

UTICAJ UVOĐENJA PRIORITETA JAVNOG PREVOZA NA USLOVE U SAOBRAĆAJNOM TOKU

Marijana Mošić, Yunex Traffic, marijana.mosic7@gmail.com

Nataša Vidović, Saobraćajni fakultet, Beograd, n.vidovic@sf.bg.ac.rs

Ivana Joksimović, Millennial Logistics, ivana.93.gm@gmail.com

Rezime: Saobraćajna zagušenja predstavljaju izazov sa kojim se suočavaju mnoge gradske saobraćajne mreže, a osnovni uzrok je kontinualno povećanje transportnog zahteva. Upravljanje saobraćajem u smislu uvođenja detektorskog ili adaptibilnog režima rada gde se svetlosni signali prilagođavaju uslovima u saobraćaju u realnom vremenu mogu doneti značajna poboljšanja. Pored upravljanja u realnom vremenu, u novom konceptu upravljanja saobraćajem akcenat je stavljen na upravljanje transportnim zahtevima na način koji će doprineti realizaciji ciljeva održive mobilnosti. Kao jedan od gradskih šinskih sistema, moderan tramvaj je postao važan deo javnog prevoza, posebno u gradovima srednje veličine, zbog svojih prednosti u vidu relativno malih investicija i zaštite životne sredine. Unapređenje efikasnosti tramvajskog podsistema javnog prevoza putnika trebalo bi da doprinese većoj atraktivnosti ovog sistema, a samim tim i smanjenju upotrebe putničkih automobila koje bi imalo dugoročne efekte na razvoj gradova u budućnosti. U ovom radu je na osnovu eksperimentalno utvrđenih podataka i podataka dobijenih pomoću detektora kvantifikovan uticaj strategije davanja prioriteta tramvajima uz pomoć svetlosnih signala na uslove u saobraćajnom toku. Ovaj uticaj procenjen je na osnovu poređenja stanja pre ugradnje detektora i nakon njihove implementacije i puštanja u rad. Dobijeni rezultati ove „pre i posle“ studije pokazuju da se pravilnom primenom tehnika davanja prioriteta (na primer, adekvatna pozicija detektora, dobra procena vremena dolaska tramvaja na raskrsnicu) mogu značajno poboljšati parametri kojima se ocenjuje stanje na mreži saobraćajnica. Pokazano je da se nivo usluge na raskrsnicama može približno održati, jer nije zanemaren saobraćajni zahtev sa sporednih pravaca.

Ključne reči: saobraćajni tok, javni prevoz, prioritet tramvaja, održiva mobilnost

1. UVOD

Saobraćajna zagušenja predstavljaju izazov sa kojim se suočavaju mnoge gradske saobraćajne mreže, a osnovni uzrok je kontinualno povećanje transportnog zahteva i sve veća zavisnost stanovnika od putničkog automobila. Oskudna mogućnost za fizičko povećanje kapaciteta postavila je javni masovni prevoz putnika (JMPP) na visoku poziciju u okviru gradskog transportnog sistema. Zbog velikog kapaciteta vozila, JMPP je atraktivno ekonomsko rešenje za zadovoljavanje potreba za mobilnošću. Dugoročno posmatrano, ovaj sistem bi trebalo razvijati i unapređivati sa ciljem smanjenja zagušenja u gradskoj sredini usled prekomerne upotrebe putničkog automobila.

Iako je pokazano da se korišćenjem JMPP-a dodatno unapređuje gradski transportni sistem [1], on se tokom prethodnih godina u velikim gradovima suočio sa smanjenjem

obima putovanja, dok su privatni automobili postepeno postali najpopularniji vid prevoza [2]. Zato, posebna pažnja mora biti usmerena na implementaciju raznih upravljačkih mera kojima se može unaprediti kvalitet celokupnog sistema JMPP-a i time privući što veći broj korisnika. Ulaganje u sistem JMPP-a i njegovo favorizovanje, direktno utiče na destimulisanje korisnika da koriste putnički automobil. Saobraćajni planeri usvajaju mnoštvo strategija da bi doprineli realizaciji ove ideje, a kao jedna od osnovnih strategija izdvojeno je davanje prioriteta vozilima JMPP-a na mreži saobraćajnica. Razvijeno je nekoliko tipova strategija davanja prioriteta, a koja će od njih biti upotrebljena zavisi od uslova na saobraćajnoj mreži, zahteva koji se ispostavljaju i razvijenosti JMPP-a.

Kao jedan od gradskih šinskih sistema, moderan tramvaj je postao važan deo javnog prevoza, posebno u gradovima srednje veličine, zbog svojih prednosti u vidu relativno malih investicija i zaštite životne sredine. U većini gradova tramvaji se kreću sredinom saobraćajnice i imaju ekskluzivno pravo prvenstva osim na raskrsnicama, gde dele pravo prvenstva prolaza sa vozilima, tj. svim automobilima. Dodeljivanjem ekskluzivne trake može se smanjiti vreme putovanja time što je umanjuju mogući poremećaji [3, 4]. Međutim, tramvaji moraju da se zaustave ispred raskrsnice ako dođu na crveni signal. U toj situaciji vreme putovanja tramvajem i potrošnja energije značajno raste, jer zaustavljanje podrazumeva kočenje i ponovno ubrzavanje. Neophodno je da se tramvajima unapred da prvenstvo prolaza na raskrsnici kako bi se izbegla neplanirana zaustavljanja [5, 6].

Na osnovu navedenog, jasno je da davanje prioriteta tramvajima na signalisanim raskrsnicama, posebno u linijskoj koordinaciji na primarnim saobraćajnicama, predstavlja ključnu i izvodljivu strategiju za unapređenje efikasnosti rada i nivoa usluge tramvaja. Uprkos sve većoj primeni koncepta davanja prednosti vozilima javnog prevoza u drumskom saobraćaju, tehnike za vrednovanje njihovih uticaja na učesnike u saobraćaju su i dalje oskudno razvijene, a često se vrednovanje uopšte i ne sprovodi. Osnovni cilj ovog rada je da se taj nedostatak delimično nadomesti kroz istraživanje uticaja implementacije adaptibilnog upravljanja saobraćajem na signalisanim raskrsnicama. Za prostor istraživanja odabrana je jedna deonica u Beogradu koju odlikuje rezervisana traka za kretanje tramvaja. Na osnovu eksperimentalno utvrđenih podataka i podataka dobijenih pomoću detektora kvantifikovan je uticaj strategije davanja prioriteta tramvajima uz pomoć svetlosnih signala na uslove u saobraćajnom toku. Ovaj uticaj procenjen je na osnovu poređenja stanja pre ugradnje detektora i nakon njihove implementacije i puštanja u rad.

2. PREGLED LITERATURE

Savremene upravljačke mere koje se planiraju i donose sa ciljem da ublaže saobraćajna zagušenja zasnovane su na postavkama održivosti u okviru čega je poseban akcenat stavljen na promenu vida prevoza. Zato je, između ostalog, od velike važnosti raditi na unapređivanju kvalitet sistema JMPP-a kako bi se korisnici podstakli da pređu na njegovu upotrebu. Koncepti davanja prioriteta vozilima javnog prevoza sve se više usvajaju u gradovima širom sveta [7]. Davanje prioriteta uobičajeno podrazumeva da se prilikom saobraćajnog projektovanja ovim vozilima dodeljuje određena saobraćajna površina (tzv. ekskluzivne saobraćajne trake) ili se unapređuje vreme putovanja pomoću

svetlosnih signala u cilju poboljšanja eksploatacionih performansi vozila javnog prevoza [8].

U literaturi se odavno proučava davanje prioriteta javnom prevozu na raskrsnicama regulisanim svetlosnim signalima. U pregledu literature koji su uradili Diakaki i saradnici [9] navodi se da davanje prioriteta na raskrsnicama može da smanji vreme putovanja vozila javnog prevoza na račun drugih vozila. Nelson i Bullock [10] ukazuju na to da se prioritet tramvajima i autobusima daje samo kada su zadovoljeni određeni uslovi i treba ih pažljivo ispitivati od slučaja do slučaja. Nekoliko studija pokazalo je da strategije davanja prioriteta mogu osetno smanjiti vreme putovanja vozila javnog prevoza pri visokom stepenu zasićenja uz tolerantan negativan uticaj na sporedne tokove. Na primer, Li i saradnici [11] razvili su i primenili plan rada signala za davanje prioriteta javnom prevozu na osnovu podataka sa detektora. Na opterećenoj raskrsnici je utvrđeno da su prosečni vremenski gubici autobusa i prosečni vremenski gubici automobila u smeru kretanja autobusa bili manji za približno 43% i 16%, respektivno. Osim toga, prosečni vremenski gubici vozila na sporednom pravcu uvećani su za oko 12%. Shu i saradnici [12] predložili su model upravljanja signalima za davanje prioriteta javnom prevozu u cilju minimiziranja ukupnih vremenskih gubitaka na raskrsnici u uslovima bliskim zasićenju. Rezultati pokazuju da se za raskrsnice u nezasićenom stanju može dobiti više od 6% smanjenja vremenskih gubitaka kada je prioriteto vreme kraće od 5 sekundi. Štaviše, čak i kada je stepen zasićenja na raskrsnici 0,95, može se dati prioritet vozilu javnog prevoza samo ako je prioriteto vreme kraće od 5 sekundi.

3. STRATEGIJE DAVANJA PRIORITETA JAVNOM PREVOZU

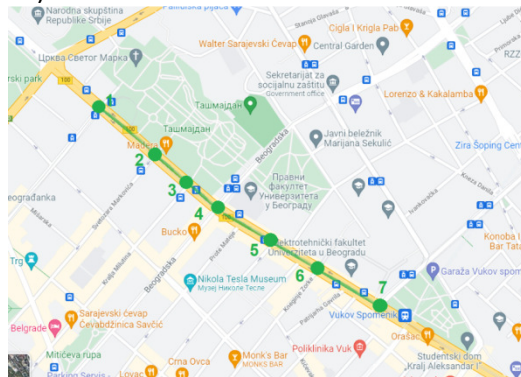
U opštem slučaju, postojeće strategije davanja prioriteta na signalisanim raskrsnicama mogu se svrstati u dve osnovne kategorije: strategije pasivnog i strategije aktivnog prioriteta. Strategije aktivnog prioriteta se, zatim, mogu podeliti na bezuslovni i uslovni aktivni prioritet [13]. Strategije pasivnog prioriteta imaju za cilj razvoj signalnih planova u korist vozila javnog prevoza duž koridora sa signalisanim raskrsnicama. One se često primenjuju na sisteme upravljanja svetlosnim signalima koji rade u fiksnom režimu. Razvijene su na osnovu istorijskih podataka i ne zahtevaju bilo kakav sistem detekcije. Strategije pasivnog prioriteta podrazumevaju pravljenje zelenog talasa za vozila javnog prevoza prilagođavanjem redosleda i trajanja signalnih faza na više uzastopnih raskrsnica. Dokazano je da su strategije pasivnog prioriteta efektivne na mrežama jednostavne strukture sa visokom frekvencijom vozila javnog prevoza [5]. Međutim, takođe je ukazano na to da su strategije pasivnog prioriteta manje prilagodljive kada je protok vozila veći.

Za razliku od pasivnog prioriteta, aktivni prioritet često se primenjuje zbog svoje fleksibilnosti. Aktivni sistemi za davanje prioriteta primenjuju selektivnu detekciju vozila kako bi detektovali približavanje vozila javnog prevoza i prilagodili plan rada signala na unapred definisan način u cilju aktiviranja, primera radi, pretpaljenja, produženja zelenog ili specijalne faze za javni prevoz [14]. Mogu biti uslovni i bezuslovni. Strategije bezuslovnog aktivnog prioriteta garantuju apsolutni prioritet vozilima javnog prevoza kada se ta vozila detektuju na prilazu raskrsnici. Iako bezuslovni prioritet uvek daje zeleni signal vozilima javnog prevoza i ubrzava ta vozila tako što im garantuje da neće biti zaustavljena crvenim signalom na raskrsnicama, on neminovno prouzrokuje poremećaje u toku neprioritetnih vozila, posebno kada je obim saobraćaj neprioritetnih vozila veliki.

S druge strane, uslovni aktivni sistemi daju prioritet samo ako je ispunjen određeni skup uslova i pravila, poput toga da li bi poremećaji u toku neprioritetnih vozila bili veći od granične vrednosti i da li vozila javnog prevoza već kasne u odnosu na red vožnje. Na osnovu dosadašnjih istraživanja zaključeno je da uslovni aktivni model za davanje prioriteta daje efekte u uslovima umerenog zagušenja, jer može značajno da smanji vremenske gubitke vozila na raskrsnicama, a da ne izazove prekomerne vremenske gubitke za ostale učesnike u saobraćaju. Brojne studije proučavale su različite strategije davanja prioriteta svetlosnim signalima pri istim saobraćajnim uslovima. Nekoliko studija došlo je do sličnog rezultata ukazujući su na to da uslovno aktivno davanje prioriteta ima za rezultat manji uticaj na neprioritetna vozila [15].

4. STUDIJA SLUČAJA: BEOGRAD - DAVANJE PRIORITETA TRAMVAJIMA U BULEVARU KRALJA ALEKSANDRA

Predmetni koridor ovog rada je deo Bulevara kralja Aleksandra (BKA) u Beogradu. Nalazi se na gradskoj opštini Voždovac i sa svojih 7,5 km dužine druga je po dužini ulica na teritoriji grada. Za potrebe istraživanja uzeta je deonica koridora od ukrštanja sa Resavskom ulicom do ukrštanja sa Ruzveltovom ulicom u okviru koga se nalazi 7 signalisanih raskrsnica (slika 1).



Slika 1. Predmetni koridor

Korisnike tramvajskog podsistema javnog prevoza na ovoj trasi opslužuju tri redovne linije. Najkompleksnije raskrsnice, sa aspekta balansa između vremenskih gubitaka javnog prevoza i vremenskih gubitaka ostalih učesnika u saobraćaju na predmetnom koridoru su BKA – Beogradska, BKA – Resavska i BKA - Ruzveltova.

Na svim signalisanim raskrsnicama koje su u obuhvatu istraživanja implementiran je aktivni uslovni prioritet vozilima tramvajskog podistema javnog gradskog prevoza putnika (u daljem tekstu tramvajima). Za potrebe detekcije tramvaja u zoni raskrsnice primenjuje se sistem Sitraffic STREAM koji za detekciju položaja tramvaja koristi GPS tehnologiju, dok se komunikacija sa kontrolnim centrom bazira na GPRS/UMTS tehnologiji.

Svako vozilo tramvajskog podsistema javnog prevoza opremljeno je uređajem u vozilu koje putem GPS tehnologije prati vozilo javnog prevoza. Tačnije, on prati vozilo koje se približava raskrsnici i isto najavljuje upravljačkom uređaju slanjem telegrama putem GPRS tehnologije. Za svaki prilaz raskrsnici na kome saobraćaju tramvaji definisane su virtuelne tačke registracije tramvaja (x i y) tako da se vreme dolaska tramvaja predviđa i ažurira u realnom vremenu. Takođe, definisana je i tačka odjave tramvaja (z), te nakon prolaska istog uređaj u vozilu deli informaciju da je tramvaj napustio raskrsnicu. Sistem za

zahtevanje prioriteta sa upravljačkim uređajima deli informacije o prolasku uređaja preko definisanih tačaka na osnovu kojih se previđa vreme nailaska vozila javnog prevoza. Upravljački uređaj na osnovu pomenutih informacija, kao i informacija o saobraćajnom protoku, trenutnoj fazi rada svetlosnih signala i strategijama plana rada signala u realnom vremenu prilagođava plan rada signala tako što daje prioritet tramvajima uz istovremeno eksplicitno razmatranje uticaja na ostala vozila. Modaliteti u davanju prioriteta tramvajima mogu biti: produženje zelenog signalnog pojma, skraćivanje nekog drugog aktivnog stanja i ubacivanje specijalne faze za opsluživanje tramvaja. Algoritam za upravljanje svetlosnim signalima bira model davanja prioriteta u određenoj situaciji sa ciljem održavanja balansa između vremenskih gubitaka javnog prevoza i vremenskih gubitaka ostalih učesnika u saobraćaju a u skladu sa projektovanim detektorskim režimom rada.

4.1. Metodologija istraživanja

Kako je cilj studije poređenje pređašnjeg i sadašnjeg stanja, neophodno je sprovesti istraživanja kako bi se dobili ulazni podaci za proces utvrđivanja nivoa usluge. Svi prikupljeni podaci su detaljno i precizno analizirani kako bi se omogućilo sprovođenje pouzdane uporedne analize, odnosno utvrdio uticaj davanja prioriteta javnom prevozu na uslove u saobraćajnom toku. Prva istraživana karakteristika je protok saobraćaja. Brojanje saobraćaja je vršeno je 2019. godine u jutarnjem vršnom satu od 7 do 9 časova i u popodnevnom vršnom satu od 15 do 17 časova. Istraživanje je sprovedeno primenom manuelne metode odnosno popunjavanjem brojačkih obrazaca. Vozila su podeljena u sledeće grupe: putnički automobili, autobusi, tramvaji i komercijalna vozila. Podaci za posmatrani period 2021. godine preuzeti su sa detektora koji se nalaze na glavnom pravcu na istom preseku na kome je vršeno brojanje saobraćaja 2019. godine.

Paralelno sa brojanjem saobraćaja obavljeno je terensko istraživanje vremena putovanja automobilom na koridoru. Merenje počinje prelaskom prednjih točkova vozila preko linije zaustavljanja na početku koridora odnosno na prvoj raskrsnici na koridoru i završava se prelaskom prednjih točkova vozila preko linije zaustavljanja na kraju koridora odnosno na poslednjoj raskrsnici na koridoru. Realizovani su višestruki prolasci u svakom periodu i smeru snimanja koji su uprosečeni radi dalje analize. Korišćena je „metoda pokretnog osmatrača“. Podaci su beleženi „Speedometer GPS“ aplikacijom na pametnom telefonu operativnog sistema Android. Aplikacija beleži podatke u realnom vremenu o brzini vozila i geografskim koordinatama u intervalima od jedne sekunde. Vreme putovanja tramvajem analizirano je za iste datume i periode kada su vršena i druga istraživanja na terenu.

5. REZULTATI

Prosečno vreme putovanja putničkim automobilom i tramvajem, u oba smera, u stanju pre i stanju posle prikazano je u Tabeli 1. Smer 1 predstavlja smer od Vukovog spomenika ka Tašmajdanu, dok smer 2 predstavlja smer od Tašmajdana ka Vukovom spomeniku.

Tabela 1. Rezultati saobraćajnog istraživanja

			putnički automobil		tramvaj	
		Dužina koridora (m)	Prosečno vreme putovanja (s)	Prosečna brzina (m/s)	Prosečno vreme putovanja (s)	Prosečna brzina (m/s)
Smer 1	PRE	903	254	3,56	592	1,53
	POSLE	903	248	3,64	345	2,62
Smer 2	PRE	936	200	4,68	304	3,08
	POSLE	936	192	4,88	270	3,47

Prosečno vreme putovanja individualnog saobraćaja je maltene identično pre i nakon implementacije sistema za davanje prioriteta tramvajskom podsystemu javnog prevoza. Međutim, prosečno vreme putovanja tramvaja je značajno smanjeno uvođenjem sistema. U smeru od Vukovog spomenika ka Tašmajdanu vreme putovanja je smanjeno za 42% u odnosu na isti period pre uvođenja sistema. U drugom smeru, vreme putovanja tramvajem je smanjeno za 11%.

5.1. Nivo usluge

Nivo usluge individualnog saobraćaja

U narednom koraku pristupljeno je utvrđivanju nivoa usluge na koridoru. Metodologija data u „HCM 2010“ predstavlja uopšten, sistematizovan i opšteprihvaćen analitički pristup za utvrđivanje nivoa usluge na koridoru [36]. Kako je prikupljanje ulaznih podataka za analitički proračun nivoa usluge vremenski zahtevno, autor je koristio konačnu formulu sa podacima dobijenim sprovedenim terenskim istraživanjem tokom kojeg su prikupljeni podaci o vremenu putovanja i brzini duž koridora.

Utvrđivanje nivoa usluge utvrđeno je na osnovu odnosa brzine putovanja (V_p) i bazne vrednosti slobodne brzine (V_{SL_BAZNA}), na osnovu tabele 2.

Tabela 2. Nivo usluge na deonici prema HCM 2010

V_p / V_{SL_BAZNA} (%)	NU
>85	A
> 67 – 85	B
> 50 – 67	C
> 40 – 50	D
> 30 – 40	E
≤ 30	F

Za brzinu putovanja duž koridora usvojena je prosečna brzina putovanja vozila u respektivnom periodu tokom sprovedenog istraživanja. Bazna vrednost slobodne brzine utvrđena je istraživanjem na terenu sprovedenim u van vršnom periodu, takođe metodom pokretnog osmatrača. Kako je najveća ostvarena brzina tokom vožnje duž koridora veća od ograničenja brzine na deonici, ista je usvojena za baznu vrednost slobodne brzine. Usvojena vrednost slobodne brzine je 65 km/h odnosno 18 m/s.

Tabela 3. Nivo usluge individualnog saobraćaja pre i posle uvođenja prioriteta tramvajima

	smer 1 (Vukov spomenik. - Tašmajdan)		smer 2 (Tašmajdan - Vukov spomenik)	
	V_p / V_{SL_BAZNA} (%)	NU	V_p / V_{SL_BAZNA}	NU
PRE	20	F	26	F
POSLE	20	F	27	F

U Tabeli 3 prikazan je nivo usluge na deonici koji je F u oba smera, i pre i nakon implementacije sistema iz čega se može zaključiti da uvođenjem davanja prioriteta tramvajima nije imalo ni pozitivan ni negativan uticaj na ostale učesnike u saobraćaju.

Utvrđivanje nivoa usluge za vozila javnog prevoza

Nivo usluge javnog prevoza na deonici utvrđuje se na osnovu indeksa vremena putovanja na analiziranoj deonici (Tabela 4). Indeks vremena putovanja definisan je odnosom idealnog i realnog vremena putovanja. Idealno vreme putovanja predstavlja vreme putovanja u uslovima slobodnog toka, bez uticaja raskrsnica i isključivo zavisi od operative brzine vozila i broja stajališta na deonici. [37].

Za realno vreme putovanja je usvojeno prosečno vreme putovanja tramvaja u respektivnom periodu tokom sprovedenog istraživanja koja su prikazana u Tabeli 1. Za idealno vreme putovanja tramvaja usvojena su minimalna vremena između stajališta i minimalno zadržavanje na stajalištu. Utvrđeno minimalno vreme putovanja je 180 sekundi.

Tabela 4. Indeks vremena putovanja JP

Indeks vremena putovanja	NU
> 0,95	A
> 0,90	B
> 0,80	C
> 0,65	D
> 0,50	E
< 0,50	F

Tabela 5. Utvrđen nivo usluge na deonici

	smer 1 (Vukov spomenik. - Tašmajdan)		smer 2 (Tašmajdan - Vukov spomenik)	
	indeks vremena putovanja	NU	indeks vremena putovanja	NU
PRE	0,30	F	0,59	D
POSLE	0,52	E	0,67	C

Rezultati jednoznačno ukazuju da je nivo usluge za tramvaje poboljšan na koridoru u oba posmatrana smera.

6. ZAKLJUČAK

Upravljanje transportnim zahtevima u gradovima predstavlja složen proces koji zahteva svaobuhvatni pristup i integrisanje politika transportnih podsistema. Stari koncept upravljanja transportnim zahtevima orijentisan ka putničkom automobilu i obezbeđivanju dodatnih kapaciteta u gradskim sredinama pokazao se neefikasnim. Zato

je savremeni koncept okrenut ka drugim vidovima prevoza poput JMPP-a, deljenim vozilima i nemotorizovanim kretanjima kao efikasnijim načinima kretanja u cilju realizacije održive mobilnosti. Kao moćan alat u unapređenju saobraćajnih uslova prepoznata je mera davanja prioriteta vozilima javnog prevoza na raskrscima. U ovom radu fokus je na unapređenju saobraćajnog toka i protoka na nekoliko uzastopnih raskrscnica Bulevara kralja Aleksandra u Beogradu tako da se balansiraju potrebe javnog prevoza i drugih vozila. Razlikuje se od drugih studija slučaja po nekoliko aspekata. Prva razlika ogleda se u tome što se u ovom radu proučava prioritet dat tramvajima, koji su u manjoj interakciji sa drugim vozilima u poređenju sa autobusima. Druga razlika je ta što je dato poređenje predašnjeg i sadašnjeg stanja, dok je većina ostalih studija simulacijskog karaktera.

Za osnovni pokazatelj uticaja uvođenja prioriteta tramvajima na uslove u saobraćajnom toku analiziran je nivo usluge na posmatranoj deonici. Nivo usluge je analiziran za putničke automobile i za tramvaje dobijen prema priručniku „HCM 2010“ i sa podacima koji su dobijeni istraživanjem. Analizirani rezultati ukazuju da je nivo usluge za tramvaje pre i posle uvođenja strategije davanja prioriteta tramvajima značajno poboljšana sa nivoa usluge F i D po smeru respektivno na E i S. Paralelno, i pored povećanja protoka u odnosu na stanje pre, nivo usluge individualnog saobraćaja je ostao isti (F) za oba smera kretanja. Može se zaključiti da implementirana strategija davanja prioriteta tramvajima nema negativan uticaj na ostale učesnike u saobraćaju dok je istovremeno utvrđen pozitivan uticaj na vozila tramvajskog podsistema javnog prevoza. Narednim istraživanjima trebalo bi analizirati i kako je uvođenje prioriteta tramvajima uticalo na vremenske gubitke i nivo usluge na sporednim pravicima.

LITERATURA

- [1] Fadaei, M., & Cats, O. (2016). Evaluating the impacts and benefits of public transport design and operational measures. *Transport policy*, 48, 105-116.
- [2] Sakamoto, K., Abhayantha, C., & Kubota, H. (2007). Effectiveness of bus priority lane as countermeasure for congestion. *Transportation research record*, 2034(1), 103-111.
- [3] Mesbah, M., Sarvi, M., Currie, G., & Saffarzadeh, M. (2010). Policy-making tool for optimization of transit priority lanes in urban network. *Transportation research record*, 2197(1), 54-62.
- [4] Mesbah, M., Sarvi, M., & Currie, G. (2011). Optimization of transit priority in the transportation network using a genetic algorithm. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(3), 908-919.
- [5] Skabardonis, A. (2000). Control strategies for transit priority. *Transportation Research Record*, 1727(1), 20-26.
- [6] Hu, J., Park, B. B., & Lee, Y. J. (2015). Coordinated transit signal priority supporting transit progression under connected vehicle technology. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 55, 393-408.
- [7] Goh, K. C. K., Currie, G., Sarvi, M., & Logan, D. (2013). Road safety benefits from bus priority: an empirical study. *Transportation research record*, 2352(1), 41-49.
- [8] Currie, G., Sarvi, M., & Young, B. (2007). A new approach to evaluating on-road public transport priority projects: balancing the demand for limited road-space. *Transportation*, 34(4), 413-428.
- [9] Diakaki, C., Papageorgiou, M., Dinopoulou, V., Papamichail, I., & Garyfalia, M. (2015). State-of-the-art and-practice review of public transport priority strategies. *IET Intelligent Transport Systems*, 9(4), 391-406.

- [10] Nelson, E. J., & Bullock, D. (2000). Impact of emergency vehicle preemption on signalized corridor operation: An evaluation. *Transportation research record*, 1727(1), 1-11.
- [11] Li, M., Yin, Y., Zhang, W. B., Zhou, K., & Nakamura, H. (2011). Modeling and implementation of adaptive transit signal priority on actuated control systems. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 26(4), 270-284.
- [12] Shu, S., Zhao, J., & Han, Y. (2018). Signal timing optimization for transit priority at near-saturated intersections. *Journal of Advanced Transportation*, 2018.
- [13] Zhou, W., Bai, Y., Li, J., Zhou, Y., & Li, T. (2019). Integrated optimization of tram schedule and signal priority at intersections to minimize person delay. *Journal of Advanced Transportation*, 2019.
- [14] Islam, M. T., Tiwana, J., Bhowmick, A., & Qiu, T. Z. (2016). Design of LRT signal priority to improve arterial traffic mobility. *Journal of Transportation Engineering*, 142(9), 04016034.
- [15] Altun, S. Z., & Furth, P. G. (2009). Scheduling buses to take advantage of transit signal priority. *Transportation research record*, 2111(1), 50-59.

SUMMARY

THE IMPACT OF PUBLIC TRANSPORT PRIORITY ON THE CONDITIONS IN TRAFFIC FLOW

Abstract: Traffic congestion is a challenge faced by many urban transport networks, and the main cause is the continuous increase in transport demand. Traffic management in the sense of introducing a traffic actuation or adaptive mode of operation where traffic lights adapted to traffic conditions in real time can bring significant improvements. In addition to real-time management, in the new concept of traffic management, emphasis is placed on the traffic management in a way that will contribute to the realization of the goals of sustainable mobility. As one of the city's rail systems, the modern tram has become an important part of public transportation, especially in medium-sized cities, due to its advantages in terms of relatively low investment and environmental protection. Improving the efficiency of the tram subsystem of public passenger transport should contribute to the greater attractiveness of this system, and thus to the reduction of the use of passenger cars, which would have long-term effects on the development of cities in the future. In this paper, based on experimentally determined data and data obtained using detectors, the influence of the strategy of giving priority to trams with the help of light signals on the conditions in the traffic flow was quantified. This impact was assessed based on a comparison of the state before the installation of the detectors and after their implementation and commissioning. The obtained results of this "before and after" study show that with the proper application of prioritization techniques (for example, adequate position of the detector, good estimation of the arrival time of the tram at the intersection) the parameters used to evaluate the state of the road network can be significantly improved. It has been shown that the level of service at the intersections can be approximately maintained, because the traffic demand from the side roads has not been neglected.

Keywords: traffic flow, public transport, tram priority, sustainable mobility