

ISTRAŽIVANJE VREMENSKIH INTERVALA SLIJEĐENJA NA SIGNALISANIM RASKRSNICAMA ULIČNOG FRONTA

Siniša Marić, Saobraćajni fakultet, Doboj, sinisa89.maric@gmail.com

Goran Bošnjak, Saobraćajni fakultet, Doboj, goranbosnjak97@gmail.com

Nikolina Keser, Saobraćajni fakultet, Doboj, nina.keser.1997@gmail.com

Marko Subotić, Saobraćajni fakultet, Doboj, msubota@gmail.com

Rezime: U ovom radu izvršena je analiza vremenskih intervala slijeđenja vozila u dva različita grada Banja Luci i Doboju na odabranim signalisanim raskrsnicama uličnog fronta. Analizirane su mješovite saobraćajne trake na signalisanim raskrsnicama u vršnim periodima dana i to, jutarnjem vršnom periodu od 7.00 do 8.00 časova i popodnevnom vršnom periodu od 15.00 do 16.00 časova. Snimanje intervala slijeđenja vozila je vršeno na nivou pojedinačnih ciklusa, tj. od trenutka početka zelenog intervala do trenutka završetka zelenog intervala ili završetka praznjenja reda. Utvrđivanje vremenskog intervala slijeđenja vozila na mješovitim saobraćajnim trakama signalisanih raskrsnica kao jednog od osnovnih parametara saobraćajnog toka, ima veliki značaj za opisivanje uslova u saobraćajnom toku na posmatranim signalisanim raskrsnicama, te predstavlja jedan od osnovnih indikatora kvaliteta saobraćajnog toka. Na osnovu utvrđenih intervala slijeđenja u posmatranim gradovima izvršeno je poređenje uslova u saobraćajnom toku, na posmatranim raskrsnicama, kao i ocjena kvaliteta saobraćajnog toka.

Ključne riječi: interval slijeđenja, signalisana raskrsnica, svjetlosna saobraćajna signalizacija

1. UVOD

Raskrsnice su mjesta na kojima dolazi do ukrštanja i presjecanja saobraćajnih tokova, a sa aspekta kapaciteta i nivoa usluge, predstavljaju potencijalno kritična mjesta na putnoj i uličnoj mreži. Usljed konstantnog povećanja transportnih zahtjeva saobraćajne gradske mreže današnjice karakteriše hroničan nedostatak kapaciteta. Ovaj problem je najizraženiji na elementima mreže na kojima dolazi do ukrštanja saobraćajnih tokova, odnosno na raskrsnicama. Najčešći način regulisanja saobraćaja na raskrsnicama je korišćenjem svjetlosne saobraćajne signalizacije, te su na urbanim gradskim mrežama, raskrsnice dominantno regulisane svjetlosnom saobraćajnom signalizacijom [20]. Osnovni cilj svjetlosne saobraćajne signalizacije predstavlja raspodjelu raspoloživog kapaciteta raskrsnice prema mjerodavnoj vrijednosti saobraćajnog opterećenja, po unaprijed definisanim kriterijumima i ograničenjima [7]. Egzaktna procjena raspoloživog kapaciteta na signalisanim raskrsnicama je ključna za donošenje adekvatnih inženjerskih odluka u procesu upravljanja saobraćajem [8]. Zbog toga se vrše istraživanja različitih parametara saobraćajnog toka, kako bi se izvršio odabir odgovarajućeg analitičkog modela [14]. Jedna od najčešće korišćenih metodologija istraživanja vrijednosti zasićenog toka zasniva se na utvrđivanju prosječne vrijednosti intervala slijeđenja u procesu praznjenja reda. Interval slijeđenja vozila u toku posmatrane saobraćajne trake na signalisanoj saobraćajnoj

raskrsnici definiše se kao vrijeme koje protekne od momenta kada prvo vozilo iz reda čekanja prijeđe zaustavnu liniju i uđe u središte raskrsnice do momenta kada sledeće vozilo pristigne i zaustavi se na zaustavnoj liniji. Prema tome, vrijeme slijeđenja predstavlja period između dva uzastopna ulaska vozila u središte raskrsnice iz reda čekanja, a sastoji se od: vremena kretanja u redu čekanja i zauzimanja čeonice pozicije i vremena osmatranja saobraćajne situacije i donošenja odluke od strane vozača o nastavku kretanja kroz središte raskrsnice. U postupku istraživanja evidentiraju se trenuci prolaska zadnje osovine svih vozila iz inicijalnog reda preko zaustavne linije. Inicijalni red predstavlja red vozila koji je formiran tokom crvenog signalnog pojma. Takođe, vozilo predstavlja dio reda i ukoliko se isto priključilo tokom trajanja zelenog signalnog pojma, zaustavilo se ili se kretalo tako da je rastojanje između tog i poslednjeg vozila u redu manje od prosječne dužine vozila [22].

Interval slijeđenja 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 slijeđenja 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 [15]:

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

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

Ovim radom izvršena je analiza vremenskih intervala slijeđenja vozila u dva različita grada Banja Luci i Doboju, na odabranim signalisanim raskrsnicama uličnog fronta. Prvim djelom rada dat je osvrt na pojmove signalisane raskrsnice i samog intervala slijeđenja, dok je u daljem dijelu rada prezentovana metodologija, diskusija, rezultata istraživanja i zaključak, te su navedeni istraživači koji su se bavili istom tematikom, kao i zaključci njihovih istraživanja.

2. PREGLED RELEVANTNE LITERATURE

U posljednje vrijeme negativna eksponencijalna raspodjela je široko rasprostranjena, koristi se za modelovanje intervala slijeđenja. Osim toga, Poissonova raspodjela u stopi dolaska može se bolje primijeniti ako je brzina protoka znatno niska [17]. Postoje dva faktora koja ograničavaju primjenu negativne eksponencijalne distribucije na interval slijeđenja.

Prvo, negativna eksponencijalna distribucija se proteže kroz čitav spektar interval slijeđenja od nule do beskonačnosti i kada je interval slijeđenja jednak nuli vjerovatnoća će biti najveća. Ovo se čini nerazumnim, jer vozilo ima konačnu dužinu i brzine, što rezultuje minimalnim konačnim intervalom slijeđenja. Drugo, pri povećanim nivoima protoka saobraćaja, česti kraći intervali slijeđenja u raspodjeli biće objašnjeni raštrkanim vodovima vozila. Zbog toga hipoteza za negativnu eksponencijalnu distribuciju napredovanja u cijelom rasponu nema smisla [23].

Među mnogim studijama o modeliranju raspodjele intervala slijeđenja, AlGhamdi i Al-Ghamdi su istraživali napredak u uslovima niskog, srednjeg i visokog protoka i zaključeno da interval slijeđenja prati Gamma i Erlang raspodjelu, posebno pri visokim protocima na magistralnim putevima. Inspirisan svojim prethodnim radom, ova studija je pokušala da ispita razliku između prošlosti i sadašnjosti, jer je došlo do značajnih promjena u Rijadu saobraćajnim uslovima u 20 godina od objavljivanja njegovog rada [1], [2].

Interval slijeđenja na signalisanoj raskrsnici može se definisati kao vremenski interval između dva uzastopna vozila na traci koji prelaze zaustavnu liniju na raskrsnici tokom zelenog vremena. Greenshields i ostali proveli su jednu od prve studije o pražnjenju u kojima je prijavio prosječan interval slijeđenja za prvih pet vozila u redu [10]. Jang je modelisao interval slijeđenja na različitim nivoima protoka saobraćaja koristeći različite raspodjele [13]. Moussavi i Tarawneh su sproveli studije o smjeru odlaska na signalisanim raskrsnicama u Nebraski i zaključio da smjerovi polaska pokazuju veliku varijabilnost za različite raskrsnice vjerovatno zbog različitih saobraćajnih i geometrijskih uslova koji tamo preovladavaju [19]. Bonneson je razvio model za ispuštanje kretanja na signalisanim raskrsnicama na osnovu vremena reakcije vozača, ubrzanja vozača i brzine vozila. Njegov model je pokazao da se minimalno pražnjenje (zasićenje) postiže tek nakon osme ili devete pozicije u redu čekanja [4]. Al-Ghamdi je proveo studiju o intervalu slijeđenja na raskrsnicama u Rijadu, Saudijska Arabija. On je primjetio da nije pouzdano koristiti vrijednosti intervala slijeđenja iz drugih zemalja u Saudijskoj Arabiji zbog promjena faktora kao što su ponašanje vozača i geometrija raskrsnice, i došao do prosječnih vrijednosti intervala slijeđenja za različite redove [1].

Većina postojećih istraživanja o intervalu slijeđenja više se bavi mješovitim tokom vozila, ali zanemaruje učinak specifičnih vrsta vozila u saobraćajnom toku. Na performanse i bezbjednost saobraćajnog sistema utiče prisutnost teretnih vozila zbog njihovih tehničkih i operativnih karakteristika. Par iskustava u urbanim sredinama u Indiji pokazuje da je raspodjela hiper-Erlanga najbolja da opiše karakteristike kretanja u mješovitom saobraćaju [6], dok negativna eksponencijalna raspodjela pokazuje svoju kompatibilnost u širokom rasponu nivoa protoka saobraćaja, ako se saobraćaj sastoji od značajnog procenta manjih vozila kao što su dvotočkaši [3].

Vremenski interval slijeđenja je „vrijeme, u sekundama, između dva uzastopna vozila dok prođu tačku na kolovozu, mjereno iz iste zajedničke karakteristike oba vozila” [11]. Ovaj parametar je jedna od osnovnih mikroskopskih karakteristika saobraćajnog toka. Ove karakteristike su od velikog značaja za planiranje, analizu, projektovanje i funkcionisanje sistema puteva [12]; [18]. Stoga se mora analizirati što je moguće preciznije na osnovu stvarnog ponašanja vozača [15]. Saobraćajni inženjeri i planeri trebali bi biti svjesni stvarnog ponašanja vozača pri odabiru željenog puta. U stvari, oni bi trebali biti u stanju predvidjeti ponašanje vozača dok su okrenuti ka naprijed kako bi imali bolje planiranje i upravljanje saobraćajem u različitim uslovima. To je zbog činjenice da bi vremenski intervali slijeđenja i njihova raspodjela uticali na različite parametre protoka uključujući kapacitet, nivo usluge i bezbjednost [24].

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja u ovom radu je vezan za utvrđivanje i analizu intervala slijeđenja na mješovitim saobraćajnim trakama, signalisanih raskrsnica uličnog fronta u dva grada i to Banja Luci i Doboju. Snimanje saobraćajnog toka i prikupljanje statističkih podataka je izvršeno u mjesecu maju 2022. godine. Utvrđivanje intervala slijeđenja vozila vršilo se u vršnim periodima, jutarnjem od 7.00 do 8.00 časova i popodnevnom od 15.00 do 16.00 časova, radi komparacije i uporedne analize dobijenih rezultata za oba navedena grada.

Cilj istraživanja je utvrđivanje vremenskog intervala slijeđenja vozila na mješovitim saobraćajnim trakama signalisanih raskrsnica, kao jednog od osnovnih parametara saobraćajnog toka. Interval slijeđenja vozila ima veliki značaj za opisivanje uslova odvijanja saobraćaja na signalisanim raskrsnicama, ne samo kao osnovni pokazatelj teorijskih međuzavisnosti u saobraćajnom toku, već i u inženjerskoj praksi kao osnovni indikator (reper) kvaliteta saobraćajnog toka. U praksi se koristi kritični interval slijeđenja vozila prilikom proračuna kapaciteta signalisanih raskrsnica.

Hipoteza 1: Prosječna vrijednost intervala slijeđenja je jednaka, ili približno jednaka, u jutarnjem i u popodnevnom vršnom času, na posmatranim signalisanim raskrsnicama.

Hipoteza 2: Prosječna vrijednost intervala slijeđenja je jednaka, ili približno jednaka, u jutarnjem vršnom času na posmatranim signalisanim raskrsnicama u gradovima u kojima je vršeno posmatranje.

Hipoteza 3: Prosječna vrijednost intervala slijeđenja je jednaka, ili približno jednaka, u popodnevnom vršnom času na posmatranim signalisanim raskrsnicama u gradovima u kojima je vršeno posmatranje.

Jedno od ograničenja kod samog istraživanja, koje je i uticalo na dobijene vrijednosti samih intervala slijeđenja jeste veličina gradova u kojima su vršena mjerenja, odnosno Banja Luke i Doboja.

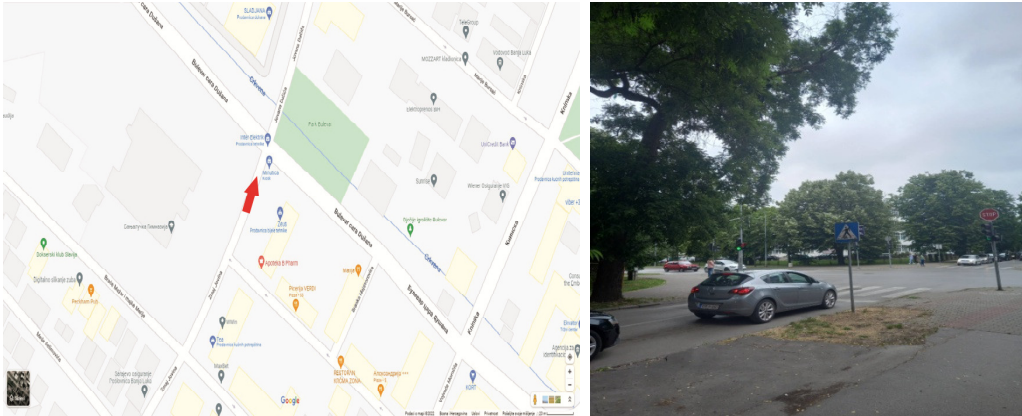
Metode i sama organizacija istraživanja se u najvećoj mjeri svodi na korištenje statističkog metoda, metode naučnog posmatranja i metode komparacije. Statističkom metodom izvršen je postupak prikupljanja podataka i izvođenja zaključaka o utvrđenim statističkim pravilnostima. Metodom komparacije izvršeno je poređenje i uočavanje sličnosti i razlika na osnovu dobijenih statističkih podataka u posmatranom periodu za oba grada Banja Luku i Dobj. Prikupljanje podataka je izvršeno manuelnom tehnikom, korišćenjem kamere pametnog telefona i snimanjem posmatranih mješovitih traka u vršnim periodima, softverom „PROTOK“, softverom EasyFit 5.5 Standard za utvrđivanje raspodjele intervala slijeđenja na posmatranim raskrsnicama, te njihove obrade u softveru za obradu podataka Microsoft Excel.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Prva lokacija na kojoj je vršeno posmatranje i snimanje u Banja Luci je ukrštanje Bulevara cara Dušana i Zmaj Jovine ulice. Posmatranje je vršeno za mješovitu saobraćajnu traku koja se nalazi u ulici Zmaj Jovina, te su dozvoljeni smjerovi pravo, lijevo i desno.

U jutarnjem vršnom času zabilježeno je ukupno 319 motornih vozila, sa prosječnim intervalom slijeđenja od 11.111 (s), a raspodjela intervala slijeđenja na ovoj raskrsnicu je Burrova raspodjela, dok je u popodnevnom vršnom času zabilježeno 207 motornih vozila sa prosječnim intervalom slijeđenja od 12.659 (s), a raspodjela je takođe Burrova. Može

se uočiti da je u popodnevnom vršnom času došlo do povećanja intervala slijeđenja za 1.548 (s), pri značajnom smanjenju broja vozila, za čak 112 vozila.



Slika 1. Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine

Tabela 1. Struktura motornih vozila na raskrsnici Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine 07-08h

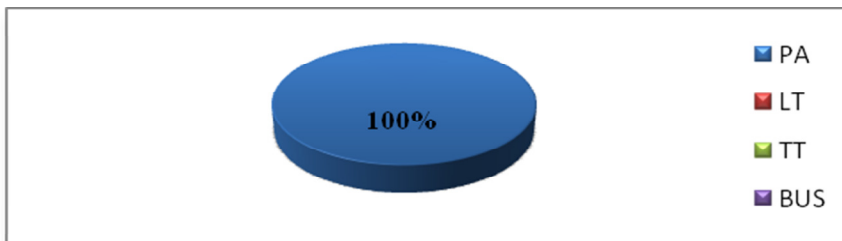
PA	LT	TT	BUS	AV	UKUPNO
319	0	0	0	0	319
<i>Prosječan interval slijeđenja</i>					11.111

Tabela 2. Struktura motornih vozila na raskrsnici Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine 15-16h

PA	LT	TT	BUS	AV	UKUPNO
207	0	0	0	0	207
<i>Prosječan interval slijeđenja</i>					12.659

Tabela 3. Struktura motornih vozila na raskrsnici Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine ukupno

PA	LT	TT	BUS	AV	UKUPNO
526	0	0	0	0	526

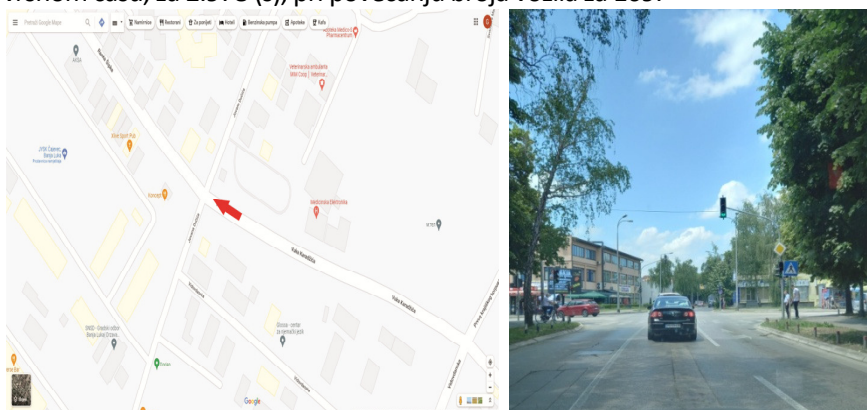


Dijagram 1. Procentualna raspodjela vozila na raskrsnici Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine ukupno

Druga lokacija na kojoj je vršeno posmatranje i snimanje u Banja Luci je ukrštanje ulica Vuka Karadžića i Jovana Dučića. Posmatranje je vršeno za mješovitu saobraćajnu traku koja se nalazi u ulici Vuka Karadžić, te su dozvoljeni smjerovi pravo i desno. Lokacija i izgled raskrsnice prikazani su na slici ispod.

Na drugoj lokaciji u Banja Luci na ukrštanju ulica Vuka Karadžića i Jovana Dučića na kojoj je vršeno posmatranje i snimanje u posmatranom periodu zabilježeno je ukupno 981 motorno

vozilo, pri čemo strukturu saobraćajnog toka čini 947 putničkih automobila, 10 lakih teretnih vozila i 24 BUS-a. U jutarnjem vršnom času zabilježeno je ukupno 556 putničkih automobila, 4 laka teretna vozila i 11 BUS-eva sa prosječnim intervalom slijeđenja od 8.862 (s), raspodjela je Burrova, dok je u popodnevnom vršnom času zabilježeno 556 putničkih automobila, 10 lakih teretnih vozila i 13 BUS-eva, sa prosječnim intervalom slijeđenja od 5.884 (s) i Burrovom raspodjelom intervala slijeđenja. Na ovoj raskrsnici u popodnevnom vršnom času došlo je do značajnog povećanja ukupnog broja vozila, dok se prosječni interval slijeđenja vozila smanjio. Prosječna vrijednost intervala slijeđenja na ovoj raskrsnici značajno se smanjila u popodnevnom vršnom času, za 2.978 (s), pri povećanju broja vozila za 169.



Slika 2. Jovana Dučića i Vuka Karadžića

Tabela 4. Struktura motornih vozila na raskrsnici Jovana Dučića i Vuka Karadžića 07-08h

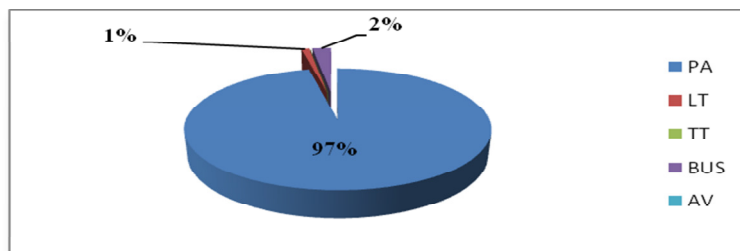
PA	LT	TT	BUS	AV	UKUPNO
391	4	0	11	0	406
Prosječan interval slijeđenja					8.862

Tabela 5. Struktura motornih vozila na raskrsnici Jovana Dučića i Vuka Karadžića 15-16h

PA	LT	TT	BUS	AV	UKUPNO
556	6	0	13	0	575
Prosječan interval slijeđenja					5.884

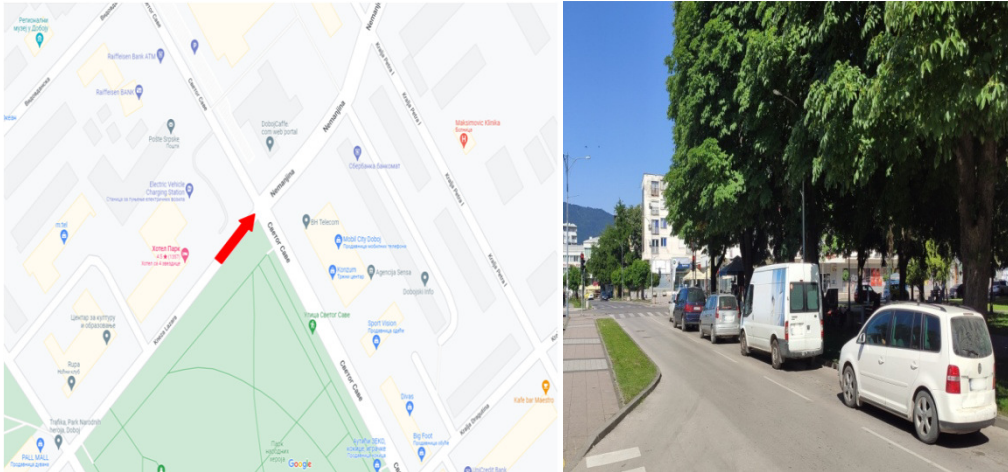
Tabela 6. Struktura motornih vozila na raskrsnici Jovana Dučića i Vuka Karadžića ukupno

PA	LT	TT	BUS	AV	UKUPNO
947	10	0	24	0	981



Dijagram 2. Procentualna raspodjela vozila na raskrsnici Jovana Dučića i Vuka Karadžića ukupno

Lokacija na kojoj je vršeno posmatranje i snimanje u Doboju je ukrštanje ulica Svetog Save i Kneza Lazara, u samom centru grada, gdje se saobraćaj reguliše pomoću svjetlosne saobraćajne signalizacije. Posmatranje je vršeno za mješovitu saobraćajnu traku koja se nalazi u ulici Kneza Lazara na kojoj su dozvoljeni smjerovi pravo, lijevo i desno.



Slika 3. Svetog Save i Kneza Lazara Doboju

U jutarnjem vršnom času na ovoj raskrsnici zabilježeno je 169 motornih vozila, od čega je 147 putničkih automobila, 20 lakih motornih vozila i 2 teška teretna vozila, sa Frechetovom raspodjelom intervala slijeđenja, a prosječan interval slijeđenja iznosio je 20.976 (s).

Tabela 7. Struktura motornih vozila na raskrsnici Svetog Save i Kneza Lazara 07 – 08h

PA	LT	TT	BUS	AV	UKUPNO
147	20	2	0	0	169
<i>Prosječan interval slijeđenja</i>					20.976

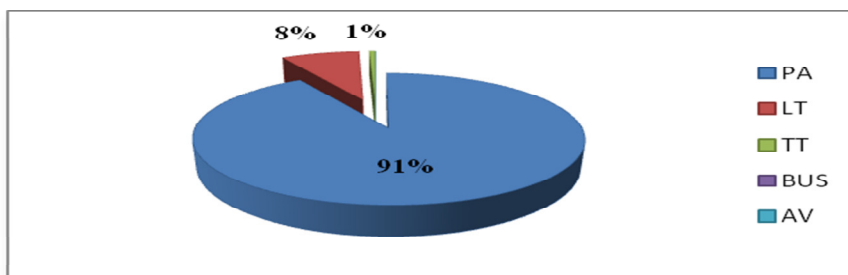
U istom danu, u popodnevnom vršnom času, ukupan broj vozila koji je zabilježen je 182, od čega je 174 putničkih automobila, te 8 lakih teretnih vozila sa prosječnim intervalom slijeđenja vozila od 19.654 (s), dok je raspodjela takođe Frechetova, kao i u jutarnjem vršnom času. Primjetno je da je prvog dana posmatranja u popodnevnom vršnom času došlo do neznatnog povećanja ukupnog broja vozila, gdje se ukupan broj vozila povećao za 13, a prosječna vrijednost intervala slijeđenja između vozila se smanjila za 1.322 (s).

Tabela 8. Struktura motornih vozila na raskrsnici Svetog Save i Kneza Lazara 15 – 16h

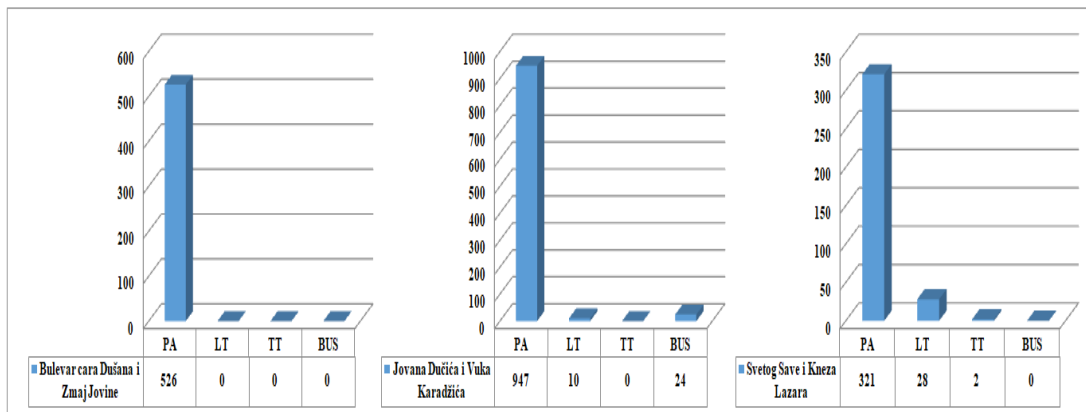
PA	LT	TT	BUS	AV	UKUPNO
174	8	0	0	0	182
<i>Prosječan interval slijeđenja</i>					19.654

Tabela 9. Struktura motornih vozila na raskrsnici Svetog Save i Kneza Lazara ukupno

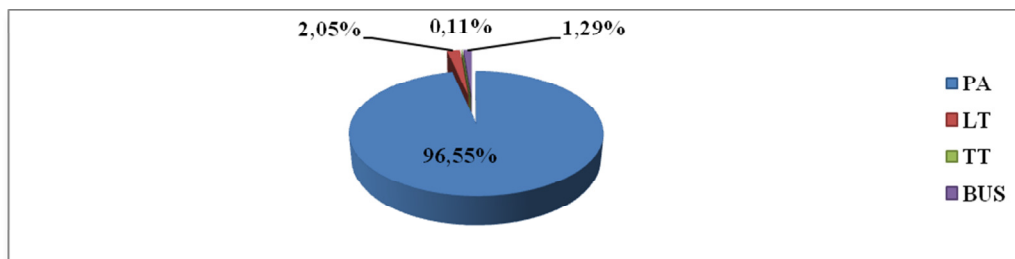
PA	LT	TT	BUS	AV	UKUPNO
321	28	2	0	0	351



Dijagram 3. Procentualna raspodjela vozila na raskrsnici Svetog Save i Kneza Lazara



Dijagram 4. Broj vozila na posmatranim raskrsnicama u periodu posmatranja



Dijagram 5. Procentualna raspodjela vozila na raskrsnicama u periodu posmatranja

5. DISKUSIJA

Izmjerene su prosječne vrijednosti intervala slijeđenja vozila u jutarnjem vršnom času na ukrštanjima u Banja Luci, Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine ulice i ukrštanju ulica Vuka Karadžića i Jovana Dučića od 11.111 (s), 8.862 (s) respektivno. U popodnevnom vršnom času su zabilježene prosječne vrijednosti intervala slijeđenja od 12.659 (s) na ukrštanjima Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine ulice i 5.884 (s) na ukrštanju ulica Vuka Karadžića i Jovana Dučića. Može se uočiti da je razlika u vrijednosti intervala slijeđenja u jutarnjem i u popodnevnom vršnom času izraženija na ukrštanju ulica Vuka Karadžića i Jovana Dučića i iznosi 2.978 (s), dok je razlika između vrijednosti prosječnog intervala slijeđenja u jutarnjem i u popodnevnom vršnom času na ukrštanju Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine ulice 1.548 (s). Na ukrštanju ulica Svetog Save i Kneza Lazara u Doboju, izmjerena vrijednost intervala slijeđenja u jutarnjem vršnom času iznosi 20.976 (s), dok je ova

vrijednost u popodnevnom vršnom času 19.654 (s), te je razlika u intervalima slijeđenja u jutarnjem i popodnevnom vršnom času na ovoj raskrsnici 1.322 (s). Na ukrštanju ulica Vuka Karadžića i Jovana Dučića u Banja Luci razlika između vrijednosti intervala slijeđenja u jutarnjem vršnom času i popodnevnom vršnom času najizraženija i iznosi 2.978 (s).

Ukoliko se izvrši poređenje prosječne vrijednosti intervala slijeđenja vozila, na posmatranim signalisanim raskrsnicama u Banja Luci i Doboju može se uočiti da je u jutarnjem vršnom času na ukrštanju Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine ulice u Banja Luci prosječna vrijednost intervala slijeđenja 11.111 (s), na ukrštanju ulica Vuka Karadžića i Jovana Dučića u Banja Luci prosječna vrijednost intervala slijeđenja 8.862 (s), dok je na ukrštanju ulica Svetog Save i Kneza Lazara u Doboju zabilježena prosječna vrijednost intervala slijeđenja od 20.976 (s). Može se zaključiti da je na ukrštanju Vuka Karadžića i Jovana Dučića u Banja Luci prosječna vrijednost intervala slijeđenja najmanja, manja je za 2.249 (s) u odnosu na ukrštanje Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine ulice u Banja Luci i 12.114 (s) u odnosu na ukrštanje ulica Svetog Save i Kneza Lazara u Doboju. Najveća odstupanja izražena su u prosječnoj vrijednosti intervala slijeđenja između ukrštanja ulica Vuka Karadžića i Jovana Dučića u Banja Luci i ukrštanju ulica Svetog Save i Kneza Lazara u Doboju i iznose 12.114 (s).

U popodnevnom vršnom času na ukrštanju Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine ulice u Banja Luci izmjerena je prosječna vrijednost intervala slijeđenja od 12.659 (s), ova vrijednost na ukrštanju ulica Vuka Karadžića i Jovana Dučića u Banja Luci je iznosila 5.884 (s), dok je na ukrštanju ulica Svetog Save i Kneza Lazara u Doboju zabilježena prosječna vrijednost intervala slijeđenja od 19.654 (s). Može se zaključiti da je i u popodnevnom vršnom času prosječna vrijednost intervala slijeđenja najmanja na ukrštanju Vuka Karadžića i Jovana Dučića u Banja Luci, dok je ova vrijednost najveća na ukrštanju ulica Svetog Save i Kneza Lazara u Doboju.

Što se tiče strukture vozila može se uočiti da je samo na raskrsnici Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine ulice u Banja Luci došlo da smanjenja broja vozila u popodnevnom vršnom času u odnosu na jutarnji. Na preostale dvije raskrsnice došlo je do povećanja broja vozila u popodnevnom vršnom času u odnosu na jutarnji vršni čas. Na raskrsnici Vuka Karadžića i Jovana Dučića u Banja Luci zabilježeno je ukupno povećanje u broju vozila za 169, dok se ukupan broj vozila na raskrsnici Svetog Save i Kneza Lazara u Doboju povećao za 13. Najveći prosječan interval slijeđenja zabilježen je na ukrštanju ulica Svetog Save i Kneza Lazara u Doboju u jutarnjem vršnom času i iznosio je 20.976 (s). Najmanji prosječan interval slijeđenja vozila zabilježen je na raskrsnici Vuka Karadžića i Jovana Dučića u Banja Luci i iznosio je 5.884 (s), pri 575 zabilježenih vozila.

Poređenja radi, Saad Touhbi i ostali su analizirali vremenski interval slijeđenja na uličnoj mreži i dobili su podatke da je prosječna vrijednost intervala slijeđenja 6.46 (s), odnosno 5.23 (s), dok je u našim uslovima na prvoj raskrsnici u jutarnjem vršnom času iznosio 11.11 (s), a u popodnevnom vršnom času 12.66 (s). Na drugoj raskrsnici u jutarnjem vršnom času je iznosio 8.86 (s), a u popodnevnom 5.88 (s), dok je u radu koji se koristi zbog poređenja 4.11 (s), odnosno 3.83 (s). Na trećoj raskrsnici u jutarnjem vršnom času aritmetička sredina vremenskog intervala slijeđenja iznosila je 20.98 (s), a u popodnevnom 19.65 (s), a uporedne vrijednosti su iste kao na prvoj raskrsnici. Na osnovu poređenja može se zaključiti da se vremenski intervali slijeđenja ne podudaraju sa uporednim vrijednostima koje su dobijene u radu Saad Touhbi i ostali. Vrijednosti se ne

podudaraju, kako u rezultatima rada, tako i sa izabranom literaturom, jer veličina grada nije ista. Banja Luka prema popisu stanovništva ima 185.042 stanovnika, Doboj 68.514 [27], a Marrakesh 928,850 [26].

U istraživanjima o modeliranju raspodjele intervala slijeđenja, koja je sproveo ALGhamdi, vršeno je praćenje napretka u uslovima niskog, srednjeg i visokog protoka na gradskoj i vangradskoj mreži Rijada zaključeno je da interval slijeđenja prati Gamma i Erlang raspodjelu. Ovakva raspodjela je posebno izražena pri visokim protocima na magistralnim putevima. Na raskrsnicama na kojima je vršeno istraživanje u Banja Luci i Doboju raspodjelu intervala slijeđenja prati Burrova i Frechetova raspodjela. Na ukrštanju Bulevar cara Dušana i Zmaj Jovine ulice i ukrštanju ulica Vuka Karadžića i Jovana Dučića u Banja Luci i u jutarnjem i u popodnevnom vršnom času raspodjelu intervala slijeđenja prati Burrova raspodjela, dok je na ukrštanju ulica Svetog Save i Kneza Lazara u Doboju to Frechetova raspodjela. Iskustava u istraživanjima koja su sprovveli Chandra i Kumar, kao i Arasan i Koshy, u urbanim sredinama Indije pokazuju da je raspodjela hiper-Erlanga najbolja da opiše karakteristike kretanja u mješovitom saobraćajnom toku, dok negativna eksponencijalna raspodjela pokazuje svoju kompatibilnost u širokom rasponu nivoa protoka saobraćaja, posebno ako se saobraćajni tok sastoji od značajnog procenta manjih vozila kao što su dvotočkaši, što je slučaj na raskrsnicama na kojima je vršeno istraživanje u Banja Luci i Doboju.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je način utvrđivanja i analiza intervala slijeđenja u vršnim periodima, na mješovitim saobraćajnim trakama, signalisanih raskrsnica uličnog fronta u dva grada Banja Luci i Doboju. Cilj istraživanja je bio utvrđivanje vremenskog intervala slijeđenja vozila na mješovitim saobraćajnim trakama signalisanih raskrsnica, kao jednog od osnovnih parametara saobraćajnog toka, te kao takav ima veliki značaj za opisivanje uslova odvijanja saobraćaja na signalisanim raskrsnicama uličnog fronta.

Prema definisanoj metodologiji izvršeno je mjerenje prosječnih vrijednosti intervala slijeđenja vozila u jutarnjem i popodnevnom vršnom času na signalisanim raskrsnicama u Banja Luci i Doboju. Razlike vrijednosti intervala slijeđenja u jutarnjem vršnom času i u popodnevnom vršnom času na posmatranim raskrsnicama su značajne u oba grada posmatranja, a najizraženija razlika je na ukrštanju ulica Vuka Karadžića i Jovana Dučića u Banja Luci, te se hipoteza 1 odbacuje.

Jasno se može zaključiti da prosječna vrijednost intervala slijeđenja u jutarnjem vršnom času nije niti približno jednaka za posmatrana ukrštanja u Banja Luci i Doboju, čime se odbacuje hipoteza broj 2.

Ako se uporede izmjerene vrijednosti na ukrštanjima ulica Vuka Karadžića i Jovana Dučića u Banja Luci i ukrštanja ulica Svetog Save i Kneza Lazara u Doboju, jasno su uočljive razlike između prosječne vrijednosti intervala slijeđenja na ovim raskrsnicama u popodnevnom vršnom času i one iznose čak 13.77 (s), te se hipoteza 3 odbacuje.

Na osnovu dobijenih rezultata možemo zaključiti da su uslovi saobraćajnog toka na posmatranim raskrsnicama promjenljivi u zavisnosti od lokacije i vremena posmatranja. Na istim lokacijama u različitim vršnim periodima dolazilo je do promjene u ukupnom broju vozila, kao i u strukturi saobraćajnog toka, dok su se i vrijednosti prosječnih intervala slijeđenja mijenjale. Promjene u broju vozila i prosječnoj vrijednosti intervalu slijeđenja

na posmatranim raskrsnicama u istim vršnim časovima, u različitim danima posmatranja su dosta izjednačeni, gdje je promjena u broju vozila i prosječnom intervalu slijeđenja vozila minimalna. Na raskrsnicama u Banja Luci uočen je znatno veći broj vozila u periodu posmatranja, nego u na raskrsnici u Doboju, a vremenski intervali slijeđenja vozila su izraženo manji. Najmanji prosječan interval slijeđenja vozila zabilježen je na raskrsnici Vuka Karadžića i Jovana Dučića u Banja Luci, dok je najveći prosječan interval slijeđenja zabilježen je na raskrsnici Svetog Save i Kneza Lazara u Doboju. Razlike u vrijednosti prosječnog intervala slijeđenja vozila, kao i u broju i strukturi vozila je očekivan zbog same veličine gradova u kojima je vršeno posmatranje. Banja Luka je kao regionalni centar mnogo veći grad od Doboja, u kome gravitira veći broj ljudi a samim tim i vozila, pa je bilo logično za očekivati da će na posmatranim raskrsnicama u Banja Luci biti zabilježen veći broj vozila, te da će samim tim vrijednost prosječnog intervala slijeđenja vozila biti manja.

Da bi se dobila što preciznija slika o intervalima slijeđenja između vozila na signalisanim raskrsnicama uličnog fronta u posmatranim gradovima, potrebno je izvršiti snimanje i određivanje prosječnog intervala slijeđenja na što više raskrsnica uličnog fronta, te izvršiti njihove uporedne analize i izvući odgovarajuće zaključke. Ovakav tip istraživanja bi trebalo sprovesti i u drugim gradovima, kao i na nesignalisanim raskrsnicama uličnog fronta, te uporediti rezultate sa rezultatima dobijenim u ovom radu.

LITERATURA

- [1] Al-Ghamdi, A.S., 1999. Modeling Vehicle Headways for Low Traffic Flows on Urban Freeways and Arterial Roadways. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Transport and the Environment for the 21st Century, Southampton.
- [2] Al-Ghamdi, A.S., 2001. Analysis of time headways on urban roads: case study from Riyadh. J. Transp. Eng.
- [3] Arasan VT, Koshy RZ (2003) Headway distribution of heterogeneous traffic on urban arterials. J Inst Eng.
- [4] Bonneson, J.A., 1992. Study of Headway and Lost Time at Single-Point Urban Interchanges. Transportation Research Record.
- [5] Carstens, R.L., 1971. Some Traffic Parameters at Signalized Intersections. Traffic Engineering.
- [6] Chandra S, Kumar R (2001) Headway modelling under mixed traffic on urban roads. Road Transp Res 10(1).
- [7] Čelar N, i dr. Osnove upravljanja svetlosnim signalima, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2018.
- [8] Čelar N. Prilog analizi saobraćajnog procesa na signalisanoj raskrsnici: Doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2013.
- [9] Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M., 2014. Teorija prometnog toka. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti.
- [10] Greenshields, B.D., Schapiro, D., Ericksen, E.L., 1947. Traffic Performance at Urban Street Intersections. Eno Foundation for Highway Traffic Control.
- [11] Highway Capacity Manual. 2000. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, U.S.A.

- [12] Jakimavicius, M.; Burinskiene, M. 2009. A GIS and multi-criteria-based analysis and ranking of transportation zones of Vilnius city, Technological and Economic Development of Economy
- [13] Jang J (2012) Analysis of time headway distribution on suburban arterial.
- [14] Kajalić J, i dr. Travel Time Estimation on Urban Street Segment, Promet-Traffic & Transportation. Vol. 30, No 1. pp. 115-120, 2018.
- [15] Kerner, B. S. 2009. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: the Long Road to Three-Phase Traffic Theory. 1st edition. Springer.
- [16] Kuzović, Lj., & Bogdanović, V. (2010). Teorija saobraćajnog toka. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [17] May, A.D., 1990. In: Traffic flow fundamentals. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- [18] Mesarec, B.; Lep, M. 2009. Combining the grid-based spatial planning and network-based transport planning, Technological and Economic Development of Economy.
- [19] Moussavi, M., Tarawneh, M., 1990. Variability of Departure Headways at Signalized Intersections. ITE 1990 Compendium of Technical Papers.
- [20] Radivojević D, i dr. Sistemi za adaptibilno upravljanje saobraćajem na gradskoj mreži, Tehnika, Vol. 72, No. 1, pp. 98-106, 2017.
- [21] Srinivas, P. et al., Behavior-Based Analysis of Freeway Car–Truck Interactions and Related Mitigation Strategies. Transportation Research Part B, Vol. 39.
- [22] Stojkov M, i dr. Poređenje realnih i teorijskih vrednosti kapaciteta na signalisanim raskrsnicama, Tehnika – saobraćaj 66, pp. 704-708, 2019.
- [23] Saha P, Roy R, Headway distribution models of two-lane roads under mixed traffic conditions: a case study from India
- [24] Thamizh Arasan, V.; Koshy, R. Z. 2003. Headway distribution of heterogeneous traffic on urban arterials, Journal of the Institution of Engineers 84.
- [25] Touhbi, S., Ait Babram, M., Nguyen-Huu, T., Marilleau, N. Time Headway analysis on urban roads of the city of Marrakesh., January 2018., Procedia Computer Science 130:111-118.
- [26] <https://en.wikipedia.org/wiki/Marrakesh>
- [27] https://web.archive.org/web/20181123135507/http://www.bhas.ba/obavjestenja/Preliminarni_rezultati_bos.pdf

SUMMARY

RESEARCH OF FOLLOWING TIME INTERVALS AT SIGNALIZED STREET FRONT INTERSECTIONS

Abstract: In this paper, an analysis of the time intervals of vehicle tracking in two different cities, Banja Luka and Doboj, was performed at selected signalized intersections of the street front. Mixed traffic lanes at signalized intersections were analyzed in the peak periods of the day, namely, the morning peak period from 7:00 a.m. to 8:00 a.m. and the afternoon peak period from 3:00 p.m. to 4:00 p.m. The recording of vehicle tracking intervals was performed at the level of individual cycles, i.e. from the start of the green interval to the end of the green interval or the end of emptying the row. Determining the time interval of following vehicles on mixed traffic lanes of signalized intersections as one of the basic parameters of the traffic flow is of great importance for describing the conditions in the traffic flow at the observed signalized intersections, and represents one of the basic indicators of the quality of the traffic flow. Based on the established follow-up intervals in the observed cities, a comparison of the conditions in the traffic flow, at the observed intersections, as well as an assessment of the quality of the traffic flow was made.

Key words: following interval, signalized intersection, light traffic signalling