

Primljen / Received: 28.4.2014.

Ispravljen / Corrected: 7.8.2014.

Prihvaćen / Accepted: 26.8.2014.

Dostupno online / Available online: 10.10.2014.

Istraživanje duljine puta pretjecanja u realnom prometnom toku

Autori:



Mr.sc. **Biljana Ivanović**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Crne Gore
Građevinski fakultet Podgorica
biljana@ac.me



Mr.sc. **Nemanja Garunović**, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Novom Sadu
Fakultet tehničkih znanosti
garunovic@uns.ac.rs



Prof.dr.sc. **Zvonko Tomanović**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Crne Gore
Građevinski fakultet Podgorica
zvonko@ac.me

Pregledni rad

Biljana Ivanović, Nemanja Garunović, Zvonko Tomanović

Istraživanje duljine puta pretjecanja u realnom prometnom toku

U okviru rada provedeno je istraživanje i analiza duljine puta pretjecanja u realnom prometnom toku na dionicama dvosmjernih dvotračnih cesta. Na osnovi duljine puta pretjecanja definira se pretjecajna preglednost i zone zabranjenog pretjecanja. Preporučene vrijednosti pretjecajne preglednosti iz pravilnika i preporuka o projektiranju cesta često nisu usklađene s duljinom pretjecanja koja se ostvaruje u realnom prometnom toku. Istraživanjem koje je provedeno za potrebe ovog rada utvrđeno je da su duljine puta pretjecanja u realnom prometnom toku znatno kraće u odnosu na vrijednosti koje se dobivaju prema matematičkim modelima.

Ključne riječi:

pretjecanje, put pretjecanja, preglednost, računaska brzina, nivo usluge

Subject review

Biljana Ivanović, Nemanja Garunović, Zvonko Tomanović

Research on the length of passing distance in the real traffic flow

This paper presents research and analysis of the length of passing distance in the real traffic flow on the sections of two-way two-lane roads. Values of passing sight distance recommended by road design rulebooks and recommendations are often not consistent with the length of passing distance which occurs in the real traffic flow. In the research conducted for this study, it was found that the passing distance in real traffic flow are significantly shorter than the values obtained by mathematical models.

Key words:

passing, passing distance, passing sight distance, design speed, level of service

Übersichtsarbeit

Biljana Ivanović, Nemanja Garunović, Zvonko Tomanović

Untersuchung der Länge des Überholwegs im wirklichen Verkehrsfluss

Diese Arbeit befasst sich mit Erforschungen und Analysen der Länge des Überholwegs im wirklichen Verkehrsfluss auf Abschnitten zweispuriger Fahrbahnen in beiden Richtungen. Aufgrund der Länge des Überholwegs werden die Übersichtlichkeit beim Überholen und Überholverbotszonen definiert. Empfohlene Werte der Übersichtlichkeit beim Überholen nach Vorschriften und Regelwerken für den Entwurf von Straßen sind oftmals nicht im Einklang mit der Länge des Überholwegs im wirklichen Verkehrsfluss. Dieser Arbeit unterliegende Untersuchungen haben gezeigt, dass die Länge des Überholwegs im wirklichen Verkehrsfluss im Vergleich zu Werten, die auf mathematischen Modellen beruhen, bedeutend verkürzt ist.

Schlüsselwörter:

Überholen, Überholweg, Übersichtlichkeit, Entwurfsgeschwindigkeit, Leistungsniveau

1. Uvod

U zemljama članicama OECD (eng. *Organisation for Economic Co-operation and Development*) oko 60 % prometnih nesreća sa smrtnim ishodom dogodi se na dvotračnim dvosmjernim cestama što upozorava na potrebu da se preispitaju određeni tehnički elementi i rješenja koja se primjenjuju u postupku projektiranja cestovnih prometnica [1]. Osnovna razlika u odvijanju prometa na dvotračnim dvosmjernim cestama u odnosu na ostale vrste cesta jest pretjecanje tijekom kojega vozilo prelazi na prometni trak prije svega namijenjen za kretanje vozila iz suprotnog smjera. Iz tog razloga pretjecanje je jedna od najzahtjevnijih i najsofisticiranijih radnji u cestovnom prometu tijekom kojega vozač prilagođava režim kretanja svog vozila na osnovi procjene nekoliko tehničkih parametara.

Potreba da neko vozilo u prometnom toku izvede pretjecanje proporcionalna je pojavi minimalnih udaljenosti slijeđenja vozila u tom toku, a sama mogućnost pretjecanja zavisi od postojanja prihvatljivog intervala slijeđenja u toku suprotnog smjera dovoljnog za izvedbu sigurnog pretjecanja [2]. Stvaranje tehničkih uvjeta za sigurno pretjecanje jedan je od osnovnih zadataka projektiranja dvotračnih dvosmjernih cesta. Prema tome, primjerenost općih uvjeta odvijanja prometa na cestama s dva prometna traka za dvosmjerni promet u velikoj mjeri zavisi od karakteristika pretjecanja [3]. Primjerenost uvjeta odvijanja prometa na takvim cestama određuje se na osnovi postotka vožnje u koloni i brzine vožnje u koloni, što u najvećoj mjeri zavisi od postotka udjela zona dopuštenog pretjecanja u ukupnoj duljini promatrane dionice [4]. Postotak zona dopuštenog pretjecanja prije svega zavisi od karakteristika pretjecajne preglednosti [5]. Prema već utvrđenim modelima, duljina pretjecajne preglednosti zavisi od brzine vozila koje izvodi radnju pretjecanja i brzine vozila koje se pretječe, odnosno razlike između tih brzina [2]. U postupku proračuna pretjecajne preglednosti vrijednosti tih brzina u velikoj mjeri zavise od karakteristika mjerodavnog vozila, a to se stalno mijenja zbog poboljšanja tehničkih karakteristika vozila koja sudjeluju u prometnom toku. S obzirom na to da se karakteristike vozila i njihove vozno dinamičke sposobnosti neprekidno poboljšavaju, realno je očekivati da se mijenja i ponašanje vozača prilikom provedbe radnje pretjecanja. Promjene tehničkih karakteristika vozila i ponašanja vozača utječu na vrijednost parametara prometnog toka i brzinu, a time i na realno potrebnu duljinu puta pretjecanja. Prema AASHTO modelu [2], duljina puta pretjecanja direktno utječe na potrebnu duljinu pretjecajne preglednosti na osnovi koje se definiraju zone dopuštenog pretjecanja.

Prilikom projektiranja cesta za određivanje pretjecajne preglednosti koriste se podaci o potrebnoj duljini pretjecajne preglednosti iz pravilnika koja se utvrđuje na osnovi računske brzine i razlike brzina između vozila koje pretječe i pretjecanog vozila. Vrijednost usvojene razlike u brzinama u postupku proračuna utječe na duljinu puta pretjecanja, pa se tako za istu računsku brzinu mogu dobiti različite vrijednosti puta pretjecanja i pretjecajne preglednosti [6-9]. Osim toga, poznato je da se veoma često vozila prilikom pretjecanja, zbog skraćivanja

vremena i duljine puta pretjecanja, kreću brzinama koje su veće od računske brzine. Uzimajući u obzir duljine puta pretjecanja koje se ostvaruju u uvjetima realnog prometnog toka prilikom definiranja pretjecajne preglednosti stvorili bi se uvjeti za usklađivanje realnih i projektiranih uvjeta odvijanja prometa. Iz tog razloga, radi modifikacije postupka i optimizacije duljine puta pretjecanja, postoji potreba da se istraživanjem u realnom prometnom toku utvrde karakteristike duljine puta pretjecanja i razlike u odnosu na duljine puta pretjecanja prema modelima koji su iskazani u pravilnicima.

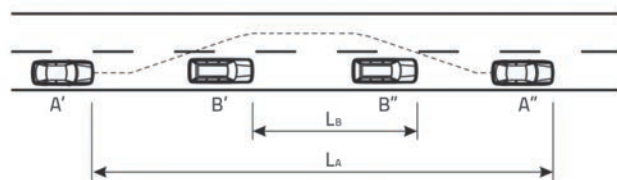
2. Modeli i standardi za određivanje duljine puta pretjecanja i pretjecajne preglednosti

U modelima za određivanje pretjecajne preglednosti, put pretjecanja može biti izražen u funkciji razlike brzina vozila koja se pretječu ili u funkciji brzine vozila koje se pretječe. Jedan od prvih postupaka za utvrđivanje pretjecajne preglednosti zasnovan na istraživanjima iz četrdesetih godina prošlog stoljeća jest američki AASHTO model iz 1954. [6]. Sljedeća istraživanja u vezi s pretjecajnom preglednosti bila su bazirana na već utvrđenom AASHTO kriteriju i predstavljala su varijante postojećeg modela pretjecajne preglednosti, a objavljena su u izdanjima od 1984. [7]. Daljnja izdanja iz 1990., 1994., 2001. i 2011. godine nisu evidentirala bitnije izmjene modela za proračun pretjecajne preglednosti.

Do 90-ih godina prošlog stoljeća u zemljama jugoistočne Europe, pa i u Crnoj Gori, prilikom određivanja puta pretjecanja i pretjecajne preglednosti primjenjivani su modeli zasnovani na računskoj brzini i razlikama brzina vozila [10]. Na osnovi tih modela definirana je duljina pretjecajne preglednosti u pravilnicima i standardima koji se primjenjuju prilikom projektiranja cesta [6-9, 11]. No iako je model koji će se primijeniti za proračun duljine pretjecajne preglednosti isti, u pravilnicima postoje razlike u zahtijevanoj duljini pretjecajne preglednosti.

2.1. Model proračuna pretjecajne preglednosti u zemljama jugoistočne Europe

Model opisan u [12] baziran je na pretpostavci da vozilo koje izvodi pretjecanje mora za isto vrijeme prijeći dulji put nego vozilo koje se pretječe. Taj put se sastoji iz dva osnovna dijela: puta pretjecanog vozila B, koje se kreće brzinom V_B i viška puta vozila A koje se pretječe, a ostvaruje se razlikom brzina $V_A - V_B$ (slika 1.).



Slika 1. Elementi puta pretjecanja prema modelu prihvaćenom u zemljama južne i istočne Europe

Duljinu puta pretjecanja (P_p) moguće je izračunati prema sljedećem matematičkom izrazu:

$$P_p = L_A = \frac{t}{3,6} (V_r + \Delta V) \quad (1)$$

gdje je:

t - vrijeme potrebno za pretjecanje, [s]

V_r - računaska brzina, [km/h]

ΔV - razlika brzina između vozila koje pretječe i pretjecanog vozila, .

Ovim modelom je usvojeno da je brzina kretanja pretjecanog vozila jednaka projektnoj brzini puta na kojem se izvodi pretjecanje, dok se za brzinu kretanja vozila koje pretječe usvaja brzina 15 km/h veća od brzine pretjecanog vozila, odnosno razlika u brzinama vozila koja sudjeluju u pretjecanju prema ovom modelu iznosi $\Delta V = 15 \text{ km/h}$. Na osnovi istraživanja na kojima je zasnovan ovaj model, vrijeme od $t = 10 \text{ s}$ je vrijeme kad vozilo koje pretječe može normalno obaviti radnju pretjecanja, pa se prema tome ova vrijednost i usvaja kao mjerodavna prilikom projektiranja duljine puta pretjecanja, odnosno pretjecajne preglednosti.

2.2. Model AASHTO

Utvrđivanje pretjecajne preglednosti prema modelu AASHTO (Američke asocijacije državnih cesta i prometa) izražava se kao suma sljedećih udaljenosti [2]:

$$PSD = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad (2)$$

gdje je:

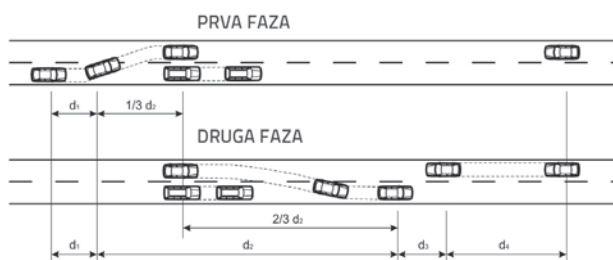
d_1 - udaljenost prijeđena tijekom percepcije i vremena reakcije i tijekom inicijalnog ubrzanja do točke prelaska u lijevi trak

d_2 - udaljenost prijeđena dok se vozilo koje pretječe nalazi u lijevom traku

d_3 - udaljenost između vozila koje pretječe i vozila koje dolazi iz suprotnog smjera na kraju radnje pretjecanja

d_4 - udaljenost koju prijeđe vozilo iz suprotnog smjera za dvije trećine vremena putovanja vozila na udaljenosti d_2 .

Prema navedenom modelu radnja pretjecanja se može obaviti u dvije faze, kao što je prikazano na slici 2. Kako se ovdje govori samo o putu pretjecanja, duljine koje su relevantne za daljnju analizu su d_1 i d_2 .



Slika 2. Elementi puta pretjecanja prema AASHTO modelu

Udaljenost prijeđena tijekom percepcije i vremena reakcije i tijekom inicijalnog ubrzanja do točke prelaska u lijevi trak prema modelu AASHTO računa se na sljedeći način:

$$d_1 = 0,278 \cdot t_1 \cdot (v - m + \frac{a \cdot t_1}{2}) \quad (3)$$

gdje je:

t_1 - vrijeme inicijalne radnje pretjecanja, [s]

v - prosječna brzina vozila koje pretječe, [km/h]

m - razlika između brzina vozila koje pretječe i vozila koje se pretječe, [km/h]

a - prosječno ubrzanje, [km/h/s].

Udaljenost prijeđena dok se vozilo koje pretječe nalazi u lijevom traku računa se prema formuli:

$$d_2 = 0,278 \cdot v \cdot t_2 \quad (4)$$

gdje je:

t_2 - vrijeme koje vozilo koje pretječe provede u lijevom traku, [s].

2.3. Wangov i Cartmellov model

Jedan od modela proračuna pretjecajne preglednosti razvili su Wang i Cartmell [13]. Prema tom modelu, pretjecajna preglednost računa se na sljedeći način:

$$PSD = X_1 + X_2 + X_3 + C + V_0 \cdot (T_1 + T_2 + T_3) \quad (5)$$

gdje je:

X_1 - duljina koju prijeđe vozilo koje pretječe u fazi 1 u smjeru osi x, [m]

X_2 - duljina koju prijeđe vozilo koje pretječe u fazi 2 u smjeru osi x, [m]

X_3 - duljina koju prijeđe vozilo koje pretječe u fazi 3 u smjeru osi x, [m]

C - udaljenost između prednjeg branika vozila koje pretječe i vozila koje dolazi iz suprotnog smjera pri kraju radnje pretjecanja, [m]

V_0 - brzina vozila koje dolazi iz suprotnog smjera, [m/s]

T_1 - vrijeme potrebno za fazu 1, [s]

T_2 - vrijeme potrebno za fazu 2, [s]

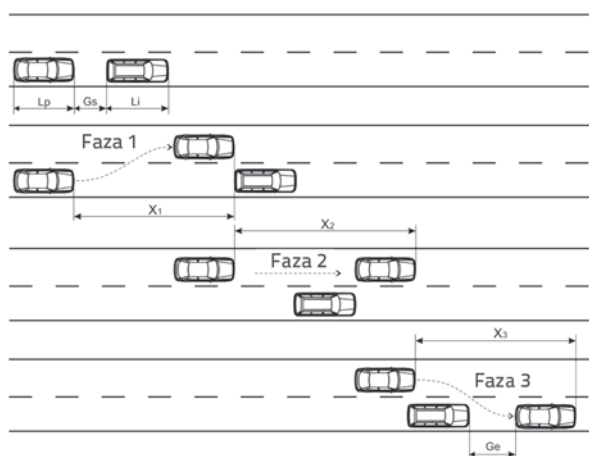
T_3 - vrijeme potrebno za fazu 3, [s].

Za razliku od prethodno navedenog AASHTO modela prema kojem se put pretjecanja odvija u dvije faze, u ovom modelu put pretjecanja se odvija kroz tri faze (slika 3.) i to:

Faza 1 - put koji vozilo prijeđe od trenutka kada započne pretjecanje do trenutka kada prijeđe u susjedni trak, paralelno s vozilom koje pretječe, tako da se prednji rub vozila koje pretječe i zadnji rub vozila koje se pretječe nađu u istoj ravnini,

Faza 2 - put koji vozilo prijeđe od trenutka kada se završi prva faza do trenutka kada se zadnji rub vozila koje izvodi pretjecanje nađu u istoj ravnini s prednjim rubom vozila koje se pretječe,

Faza 3 - put koji vozilo prijeđe od trenutka kada se završi druga faza do trenutka dok se ne vrati u svoj prometni trak.



Slika 3. Elementi puta pretjecanja prema Wangovu i Cartmellovu modelu

Prema ovom modelu, duljina puta pretjecanja opisuje se kao zbroj duljina X_1 , X_2 i X_3 . Te duljine zavise od udaljenosti između vozila na početku (G_s) i na kraju puta pretjecanja (G_e), duljine vozila koje provodi pretjecanje (L_p) i duljine vozila koje se pretječe (L_i), i isključivo od brzine vozila koje se pretječe (V_i), pri čemu se smatra da brzina vozila koje provodi pretjecanje može maksimalno imati vrijednost maksimalne dopuštene brzine na dionici na kojoj se provodi pretjecanje. Brzina vozila koja se pretječe usvojena je modelom, pa tako za računsku brzinu od 60 km/h brzina pretjecanog vozila (V_i) iznosi 51 km/h, a za računsku brzinu od 80 km/h kao brzina pretjecanog vozila usvaja se 65 km/h itd. [13]. Prema ovom modelu put pretjecanja ima sljedeću analitičku osnovu:

$$L = L_p + L_i + G_s + G_e + V_i \cdot (T_1 + T_2 + T_3) \quad (6)$$

3. Metoda i lokacije istraživanja

Mjerenje parametara prometnog toka obradom videosnimaka jedna je od najstarijih, ali i najsigurnijih metoda. Obrade videozapisa prometnog toka prvi je put primijenio Bob Grenshilds početkom tridesetih godina prošlog stoljeća. Sadašnja tehnologija omogućava mnogo pouzdaniji način obrade videozapisa, pa su i metode za utvrđivanje parametara prometnog toka u različitim uvjetima mnogo preciznije [14]. Istraživanje prometnog toka metodom obrade videosnimaka prema postupku koji je prikazan u [14-16] pokazao se kao veoma efikasna i precizna metoda. Taj se postupak zasniva na digitalnoj obradi videozapisa uz upotrebu računalnog programa za tu namjenu. Naime, u snimak se računalnom obradom dodaju referentne točke ili linije koje se nalaze na poznatoj udaljenosti. U daljnjoj analizi mjere se vremena prolaska vozila preko referentnih linija i tako se formira baza podataka koja se kasnije

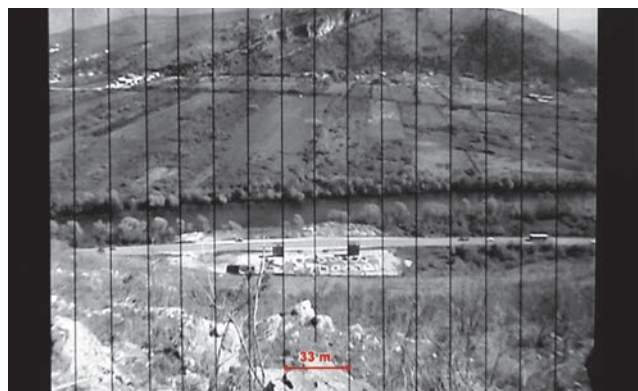
statistički obrađuje. Iz tog je razloga ovaj model primijenjen i prilikom ovog istraživanja. Prednost mu je ta što sudionici u prometnom toku nisu znali da se prometni tok snima, pa je njihovo ponašanje uobičajeno za takve situacije. Za potrebe istraživanja karakteristika pretjecanja snimanjem prometnog toka provedeno je u travnju i svibnju 2013. na tri dionice cestovne mreže u Crnoj Gori, i to:

- I. dionica: Podgorica-Nikšić, 15., 17. i 18. travnja 2013.
- II. dionica: Podgorica-Cetinje, 27. i 29. travnja 2013.
- III. dionica: Danilovgrad-Nikšić, 14. i 15. svibnja 2013.

Prilikom snimanja korištena je kamera SONY DCR-HC23, HANDYCAM 20x optical zoom, sa Carl Zeiss Lens, s dodatnim širokokutnim objektivom oznake VCL-HA06 (slika 4.).



Slika 4. Pozicija kamere u položaju za snimanje



Slika 5. Izgled slajda iz videozapisa s definiranim referentnim linijama

Obradom napravljenih videozapisa realnog prometnog toka na tri različite dionice dvotračne cestovne prometnice formiran je uzorak od ukupno 203 pretjecanja, pri čemu su za njih utvrđeni karakteristični parametri. Za obradu videosnimaka i analizu podataka korišteni su računalni programi: Nero ShowTime, Adobe Premiere Pro 1.5, Microsoft Excel i Minitab. Nero ShowTime je korišten za pregled i analizu videosnimaka. Adobe Premiere Pro 1.5 je korišten za obradu videozapisa, jer se videozapis može usporavati i zaustavljati s mogućnošću pogreške od 0,04 sekunde, što omogućava postizanje velike

točnosti. Ovaj program također omogućava postavljanje referentnih linija (eng. *layers*) preko videozapisa. Referentne linije su postavljane na međusobnoj udaljenosti od 16,5 m, a zatim su očitavana vremena prolaska vozila kroz te linije. Vremena prolaska vozila preko referentnih linija obrađena su u programu Microsoft Excel, nakon čega su obradom utvrđene vrijednosti parametara pretjecanja.

3.1. Karakteristike dionica na kojima je provedeno istraživanje

Sve dionice su državne ceste A kategorije, a izabrane su zbog svojih karakteristika koje pružaju uvjete za različito ponašanje vozača tijekom pretjecanja. Na izabranim dionicama dvotrčanih dvosmjernih cesta pretjecanje je dopušteno u većoj duljini, a ostale karakteristike uzdužnog i poprečnog profila omogućavaju neometano pretjecanje. Prema veličini prometnog toka, te dionice su srednje opterećene, PGDP na njima je ispod 8.000 putničkih vozila na dan, a udio gospodarskih vozila ne prelazi 12 %. Podaci su dobiveni od Direkcije za promet Crne Gore s automatskih brojača za 2013. godinu. Broj teretnih vozila je pretpostavljen.

Dionica I

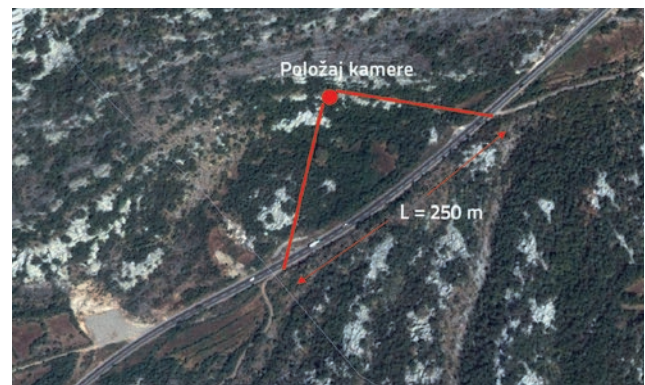
Dionica se nalazi na magistralnom pravcu Podgorica-Nikšić i prikazana je na slici 6. Cesta je u horizontalnoj krivini polumjera 2500 m, s malim skretnim kutom. Uzdužni nagib je 0,05 %, pa se može smatrati da je prometnica bez uzdužnog nagiba. Širina prometnice iznosi $2 \times 3,75 \text{ m} + 2 \times 0,5 \text{ m}$. Bankina, odnosno berma je široka 1,5 m. Kolnik je u dobrom stanju, bez mrežastih pukotina. Cesta je u zasjeku, s tim što je nagib usjeka znatno udaljen od ceste. Na taj je način formiran plato pored ceste na kome se nalazi skladište koje nije privedeno namjeni. Dodatni prometni trak za desno skretanje iz smjera Nikšić-Podgorica nije u funkciji. Ukupna duljina isprekidane linije na ovoj dionici je 600 m. Prije i poslije dionice cesta je u pravcu, s istim uzdužnim nagibom. Duljina dijela ceste prve dionice koja ulazi u opseg analiziranog videozapisa iznosi $L = 250 \text{ m}$ [17].



Slika 6. Izgled "dionice I" s položajem kamere i zonom snimanja

Dionica II

Ova dionica se nalazi na magistralnom pravcu Podgorica-Cetinje, slika 7. Cesta je u blagoj horizontalnoj krivini, s uzdužnim nagibom od 0,6 %. Širina prometnice iznosi $2 \times 3,5 \text{ m} + 2 \times 0,35 \text{ m}$. Berme su široke 1,5 m. Kolnik je u dobrom stanju, bez mrežastih pukotina. Cesta je u usjeku, a pokosi usjeka formirani su s blagim nagibom. Ukupna duljina isprekidane linije na toj dionici je 400 m. Na 100 m prije dionice završava se dodatni trak za spora vozila. Poslije dionice je blaga horizontalna krivina sa zabranjenim pretjecanjem. Prije i poslije dionice cesta je u neprekidnom usponu kao i na promatranj dionici. Duljina dijela ceste druge dionice koja ulazi u opseg analiziranog videozapisa iznosi $L = 250 \text{ m}$.



Slika 7. Izgled "dionice II" s položajem kamere i zonom snimanja

Dionica III

Dionica III se nalazi na magistralnom pravcu Podgorica-Nikšić i prikazana je na slici 8.



Slika 8. Izgled "dionice III" s položajem kamere i zonom snimanja

U ovom dijelu cesta je u pravcu, dok nagib nivelete iznosi 3,25 %. Uzdužni nagib s ovom vrijednošću nivelete je na još slijedećih 1235 m, pri čemu se dionica na kojoj je provedeno snimanje nalazi na kraju uspona. Širina ceste iznosi $2 \times 3,5 \text{ m} + 2 \times 0,35 \text{ m}$. Cesta je u zasjeku pri čemu je pokos usjeka blago izveden, a nagib pokosa nasipa je 1:1,5. Širina berme, odnosno bankine

je 1,5 m. Kolnik je u dobrom stanju, bez mrežastih pukotina i oštećenja. Ukupna duljina isprekidane linije na toj dionici je 600 m. Prije dionice cesta je u blagoj desnoj krivini s izvedenom punom linijom, a poslije u blagoj lijevoj krivini također s punom linijom. Cesta je u neprekidnom usponu, s uzdužnim nagibom iste vrijednosti. Duljina dijela ceste treće dionice koja ulazi u opseg analiziranog videozapisa iznosi L = 320 m [18].

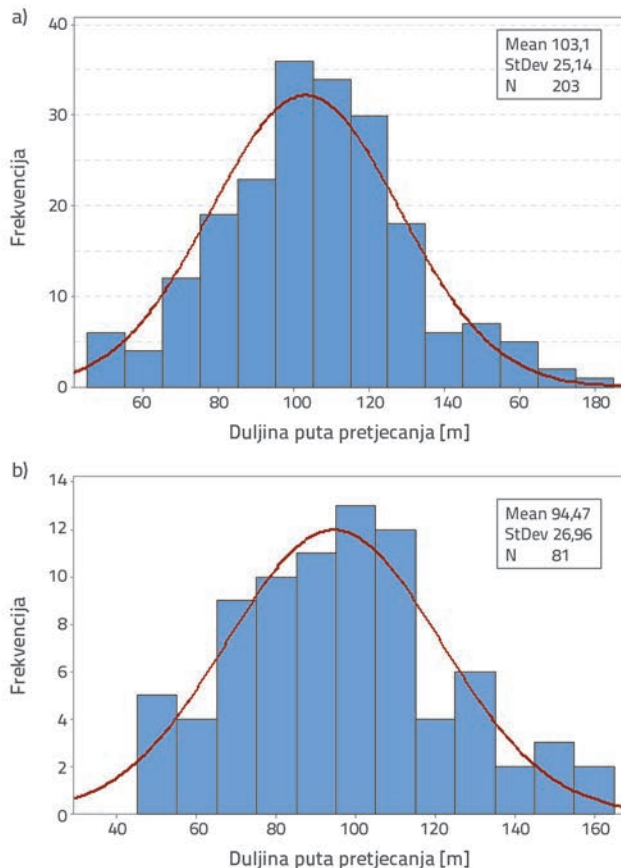
4. Rezultati istraživanja i diskusija

Obradom videosnimaka, prema prethodno objašnjenom postupku utvrđeni su parametri za sva pretjecanja koja su zabilježena na lokacijama istraživanja. Obradom rezultata utvrđene su vrijednosti brzine vozila koje izvodi pretjecanje i vozila koje se pretječe, izmjereni su razmaci slijeđenja između vozila na početku i na kraju puta pretjecanja te je utvrđena stvarna duljina puta pretjecanja kao i vrijeme trajanja svakog dijela puta pretjecanja. Osim toga, u okviru formirane baze podataka evidentirani su vrsta i tip vozila koja su izvodila pretjecanje, odnosno vozila koja su bila pretjecana.

Na slici 9.a prikazane su duljine puta pretjecanja na uzorku od 203 pretjecanja za sve vrste vozila koja su sudjelovala u pretjecanju u uvjetima realnog prometnog toka. Duljine puta pretjecanja razvrstane su svaka od po 10 m i statistički obrađene u programu MiniTab. Rezultati analize pokazali su da izmjerene vrijednosti puta pretjecanja imaju normalnu raspodjelu, s najvećim brojem realiziranih pretjecanja u intervalu od 100 do 110 m, a 85 % duljina puta pretjecanja u rasponu su od 70 do 130 m. Daljnjom statističkom analizom utvrđeno je da srednja vrijednost puta pretjecanja na promatranom slučajnom uzorku iznosi 103,1 m, pri čemu standardna devijacija iznosi 25,14.

Naslici 9.b prikazana je raspodjela duljina puta pretjecanja izmjerenih na terenu, pri čemu su iz uzorka isključena vozila koja su se kretala brzinama većim od dopuštene. Od ukupno 203 pretjecanja, 81 pretjecanje (što predstavlja 40 % uzorka) izvodilo se brzinom koja je

manja od računске, odnosno dopuštene brzine od 80 km/h. U ovim slučajevima kada su vozila pretjecala brzinama koje su jednake ili manje računskoj, prosječna duljina puta pretjecanja iznosila je oko 95 m, a maksimalna 165 m, što je neznatna razlika u odnosu na rezultate koji su dobiveni na cijelom uzorku.



Slika 9. Raspodjela duljina puta pretjecanja izmjerenih na terenu: a) za sve vrste vozila; b) za slučaj kada su brzine vozila koje pretječe manje od računске brzine

Tablica 1. Duljine puta pretjecanja u odnosu na brzinu kretanja pretjecanog vozila

Brzina pretjecanog vozila [km/h]	Prosječna brzina vozila koje pretječe [km/h]	Vrijeme pretjecanja [s]	Duljina puta pretjecanja [m]				Veličina uzorka N
			minimalna	maksimalna	prosječna	85 %	
10-20	45,0	4,5	45	70	55	64	10
20-30	57,1	4,4	60	80	70	77	5
30-40	60,5	5,2	65	130	85	97	12
40-50	65,4	5,5	50	150	98	114	29
50-60	70,8	5,2	65	160	101	117	39
60-70	82,0	5,0	65	165	111	130	51
70-80	92,5	4,6	85	180	118	142	38
80-90	101,3	4,0	80	135	111	125	16
90-100	102,8	3,2	85	95	90	94	2
100-110	111,4	4,2	130	130	130	130	1

Rezultati daljnjih analiza pokazali su da duljina puta pretjecanja nije u direktnoj korelaciji s brzinom pretjecanog vozila. U tablici 1. prikazane su minimalna, maksimalna i prosječna vrijednost duljine puta pretjecanja koje su u realnim prometnim uvjetima ostvarene na uzorku od N vozila, u zavisnosti od brzina pretjecanog vozila, vozila koje izvodi pretjecanje i vremena pretjecanja. Kategorije brzina pretjecanih vozila na početku puta pretjecanja prikazane su u prvom stupcu tablice. U drugom stupcu prikazana je prosječna brzina koju ostvaruju vozila koja provode pretjecanje vozila iz odgovarajuće grupe u prvom stupcu. Vrijeme pretjecanja (t_p), koje je prikazano u stupcu 3, predstavlja razdoblje koje protekne od trenutka kada vozilo započne pretjecanje izmicanjem ulijevo do trenutka kada se vrati u svoj desni prometni trak, u položaj približno paralelan uzdužnoj osi.

U prethodno navedenim modelima na osnovi kojih se utvrđuje pretjecajna preglednost, duljina puta pretjecanja se utvrđuje u zavisnosti od računске brzine. Na analiziranim dionicama računska brzina iznosi 80 km/h, a prema modelima [2] i [13] na dionicama čija projektna brzina iznosi 80 km/h usvojena brzina pretjecanog vozila iznosi 65 km/h. Na slici 10. dan je usporedni prikaz duljina puta pretjecanja prema modelima koji su prikazani u radu i vrijednostima koje su utvrđene analizom realnog prometnog toka. U tablici 1. zasjenčeno polje predstavlja vrijednosti koje bi se prema navedenim modelima mogle usvojiti kao mjerodavne za ceste s projektnom brzinom od 80 km/h. Analizom navedenih modela [2, 12, 13] može se zaključiti da postoje značajne razlike u vremenu pretjecanja, što je prikazano u tablici 2.

Tablica 2. Vrijeme pretjecanja prema analiziranim modelima

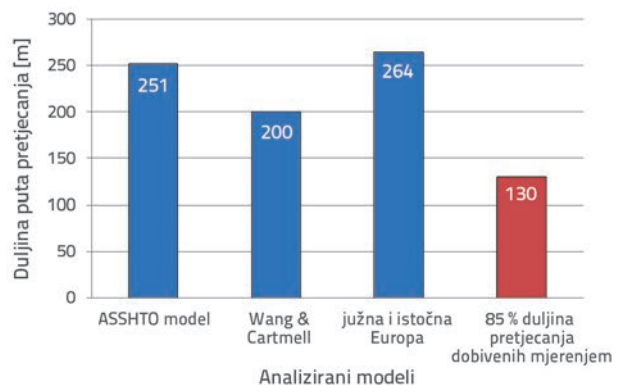
Model	ASSHTO model	Wangov i Cartmellov model	Model koji se primjenjuje u južnoj i istočnoj Europi
Vrijeme pretjecanja	10,7 s	8,7 s	10,0 s

Vrijeme pretjecanja prema ASSHTO modelu [2] predstavlja vrijeme koje je potrebno da vozilo koje pretječe prosječnom brzinom od 84,5 km/h prijeđe udaljenost d_{2r} , što približno odgovara prosječnoj brzini koja je utvrđena u okviru istraživanja za potrebe ovog rada. Vrijeme pretjecanja prema modelu Wang i Cartmella predstavlja zbroj vremena T_1 , T_2 i T_3 koja su utvrđena na osnovi usvojenih ulaznih podataka za projektnu brzinu od 80 km/h [13].

U zadnjem stupcu tablice 2. prikazano je vrijeme pretjecanja prema modelima koji se koriste u južnoj i istočnoj Europi za istu projektnu brzinu [12].

Na slici 10. prikazane su duljine puta pretjecanja koje su dobivene prema analiziranim modelima. Zadnji stupac u dijagramu predstavlja 85 % duljina puta pretjecanja utvrđenih ovim istraživanjem za vozilo koje pretječe prosječnom

brzinom 82,0 km/h i za pretjecano vozilo brzinom 60-70 km/h.



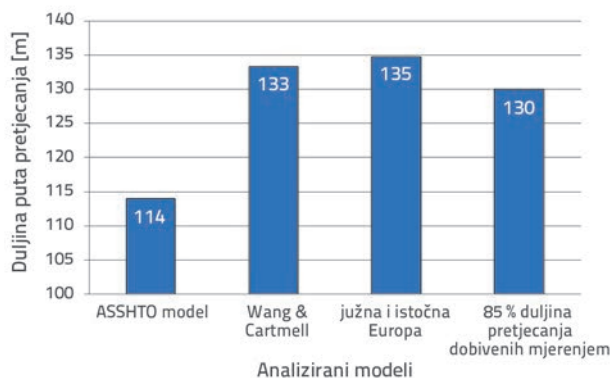
Slika 10. Odnos duljina puta pretjecanja prema analiziranim modelima za projektnu brzinu od 80 km/h i vrijednosti dobivene istraživanjem

Prethodne su analize pokazale da postoje značajne razlike u duljini puta pretjecanja utvrđene istraživanjem u realnom prometnom toku u odnosu na duljine puta pretjecanja koje se dobivaju prema teorijskim modelima. Te razlike nastaju zbog različite veličine ulaznih parametara koji se iskazuju u teorijskim modelima u odnosu na njihove vrijednosti koje se ostvaruju u realnom prometnom toku. Tu se prije svega misli na vrijeme pretjecanja koje je u realnom prometnom toku znatno manje u odnosu na njegovu vrijednost koja se iskazuje u teorijskim modelima, što je posljedica ponašanja vozača, odnosno načina vožnje. Teorijski modeli polaze od pretpostavke da se vozilo koje izvodi pretjecanje kreće u granicama dopuštene brzine. Istraživanja u realnom prometnom toku pokazala su da oko trećina vozača pretjecanje započinje brzinom koja je veća od dopuštene, odnosno propisane brzine [19]. Osim toga, vozači na putu pretjecanja obično ubrzavaju svoje vozilo, što znatno skraćuje vrijeme pretjecanja, pa to utječe na smanjenje puta pretjecanja. Samo ASSHTO model, prilikom definiranja dijela puta pretjecanja, odnosno udaljenosti prijeđene tijekom percepcije i vremena reakcije te tijekom inicijalnog ubrzanja do točke prelaska u lijevi trak uzima u obzir činjenicu da vozila ubrzavaju. Ostali modeli zanemaruju tu činjenicu, što utječe da vrijednosti puta pretjecanja izračunane na ovaj način znatno prelaze vrijednosti koje se ostvaruju u realnom prometnom toku.

U daljnjoj analizi izračunane su duljine puta pretjecanja prema modelima [2, 12, 13] uzimajući u obzir vrijeme pretjecanja koje je utvrđeno istraživanjima koja su provedena za potrebe ovog rada, što je prikazano na slici 11.

Rezultati prethodne analize pokazali su da se 85 % utvrđenih duljina puta pretjecanja u istraživanom, realnom prometnom toku podudara s duljinom puta pretjecanja prema Wangov i Cartmellovu modelu [13] kao i modelu koji se primjenjuje u južnoj i istočnoj Europi [12], dok postoje određena odstupanja u odnosu na ASSHTO model [2]. Time je potvrđena potreba za

istraživanjima u realnom prometnom toku, u različitim uvjetima ceste i prometa. Promjene u vozodinamičkim karakteristikama vozila, kvaliteti cesta i prometne signalizacije uvjetovale su promjene u načinu ponašanja i vožnje vozača te u skraćenju puta pretjecanja koji predstavlja osnovni element za proračun pretjecajne preglednosti.



Slika 11. Odnos duljina puta pretjecanja utvrđene prema analiziranim modelima i vremenu pretjecanja t_p za računsku brzinu od 80 km/h i vrijednosti dobivene istraživanjem

5. Zaključak

U okviru rada provedeno je istraživanje duljina puta pretjecanja u realnom prometnom toku na tri dionice državnih cesta prvoga reda u Crnoj Gori. Sve tri dionice su dvotračne, namijenjene

za promet u oba smjera, a karakteristike poprečnog profila i uzdužnog nagiba omogućavaju nesmetano pretjecanje u oba smjera. Na dionicama nema posebnih ograničenja, tako da je istraživanje provedeno u uvjetima realnog, heterogenog prometnog toka. Realni prometni tok je sniman širokopojasnom kamerom s pogodnih lokacija, tako da nije postojao nikakav utjecaj na ponašanje vozača. Obrada podataka provedena je metodama koje omogućavaju veliku preciznost, ponavljanje mjerenja i provjeru dobivenih vrijednosti.

Rezultati analiza formiranog uzorka pokazali su da postoji značajna razlika u duljini puta pretjecanja koja se dobiva proračunom prema teorijskim modelima koji se primjenjuju u svijetu i onih koji se realiziraju u uvjetima realnog prometnog toka. Naime, duljina puta pretjecanja u realnom prometnom toku znatno je manja od duljine puta pretjecanja koja se dobiva proračunom prema teorijskim modelima.

Manje duljine puta pretjecanja prije svega su rezultat kraćeg vremena pretjecanja koje se ostvaruje u realnom prometnom toku u odnosu na ono koje se iskazuje u teorijskim modelima. Ako bi se uzele u obzir duljine puta pretjecanja koje se ostvaruju u realnom prometnom toku, potrebne duljine pretjecajne preglednosti bile bi znatno manje, što bi utjecalo na proširenje zona dopuštenog pretjecanja i boljeg nivoa usluge. To je razlog zašto istraživanje treba proširiti i na dionice s drugačijim karakteristikama horizontalne geometrije, a analizom bi trebalo obuhvatiti sve parametre koji su značajni u postupku definiranja pretjecajne preglednosti. Na taj bi se način stvorili uvjeti da se izabere model za određivanje pretjecajne preglednosti u skladu s karakteristikama realnog prometnog toka.

LITERATURA

- [1] OECD, Safety Strategies for Rural Roads, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 1999.
- [2] Transportation research board: *NCHRP report 605 - Passing Sight Distance Criteria*. Transportation research board of the National Academies, Washington D.C., 2008.
- [3] Toledo, T., Haneen, F.: Passing behavior on two-lane highways. *Transportation Research Part F*, 13 (2010), pp. 355-364.
- [4] Transportation Research Board: *Highway Capacity Manual (HCM) 2010*, Transportation Research Board, Washington D.C., 2011.
- [5] Kuzović, Lj., Bogdanović, V.: *Teorija prometnog toka*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010.
- [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] *Pravilnik o osnovnim uslovima koje javni putevi, njihovi elementi i objekti na njima moraju ispunjavati sa aspekta bezbjednosti prometa*, Ministarstvo transporta i komunikacija Bosne i Hercegovine, "Službeni glasnik BiH" 6/06, Sarajevo, 2007.
- [9] *Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa*, Ministarstvo pomorstva, prometa i veza Republike Hrvatske, NN 110/01, Zagreb, 2001.
- [10] *Pravilnik o osnovnim uslovima koje javni putevi van naseljenih mesta i njihovi elementi moraju ispunjavati sa stanovišta bezbjednosti prometa*, Službeni list SFRJ 35/81-939, Beograd, 1981.
- [11] *Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbjednosti prometa moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta*, Ministarstvo za infrastrukturu RS, "Službeni glasnik RS" 50/2011, Beograd, 2011.
- [12] Katanić, J., Anđus, V., Maletin, M.: *Projekiranje cesta*, četvrto izdanje, IRO "Građevinska knjiga" Beograd, Beograd, 1983.
- [13] Wang, Y., Cartmell, M.: New Model for Passing Sight Distance, *ASCE Journal of transportation engineering*, 124 (1998), 6, pp. 536-545.
- [14] Bogdanović, V., Ruškić, N., Papić Z., Simeunović, M.: The Research of Vehicle Acceleration at Signalized Intersections, *Promet Traffic & Transportation*, Vol 25, pp. 33-42, 2013, Zagreb, Croatia.
- [15] Bogdanović, V., Saulić, N., Ruškić, N., Ivanović, B., Ilin, V.: Analiza karakteristika vremenskog intervala sleđenja na semaforisanim raskrsnicama, *Put i promet* 59 (2013), 1, pp. 19-24.
- [16] Bogdanović, V., Ruškić, 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 (2013), pp. 132-138, doi: 10.3141/2395-15
- [17] Glavni projekat puta Titograd-Danilovgrad, Republički fond za puteve Titograd, 1973.
- [18] Glavni projekat Titograd-Niškić, Centropjekt Beograd, 1973.
- [19] Ivanović, B., Basarić, V., Garunović, N., Mitrović, J., Saulić, N.: Research of speeds in overtaking, *Put i promet*, 60 (2014), 1, 39-44.