je model konstruisan na osnovu istraživanja o broju putnika, po neki veći procenti greške modela, koji se mogu videti u svim tabelama sa rezultatima, mogu ukazati na nedovoljnu kompatibilnost modela ali i na pravce poboljšanja istog.

U tabelama sa rezultatima mogu se naći kako pozitivne tako i negativne greške, koje nisu zanemarljive veličine, međutim uzimajući u obzir da se model razvijao na osnovu snimanja putnika koja su trajala samo dva dana, što znači da ni taj podatak nije najpre-

cizniji. To znači da je potrebno pouzdanije snimanje broja putnika i kalibrisanje modela prema dobijenim rezultatima. U svakom slučaju dobijeni rezultati prikazanog modela u ovom radu ukazuju, da u uslovima

neizvesnosti i stohastike, uz odgovarajuća pripremna istraživanja primena fuzzy logike može se pokazati kao uspešan alat za prognozu broja i tokova putnika po stanicama u železničkom saobraćaju.

Tabela 8. Rezultati modela za čitav dan ka Ovči

Smer ka Ovči – celodnevni period 6 – 23 h							
Stajalište BG voza	Ocena korišćenja voza u zoni stanice	Ocena iskorišćenosti JGP u zoni stanice	Ocena atraktivnosti stanice	Broj putnika (merenje)	Broj putnika (model)	Razlika merenog i dobijenog broja putnika	Greška (%)
Batajnica	10	10	10	4376	4090	286	7
Zemunsko polje	3	3	2	560	549	11	2
Zemun	4	4	3	1120	1383	-263	-19
Tošin bunar	4	3	3	1989	1859	130	7
Novi Beograd	4	3	3	1525	1860	-335	-18
Beograd centar	0	0	1	124	165	-41	-25
Karađorđev park	2	2	1	531	462	69	15
Vukov spomenik	1	1	0	223	186	37	20
Pančevački most	1	1	0	195	247	-52	-3
Ovča							

Tabela 9. Rezultati modela za čitav dan ka Batajnici

Smer ka Batajnici – vršni period 6 – 9 h							
Stajalište BG voza	Ocena korišćenja voza u zoni stanice	Ocena iskorišćenosti JGP u zoni stanice	Ocena atraktivnosti stanice	Broj putnika (merenje)	Broj putnika (model)	Razlika merenog i dobijenog broja putnika	Greška (%)
Batajnica							
Zemunsko polje	1	1	0	106	110	-4	-4
Zemun	3	3	3	534	456	78	17
Tošin bunar	3	3	3	768	645	123	19
Novi Beograd	4	3	3	899	1045	-146	-14
Beograd centar	3	3	3	690	543	147	27
Karađorđev park	10	10	10	2729	2575	154	6
Vukov spomenik	9	9	9	2325	2173	152	7
Pančevački most	9	8	8	2104	2169	-65	-3
Ovča	7	4	7	955	1005	-50	-5

6. ZAKLJUČAK

Beogradski železnički čvor predstavlja veliki potencijal u pogledu organizacije gradskog putničkog železničkog saobraćaja koji nije u potpunosti iskorišćen, tako da postoje rezerve koje bi se mogle iskoristiti u ovom smislu. Prethodno moraju biti ispunjeni neki uslovi koji bi omogućili pravilno iskorišćenje kolosečnih i svih drugih kapaciteta kako bi se stvorili uslovi za preuzimanje dela putnika javnog prevoza [19].

Od početka funkcionisanja BG voza u septembru 2010. godine, pa do danas, pokazao je da može da ispuni dva osnovna uslova a to su pouzdanost i frekvencija polazaka. Kao rezultat toga je stalno povećanje broja korisnika iz godine u godinu.

Kako bi BG voz bio maksimalno iskorišćen potreban je njegov dalji razvoj. Pre svega izgradnjom novih linija i nabavkom novih elektromotornih garnitura. To je posebno značajno zbog izgradnje metro sistema u Beogradu, radi bolje kompatibil-

nosti i povezanosti budućeg metroa i BG voza.

Predpostavka autora, a donekle i želja, jeste da bi daljim razvojem ovog modela, što bi iziskivalo mnogo preciznija merenja putnika, kao i mnogo više parametara od kojih bi rezultat modela zavisi, moglo uspešno pomoći prilagođavanju gradskih železničkih sistema samom gradu i potrebama putnika u njemu.

LITERATURA

- [1] Dr Mirko Čičak, dr Slavko Vesković, "Organizacija železničkog saobraćaja 2", Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd 2005.
- [2] Vesković, S., Kuravica, M., Dimanoski, K., Stojić, G., & Blagojević, A. (2020). MODELIRANJE KVALITETA USLUGE ŽELEZNIČKOG PUTNIČKOG PREVOZA PRIMENOM SERQUAL METODE. *Železnice*, 2019(1), 29–47. preuzeto od <https://casopis-zeleznice.rs/index.php/zeleznice/article/view/59>
- [3] <http://www.bgsaobracaj.rs/>
- [4] Marković, N., Milinković, S., Schonfeld, P., Drobniak, Z. Planning dial-a-ride services: Statistical and meta-modeling approach. *Transportation research record*, 2013; 2352 (1): 120–127
- [5] Vesković, S., Kuravica, M., Dimanoski, K., Stojić, G., & Blagojević, A. (2020). MODELIRANJE KVALITETA USLUGE ŽELEZNIČKOG PUTNIČKOG PREVOZA PRIMENOM SERQUAL METODE. *Železnice*, 2019(1), 29–47. preuzeto od <https://casopis-zeleznice.rs/index.php/zeleznice/article/view/59>
- [6] Vesković, S., Milinković, S., & Kolić, N. (2023). SAOBRAĆAJNI MODELI U PLANIRANJU PREVOZA PUTNIKA ŽELEZNICOM. *Železnice*, 2022(2), 102–121. preuzeto od <https://www.casopis-zeleznice.rs/index.php/zeleznice/article/view/111>
- [7] Mirko Čičak, Slavko Vesković, Snežana Mladenović: Modeli za utvrđivanje kapaciteta železnice, Monografija, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu; Želnid, Beograd, Republika Srbija, 2002. god.
- [8] Felez, J.; Vaquero-Serrano, M.A. Virtual Coupling in Railways: A Comprehensive Review. *Machines*, 2023, 11, 521. <https://doi.org/10.3390/machines11050521>
- [9] <http://www.beogradcvor.rs/beovoz.html>
- [10] <http://www.412emvbeovoz.com/bgvoz.html>
- [11] https://www.srbvoz.rs/rv_bg_voza_za_2025.pdf
- [12] Milanović Z., Primena Fuzzy logike u razvoju modularnog pristupa u planiranju osnovne ponude železničkog putničkog saobraćaja, magistarski rad, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 2007.
- [13] Peide Liu, Zhongliang Guan, Railway Passenger Service Based on the Linguistic Variables and the Improved PROMETHEE-II Method, *Journal of computers*, VOL. 4, NO. 3, pp. 266, march 2009.
- [14] Cavana, R. Y., Corbett, L. M., & Lo, Y. L. (2007). Developing zones of tolerance for managing passenger rail service quality. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 24(1), 7–31.
- [15] Milinković, S., Vesković, S., Marton, P., Mašek, J. Regional passenger rail concept: Evidence from services in Serbia and Slovakia. In *New Horizons of Transport*, 2017. pp. 290–298
- [16] Teodorović D., Šelmić M., "Računarska inteligencija u saobraćaju", Saobraćajni fakultet Beograd 2012.
- [17] S. Vesković, J. Tepić, M. Ivić, G. Stojić, S. Milinković: Model for predicting the frequency of broken rails, *Metalurgija*, Tom 51/2, str. 221 – 224, Zagreb, Republika Hrvatska, 4.2.2012. god.
- [18] S. Vesković, S. Milinković, G. Stojić, N. Pavlović, I. Belošević: One Approach to Forecasting Methodology in Rail Passenger Traffic, *Transport for Today's Society*, Faculty of Technical Sciences-Bitola, 2021/10/14.
- [19] Valarie A.; Berry, Leonard L.; Parasuraman, A. Zeithaml, *Delivering Quality Service: Balancing Customer Perceptions and Expectations*, 1990.