



## Istraživanje intervala sljeđenja na prilazima kružnih raskrsnica

Dunja Radović<sup>a</sup>, Vuk Bogdanović<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni fakultet Doboj

<sup>b</sup> Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka

### PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.67.03.04

Stručni rad

Primljen: 02/06/2021

Prihvaćen: 10/09/2021

Koresponding autor:

dunja.radovic@sf.ues.rs.ba

*Ključne reči:*

kružna raskrsnica  
interval sljeđenja vozila u  
sporednom toku  
kapacitet

### REZIME

Poznato je da karakteristike saobraćajnog toka značajno utiču na kapacitet svih funkcionalnih segmenata putne i ulične mreže. Jedan od najvažnijih uticajnih parametara saobraćajnog toka na kapacitet kružnih raskrsnica je interval sljeđenja vozila na sporednim prilazima kružnih raskrsnica. Ovaj parametar saobraćajnog toka, kao i većina drugih, zavisi od ponašanja vozača, odnosno od lokalnih uslova odvijanja saobraćaja. U okviru ovog rada prikazani su rezultati istraživanja intervala sljeđenja vozila na prilazima tri kružne raskrsnice metodom obrade video zapisa. Ovaj metod prikupljanja podataka izabran je iz razloga što se njegovom primjenom u potpunosti eliminiše uticaj istraživanja na ponašanje učesnika u saobraćaju. Nakon istraživanja formiran je reprezentativan uzorak, a njegovom obradom i analizom izvedeni su zaključci o veličini intervala sljeđenja na sporednim prilazima kružnih raskrsnica koji se mogu primijeniti u standardnim postupcima za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica u gradovima srednje veličine našeg regiona.

### 1. Uvod

Razvijenost putne infrastrukture direktno odražava razvijenost jedne države, jer putna mreža povezuje različite dijelove države što, između ostalog, utiče na rast ekonomije. Imajući u vidu da raskrsnice predstavljaju dio putne mreže, veoma je važno projektovati ih tako da budu što bezbjednije i efektivnije. Stoga se u posljednjih nekoliko godina insistira na projektovanju kružnih raskrsnica, na mjestima gdje je to moguće. Naime, kružne raskrsnice smanjuju broj konfliktnih tačaka u odnosu na standardne četvorokrake i trokrake raskrsnice i redukuju brzinu prilaznog toka, što omogućava veću bezbjednost i efikasnost saobraćajnog toka. Sa izgradnjom kružnih raskrsnica sve je veći broj istraživanja realizovanih na ovom tipu raskrsnica sa ciljem ispitivanja i unapređenja njihovih karakteristika (Marić i Branković, 2020; Macioszek, 2020; Čičević i dr., 2015).

Jedan od parametara saobraćajnog toka koji značajno utiče na kapacitet kružnih raskrsnica je interval, odnosno vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku. Izvorno, vrijeme sljeđenja predstavlja period koji protekne između prolaska čela, odnosno zadnjeg dijela, dva uzastopna vozila preko posmatranog presjeka puta.

Ovaj parametar je jedan od osnovnih parametara saobraćajnog toka, a njegov značaj za kapacitet puteva i elemenata putne mreže je prepoznat još u prvim radovima iz oblasti teorije saobraćajnog toka. Za proračun kapaciteta elemenata putne mreže koristi se srednja vrijednost vremena sljeđenja koje se ostvari preko posmatranog presjeka u nekom izabranom periodu vremena. Ovako utvrđen parametar saobraćajnog toka na prilazima kružnih raskrsnica zove se interval sljeđenja vozila u sporednom toku (engl. follow-up headway). Kao i na ostalim dijelovima putne mreže, od veličine utvrđenog intervala sljeđenja zavisi potencijalni kapacitet prilaza kružnih raskrsnica. Ponašanje vozača utiče na veličinu intervala sljeđenja, samim tim i na kapacitet i nivo usluge kružnih raskrsnica. Ponašanje vozača je pod velikim uticajem različitih faktora koji zavise od geometrijskih karakteristika raskrsnice, veličine zahtjeva za protokom, ali i socioloških i društvenih okolnosti, mentaliteta, zakonskih normi itd. Zbog navedenih razloga, vremenske intervale sljeđenja je potrebno definisati za lokalne uslove odvijanja saobraćaja.

Motiv za istraživanje sprovedeno u ovom radu predstavlja činjenica da su istraživanja parametara saobraćajnog toka, pa i intervala sljeđenja u našem regionu veoma rijetka. Za objektivno proračunavanje kapaciteta kružnih raskrsnica potrebno je poznavati realnu minimalnu vrijednost intervala sljeđenja u uslovima zasićenog toka. Prihvatanjem vrijednosti ovog parametra koji je rezultat istraživanja u drugim sredinama, mogu se dobiti nerealne vrijednosti kapaciteta koje ne odgovaraju lokalnim uslovima odvijanja saobraćaja. Dok je u (Bogdanović i Radović, 2020) istraživani kritični interval sljeđenja vozila, u okviru ovog rada su prikazani rezultati istraživanja vremenskog intervala sljeđenja na jednostranim kružnim raskrsnicama u BiH. Na osnovu detaljne analize i obrade podataka preporučena je vrijednost intervala sljeđenja vozila u sporednom toku koja odražava lokalne navike i ponašanje vozača na kružnim raskrsnicama u BiH, ali i u zemljama u okruženju.

## 2. Uticaj intervala sljeđenja vozila u sporednom toku na kapacitet kružne raskrsnice

U inženjerskoj praksi, za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica najčešće se koristi postupak definisan u novijim verzijama HCM-a (HCM, 2010; HCM, 2016). Ovaj postupak temelji se na Harders-ovom modelu (Harders, 1968) prihvatljivih intervala sljeđenja. Kapacitet sporednog prilaza zasnovan je na konfliktom toku i intervalima sljeđenja vozila, a jednačina za njegovu procjenu je:

$$C_{px} = V_{c,x} \cdot \frac{e^{-V_{c,x} \cdot t_{c,x} / 3.600}}{1 - e^{-V_{c,x} \cdot t_{f,x} / 3.600}} \quad (1)$$

gdje je:

- $C_{px}$  – kapacitet sporednog prilaza  $x$  [voz/h];
- $V_{c,x}$  – konfliktni tok za sporedni prilaz  $x$  [voz/h];
- $t_{c,x}$  – kritični interval sljeđenja na prilazu  $x$  [s];
- $t_{f,x}$  – interval sljeđenja na sporednom prilazu  $x$  [s].

Prema (HCM, 2016) model za proračun kapaciteta ulazne saobraćajne trake na jednostranoj kružnoj raskrsnici za preporučene vrijednosti kritičnog intervala sljeđenja od 4,98 [s] i intervala sljeđenja na sporednom prilazu od 2,61 [s] je sljedeći:

$$c_{e,pce} = 1.380e^{(-1,02 \times 10^{-3})v_{c,pce}} \quad (2)$$

gdje je:

- $c_{e,pce}$  – kapacitet ulazne trake, prilagođen za teretna vozila [pa/h];
- $v_{c,pce}$  – konfliktni tok [pa/h].

Na osnovu predstavljenog modela može se zaključiti da je kapacitet sporednog prilaza kružnih raskrsnica pod snažnim uticajem kritičnog intervala sljeđenja i intervala sljeđenja vozila u sporednom toku. Očito je da kako broj preporučenih vrijednosti koje se koriste u analizi raste, tako rezultat analize postaje neprecizniji i može biti značajno različit od stvarnog rezultata, zavisno od lokalnih uslova. Shodno tome, metodologija HCM preporučuje lokalna mjerenja kao najpouzdaniji metod prilikom definisanja vrijednosti parametara saobraćajnog toka za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica.

## 3. Pregled literature

Raff, (1950) je definisao interval sljeđenja vozila kao interval koji protekne između prolaska dva uzastopna vozila preko posmatranog presjeka. Prema Kuzović i Bogdanović, (2010) interval sljeđenja vozila, kao jedan od osnovnih parametara saobraćajnog toka, predstavlja vrijeme između prolaska čela dva uzastopna vozila, u jednom smjeru za jednosmjerne saobraćajnice, odnosno u oba smjera za dvosmjerne saobraćajnice, kroz zamišljeni presjek posmatranog odsjeka puta. Osnovni simbol za označavanje intervala sljeđenja je  $t_h$ , a osnovna jedinica je sekunda. Sa gledišta realnih saobraćajnih tokova, zavisno od načina posmatranja toka u odnosu na prostor i vrijeme, razlikuju se:

- Intervali sljeđenja ( $t_{hi}$ ) pojedinačno za ( $N$ ) vozila koja u periodu vremena ( $T$ ) prođu posmatrani presjek (odsjeka ili dionice) puta;
- Srednja vrijednost intervala sljeđenja ( $t_h$ ) na posmatranom presjeku puta za ( $N$ ) vozila u vremenu ( $T$ ):

$$\bar{t}_h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{hi} \quad (3)$$

Vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku ili vrijeme kašnjenja u startu vozila na sporednom prilazu definiše se kao vrijeme koje protekne od momenta kada prvo vozilo iz reda čekanja sa sporednog prilaza pređe zaustavnu liniju i uđe u središte raskrsnice do momenta kada sljedeće vozilo pređe zaustavnu liniju i uđe u središte raskrsnice (Kuzović i Bogdanović, 2010). Prema tome, vrijeme sljeđenja u sporednom toku ili vrijeme kašnjenja u startu, predstavlja period između dva uzastopna ulaska vozila u glavni (kružni) tok iz reda čekanja, a sastoji se od:

- vremena kretanja u redu čekanja i zauzimanja čeonice pozicije;
- vremena osmatranja saobraćajne situacije i donošenja odluke od strane vozača o nastavku kretanja kroz glavni tok.

Što je sporedni manevar komplikovaniji, to je vrijeme osmatranja i donošenja odluke od strane vozača duže, pa je i vremenski interval sljeđenja, odnosno kašnjenja u startu, veći. Ovaj parametar se označava simbolom  $t_f$  i njegova veličina značajno utiče na kapacitet prioritarnih raskrsnica.

Vozači iz sporednog toka ne mogu stupiti u zonu kruženja u kratkom periodu vremena, nakon što je prethodno vozilo iz sporednog toka stupilo u tok, zbog prostornog rastojanja i vremenskog intervala između ova dva vozila u koloni koji uključuju dužinu vozila. Prema tome, vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku,  $t_f$ , predstavlja interval između dva uzastopna vozila u koloni na ulivu prilikom ulaska u zonu kruženja tokom istog intervala sljeđenja u glavnom toku (Brilon i dr., 1999). Prema Xu i Tian, (2008) vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku je minimalni interval između dva uzastopna vozila na ulivu (ulazu) u kružni tok, a može se izračunati kao prosječna vrijednost razlike između vremena prolaska dva uzastopna vozila u redu čekanja na sporednom toku u okviru istog intervala sljeđenja u glavnom toku. Prema Macioszek, (2017) ako je rastojanje između vozila u zoni kruženja dovoljno veliko tako da omogućava ulazak vozila iz reda čekanja u sporednom toku, tada vozila iz sporednog toka prelaze zaustavnu liniju u vremenskom intervalu sljeđenja ( $t_f$ ), jedno za drugim. Dakle, ako na sporednom toku kružne raskrsnice postoji red čekanja i ako vozila iz ovog reda čekanja koriste isti interval između vozila u glavnom toku, tada se vrijeme (interval) sljeđenja vozila u sporednom toku može izračunati na sljedeći način:

$$t_f = t_f^{sljedeće} - t_f^{prethodno} \quad (4)$$

gdje je:

$t_f$  – vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku [s];

$t_f^{sljedeće}$  – vrijeme prelaska zaustavne linije od strane sljedećeg vozila iz reda čekanja [s];

$t_f^{prethodno}$  – vrijeme prelaska zaustavne linije od strane prethodnog vozila iz reda čekanja [s].

Interval sljeđenja vozila u sporednom toku se može direktno izmjeriti sa posmatranih kružnih raskrsnica. On se utvrđuje za pojedinačna vozila kad god se najmanje dva uzastopna vozila u koloni na sporednom toku ulivaju u kružni tok u okviru istog intervala u konfliktnom toku. Kolona, odnosno red čekanja postoji kada je brzina vozila određena vozilom ispred njega. Drugim riječima, ako vozilo trpi vremenski gubitak zbog jednog ili više vozila ispred njega na ulazu u zonu kruženja, tada se smatra da su ova vozila u koloni (Schmitt, 2013). Na kraju se prosječna vrijednost intervala sljeđenja vozila u sporednom toku procjenjuje na osnovu pojedinačnih mjerenja.

U radu (Krishna, 2015) su proračunate vrijednosti intervala sljeđenja vozila na kružnim raskrsnicama u različitim oblastima Indije. Vrijednosti dobijene za vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku variraju od 0,72 do 1,59 [s] i ukazuju na veoma agresivan stil vožnje vozača u Indiji.

Rezultati su pokazali i da se ponašanje vozača mijenja u zavisnosti od sastava saobraćajnog toka, odnosno zabilježeno je da su intervali sljeđenja bili veći kada je i broj teretnih vozila bio veći. Xu i Tian, (2008) su predstavili rezultate koji se takođe odnose na proračun vremena sljeđenja vozila u sporednom toku na sedam jednotračnih i tri višetračne kružne raskrsnice u Kaliforniji. Izdvojeno je ukupno 742 intervala na deset kružnih raskrsnica, od čega je 230 na jednotračnim, a 512 na višetračnim kružnim raskrsnicama. Na jednotračnim kružnim raskrsnicama najveća vrijednost iznosi 2,8 [s], a najmanja 2,3 [s], prosječno 2,5 [s] što je manje od vrijednosti preporučene u (NCHRP 3-65). Takođe, manja je vrijednost vremena sljeđenja u sporednom toku od preporučene i za višetračne kružne raskrsnice, a iznosi 2,3 [s] za lijevu i 2,2 [s] za desnu traku. Autori su takođe ustanovili da sa povećanjem broja vozila u zoni kruženja i brzine dolazi do smanjenja vremena sljeđenja vozila u sporednom toku.

Gazzari i dr., (2012) su sproveli istraživanje na sedam kružnih raskrsnica u sjevernoj Toskani kako bi utvrdili da li je preporučena vrijednost vremena sljeđenja vozila u sporednom toku pogodna za Italiju. Rezultati su pokazali da je vrijednost intervala sljeđenja vozila u sporednom toku veća samo u odnosu na vrijednosti dobijene za Kaliforniju, a manja u odnosu na vrijednosti u svim ostalim međunarodnim studijama. Za jednotračne kružne raskrsnice vrijednost vremena sljeđenja vozila u sporednom toku iznosi 2,63 [s], a za višetračne za lijevu traku 2,65 [s] i za desnu traku 2,64 [s]. Wei i Grenard, (2012) su u svom radu prilagođavali model iz HCM 2010 za proračun kapaciteta jednotračnih kružnih raskrsnica lokalnim uslovima u Indijani, SAD, a istraživanje koje je sprovedeno na tri kružne raskrsnice je pokazalo da je vrijednost vremena sljeđenja vozila u sporednom toku manja od one preporučene u HCM-u 2010 i da iznosi 2,20 [s].

U radu (Barry, 2012) je izvršeno snimanje 13 prilaza na šest kružnih raskrsnica u Džordžiji, a rezultati istraživanja na tri kružne raskrsnice čine osnovu rada. Kada su vozila koja napuštaju kružni tok, odnosno vozila na izlazu iz kružne raskrsnice isključena iz proračuna, ponderisana vrijednost vremena sljeđenja vozila u sporednom toku je iznosila 3,46 [s]. Kada su vozila na izlazu iz kružne raskrsnice uključena u analizu, ponderisana vrijednost vremena sljeđenja vozila u sporednom toku je iznosila 2,80 [s]. I u drugim istraživanjima je utvrđeno da se vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku smanjuje kada se vozila na izlazu iz kružne raskrsnice razmatraju u proračunu (Zheng i dr., 2011).

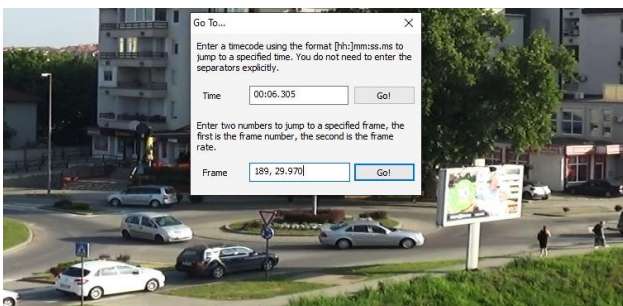
#### 4. Metodologija istraživanja

Istraživanje je sprovedeno na tri četvorokrake kružne raskrsnice sa po jednom saobraćajnom trakom na ulivu/izlivu i jednotračnim kružnim kolovozom na području grada Bijeljine, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina. U svrhu mjerenja intervala sljeđenja primijenjen je takozvani fotografski metod koji podrazumijeva analizu video snimaka realnog saobraćajnog toka. Zatim su video zapisi obrađeni primjenom softvera koji se koristi za reprodukciju i obradu video zapisa. Predmet istraživanja su bile tri kružne raskrsnice snimljene u periodu vršnog časa u urbanom području grada Bijeljine i to:

- Raskrsnica ulica Neznanih junaka, Gavrila Principa, Svetog Save i Filipa Višnjića,
- Raskrsnica ulica Neznanih junaka, Ive Andrića, Stefana Dečanskog i Sremske ulice i
- Raskrsnica ulica Neznanih junaka, Kulina bana i Dušana Baranina.

Vrijeme sljeđenja vozila u sporednom toku razmatrano je samo u uslovima zasićenog saobraćajnog toka koje su Zheng i dr., (2011) definisali kao stanje kada najmanje jedno vozilo čeka iza vozila ispred njega, prije nego što vozilo ispred uđe u kružni tok. Dakle, za utvrđivanje ovog intervala sljeđenja uzeti su u obzir samo redovi čekanja dužine od najmanje dva vozila. S obzirom na to da je kružna raskrsnica takav tip raskrsnice gdje se vozila moraju zaustaviti samo zbog vozila u zoni kruženja, a u mnogim slučajevima vozila se ne zaustave u potpunosti, smatra se da je vozilo u redu čekanja kada pretrpi vremenski gubitak zbog vozila u glavnom toku ispred njega. Prema tome, red čekanja podrazumijeva situaciju kada vozilo na sporednom toku mora da značajno smanji brzinu ili da se zaustavi zbog vozila ispred njega koje kruži u glavnom toku.

Za utvrđivanje vremena sljeđenja vozila u sporednom toku neophodno je na samom početku izdvojiti pojedinačne vremenske trenutke. U tu svrhu je u ovom radu korišćen MPC-HC (Media Player Classic Home Cinema) plejer, a izdvajanje vremenskih trenutaka je vršeno pomoću komande CTRL+G (slika 1.).



Slika 1. Izdvajanje vremenskih trenutaka

Kako bi se izmjerio vremenski interval sljeđenja vozila u sporednom toku, dvije imaginarne linije su povučene, jedna na ulazu (ulivu) u kružni tok (A), a druga na mjestu potencijalnog konflikta između vozila u glavnom toku i vozila na sporednom toku (B), kao što je predstavljeno na narednoj slici (slika 2.).



Slika 2. Imaginarne konfliktne linije A i B

Interval sljeđenja vozila u sporednom toku predstavlja vrijednost između dva uzastopna vozila A i B u sporednom toku, ali u okviru istog intervala sljeđenja između vozila D i E u glavnom toku (slika 3.).



Slika 3. Interval sljeđenja vozila u sporednom toku u okviru istog intervala u glavnom toku

Za proračun vremena, odnosno intervala sljeđenja vozila u sporednom toku dva vremenska trenutka se razmatraju ( $T_1$  kao početak intervala i  $T_2$  kao kraj intervala). Vremenski trenutak  $T_1$  predstavlja trenutak kada prvo vozilo A iz reda čekanja u sporednom toku pređe zaustavnu liniju, odnosno kada njegov zadnji branik dotakne imaginarnu liniju A (slika 4.).



Slika 4. Vremenski trenutak  $T_1$

Trenutak  $T_2$  predstavlja trenutak kada sljedeće vozilo B (koje se nalazi u redu čekanja odmah iza prvog vozila) pređe zaustavnu liniju, odnosno kada njegov zadnji branik dotakne imaginarnu liniju A (slika 5.).



Slika 5. Vremenski trenutak  $T_2$

Razlika između ova dva vremenska trenutka ( $T_2$  i  $T_1$ ) predstavlja interval sljeđenja vozila u sporednom toku. Prosječna vrijednost svih izračunatih intervala sljeđenja vozila u sporednom toku se direktno primjenjuje u formulu za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica.

## 5.Rezultati istraživanja

Utvrđene vrijednosti pojedinačnih intervala sljeđenja kao rezultata lokalnih mjerenja unijete su u program Excel čineći bazu podataka u vidu tabele (slika 6.). U prvu kolonu je upisivan redni broj posmatranog vozila, u drugu interval sljeđenja svakog pojedinačnog vozila, a u treću kolonu raskrsnica na kojoj su zabilježeni karakteristični intervali sljeđenja.

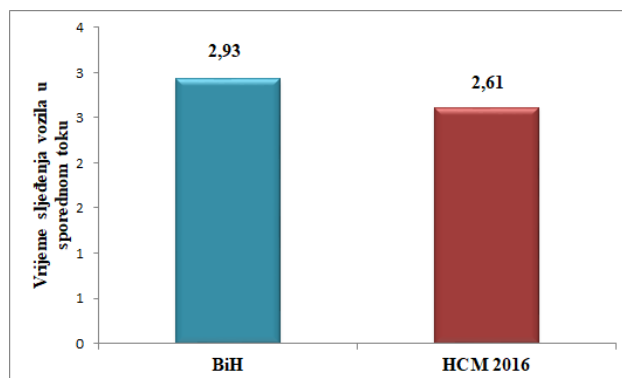
vozilo	interval sljeđenja	vozilo	interval sljeđenja	vozilo	interval sljeđenja
41	2,803	153	2,196	327	3,725
42	2,528	154	1,806	328	3,129
43	2,632	155	2,082	329	5,098
44	3,911	156	2,514	330	2,724
45	1,802	157	3,329	331	2,643
46	2,894	158	3,375	332	3,568
47	3,161	159	2,122	333	2,899
48	2,945	160	3,676	334	3,997
49	3,534	161	2,944	335	4,588
50	2,784	162	3,435	336	4,108
51	3,289	163	2,7	337	3,441
52	3,72	164	3,208	338	4,159
53	2,912	165	2,354	339	2,494
54	2,979	166	2,723	340	2,173
55	2,724	167	2,404	341	3,772
56	3,606	168	3,646	342	3,45
57	2,868	169	4,222	343	1,981
58	2,704	170	3,194	344	3,559
59	2,539	171	3,111	345	2,139
60	2,656	172	2,835	346	4,098
61	1,357	173	2,905	347	2,637
62	2,581	174	2,271	$\bar{x}$	2,927305476

Slika 6. Postupak utvrđivanja intervala sljeđenja vozila u sporednom toku

Vremenski interval sljeđenja vozila u sporednom toku je direktno izmjeren preko video zapisa, tačnije interval je dobijen kao prosječna vrijednost razlike vremenskih trenutaka. Kao što se može vidjeti na slici 6. izdvojeno je ukupno 347 intervala na sve tri kružne raskrsnice, a prosječna vrijednost iznosi  $t_f=2,93$  [s].

## 6.Diskusija

U inženjerskoj praksi, za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica najčešće se koriste postupci HCM-a koji je najcitiraniji priručnik za proračun kapaciteta. Iz tog razloga je izvršena uporedna analiza između izračunate vrijednosti intervala sljeđenja vozila u sporednom toku i preporučene vrijednosti u (HCM 2016). Izračunata vrijednost vremena sljeđenja vozila u sporednom toku koja iznosi 2,93 [s] se razlikuje od vrijednosti preporučene u (HCM, 2016) koja iznosi 2,61 [s]. Na slici 7. su predstavljene vrijednosti za ovaj parametar za jednostrane kružne raskrsnice u (HCM, 2016) i u BiH.



Slika 7. Poređenje vrijednosti vremena sljeđenja vozila u sporednom toku u BiH i priručniku HCM 2016

Preporučena vrijednost intervala sljeđenja vozila u sporednom toku u (HCM 2016) je očigledno manja od vrijednosti dobijene za lokalne uslove u BiH. Ova razlika između preporučene i izračunate vrijednosti ukazuje na potrebu za prilagođavanjem jednačina za proračun kapaciteta u priručniku kako bi dobijeni rezultati odražavali stvarne karakteristike lokalnih vozača. Za proračun kapaciteta moguće je primijeniti manualni metod proračuna, tj. Harders-ov model ili jedan od aplikativnih softvera (Synhro, HCS, SIDRA i dr.) sa vrijednostima intervala sljeđenja utvrđenih na osnovu lokalnih mjerenja.

## 7.Zaključak

Akcent istraživanja sprovedenog u ovom radu je na utvrđivanju mjerodavne vrijednosti intervala, odnosno vremena sljeđenja vozila u sporednom toku jednostranih kružnih raskrsnica. Rezultati predstavljeni u radu su pokazali da postoji značajna razlika između preporučene vrijednosti u priručniku HCM 2016 i vrijednosti dobijene na osnovu sprovedenog istraživanja. Samim tim, i kapacitet i nivo usluge kružnih raskrsnica dobijaju različite vrijednosti u zavisnosti od toga koja od prethodne dvije metode se koristi u proračunu. Shodno tome, može se zaključiti da je utvrđivanje ovog intervala na bazi lokalnih mjerenja od izuzetnog značaja za precizan proračun kapaciteta kružnih raskrsnica.

Rezultati istraživanja prezentovani u radu se preporučuju za direktnu primjenu u jednačine za proračun kapaciteta jednotračnih kružnih raskrsnica u Bosni i Hercegovini. S obzirom na slične psihofizičke karakteristike, navike i kulturu vozača, kao i dizajn kružnih raskrsnica moguće je primijeniti dobijene rezultate i u zemljama u okruženju.

## Research of time headways at roundabout approaches

Dunja Radović<sup>a</sup>, Vuk Bogdanović<sup>b</sup>

<sup>a</sup> University of East Sarajevo, Faculty of Transport and Traffic Engineering Doboj

<sup>b</sup> University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences

**Abstract:** It is known that traffic flow characteristics have significant influence at the capacity of all functional segments of the road and street network. One of the most important traffic flow parameters which affect the capacity of roundabouts is follow-up headway at minor approaches of roundabouts. This traffic flow parameter, like the most others, depends on driver behaviour, i.e. local traffic conditions. This paper presents the research results related to follow-up headway at three roundabouts obtained by the photographic method. This data collection method is chosen because its application completely eliminates the impact of research at behaviour of traffic participants. After the research, a representative sample is formed and its processing and analysis led to conclusions about the value of follow-up headway at roundabouts which can be applied in standard procedures for capacity calculation at roundabouts in midsize cities of our region.

**Keywords:** roundabout, follow-up headway, capacity.

## Literatura

- [1] Marić, B., & Branković, N. (2020). Problem kretanja vozila u kružnim tokovima. *Put i saobraćaj*, 66(1), 33-40.
- [2] Macioszek, E. (2020). Roundabout entry capacity calculation—A case study based on roundabouts in Tokyo, Japan, and Tokyo surroundings. *Sustainability*, 12(4), 1533.
- [3] Čičević, S., Trifunović, A., & Milenković, M. (2015). Ispitivanje znanja i ponašanja vozača o pravilima koja važe na kružnim raskrsnicama. *Put i saobraćaj*, 61 (2), 59-65.
- [4] Bogdanović, V., & Radović, D. (2020). Procjena kritičnog intervala sljeđenja vozila na kružnim raskrsnicama. *Put i saobraćaj*, 66(2), 7-13.
- [5] HCM. (2010). Highway Capacity Manual. Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- [6] HCM. (2016). Highway Capacity Manual. Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- [7] Harders, J. (1968). Die Leistungsfähigkeit nicht signalregelter städtischer Verkehrsknoten [Capacity of unsignalized urban intersections]. Bonn: Bundesminister für Verkehr.
- [8] Raff, M. S. (1950). A volume warrant for urban stop signs.
- [9] Kuzović, Lj., & Bogdanović, V. (2010). Teorija saobraćajnog toka. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, p.104.
- [10] Brilon, W., Koenig, R., & Troutbeck, R. J. (1999). Useful estimation procedures for critical gaps. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(3-4), 161-186.
- [11] Xu, F., & Tian, Z. Z. (2008). Driver behavior and gap-acceptance characteristics at roundabouts in California. *Transportation Research Record*, 2071(1), 117-124.
- [12] Macioszek, E. (2017). The comparison of models for follow-up headway at roundabouts. In *Scientific And Technical Conference Transport Systems Theory And Practice* (pp. 16-26). Springer, Cham.
- [13] Schmitt, L. E. (2013). Calibration of the HCM 2010 single-lane roundabout capacity equations for Georgia conditions (phase 2) (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology).
- [14] Krishna, Y. (2015). Modelling Performance Parameters of Roundabouts Using Gap Acceptance Method for Indian Traffic Scenario (Doctoral dissertation).
- [15] Kyte, M., Dixon, M., List, G., Flannery, A., & Rodegerdts, L. (2006). NCHRP 3-65: Applying Roundabouts in the United States. Final Report. Kittelson & Associates, Inc., Portland, Ore.
- [16] Gazzarri, A., Martello, M. T., Pratelli, A., & Souleyrette, R. R. (2012). Estimation of gap acceptance parameters for HCM 2010 roundabout capacity model applications. XVIII Urban Transport: Urban Transport and the Environment in the 21st Century, 128, 309-319.
- [17] Wei, T., & Grenard, J. L. (2012). Calibration and validation of Highway Capacity Manual 2010 capacity model for single-lane roundabouts. *Transportation research record*, 2286(1), 105-110.
- [18] Barry, C. D. (2012). Calibration of the HCM 2010 roundabout capacity equations for Georgia conditions (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology).
- [19] Zheng, D., Chitturi, M., Bill, A., & Noyce, D.A. (2011). Comprehensive evaluation of Wisconsin roundabouts, Volume 1: Traffic operations. Madison, WI: Traffic Operations and Safety Laboratory.