

RASTOJANJE SLEĐENJA VOZILA PRILIKOM PRETICANJA U REALNOM SAOBRAĆAJNOM TOKU

**Prof. dr Vuk Bogdanović, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg
Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, vuk@uns.as.rs**
**Ass. bsc Nemanja Garunović, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg
Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, garunovic@uns.as.rs**
**Ass. dr Nenad Ruškić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg
Dositeja Obradovića 6, Novi Sad, nruskic@uns.as.rs**
**Ass. mr Biljana Ivnović, Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet,
Cetinjski put bb, Podgorica, biljana.ivanovic@viaproject.me**

Sažetak: Rastojanje sleđenja između vozila predstavlja put koji pretičuće vozilo mora da pređe prilikom vršenja manevra preticanja. U zavisnosti od teorijskog modela rastojanje sleđenja prilikom proračuna indirektno ili direktno utiče na dužinu puta preticanja, odnosno preticajne preglednosti. U većini modela koji su poznati u teoriji saobraćajnog toka, dužina puta preticanja je u funkciji vremena vršenja radnje preticanja, brzine pretičućeg, odnosno preticanog vozila ili razlike između njihovih brzina. Prilikom proračuna rastojanja sleđenja vrednost parametara na osnovu kojih se vrši proračun je konstantna. Iz tog razloga veoma često vrednost rastojanja sleđenja na početku i kraju puta preticanja ne odgovara osobenostima realnog saobraćajnog toka. U okviru rada prezentovani su rezultati analize rastojanja sleđenja između vozila na početku puta preticanja u realnom saobraćajnom toku, na deonicama dvosmernih dvotračnih puteva.

Ključne reči: *preticanje, put preticanja, rastojanje sleđenja, preglednost*

THE HEADWAY IN REAL TRAFFIC FLOW DURING THE OVERPASSING

Abstract: Headway or distance between vehicles represents the path which the overtaking vehicle has to cross when performing the act of overtaking. Depending on the theoretical model of distance succession during the calculation indirectly or affects the length of time overtaking or overtaking visibility. In majority of models which are well known in the theory of traffic flow, the length of time of passing is the function of the timing the action of overtaking, speed of the vehicle being overtaken, or the difference between their speed. When calculating distances succession the value of parameters on which the calculation is done is constant. For this reason, very often the value of distance succession at the start and end times of overtaking does not correspond to the real characteristics of traffic flow. This paper presents the results of analysis of the distances between the succession of vehicles at the start time of overtaking in real traffic flow, at the sections of two-directional, two-lane roads.

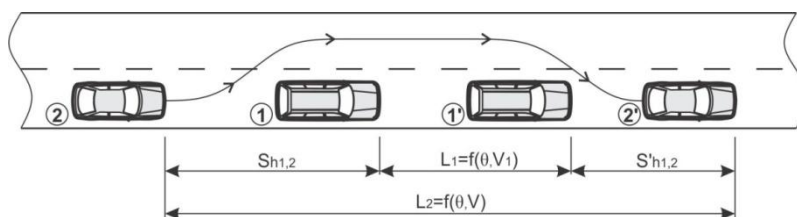
Key words: *overtaking, overtaking way, distance between vehicles, sight distance*

1. UVOD

Prema zvaničnim statističkim podacima u zemljama članicama OECD se oko 60% saobraćajnih nezgoda dogodi na dvosmernim dvotračnim putevima [2], na kojima preticanje predstavlja najsloženiju i potencijalno najzahtevniju radnju. Na većini dvosmernih dvotračnih puteva puteva preticanje se zbog karakteristika trase dozvoljava samo na pojedinim deonicama. Iz tog razloga procenat zona dozvoljenog preticanja na dvotračnim putevima predstavlja jedan od parametara koji presudno utiču na uslove odvijanja saobraćaja, odnosno na nivo usluge [1]. Preticanje je zahtevan manevar koji je karakterističan po tome što vozilo koje vrši preticanje u određenom periodu zauzima traku koja je namenjena kretanju vozila iz suprotnog smera [3]. Iz tog razloga preticanje se dozvoljava samo na deonicama koje omogućavaju vozaču vozila koje vrši preticanje bezbedan završetak ovog manevara ili odustajanje od preticanja i vraćanje na svoju desnu saobraćajnu traku. Ovo rastojanje koje omogućava bezbedno preticanje naziva se preticajna preglednost koja se sastoji od puta preticanja i puta koje vozilo iz suprotnog smera pređe za vreme preticanja [4]. Za utvrđivanje preticajne preglednosti, pre svega za određivanje dužine puta preticanja, definisan je značajan broj teorijskih modela. Dužina puta preticanja i vreme preticanja, odnosno ulazni elementi u postupku proračuna zavise od primenjenog teorijskog modela. Svi teorijski modeli imaju određena ograničenja, s obzirom da se ne može uzeti u obzir ponašanje vozača koje zavisi od karakteristika i osobenosti saobraćajnog toka i karakteristika puta. Pored toga, svi teorijski modeli podrazumevaju konstantan režim vožnje svih vozila u saobraćajnom toku, što ne karakteriše uslove realnog saobraćajnog toka. Većina teorijskih modela zanemaruje rastojanje između preticanog i prethodnog vozila na početku i na kraju puta preticanja, odnosno rastojanje sleđenja vozila [4]. Jedan od modela koji prilikom proračuna preticajne preglednosti uzima u obzir rastojanje sleđenja vozila, na početku i kraju puta preticanja, su 1989. godine razvili Y. Wang i M. Carmell [5]. U ovom radu su prikazani rezultati istraživanja rastojanja sleđenja vozila koji su sprovedeni u realnom saobraćajnom toku prilikom preticanja.

2. KARAKTERISTIKE PRETICANJA VOZILA

U realnom saobraćajnom toku potreba za preticanjem nastaje u situaciji kada se vozilo, koje je dostiglo određenu brzinu V_2 (vozilo 2), počinje da prilazi vozilu koje se kreće manjom brzinom $V_1 < V_2$ (vozilo 1) zbog čega se smanjuje rastojanje sleđenja. Nakon izvesnog vremena rastojanje između vozila 2 i vozila 1 se smanjuje do minimalnog bezbednog, kada se javlja potreba da vozač vozila 2 pretekne vozilo 1 koje se nalazi ispred njega.



Slika 1. Šema preticanja u uslovima konstantnih brzina [3]

Potreba da neko vozilo u saobraćajnom toku izvrši preticanje proporcionalna je pojavi minimalnih rastojanja sleđenja vozila u tom toku, a sama mogućnost preticanja zavisi od postojanja prihvatljivog intervala sleđenja u toku iz suprotnog smera koji je dovoljan da bi se preticanje izvršilo na bezbedan način [3].

Tokom preticanja vozilo 2 prelazi određeno rastojanje koje predstavlja put preticanja, a za vreme preticanja vozilo 3 koje se kreće u susret vozilu 2, takođe prelazi određeni put. U skladu sa tim minimalno rastojanje za bezbedno preticanje predstavlja zbir puta preticanja vozila 2 tokom preticanja vozila 1 i puta koje za to vreme pređe vozilo 3. Da bi se preticanje na nekom dvotračnom putu dozvolilo potrebno je da uslovi horizontalne i vertikalne trase omogućavaju uočljivost vozila na ovom rastojanju koje se zove preticajna preglednost. Preticanje se na dvotračnim putevima dozvoljava u situaciji kada je preglednost na putu veća od minimalno potrebne dužine puta za bezbedno izvršenje preticanja, odnosno preticajne preglednosti.

Jedan od prvih postupaka za utvrđivanje preticajne preglednosti zasnovan je na istraživanjima iz četrdesetih godina prošlog veka je AASHTO model iz 1954 [6]. Naredna istraživanja u vezi preticajne preglednosti bila su bazirana na već utvrđenom AASHTO kriterijumu i predstavljala su varijante postojećeg modela preticajne preglednosti, a publikovana su u izdanjima od 1984 [7]. Prema ovim modelima manevar preticanja je opisan kroz dve faze:

- **prva faza**, koja traje od trenutka kada se vozač odluči za preticanje pa do trenutka kada se čelo preticanog i pretičućeg vozila nađu u istoj ravni;
- **druga faza**, koja traje od trenutka kada se završi prva faza pa do potpunog povratka pretičućeg vozila u svoju traku.

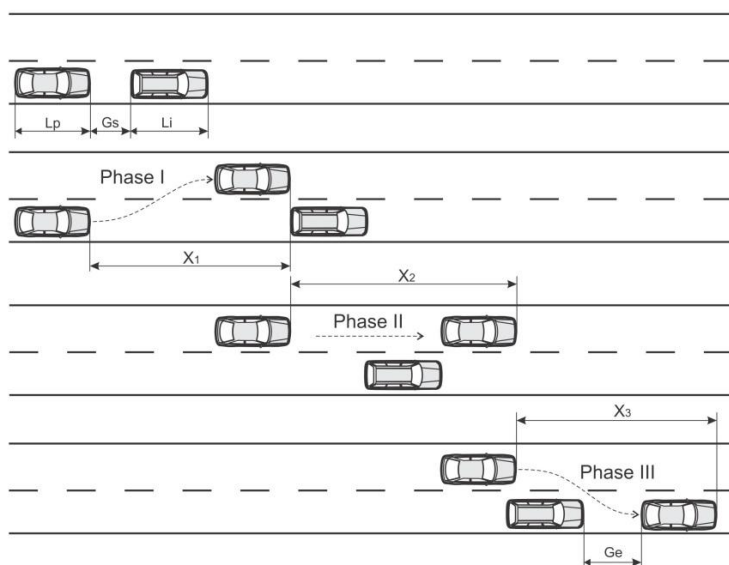
Dužina puta preticanja prema AASHTO kriterijumu predstavlja funkciju ubrzanja pretičućeg vozila, brzine preticanog vozila, razlike u brzinama vozila koja se pretiču i vremena za izvršenje manevra preticanja [4].

Krajem dvadesetog veka, Y. Wang i M. Cartmell razvili su novi model kojim je na kompleksniji način opisana preticajna preglednost odnosno dužina puta preticanja. Ovaj model je preticanje opisao kroz tri faze i to:

Faza 1: put koji vozilo pređe od trenutka kada započne preticanje do trenutka kada pređe u susednu traku, paralelno sa vozilom koje pretiče, tako da se prednja ivica vozila koje pretiče i zadnja ivica vozila koje se pretiče nađu u istoj ravni;

Faza 2: put koji vozilo pređe od trenutka kada se završi prva faza, do trenutka kada se zadnja ivica vozila koje vrši preticanje nađe u istoj ravni sa prednjom ivicom vozila koje se pretiče;

Faza 3: put koji vozilo pređe od trenutka kada se završi druga faza do trenutka dok se ne vrati u sopstvenu traku.



Slika 2. Elementi puta preticanja prema wang and cartmell modelu

Prema ovom modelu, dužina puta preticanja (L) se opisuje kao zbir rastojanja između vozila na početku (G_s) i na kraju puta preticanja (G_e), dužine vozila koje vrši preticanje (L_p) i dužine vozila koje se pretiče (L_i), i isključivo od brzine vozila koje se pretiče (V_i), pri čemu se smatra da brzina vozila koje vrši preticanje može maksimalno da ima vrednost maksimalne dozvoljene brzine na deonici na kojoj se vrši preticanje

$$L = L_p + L_i + G_s + G_e + V_i \cdot (T_1 + T_2 + T_3) \quad (1)$$

U skladu sa ovim modelom, u radu su analizirani rastojanje između vozila na početku preticanja (G_s) i rastojanje između vozila na kraju puta preticanja (G_e). Prema ovom modelu rastojanje G_s kreće se u intervalu od 8,0 m do 10,4 m, dok se rastojanje G_e kreće se u intervalu od 3,5 m do 5,9 m [5].

3. METOD I LOKACIJA ISTRAŽIVANJA

Podaci na osnovu kojih je vršena analiza rastojanja između vozila dobijeni su obradom video snimka realnog saobraćajnog toka na tri različite deonice dvotračnog dvosmernog puta. Istraživanje realnog saobraćajnog toka obradom video zapisa [8], [9], [10] pokazala se kao jednostavan, efikasan i precizan metod, pa je iz tog razloga on primenjen i prilikom ovog istraživanja. Snimanje saobraćajnog toka na izabranim deonicama vršeno je sa određene udaljenosti a učesnici u saobraćaju sa time nisu bili upoznati, pa je ponašanje vozača bilo uobičajeno.

Obradom sačinjenih video zapisa realnog saobraćajnog toka na tri različite deonice dvotračnog puta formiran je uzorak od ukupno 104 preticanja, u kojima su i preticano i pretičuće vozilo bili automobili. Ovakav uzorak formiran je iz razloga što se preticajna preglednost definiše upravo za preticanje automobila. Za obradu video snimaka i analizu podataka korišćeni su odgovarajući softverski alati za obradu video snimaka i za statističku obradu podataka. Odabrani softveri su u mogućnosti da sa visokim stepenom preciznosti mere i analiziraju video zapise.

3.1. Opis deonica na kojima je vršeno snimanje

Snimanje realnog saobraćajnog toka izvršena su na tri deonice, na državnim putevima prvog reda u Crnoj Gori i to dve deonice na putu Podgorica – Nikšić i jedna na putu Podgorica – Cetinje. Na izabranim deonicama dvotračnih dvosmernih puteva preticanje je dozvoljeno u većoj dužini, a ostale karakteristike podužnog i poprečnog profila omogućavaju neometano preticanje. Projektovana brzina na svim deonicama iznosi 80 km/h, a PGDS preko 7000 voz/dan.

Prva deonica na kojoj je vršeno snimanje nalazi se na magistralnom putu Podgorica-Nikšić. Put je u horizontalnoj krivini radijusa 2500 m, sa malim skretnim uglom, sa podužnim nagibom od 0,05 %. Širina kolovoza iznosi $2 \times 3,75 \text{ m} + 2 \times 0,5 \text{ m}$. Bankina, odnosno berma je široka 1,5 m. Kolovoz je u dobrom stanju, bez mrežastih pukotina. Put je u zaseku, s tim što je kosina useka značajno udaljena od puta. Ukupna dužina isprekidane linije na ovoj dionici iznosi 600 m. Dužina zone puta prve dionice koja ulazi u opseg analiziranog video zapisa iznosi $L=250 \text{ m}$ [11].

Druga deonica nalazi se na magistralnom putu Podgorica-Cetinje. Put je u blagoj horizontalnoj krivini, sa podužnim padom koji iznosi 0,6 %. Širina kolovoza iznosi $2 \times 3,5 \text{ m} + 2 \times 0,35 \text{ m}$, a bankine na posmatranoj dionici puta su široke 1,5 m. Kolovoz je u dobrom stanju, bez mrežastih pukotina. Put se nalazi u useku, a kosine useka formirane su sa blagim nagibom. Ukupna dužina isprekidane linije na ovoj dionici je 400 m. Dužina zone puta druge dionice koja ulazi u opseg analiziranog video zapisa iznosi $L=250 \text{ m}$ [11].

Treća deonica nalazi se na magistralnom putu Podgorica-Nikšić. Na ovom delu trase put je u pravcu, dok nagib nivelete iznosi 3,25%. Širina kolovoza iznosi $2 \times 3,5 \text{ m} + 2 \times 0,35 \text{ m}$. Put je u zaseku pri čemu je kosina useka blago izvedena, a kosina nasipa iznosi 1:1,5. Berme, odnosno bankine su široke 1,5m, kolovoz je u dobrom stanju, bez mrežastih pukotina i oštećenja. Ukupna dužina isprekidane linije na ovoj dionici iznosi 600 m. Dužina zone puta treće deonice koja ulazi u opseg analiziranog video zapisa iznosi $L=320 \text{ m}$.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

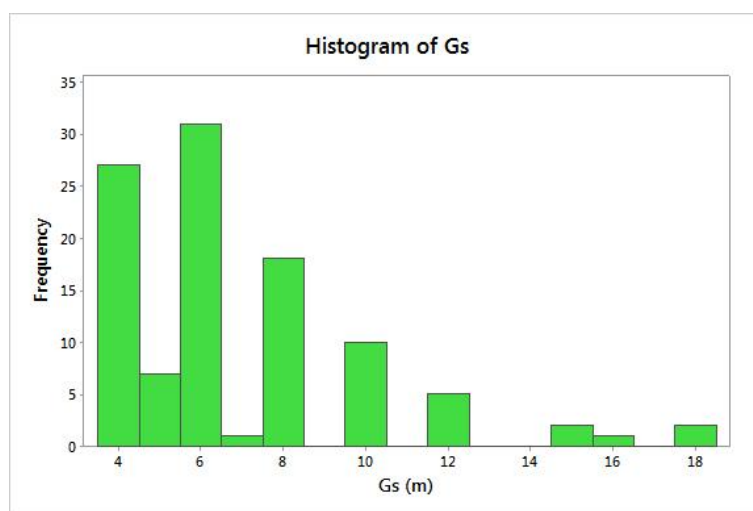
Obradom video snimaka realnog saobraćajnog toka na pomenutim deonicama evidentirana su rastojanje između vozila na početku preticanja (G_s) i rastojanje između vozila na kraju puta preticanja (G_e). Kao rastojanje na početku preticanja (G_s) usvojena je udaljenost između prednje ivice pretičućeg vozila i zadnje ivice preticanog vozila u trenutku kada pretičuće vozilo kreće da izvršava preticanje, odnosno prelazi u saobraćajnu traku namenjenu za vozila iz suprotnog smera. Kao rastojanje na kraju preticanja (G_e) usvojena je udaljenost između prednje ivice preticanog vozila i zadnje ivice pretičućeg vozila u trenutku kada se manevar preticanja završi, odnosno kada se pretičuće vozilo potpuno vrati u svoju traku.

Analizom video snimka dobijeni su sledeći rezultati minimalnog, maksimalnog i prosečnog rastojanja između vozila na početku i kraju puta preticanja, koji su prikazani u tabeli 1.

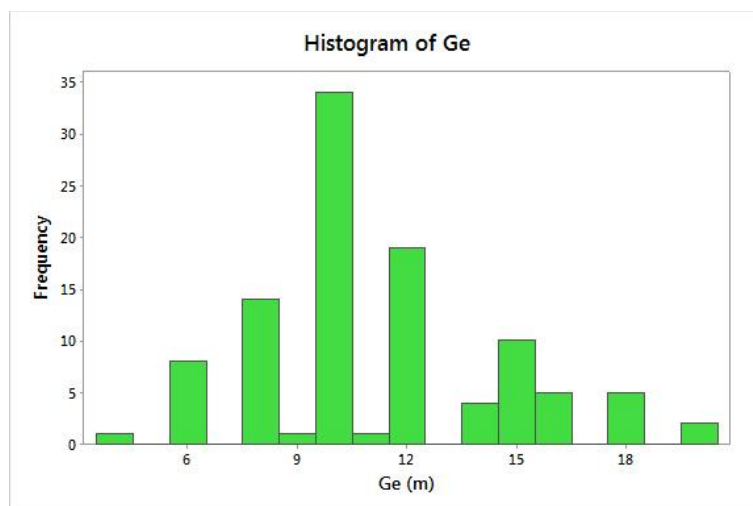
Tablica 1. Rastojanja sleđenja na početku i na kraju puta preticanja

	Rastojanje sleđenja između vozila	
	na početku preticanja (G_s)	na kraju preticanja (G_e)
Minimalno izmereno	4,0 m	4,0 m
Maksimalno izmereno	18,0 m	20,0 m
Srednja vrednost	6,9 m	11,2 m
Wang & Cartmell model [5]	9,0 m	4,5 m

Rezultati istraživanja prikazani u tabeli 1 pokazuju da se rastojanje između vozila na početku preticanja kreće u granicama od minimalno izmerenih 4,0 m do maksimalno izmerenog rastojanja sleđenja koje iznosi 18,0 m. Minimalno zabeleženo rastojanje na kraju preticanja iznosi takođe 4,0 m, dok je maksimalno zabeleženo rastojanje na kraju puta preticanja nešto veće od onog zabeleženog na početku preticanja i iznosi 20,0 m.



Grafik 1. Raspodela rastojanja sleđenja na početku puta preticanja (g_s)



Grafik 2. Raspodela rastojanja sleđenja na kraju puta preticanja (ge)

Prema rezultatima istraživanja proizilazi da je rastojanje sleđenja na početku puta preticanja manje od rastojanja sleđenja na kraju puta preticanja. U poslednjem redu tabele date su vrednosti koje su dobijene kao izlazni rezultat modela koji su razvili Wang i Cartmell, za projektnu brzinu od 80 km/h.

Tablica 2. Raspodela dužine rastojanja na početku i na kraju preticanja

Rastojanje (m)	%		Rastojanje (m)	%		Rastojanje (m)	%	
	Gs	Ge		Gs	Ge		Gs	Ge
1,0	0,0%	0,0%	8,0	17,3%	13,5%	15,0	1,9%	9,6%
2,0	0,0%	0,0%	9,0	0,0%	1,0%	16,0	1,0%	4,8%
3,0	0,0%	0,0%	10,0	9,6%	32,7%	17,0	0,0%	0,0%
4,0	26,0%	1,0%	11,0	0,0%	1,0%	18,0	1,9%	4,8%
5,0	6,7%	0,0%	12,0	4,8%	18,3%	19,0	0,0%	0,0%
6,0	29,8%	7,7%	13,0	0,0%	0,0%	20,0	0,0%	1,9%
7,0	1,0%	0,0%	14,0	0,0%	3,8%	21,0	0,0%	0,0%

U tabeli 2 prikazano je procentualno učešće rastojanja između putničkih automobila na početku, odnosno na kraju preticanja. Iz ove tabele vidi se da najveći broj vozača (29,8%) započinju preticanje na rastojanju sleđenja od oko 6,0 m. Prema rezultatima analize u preko 80 % preticanja, rastojanje sleđenja na početku puta preticanja kreće u granicama od 4,0 m do 8,0 m. Isto tako, u oko 80 % preticanja rastojanje sleđenja na kraju puta preticanja se kreće u granicama od 8,0 m do 15,0 m, odnosno najveći broj vozila preticanje završava rastojanjem sleđenja od oko 10 m.

ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada izvršeno je istraživanje rastojanja sleđenja između vozila na početku i na kraju puta preticanja na tri odabrane lokacije. Cilj istraživanja je bio da se u realnom saobraćajnom toku utvrde rastojanja sleđenja između vozila na početku i na kraju preticanja i uporede sa preporukama teorijskih modela. Rastojanja sleđenja predstavljaju deo puta preticanja koji predstavlja osnov za određivanje preticajne preglednosti. Prilikom utvrđivanja rastojanja sleđenja u realnom saobraćajnom toku korišćen je verifikovan metod koji se bazira na analizi obrade video snimaka. Obradom rezultata istraživanja formiran je uzorak od 104 preticanja u kojima su učestovali putnički automobili. Analizom je utvrđeno da se oko 80 % vozila pre započinjanja radnje preticanja kreću iza vozila koje pretiču na rastojanju od 4,0 m do 6,0 m. Isto tako, rezultati analize pokazali su da oko 80% vozila nakon završetka preticanja zauzima rastojanje sleđenja od 8,0 m do 15 m u odnosu na vozilo koje ga sledi.

LITERATURA

- [1] Transportation Research Board: *Highway Capacity Manual (HCM) 2010*, Transportation Research Board, Washington D.C., 2011.
- [2] OECD, *Safety Strategies for Rural Roads*, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 1999.
- [3] Kuzović, Lj., Bogdanović, V.: *Teorija saobraćajnog toka*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010.
- [4] Transportation research board: *NCHRP report 605 - Passing Sight Distance Criteria*. Transportation research board of the National Academies, Washington D.C., 2008.
- [5] Wang, Y., Cartmell, M.: New Model for Passing Sight Distance, *ASCE Journal of transportation engineering*, 124 (1998), 6, pp 536-545.
- [6] *A Policy on Geometric Design of Rural Highways*, American Association of State Highway and Transportation Official, Washington D.C., 1954.
- [7] *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets - Green Book*, American Association of State Highway and Transportation Official, Washington D.C., 1984.
- [8] Bogdanović, V., Papić, Z., Ruškić, N., Jeftić, A.: Karakteristike brzina na signalisanim raskrižjima, *Suvremeni promet*, 31 (2011), 3-4, pp 196-200.
- [9] Bogdanović, V., Saulić, N., Ruškić, N., Ivanović, B., Ilin, V.: Analiza karakteristika vremenskog intervala sleđenja na semaforisanim raskrsnicama, *Put i saobraćaj* 59 (2013), 1, pp 19-24.
- [10] Bogdanović, V., Ruškuć, N., Kulović, M., Han, L.: Toward a Capacity Analysis Procedure for Nonstandard Two-Way Stop-Controlled Intersections, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2395 (2014), pp 132-138.
- [11] Ivanović, B., Basarić, V., Garunović, N., Mitrović, J., Saulić, N.: Istraživanje brzina u preticanju, *Put i saobraćaj*, 60 (2014), 1, 39-44.