

Primljen / Received: 16.9.2017.

Ispravljen / Corrected: 4.4.2018.

Prihvaćen / Accepted: 11.4.2018.

Dostupno online / Available online: 10.8.2018.

# Istraživanje postotka vremena provedenog u koloni na dvotračnim izvangradskim cestama

## Autori:



Dr.sc. **Boris Čutura**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Mostaru  
Građevinski fakultet  
[boriscutura@gmail.com](mailto:boriscutura@gmail.com)



Prof.dr.sc. **Dražen Cvitanić**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Splitu  
Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije  
[Drazen.Cvitanic@gradst.hr](mailto:Drazen.Cvitanic@gradst.hr)



Prof.dr.sc. **Ivan Lovrić**, dipl.ing.građ.  
Sveučilište u Mostaru  
Građevinski fakultet  
[ivan.lovric40@gmail.com](mailto:ivan.lovric40@gmail.com)

Prethodno priopćenje

**Boris Čutura, Dražen Cvitanić, Ivan Lovrić**

## Istraživanje postotka vremena provedenog u koloni na dvotračnim izvangradskim cestama

Dvotračne izvangradske ceste u Bosni i Hercegovini čine najveći postotak cestovne mreže pa preuzimaju gotovo cjelokupan teretni promet. Zbog toga se na njima često stvaraju kolone, brzine vozila se smanjuju i gustoća prometa raste. Za poboljšanje kvalitete odvijanja prometa potrebno je utvrditi razinu usluge za postojeće stanje te za alternativne mogućnosti rekonstrukcije kritičnih elemenata cestovne mreže. U radu se istraživao postotak vremena provedenog u koloni kao primjerena mjera za određivanje efikasnosti izvangradskih dvotračnih cesta.

### Ključne riječi:

postotak vremena provedenog u koloni, dvotračne ceste, vrijeme slijeda

Preliminary report

**Boris Čutura, Dražen Cvitanić, Ivan Lovrić**

## Estimating percent-time-spent-following on two-lane rural roads

Two-lane rural roads in Bosnia and Herzegovina take up the highest percentage of the national road network and thus carry almost the entire heavy traffic. That is why long platoons are often formed on such roads, vehicle speed is low, and traffic density is high. In order to improve the quality of traffic, it is necessary to determine the level of service for the existing situation and for alternatives involving reconstruction of critical elements along this road network. The percent-time-spent-following is studied in this paper as it is an appropriate measure for determining efficiency of two-lane rural roads.

### Key words:

percent-time-spent-following, two-lane roads, headway time

Vorherige Mitteilung

**Boris Čutura, Dražen Cvitanić, Ivan Lovrić**

## Untersuchung des Prozentsatzes der Zeit, die man auf zweispurigen Landstrassen im Stau verbringt

Zweispurige Straßen außerhalb der Stadt machen in Bosnien und Herzegowina den größten Anteil am Straßennetz aus und übernehmen fast den gesamten Güterverkehr. Deswegen kommt es auf diesen häufig zu Staus, die Geschwindigkeit der Fahrzeuge wird verringert und die Verkehrsdichte nimmt zu. Um die Qualität des Verkehrsflusses zu verbessern, ist es notwendig, das Niveau der Leistung für die bestehende Situation sowie für die alternativen Möglichkeiten der Rekonstruktion der kritischen Elemente des Straßennetzes festzustellen. In der Abhandlung wird der Prozentsatz der Zeit untersucht, die man im Stau verbringt, als angemessene Maßnahme für die Festlegung der Effizienz der zweispurigen Straßen außerhalb der Stadt.

### Schlüsselwörter:

Prozentsatz der Zeit, die im Stau verbracht wird, zweispurige Straße, Zeitsequenz

## 1. Uvod

Dvotračne izvangradске ceste čine najveći postotak mreže cesta u mnogim državama pa tako i u Bosni i Hercegovini (BiH). Prometna opterećenja (PGDP) na cestama u BiH su od nekoliko desetaka do preko 12 000 voz/dan, a računске brzine su u rasponu od 40 do 80 km/h. Cjelokupan teretni promet odvija se ovom mrežom zbog nerazvijenosti ostale prometne infrastrukture. Zbog svega navedenog, brzine vozila su prilično male s obzirom na pojedinu kategoriju cesta. Zbog brdsko-planinske konfiguracije terena, mogućnosti pretjecanja su ograničene, što izaziva zagušenja prometa. U takvim uvjetima, osobito pri većem prometnom opterećenju, stvaraju se kolone vozila, brzine vozila se smanjuju i gustoća prometa raste. To uzrokuje i opasne prometne radnje kao što su pretjecanje i obilaženje vozila na nedopuštenim mjestima, što nerijetko dovodi do prometnih nesreća. Takve prometne radnje, koje podrazumijevaju prelazak u suprotni trak prometnice, često su uzrok prometnih nesreća s težim posljedicama. Da bi se odabrao način poboljšanja mreže (veće pretjecajne duljine, dodatni trak, itd.), potrebno je utvrditi kvalitetu odvijanja prometa u postojećim uvjetima te za moguća poboljšanja.

Razina usluge (RU) na dvotračnim izvangradskim dionicama definira se prema Highway Capacity Manual (HCM) [1, 2] na osnovi mjera efikasnosti, prosječne brzine putovanja ATS (eng. *average travel speed* - ATS) i postotka vremena provedenog u koloni (eng. *percent time spent following* - PTSF). HCM pretpostavlja velike vrijednosti brzina slobodnog toka (70 - 110 km/h) s obzirom na to da je na dvotračnim bosanskohercegovačkim cestama maksimalna dopuštena brzina 80 km/h. Kako vrijednosti ATS-a manje od 64,36 km/h (40 mi/h) rezultiraju razinom usluge E za ceste prve klase ATS je teško primjenjiv kao kriterij u takvim uvjetima. Zbog toga je u radu analiziran PTSF, a ATS nije.

U radu su prikazani rezultati terenskih istraživanja PTSF-a provedenih na jednoj državnoj cesti u BiH tijekom proljeća i ljeta 2017. (početna istraživanja provedena tijekom proljeća objavljena su u radu [3]).

Kako se u Bosni i Hercegovini te u Republici Hrvatskoj preporučuje primjena HCM metodologije, u radu su analizirane pretpostavke metodologije HCM usporedbom s rezultatima terenskih mjerenja PTSF-a. Na osnovi rezultata provedene analize prikazani su nedostaci primjene metodologije HCM za proračun PTSF-a.

## 2. Kratak prikaz novijih istraživanja PTSF-a

U ovom poglavlju dan je kratak prikaz novijih istraživanja PTSF-a, s kritičkim osvrtom na njih. HCM metodologija je zbog parametra PTSF-a bila predmet kritika od samog početka njegovog uvođenja [2]. Razlozi kritika bili su znatno veće vrijednosti PTSF-a dobivene proračunom prema HCM-u u odnosu na rezultate izmjerene na terenu [4-14] i način mjerenja PTSF-a na osnovi konstantnog vremena slijeda. Smatralo se da

se konstantnim vremenom slijeda ne uzima u obzir ponašanje vozača niti se uzimaju u obzir njihova željena vremena slijeda (HCM definira vrijeme slijeda od 3 sekunde kao granicu za određivanje PTSF-a). Predlagani su drugačiji pristupi određivanja PTSF-a [9-14] ili potpuno nove mjere efikasnosti za određivanje razine usluge [15-18].

U nastavku su navedeni i analizirani modeli koji koriste PTSF kao mjeru efikasnosti za RU, a koji uključuju dva pristupa. Prvi pristup je usmjeren na pokušaj boljeg definiranja PTSF-a detaljnijim analizama parametara odvijanja prometnih tokova kao što su vjerojatnosti pojavljivanja kolona, brzine različitih kategorija vozila, itd. Drugi pristup je usmjeren na izradu modela PTSF-a primjenom granične vrijednosti vremena slijeda od 3 s, bilo uvođenjem novih parametara i zakonitosti ili samo prilagodbom na lokalne uvjete.

Luttinen (2001.) [4, 5] je proveo istraživanja u Finskoj i vrijednosti PTSF-a izmjerene na terenu bile su znatno manje od vrijednosti dobivenih proračunom prema HCM-u. Kritički se osvrnuo na distribuciju prometnih tokova po smjerovima i neosjetljivost modela na ograničenja brzine analizirane dionice. Izradio je dva modela proračuna PTSF-a, i to za ograničenja brzine od 80 i 100 km/h. Luttinenov predloženi model [4] za brzinu od 80 km/h za parametre ima prometne tokove po smjeru, udio zona bez pretjecanja i utjecaj širine bankine.

Dixon i drugi (2002.) [6], Harwood i drugi (2003.) [7] i Moreno i drugi (2014.) [8] također su upozorili na veće vrijednosti PTSF-a dobivene proračunom prema HCM-u od vrijednosti izmjerenih na terenu. Al-Kaisy i Durbin (2007) [9] su definirali PTSF novim pristupima koji su uključivali probabilističku i metodu prosječne težine. Probabilistička metoda temelji se na dvama varijablama pomoću kojih se određuje postotak onih koji slijede (eng. *percent of followers* - PF): vjerojatnost da je vozilo dio kolone ( $P_p$ ) i vjerojatnost da vozi brzinom manjom od željene ( $P_v$ ). Metoda prosječne težine temelji se na srednjim brzinama i srednjim željenim brzinama pojedinih klasa vozila. Probabilistička metoda davala je bolje rezultate od metode prosječne težine.

Polus i Cohen (2009.) [11] u istraživanjima provedenim u Izraelu povezali su teorijske i empirijske pristupe za određivanje razine usluge. Naglasak je bio na proučavanju kolone i položaja vozila u koloni. Novi parametri u analizi PTSF-a bili su prosječni broj vremena slijeda između kolona i prosječni broj vremena slijeda u koloni. Preporučili su i nove raspone vrijednosti PTSF-a za pojedine razine usluge.

Penmetsa i drugi (2015.) [13] u istraživanjima provedenim u Indiji analizirali su broj onih koji slijede (eng. *number of followers* - NF) primjenjujući graničnu vrijednost vremena slijeda od 2,6 s (za razliku od HCM-ovih 3 s). Parametar NF je davao pouzdane rezultate, ali nije dovoljno opisivao uvjete prometnog toka. NF može biti jednak na dvije ceste sličnog volumena, ali će veća zagušenja biti na cesti s manjim kapacitetom. Stoga su uveli novu mjeru efikasnosti: broj onih koji slijede kao postotak kapaciteta (eng. *number of followers as a proportion of capacity* - NFPC).

Moreno i drugi (2016.) [14] analizirali su utjecaj pretjecanja na ATS i PTSF španjolskih cesta. I ATS i PTSF se (kao i prema

HCM-u) definiraju kao zbroj baznog i utjecaja zona bez pretjecanja, uz dodatni parametar koji predstavlja duljina zona pretjecanja. Predložili su da se u sljedećem izdanju HCM-a uz ukupni postotak zona bez pretjecanja definira i utjecaj duljina pojedinih zona.

### 3. Istraživanje PTSF-a na dvotračnim izvangradskim cestama u BiH

U ovom poglavlju predstavljena je metodologija provedenih terenskih istraživanja na dvotračnim izvangradskim cestama na području Hercegovine. Mreža dvotračnih cesta dijeli se na lokalne, regionalne i magistralne. S obzirom na kategorizaciju (značaj, duljine, prometno opterećenje i brzine), magistralne ceste su najvažnije u mreži cesta. Iako je računaska brzina na

njima najčešće 80 km/h i imaju homogenije elemente trase od ostale dvije kategorije cesta, dijelovi dionica u težim terenskim uvjetima imaju manje vrijednosti brzine. Stoga su prosječne brzine vožnje na njima zbog stvaranja kolona iza sporijih vozila manje od vrijednosti koje primjenjuje metodologija HCM za definiranje razine usluge, pa je istraživanje usmjereno na proračun PTSF-a kao mjere efikasnosti.

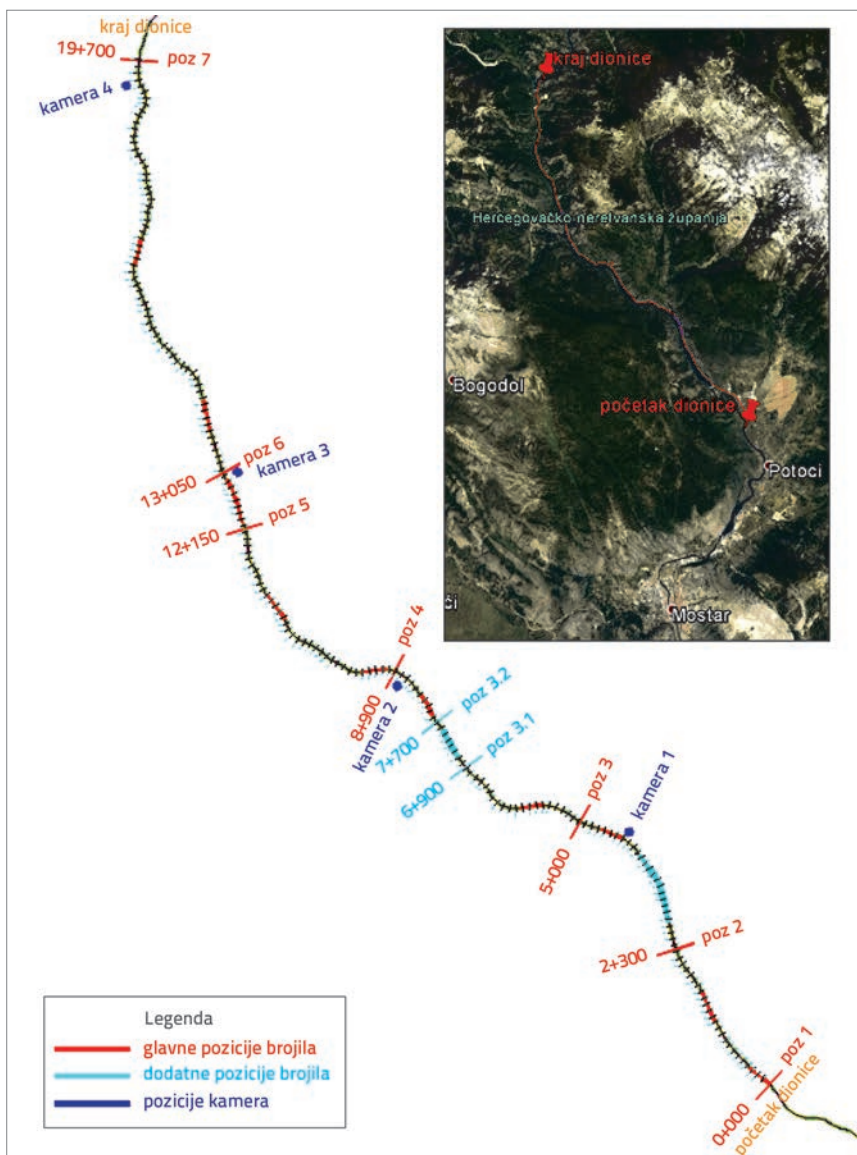
#### 3.1. Odabrane dionice i lokacije snimanja

Za istraživanje prometnih uvjeta na magistralnim cestama u Hercegovini odabrana je kao reprezentativna dionica ceste M 17 koja predstavlja europski koridor E73. Ta dionica ima relativno dobru geometriju ceste te je po prometnim karakteristikama najbliža HCM-ovoj klasifikaciji pa je na njoj moguće uočiti nedostatke primjene HCM metodologije.

Ovakve međuregionalne dionice omogućuju širok raspon karakteristika vozača i voznog parka čime se izbjegava veći lokalni utjecaj. Predmet ove analize bila je dionica Salakovac - Grabovica (slika 1.) koja se nalazi između Mostara i Jablanice. Odabrana dionica ima za bosanskohercegovačke prilike značajno prometno opterećenje (PGDP oko 7000 vozila/dan i PLDP oko 10 000 vozila/dan).

Početak dionice (u Salakovcu) udaljen je oko 13 km od središta grada Mostara i pruža se do Grabovice u duljini od gotovo 20 km. S obzirom na ujednačenost geometrije i prometnog opterećenja, dionica se može smatrati homogenom. Postojeći priključci imaju zanemariv utjecaj s obzirom na zanemariv promet i izgrađenost trakova za lijeva skretanja. Odabrana dionica Salakovac - Grabovica (slika 1.) ima sljedeće karakteristike:

- duljinu 19 700 m
- 65 horizontalnih krivina, minimalni polumjer  $R_{\min} = 230$  m (prosječna vrijednost 460,35 m, varijancija 68064,16), prosječna brzina vožnje iz istraživanja  $V = 83,60$  km/h
- uzdužni nagibi < 3 %, izuzev tri kratke dionice duljine do 300 m
- parametar zakrivljenosti 71,44 °/km
- 13 zona za pretjecanje, po jedna duljine 1100 m i 700 m, te 11 zona duljina 400 do 450 m
- ukupni postotak zona za pretjecanje 30 % (nepretjecajnih 70 %).



Slika 1. Dionica magistralne ceste M 17 Salakovac - Grabovica

### 3.2. Metodologija istraživanja

Snimanja su najvećim dijelom provedena tijekom proljeća i ljeta (travanj - kolovoz) jer je to razdoblje godine kad je promet znatno veći od ostatka godine (osobito srpanj i kolovoz zbog turističke sezone). Ukupno je snimano u prosjeku 4 tjedna (u 2 ili 3 navrata) na svakom od 7 glavnih presjeka. U analize je uzeto razdoblje dana od 06:00 sati ujutro do 22:00 uvečer, zato što je promet u ostatku dana zanemariv. Analizirana su 15-minutna opterećenja (pretvorena u satna) što je, uz odbacivanje ekstrema, dalo više od 1300 satnih opterećenja. Zbog problema rada brojlara na presjecima 4 i 7 taj broj je nešto manji (800 sati). Provedena su i dodatna snimanja zone duljine 450 m koja se nalazi između presjeka 3 i 4 (presjeci 3.1 i 3.2) u trajanju 10 dana (oko 450 satnih opterećenja).

Snimanja su provedena na 7 glavnih presjeka dionice (slika 1.), na početku, na kraju dionice i na presjecima prije i poslije najvažnijih (najduljih) zona pretjecanja. Osobita pozornost usmjerena je na zone za pretjecanje, duljina 1100 m (između presjeka 2 i 3) i 700 m (između presjeka 5 i 6). Provedena su i dodatna snimanja kako bi se definirao utjecaj zone za pretjecanje duljine 450 m (između presjeka 3.1 i 3.2).

U odabranim presjecima izmjerene su brzine i vremena slijeda pojedinih vozila koristeći prenosiva brojlara MetroCount 5600. Kao rezultat snimanja dobiveni su broj i klasifikacija vozila, brzine i vrijeme prolaska svakog vozila po smjeru iz čega je precizno utvrđen broj vozila u koloni i PTSF.

Na temelju vremena prolaska svakog pojedinog vozila po smjeru (na pojedinom presjeku) dobila su se vremena slijeda vozila te prometna opterećenja analiziranog i suprotnog smjera. Smatra se da je vozilo u koloni ako je vrijeme slijeda između vozila bilo manje od 3 sekunde. Postotni odnos broja vozila koja su u koloni i ukupnog broja vozila predstavlja PTSF u analiziranom smjeru.

Paralelno su provedena i snimanja videokamerama koja su poslužila za kontrolu brojlara i dobivanje dodatnog uvida u odvijanje prometa (položaji na slici 1.).

### 3.3. Rezultati istraživanja

Za određivanje funkcionalne ovisnosti PTSF-a o prometnom opterećenju analizirano je više postojećih modela: varijacije eksponencijalnog modela [4, 5, 11] te logaritamski model višestruke regresije (kao u Španjolskoj [14]). Najbolju prilagodbu terenskim mjerenjima pokazao je logaritamski model višestruke regresije čiji je opći oblik:

$$PTSF = a \cdot \ln(V_d) + b \cdot V_o + c \tag{1}$$

gdje su:

- $V_d$  - prometni tok u analiziranom smjeru
- $V_o$  - prometni tok u suprotnom smjeru
- $a, b, c$  - parametri modela višestruke regresije

Najprije se, osim opterećenja  $V_d$  i  $V_o$ , analizirao i utjecaj teških vozila kao treća nezavisna varijabla stupanjskog regresijskog modela, ali se pokazao kao zanemariv (t test je pokazao p value > 5 % u svim presjecima) te je isključen iz daljnjih analiza.

Dobivene su jednadžbe modela PTSF-a za svaki od sedam presjeka za oba smjera zasebno (koeficijent determinacije  $R^2 > 0,7$  za sve presjeke). Na slici 2. grafički su prikazani rezultati 7 mjernih mjesta za smjer Salakovac - Grabovica.

Na temelju dobivenih jednadžbi modela (slika 2.) izračunan je PTSF postojeće dionice na način da se najprije izračuna vrijednost PTSF-a svakog segmenta koji se definira kao prosječna vrijednost PTSF-a susjednih presjeka. Zatim se te prosječne vrijednosti pomnože s duljinom pojedinih segmenata (razlika stacionaža, slika 1.), te se njihov zbroj podijeli s duljinom analizirane dionice. To znači da se PTSF dionice dobije prema izrazu (2):

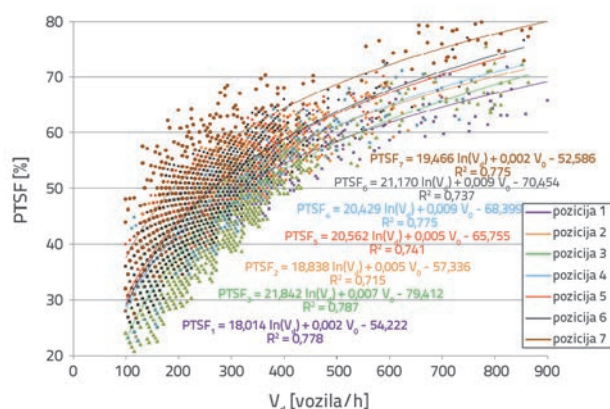
$$PTSF_{dionice} = \frac{\sum_{i=1}^6 L_{i,i+1} \cdot (PTSF_i + PTSF_{i+1}) / 2}{L_{dionice}} \tag{2}$$

gdje su:

- $L_{i,i+1}$  - duljina segmenta između presjeka "i" te presjeka "i+1" [km]
- $PTSF_i$  - vrijednost PTSF-a u presjeku "i" (na početku segmenta) [%]
- $PTSF_{i+1}$  - vrijednost PTSF-a u presjeku "i+1" (na kraju segmenta) [%]
- $L_{dionice}$  - duljina cijele dionice [km].

Na temelju prethodnog dobije se izraz za PTSF dionice u smjeru Salakovac - Grabovica:

$$PTSF_{dionice} = 20,316 \cdot \ln(V_d) + 0,006 \cdot V_o - 65,456 \tag{3}$$



Slika 2. Grafički prikaz rezultata dobivenih na 7 mjernih mjesta, smjer Salakovac - Grabovica

### 4. Usporedba dobivenih rezultata s HCM metodologijom i drugim modelima

Na temelju terenskih rezultata, za različite vrijednosti opterećenja analiziranog i suprotnog toka po navedenim

Tablica 1. PTSF prema rezultatima istraživanja, HCM 2010 i drugim modelima (70 NPZ, distr. 50/50)

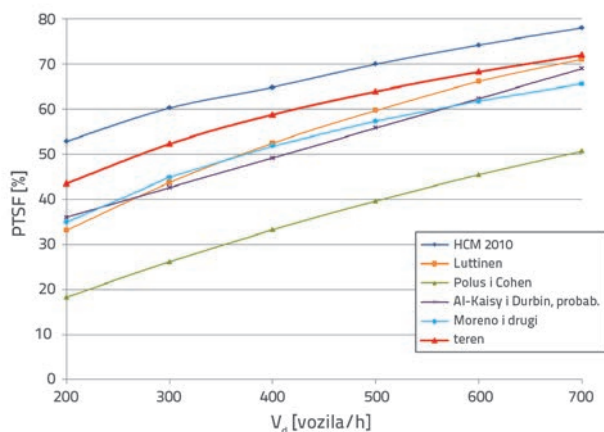
$V_d = V_o$	HCM 2010	Luttinen, 2001.	Al-Kaisy i Durbin, 2008.	Polus i Cohen, 2009.	Moreno i drugi, 2014.	Teren, 2017.
200	52,80	33,01	35,97	18,26	34,87	43,41
300	60,20	43,65	42,55	26,10	44,78	52,26
400	64,80	52,40	49,13	33,18	51,81	58,72
500	69,90	59,62	55,72	39,59	57,26	63,86
600	74,20	66,07	62,30	45,38	61,71	68,18
700	77,90	71,03	68,88	50,62	65,48	71,92

presjecima i sumarno za cijelu dionicu (za oba smjera), dobivene su vrijednosti PTSF-a.

Također su urađeni proračuni prema HCM 2010 i nekim drugim modelima za ista opterećenja i postotak zona bez pretjecanja (70 %), kao na analiziranoj dionici. Rezultati su prikazani u tablici 1. i na slici 3.

Iz tablice i grafikona na slici 3. može se vidjeti da postoje razlike između rezultata dobivenih na temelju terenskih istraživanja i proračuna prema HCM 2010 i ostalim analiziranim modelima. HCM za sve veličine opterećenja daje veće vrijednosti PTSF-a, dok preostali analizirani modeli daju niže vrijednosti od onih dobivenih na terenu.

Porastom prometnog opterećenja raste pretjecajna potražnja, dok pretjecajni kapacitet opada. Ključna promjena u kvaliteti odvijanja prometnih tokova se događa kada se pretjecajni kapacitet znatno smanji. Sukladno tome prikazani rezultati pokazuju očekivano najveće razlike terenski izmjerenih vrijednosti PTSF-a i onih određenih prema HCM-u i ostalim navedenim modelima za manja opterećenja (od 200 do 400 voz/h). Za veća opterećenja razlika vrijednosti modeliranog i terenski izmjerenog PTSF-a se smanjuje jer nema mogućnosti pretjecanja.



Slika 3. PTSF prema rezultatima istraživanja i drugim modelima (70 NPZ, distribucija 50/50)

#### 4.1. Nedostaci primjene HCM i ostalih metodologija

Već je spomenuto da se u BiH i Republici Hrvatskoj preporučuje primjena HCM metodologije za određivanje razine usluge

prometa, pa je istraživanje fokusirano na njezine nedostatke. Iz rezultata prikazanih u tablici 1. i na slici 3. može se vidjeti da i drugi modeli daju razlike u vrijednostima PTSF-a u odnosu na one dobivene na terenu. Polusov i Cohenov model [11] daje znatno niže vrijednosti u odnosu na sve druge modele zbog drugačijih pristupa analizi (spomenuta analiza kolona) i drugačijih raspona PTSF-a (u odnosu na HCM) za pojedine razine usluge. Preostala 3 analizirana modela također daju niže vrijednosti od onih dobivenih na terenu. Španjolski model (Moreno i drugi) [8] kao parametar ima ukupno prometno opterećenje i opterećenje analiziranog toka, a dobiven je regresijskom analizom na terenu izmjerenih podataka. Luttinenov model za brzinu 80 km/h [4] karakterizira mala osjetljivost PTSF-a kod velikih postotaka zona bez pretjecanja (kao i prema HCM-u). Model koji su definirali Al-Kaisy i Durbin [9] pokazuje vrlo veliku osjetljivost na zone bez pretjecanja (eng. *no-passing zone* - NPZ) i teška vozila, što ne odgovara podacima s terena. Ti modeli su teško primjenjivi u BiH zbog osobitosti pristupa u izradi modela i parametara tih modela.

S obzirom na navedeno i preporuku primjene HCM metodologije u BiH, u poglavlju 4.2. detaljno su analizirani utjecaji pojedinih parametara HCM metodologije na kvalitetu procjene PTSF-a u prevladavajućim uvjetima.

#### 4.2. Utjecaj pojedinih parametara HCM metodologije na kvalitetu procjene PTSF-a

##### 4.2.1. Proračun PTSF-a preko BPTSF-a

BPTSF predstavlja "idealnu" dionicu kod koje je omogućeno pretjecanje na cijeloj duljini dionice (100 %, pri čemu PZ označava zone s pretjecanjem (eng. *passing zone*)). Većina dionica dvotračne izvangradске mreže u BiH ima mogućnost pretjecanja na 25 do 30 % dionice, a neki od njih na oko 15 % dionice. Stoga primjena BPTSF-a kao početnog parametra nije prikladna za prevladavajuće uvjete jer je teško mjerljiv na terenu. Jednostavniji pristup bio bi da se počne od proračuna maksimalnog PTSF-a koji se odnosi na dionicu gdje nema pretjecanja (što je lako terenski izmjeriti) pa da se smanjuje s obzirom na utjecaj udjela i duljina zona pretjecanja. To je u suprotnosti s HCM pristupom (koji polazi od idealnih do prevladavajućih uvjeta), ali bi na ovaj način PTSF bio preciznije određen te bi stoga i "korekcijski faktori" bili precizniji (mnogo

manje vrijednosti imali bi koeficijenti utjecaja zona pretjecanja nego što je slučaj sa zonama bez pretjecanja  $f_{np}$ ). Kako je koeficijent  $f_{np}$  vrlo teško izmjeriti na terenu, a i u proračunima je često veći od BPTSF-a, to HCM model čini "nestabilnijim" za primjenu u bosanskohercegovačkim uvjetima.

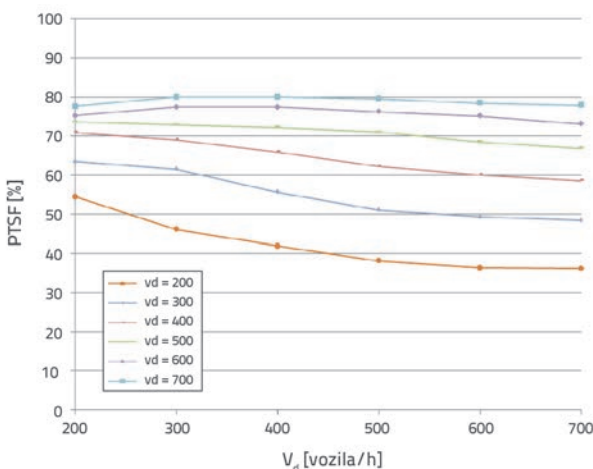
#### 4.2.2. Distribucija brzina i udio teških vozila

U HCM metodologiji brzina ima zanemarivu ulogu u proračunu samog PTSF-a, a i osjetljivost na udio teških vozila (%HV) je vrlo mala (eng. *heavy vehicles* - HV). Zanemariv utjecaj teških vozila je dobiven i na terenu, u skladu s nekim ranijim istraživanjima [4, 5]. S druge strane, brzina ima znatno veći utjecaj na PTSF zato što računski brzina određuje odvijanje samog prometnog toka i postoje razlike na cestama gdje je ona primjerice 100 km/h i 80 km/h [4, 5]. Druga bitna stvar je distribucija brzina, prije svega željenih brzina, jer one određuju interakciju vozila i zadržavanje u koloni. S obzirom na to da je istraživanje provedeno na magistralnim cestama, to se istraživanje odnosi na brzine od 80 km/h.

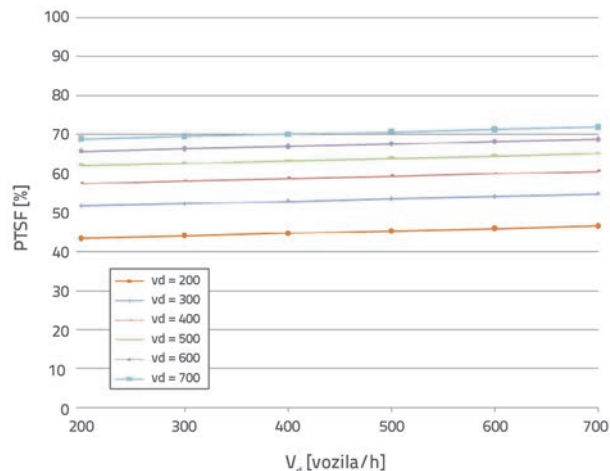
#### 4.2.3. Utjecaj suprotnog toka na PTSF analiziranog toka

Utjecaj veličine suprotnog toka ( $V_o$ ) rezultira drugačijim vrijednostima PTSF-a izračunanim prema HCM 2010 i onih izmjerenih na terenu (slike 4. i 5.). Prema HCM 2010, vrijednost PTSF-a analiziranog toka ( $V_d$ ) opada povećanjem suprotnog toka  $V_o$  (što je nelogično) za veličine suprotnog toka manje od 300 voz/h (slika 4.). HCM 2010 rezultira promjenom PTSF-a analiziranog smjera za slučaj bez ikakvog pretjecanja (100 % NPZ), što nije logično jer suprotni tok nema nikakav utjecaj na tok analiziranog smjera.

Rezultati dobiveni na terenu pokazuju rast PTSF-a za povećanje suprotnog toka  $V_o$  što je u skladu s očekivanjima. Na slici 5. prikazana je međuovisnost analiziranog toka  $V_d$  i suprotnog toka  $V_o$  na dionici za smjer 1 (Salakovac - Grabovica).



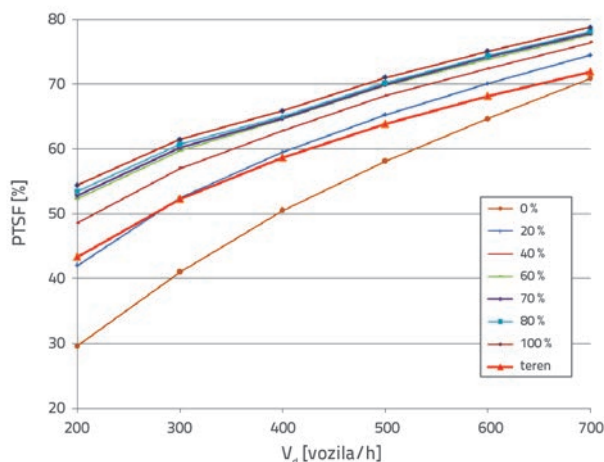
Slika 4. Grafički prikaz PTSF-a ovisno o suprotnom toku prema HCM 2010 za 70 % NPZ



Slika 5. Grafički prikaz PTSF-a ovisno o suprotnom toku prema rezultatima snimanja (smjer Salakovac - Grabovica)

#### 4.2.4. Utjecaj No-Passing zona na PTSF

HCM 2010 za proračun PTSF-a uzima postotak zona bez pretjecanja (NPZ) ne uzimajući u obzir njihov broj i duljinu. Također, za područje NPZ-a od 60 do 100 % razlike su u vrijednostima vrlo male (slika 6.).

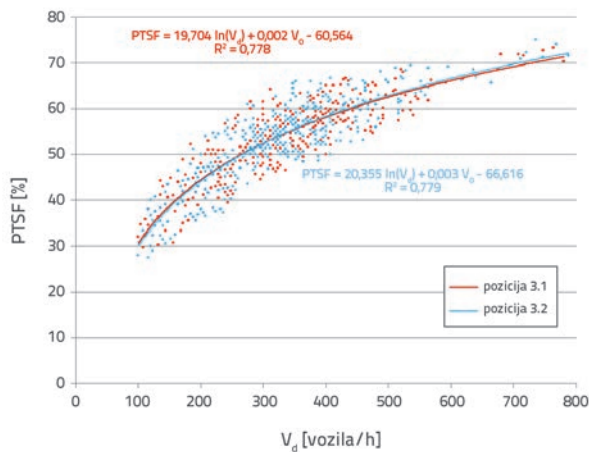


Slika 6. Grafički prikaz PTSF-a prema HCM 2010, ovisno o NPZ-u za distribuciju po smjeru 50/50

Kako većina cesta u BiH ima od 70 do 100 % NPZ-a, to predstavlja problem za analize po HCM metodologiji koja rezultira zanemarivom razlikom u vrijednosti PTSF-a između dionica bez pretjecanja (100 % NPZ) i dionice kakva se ispituje (70 % NPZ), što ne odgovara prikazanim terenskim vrijednostima, osobito za mala opterećenja koja omogućuju veći broj pretjecanja (slike 7. i 8.).

#### 4.2.5. Duljina i broj pojedinih zona pretjecanja

Kao što je navedeno, HCM 2010 ne uzima u obzir duljinu i broj pojedinih zona pretjecanja. Rezultati terenskih istraživanja

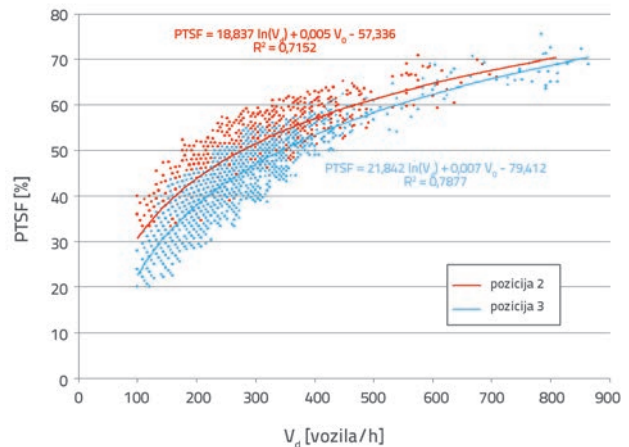


Slika 7. PTSF snimljen na terenu prije i poslije zone pretjecanja 450 m (presjeci 3.1 i 3.2)

pokazuju da duljina dionice ima značajnu ulogu, što pokazuju i neka prijašnja istraživanjima [16]. Na temelju rezultata terenskih mjerenja provedenih u presjecima prije i poslije zona pretjecanja može se definirati njihov utjecaj na PTSF. Rezultati utjecaja zona za pretjecanje duljina 450 m (zona između presjeka 3 i 4) i 1100 m prikazani su na slikama 7. i 8. (za smjer Salakovac - Grabovica). Iz odnosa vrijednosti PTSF-a (krivulje na slici 8.) u presjecima neposredno prije i poslije zone za pretjecanje duljine 1100 m (presjek 2 prije, a presjek 3 poslije) može se vidjeti znatan utjecaj ove zone na PTSF. S druge strane, zona za pretjecanje duljine 450 m (Slika 7.) ima vrlo mali utjecaj na PTSF za opterećenja manja od 250 voz/h, dok za veća gotovo da nema utjecaja. Ovo pokazuje da je odnos utjecaja na PTSF pojedinih zona za pretjecanje različitih duljina znatno veći nego što je odnos njihovih duljina.

## 5. Zaključak

Provedena terenska istraživanja pokazuju odstupanja vrijednosti PTSF-a u odnosu na proračune prema drugim u svijetu razvijenim modelima, a rezultat su drugačijih uvjeta odvijanja prometnih tokova i nedostataka samih modela. Također, neki



Slika 8. PTSF snimljen na terenu prije i poslije zone pretjecanja 1100 m (presjeci 2 i 3)

autori predlažu modele i pristupe [9-17] koji su teško primjenjivi na ceste u BiH jer su fokusirani na brzine i drugačije definiraju kada se smatra da su vozila u koloni. Provedena istraživanja dovode do sljedećih zaključaka:

- Usporedba dobivenih rezultata istraživanja s rezultatima analiziranih modela pokazuje razliku u rezultatima zbog neprilagođenosti lokalnim uvjetima i/ili nedostacima modela.
- Potvrđena je nelogičnost metodologije HCM po kojoj PTSF opada s povećanjem suprotnog toka. Vrijednosti PTSF-a dobivene na temelju terenskih istraživanja rastu s povećanjem veličine suprotnog toka.
- Za cestu dobre geometrije (računska brzina od 80 km/h) utjecaj postotka teretnih vozila je zanemariv.
- Duljina i broj pojedinih zona pretjecanja imaju znatan utjecaj na PTSF.
- Kratke zone pretjecanja imaju zanemariv utjecaj na PTSF čak i za mala prometna opterećenja.

S obzirom na navedeno, nužne su ili prilagodbe postojećih metodologija koje bi uzele u obzir i duljine zona za pretjecanje, ili treba izraditi novu metodologiju.

## LITERATURA

- [1] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. Fifth Edition, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2010.
- [2] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. Fourth Edition, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
- [3] Čutura, B.: Razina usluge na dvotračnim izvangradskim cestama, Zajednički temelji 2017 - Peti skup mladih istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti, 39-46, Zagreb, 2017.
- [4] Luttinen, R.T.: Capacity and Level of Service on Finnish Two-Lane Highways. Finnra reports 18/2001. Finnish Road Administration, Helsinki, 2001.
- [5] Luttinen, R.T.: Percent Time-Spent-Following as Performance Measure for Two-Lane Highways. Transportation Research Record. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C. 1776 (2001), pp. 52-59.
- [6] Dixon, M.P., Sarepali, S.S.K., Young, K.A.: Field Evaluation of Highway Capacity Manual 2000 Analysis Procedures for Two-Lane Highways. Transportation Research Record: Transportation Research Board. National Research Council, Washington D.C., 1802 (2002), pp. 125-132.
- [7] Harwood, D.W. et al.: Two-lane Road Analysis Methodology in the Highway Capacity Manual. In NCHRP Project 20-7 (160) Washington, D.C., 2003.

- [8] Moreno, A.T., Lorca, C., Sayed, T., Garcia, A.: Field evaluation of traffic performance measures for two-lane highways in Spain, Paper 14-0847, 93<sup>rd</sup> Transportation Research Board Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2014.
- [9] Al-Kaisy, A., Durbin, C.: Estimating Percent Time Spent Following on Two-lane Highways: Field Evaluation of New Methodologies, Transportation Research Board 86th Annual Meeting, January 21-25. Transportation Research Board, Washington, D.C., 2007.
- [10] Al-Kaisy, A., Durbin, C.: Evaluating New Methodologies for Estimating Performance on Two-lane Highways. Canadian Journal of Civil Engineering. NRC Research Press, 35 (2008) 8, pp. 777-785.
- [11] Polus, A., Cohen, M.: Theoretical and Empirical Relationships for the Quality of Flow and for a New Level of Service on Two-Lane Highways. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 135 (2009) 6, pp. 380-385.
- [12] Polus, A., Cohen, M.: Estimating Percent-time-spent-following on Two-lane Rural Highways. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 19 (2011) 6, pp. 1319-1325.
- [13] Penmetza, P., Ghosh, I., Chandra, S.: Evaluation of Performance Measures for Two-Lane Intercity Highways under Mixed Traffic Conditions. ASCE Journal of Transportation Engineering, 141 (2015) 10.
- [14] Moreno, A.T., Lorca, C., Washburn, S., Bessa, J.E.J., Garcia, A.: Effect of Average Passing Zone Length on Spanish Two-Lane Highways Traffic Performance, Transportation Research Board 95<sup>th</sup> Annual Meeting. Transportation Research Board, Washington, D.C., 2016.
- [15] Van As, S.C., Van Niekerk, A.: The Operational Analysis of Two-lane Rural Highways. 23<sup>rd</sup> Annual Southern African Transport Conference. Pretoria, South Africa, 2004.
- [16] Romana, G.M., Pérez, I.: Measures of Effectiveness for Level-of-Service Assessment of Two-Lane Roads: An Alternative Proposal Using a Threshold Speed. Transportation Research Record, 1988 (2006) 1, pp. 56-62.
- [17] Al-Kaisy, A., Karjala, S.: Indicators of Performance on Two-Lane Rural Highways: Empirical Investigation. Transportation Research Record. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., 2071 (2008) 1, pp. 87-97.
- [18] Yu, Q., Washburn, S.S.: Operational Performance Assessment for Two-Lane Highway Facilities. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 135 (2009) 4, pp. 197-205.