

Primljen / Received: 9.5.2013.

Ispravljen / Corrected: 27.1.2014.

Prihvaćen / Accepted: 19.5.2014.

Dostupno online / Available online: 10.6.2014.

# Istraživanje brzine kretanja vozila pri projektiranju kružnih raskrižja

## Autori:



Dr.sc. **Hrvoje Pilko**, dipl.ing.prom.  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Zavod za cestovni promet  
[hrvoje.pilko@fpz.hr](mailto:hrvoje.pilko@fpz.hr)



Prof.dr.sc. **Davor Brčić**, dipl.ing.prom.  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Zavod za gradski promet  
[davor.brcic@fpz.hr](mailto:davor.brcic@fpz.hr)



**Nikola Šubić**, dipl.ing.prom.  
HOK osiguranje d.d.  
[nikola.subic@hok-osiguranje.hr](mailto:nikola.subic@hok-osiguranje.hr)

Prethodno priopćenje

**Hrvoje Pilko, Davor Brčić, Nikola Šubić**

## Istraživanje brzine kretanja vozila pri projektiranju kružnih raskrižja

Pojedini oblikovni elementi raskrižja s kružnim tokom prometa značajno utječu na brzinu kretanja vozila koja ima izravan utjecaj na razinu usluge i prometnu sigurnost raskrižja. U radu se kroz prikaz četiri urbana jednostručna kružna raskrižja grada Zagreba, analizira brzina *in situ* kao značajan element pri projektiranju kružnih raskrižja. Za definiranje i provjeru projektne brzine primijenjene su američka i australska metoda. Rezultati istraživanja dovode u korelaciju projektnu brzinu sa stvarno izmjerenom brzinom vozila na kružnom raskrižju.

### Ključne riječi:

jednotračno kružno raskrižje, urbana sredina, oblikovanje i projektiranje, trajektorija provoženja vozila, brzina kretanja vozila, sigurnost prometa

Preliminary note

**Hrvoje Pilko, Davor Brčić, Nikola Šubić**

## Study of vehicle speed in the design of roundabouts

Some roundabout design elements significantly influence the vehicle driving speed, i.e. the trajectory of vehicles at roundabouts, which is directly responsible for the level of service and traffic safety at roundabouts. An "in situ" speed, taken as a significant roundabout-design element, is analysed in the paper using as an example four urban single-lane roundabouts located in the City of Zagreb. The American method and the Australian method are used for the definition and verification of the design speed at roundabouts. Results obtained show correlation between the design speed and the actual vehicle speed measured at roundabouts.

### Key words:

single-lane roundabout, urban area, dimensioning and design, vehicle movement trajectory, vehicle speed

Vorherige Mitteilung

**Hrvoje Pilko, Davor Brčić, Nikola Šubić**

## Untersuchung der Fahrzeuggeschwindigkeit beim Entwurf von Kreisverkehrsplätzen

Einzelne Elemente der Gestaltung von Kreuzungen mit Kreisverkehr beeinflussen bedeutsam die Fahrzeuggeschwindigkeit, bzw. den Fahrweg innerhalb des Kreisverkehrs, und haben eine direkte Einwirkung auf das Leistungsniveau und die Sicherheit der Kreuzung. In dieser Arbeit ist, mittels vier städtischer einspuriger Kreisverkehrsplätze in der Stadt Zagreb, die Geschwindigkeit "in-situ" als wichtiges Element im Entwurf analysiert. Die Berechnungsgeschwindigkeit im Kreisverkehr ist gemäß der amerikanischen und der australischen Methode berechnet. Die Resultate der Untersuchungen führen zur Korrelation dieser Berechnungswerte mit den gemessenen Geschwindigkeiten.

### Schlüsselwörter:

einspuriger Kreisverkehr, städtisches Umfeld, Gestaltung und Entwurf, Fahrweg, Fahrzeuggeschwindigkeit

## 1. Uvod

U cestovnoj prometnoj mreži raskrižja su najsloženija i najzahtjevnija mjesta presijecanja prometnih tokova. Uspoređujući raskrižja s kružnim tokom prometa (RKT, tzv. kružna raskrižja) s klasičnim semaforiziranim i nesemaforiziranim raskrižjima u razini izvedenim u urbanim sredinama, može se zaključiti da, ako su kružna raskrižja pravilno oblikovana i projektirana, znatno doprinose poboljšanju učinkovitosti odnosno propusne moći i razine usluge raskrižja [1-7]. Osim toga, smanjuju ukupno vrijeme putovanja, vrijeme čekanja vozila na raskrižju, duljinu putovanja vozila i potrošnju goriva, te smanjuju štetne utjecaje na okoliš smanjujući ispušne plinove motornih vozila [8-11]. S ekonomskog aspekta ostvaruju mnogobrojne koristi kao što su: manji troškovi otkupa zemljišta, manji troškovi građenja i postavljanja opreme (posebno svjetlosne signalizacije), održavanja i gubitaka prouzročenim zagušenjem uslijed preopterećenosti toka vozila [12]. Također, izvedbom kružnih raskrižja postiže se znatno povećanje stupnja prometne sigurnosti [13-16]. U Republici Hrvatskoj detaljnija istraživanja utjecaja oblikovnih elemenata na učinkovitost, razinu usluge i stupanj prometne sigurnosti kružnih raskrižja tek su u začetku [5, 17-20]. S tim u vezi potrebno je spomenuti rezultate posljednjih istraživanja u kojima se primjenom neuronskih mreža kalibrirao mikrosimulacijski prometni model na primjeru dva kružna raskrižja u urbanoj sredini. Između ostalog, uz pomoć kalibracije analizirani su parametri učinkovitosti, odnosno vrijeme putovanja i duljina repa čekanja vozila [21].

S obzirom na navedeno, pri oblikovanju i dimenzioniranju malih kružnih raskrižja ( $D_v \leq 35$  m) u skućenim urbanim uvjetima, potrebno je veću pažnju obratiti na dispoziciju raskrižja i način oblikovanja pojedinih oblikovnih elemenata raskrižja (kružnog dijela raskrižja i privoza) [22]. Pri tome, treba spoznati veličinu utjecaja oblikovnih elemenata s ciljem definiranja odgovarajuće funkcionalne učinkovitosti, razine usluge i stupnja prometne sigurnosti raskrižja. U cjelini, to predstavlja složen projektantski zadatak koji obuhvaća različite građevinsko-prometne zahtjeve.

Istraživanja [23-25] pokazuju da prilikom tog zahtjevnog postupka pojedini oblikovni elementi, kao što su veličina vanjskog promjera kružnog raskrižja, širina kružnog kolnika te broj i širina privoznih trakova, značajno utječu na potrebnu brzinu trajektorija provoženja vozila za sigurnim svladavanjem raskrižja. Brzina trajektorije provoženja vozila predstavlja brzinu kretanja vozila na ulazu u raskrižje, kroz kružni kolnik i na izlazu iz kružnog raskrižja prema zamišljenoj putanji vozila odnosno trajektoriji kretanja vozila. Također, navedena brzina ima izravan utjecaj na propusnu moć i prometnu sigurnost raskrižja. Stoga pravilno projektirano kružno raskrižje smanjuje relativne brzine između konfliktnih prometnih tokova kružnog raskrižja, zahtijevajući da vozila prema zakrivljenoj trajektoriji svladavaju kružno raskrižje.

Iz tih razloga treba spoznati metodologiju definiranja utjecaja korelacijskog odnosa oblikovnih elemenata i brzine trajektorije provoženja vozila, kao i mogućnost predviđanja brzine trajektorije provoženja vozila kružnim raskrižjem. Potrebno je naglasiti da za oblikovanje i dimenzioniranje kružnih raskrižja u sjeveroistočnim, istočnim te posebno u jugoistočnim europskim državama postoje zastarjeli i/ili neodgovarajući prometno-tehnički propisi [26-32] u kojima se iznose djelomične preporuke, no nisu definirana pravila/uvjeti prilikom određivanja projektne brzine kružnog raskrižja. U takvim slučajevima projektanti se oslanjaju na vlastita iskustva, pozitivne primjere iz prakse te u većoj mjeri na primjenu stranih smjernica [33, 34]. Ističe se da na prostoru Republike Hrvatske do sada nisu provedena istraživanja brzine trajektorije provoženja vozila niti u smislu mjerenja i analize stvarnih brzina provoženja niti u smislu predviđanja projektne brzine provoženja vozila kružnim raskrižjem. Stoga je u ovom radu provedena analiza izvedenih zagrebačkih kružnih raskrižja malog promjera ( $D_v \leq 35$  m) s ciljem provjere primjenjivosti američke i australske metode prema [23, 24]. Na taj način se dovodi u vezu trajektorije provoženja vozila s brzinom provoženja vozila kružnim raskrižjem. Posebno su na odabir metoda utjecali zadnji rezultati istraživanja objavljeni u dokumentima/smjernicama [4, 35], u kojima su se primijenila pozitivna europska iskustva vodećih istraživača i projekatana. Provedena istraživanja mogu poslužiti za djelomičnu validaciju i verifikaciju primijenjenih metoda u lokalnim uvjetima. Osim toga, za države koje imaju neodgovarajuću prometno-tehničku regulativu i/ili nemaju definiranu metodu za određivanje projektne brzine, pružaju projektantima određene smjernice pri projektiranju kružnih raskrižja. Međutim u ovom radu, utjecaj oblikovnih elemenata na brzinu trajektorije provoženja vozila odnosno na funkcionalnu učinkovitost, razinu usluge i stupanj prometne sigurnosti nije predmet istraživanja.

## 2. Procjena brzine kretanja vozila kroz kružno raskrižje

### 2.1. Određivanje projektne brzine

Brzina trajektorije provoženja vozila kroz kružno raskrižje, bez obzira na veličinu raskrižja, temeljni je činitelj sigurnosti i propusne moći. Postizanjem odgovarajuće brzine provoženja vozila kružnim raskrižjem stvaraju se preduvjeti za povećanjem propusne moći uz smanjenje mogućnosti nastanka prometnih nesreća. Što je veća zakrivljenost trajektorija provoženja vozila, smanjuju se brzine između vozila koja ulaze u kružni kolnik i brzine vozila koja se kreću kružnim kolnikom. Na taj se način stvaraju preduvjeti za smanjenje broja prometnih nesreća koja nastaju pri ulazu vozila na kolnik i izlazu vozila s kolnika kružnog raskrižja. Međutim, na kružnim raskrižjima s više prometnih trakova (na privozima i na kružnom kolniku), povećanje zakrivljenosti trajektorija provoženja vozila uzrokuje prijeko potrebno povećanje faktora trenja kolnika, pa

i to može izazvati povećanje prometnih nesreća prouzročenih prepletanjem i izletanjem vozila s kolnika. S obzirom na to, da bi se smanjio broj prometnih nesreća za pojedinu vrstu kružnog raskrižja, nužno se projektira optimalna brzina (tablica 1.), [4, 22, 23]. U tablici 1. prikazane su preporučene maksimalne vrijednosti projektne brzine za kretanje vozila pri ulazu u kružno raskrižje.

Tablica 1. Preporučena maksimalna projektna brzina vozila pri ulazu u kružno raskrižje [4, 22, 23]

Vrsta kružnog raskrižja	Preporučena maksimalna projektna brzina pri ulazu u kružno raskrižje [km/h]
Mini kružno raskrižje (RKT <sub>m</sub> )	25-30
Malo, jednostručno <sup>(1)</sup> kružno raskrižje (RKT <sub>M</sub> )	30-35
Malo, dvotračno <sup>(2)</sup> kružno raskrižje (RKT <sub>M'</sub> )	40
Srednje veliko, jednostručno (RKT <sub>sv</sub> )	40
Srednje veliko, dvotračno (RKT <sub>sv,z</sub> )	50

Projektna brzina kružnog raskrižja predstavlja najveću brzinu za koju je zajamčena potpuna sigurnost vožnje u slobodnom prometnom toku kružnog raskrižja, pod optimalnim uvjetima i uz dobro održavanje prometnih površina kružnog raskrižja [23, 36]. Izračun projektne brzine temeljen na polumjerima trajektorija provoženja prikazan je kako slijedi:

$$V = \sqrt{127R(e + f_s)} \quad (1)$$

gdje je:

V - projektna brzina [km/h],

R - polumjer trajektorije kretanja vozila [m],

e - poprečni nagib kolnika [m/m],

f<sub>s</sub> - koeficijent trenja između pneumatika i kolnika [23].

Stabilnost i sigurnost kretanja vozila kroz kružni tok definirano je prijanjanjem između pneumatika i kolnika. Što je prijanjanje bolje, sigurnije će biti svladavanje provoznih trajektorija. Koeficijent trenja (f<sub>s</sub>) izračunava se koeficijentom trenja za laka (f<sub>sLV</sub>) i teška vozila (f<sub>sHV</sub>):

$$f_{sLV} = 0,30 - 0,00084 \cdot \sqrt{M_V LV} \quad (2)$$

$$f_{sHV} = 0,30 - 0,00084 \cdot \sqrt{M_V HV} \quad (3)$$

$$f_s = (1 - P_{HV}) \cdot f_{sLV} + (P_{HV}) \cdot f_{sHV} \quad (4)$$

gdje je:

f<sub>sLV</sub> - koeficijent trenja za laka vozila,

M<sub>V</sub>LV - prosječna masa lakih vozila [kg],

f<sub>sHV</sub> - koeficijent trenja za teška vozila,

M<sub>V</sub>HV - prosječna masa teških vozila [kg],

f<sub>s</sub> - koeficijent trenja vozila,

P<sub>HV</sub> - postotak teških vozila u toku [24].

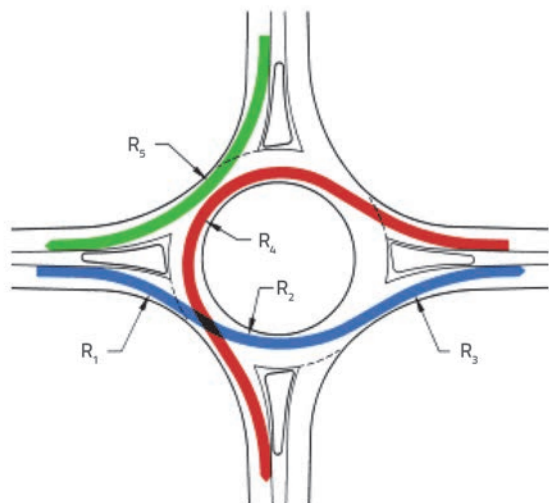
## 2.2. Trajektorije provoženja vozila kroz kružno raskrižje

U nastojanju da se odredi brzina trajektorije provoženja kroz kružno raskrižje, potrebno je odrediti najbržu dopuštenu brzinu provoženja vozila. Trajektorija je uvjetovana predloženom geometrijom kružnog raskrižja. Stoga se prilikom utvrđivanja trajektorije vozila pretpostavlja da nema prometa i označenih prometnih trakova. Trajektoriju vozila karakteriziraju tri polumjera kretanja: ulazni polumjer, polumjer kretanja oko središnjeg otoka i izlazni polumjer. Pretpostavka je da je vozilo široko 2,0 metra i da treba održavati minimalni razmak 0,5 metara od sredine kolnika ili betonskog rubnjaka i iscrtanog ruba razdjelnog otoka. Prema tome, zamišljena linija trajektorije provoženja vozila udaljena je 1,5 metar od betonskog rubnjaka i 1,0 metar od iscrtane linije razdjelnog otoka [4]. Najbrža putanja vozila za manevar provoženja je serija reverznih trajektorija (na trajektoriju u desnu stranu nastavlja se trajektorija ulijevo i trajektorija udesno). U slučajevima kada nema središnjeg otoka, provozna trajektorija će biti ravni pravac. Stoga polumjer reverznih trajektorija ovisi o najmanjem polumjeru koji se obično pojavljuje prilikom skretanja vozila oko središnjeg otoka. Za sve privoze potrebno je skicirati najbrže trajektorije provoženja vozila, što se može učiniti upotrebom alata AutoCad [4]. Treba napomenuti da, prema [4], metodologija određivanja najbrže brzine provoženja trajektorije vozila kružnim raskrižjem ne predstavlja stvarno očekivane brzine provoženja vozila, već teoretski dostižnu brzinu ulaza vozila u kružno raskrižje potrebnu prilikom projektiranja kružnog raskrižja. Stvarne brzine provoženja vozila, između ostaloga, mogu se znatno razlikovati zbog utjecaja različitih osovinskih opterećenja i postavki/značajki vozila, individualnih sposobnosti vozača i tolerancije za gravitacijske sile [4].

## 2.3. Polumjeri trajektorija provoženja vozila i projektna brzina

Kako bi se postigla odgovarajuća projektna brzina za najbrže trajektorije provoženja vozila, nužno je provjeriti za sva kretanja konzistentnost/nepromjenjivost brzine. Konzistentnost brzine pridonosi većem stupnju odvijanja sigurnosti prometnog toka smanjujući razliku brzina između konfliktnih tokova prometa. Posljedično, pojednostavnjuje radnje upletanja vozila u kružni kolnik, smanjuje kritične vremenske praznine te optimizira kapacitet ulaza. Stoga je nužno za svaki privoz provjeriti pet kritičnih polumjera: R<sub>1</sub> - polumjer ulaznog dijela trajektorije; R<sub>2</sub> - polumjer krivulje oko središnjeg otoka; R<sub>3</sub> - polumjer izlaznog dijela trajektorije; R<sub>4</sub> - polumjer dijela trajektorije prilikom lijevog skretanja; R<sub>5</sub> - polumjer dijela trajektorije prilikom desnog skretanja (slika

1.). Važno je napomenuti da vrijednosti tih polumjera nisu jednake predviđenim polumjerima rubnjaka [4, 24].



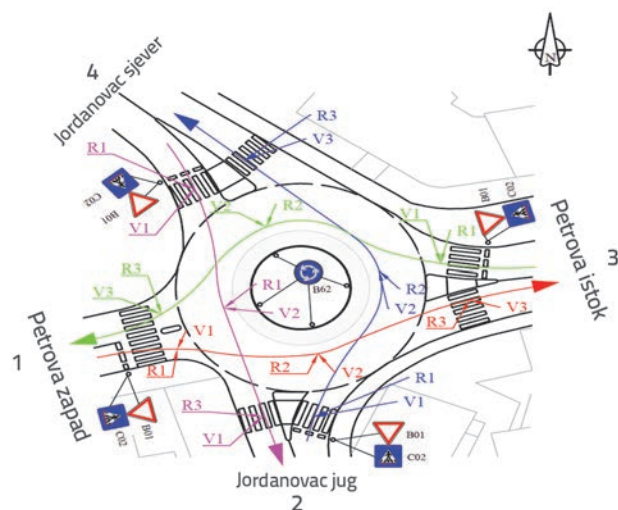
Slika 1. Radijusi trajektorija provoženja vozila [4]

Prilikom projektiranja poželjno je da za najbržu trajektoriju provoženja vozila  $R_1$  bude manji od  $R_2$ , te da  $R_2$  bude manji od  $R_3$ . Time se omogućuje znatno smanjenje brzina na ulaznim dijelovima kružnog raskrižja i vjerojatnost nastanka prometnih nesreća uzrokovanih zbog gubitka kontrole nad vozilom. U primjerima kada nije moguće zadovoljiti uvjet  $R_1 < R_2$ , tada je poželjno da  $R_1$  bude veći od  $R_2$  uz maksimalnu razliku brzina ne veću do 20 km/h. Pri projektiranju mini i malih kružnih raskrižja s većim intenzitetom pješačkog prometa, a u svrhu maksimiziranja izlaznih brzina, poželjno je da izlazni polumjeri budu jednaki ili neznatno veći od  $R_2$ . Provjerom vrijednosti polumjera  $R_4$  osigurava se uvjet da maksimalna razlika brzina između ulaznog toka i toka u kružnom kolniku nije veća od 20 km/h. Projektna brzina za polumjer  $R_5$  trebala bi stoga iznositi kao maksimalna projektna brzina cijelog raskrižja i ne veća od projektne brzine polumjera  $R_4$  za 20 km/h, koji ima konfliktnu točku s polumjerom  $R_2$  [4, 24].

### 3. Metode istraživanja

U ovome radu, analiza istraživanja brzine i trajektorije kretanja vozila predstavlja značajnu nadopunu prethodno provedenih istraživanja [37]. S obzirom na tu činjenicu, te na prikupljenu kvalitativnu i kvantitativnu bazu prometnih podataka [17, 18], istraživanje je rezultiralo provedbom detaljnije analize brzine trajektorije provoženja osobnih vozila na kružnim raskrižjima. Istraživanje je provedeno na četiri odabrana kružna raskrižja koja se nalaze u središnjem i perifernom dijelu grada Zagreba. Prema vrsti, to su jednotračna kružna raskrižja s tri ili četiri jednotračna privoza, a osnovni oblikovni elementi prikazani su u tablici 2. Prikazana razvrstanost analiziranih raskrižja u tablici 2. rezultat su provedenih istraživanja [17, 18], pri čemu

mini kružna raskrižja (Petrova – Jordanovac i Voćarska – Bijenička) iako manjeg vanjskog promjera od  $D_v = 26$  m, zbog svoje uloge i funkcije u prometnoj mreži (ponajprije strukture i značajki odvijanja prometnih tokova), te značajki pripadajućih oblikovnih elemenata pripadaju skupini malih kružnih raskrižja ( $RKT_M$ ). Također, zbog navedenih razloga kružno raskrižje Radnička – Petruševac 1., iako većeg vanjskog promjera  $D_v = 40$  m, pripada skupini malih kružnih raskrižja ( $RKT_M$ ). Prema navedenome i prema [17, 18], analizirana raskrižja predstavljaju izabranike svojih skupina, odnosno predstavljaju skupinu urbanih mini i malih kružnih raskrižja grada Zagreba. Analiza brzine trajektorije provoženja osobnih vozila za odabrana raskrižja provedena je na svim privozima u uvjetima normalnog prometnog toka. Za polumjere  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$  (slika 2.), izmjerene su pripadajuće brzine kretanja vozila na ulazu ( $V_1$ ), u kružnom raskrižju ( $V_2$ ) i pri izlazu iz kružnog raskrižja ( $V_3$ ). Međutim, s obzirom na dispoziciju raskrižja u prometnoj mreži grada, na kretanje prometnih tokova za vrijeme "in situ" mjerenja, kao i s obzirom na potrebu da se mjerenja izvode tijekom jutarnjih vršnih opterećenja istoga dana i da je na raspolaganju osobno vozilo za provedbu mjerenja - zbog svega toga brzine trajektorija provoženja za polumjere  $R_4$  i  $R_5$ , odnosno za desna ( $V_4$ ) i lijeva skretanja ( $V_5$ ) kroz kružno raskrižje nisu izmjerene odnosno analizirane. Treba napomenuti da je za vrijeme provedbe mjerenja brzina trajektorije provoženja vozila raskrižje Voćarska – Bijenička imalo ugrađene usporivače prometa na privozu 2 (Mesićeva ul.) na udaljenosti 30 m od ulaska u raskrižje te na privozu 3 (Voćarska ul.) na udaljenosti od 50 m. Za vrijeme provedbe istraživanja [17], raskrižje Radnička – Petruševac 1. imalo je ugrađene usporivače prometa na svim privozima neposredno prije ulaska u kružni kolnik i prije izlaska iz njega. Međutim, za vrijeme provedbe mjerenja brzina trajektorija provoženja vozila pojedinih usporivača prometa na privozu 2 (Ul. Petruševac 1.) i privozu 3 (Radnička cesta – jug) nije bilo.



Slika 2. Primjer analiziranih trajektorija kretanja vozila na raskrižju Petrova – Jordanovac

Tablica 2. Oblikovni elementi odabranih kružnih raskrižja [17, 18]

Red. br.	Oznaka	Naziv raskrižja/prometnice	Kružni kolnik (k.k.)			Privozi (p)		
			$D_v$ vanjski promjer [m]	$D_u$ unutarnji promjer [m]	B širina kružnog kolnika [m]	broj [-]	$b_u$ širina ulaznog dijela privoza [m]	broj prometnih trakova n-tračnost [k. k./p]
<b>a) m - Mini RKT<sub>m</sub> (<math>D_v \leq 26</math> m)</b>								
1.	RKT <sub>m</sub>	Sveti Duh - Kunišćak	20,0	6,0	7,0	3	3,5/3,6	1/1
<b>b) M - Mala RKT<sub>M</sub> (<math>22</math> m <math>\leq D_v \leq 35</math> m)</b>								
2.	RKT <sub>M</sub>	Petrova - Jordanovac	25,0	12,0	6,5	4	3,5/4,5	1/1
3.	RKT <sub>M</sub>	Voćarska - Bijenička	22,0	13,0	4,5	4	4,0/4,0	1/1
4.	RKT <sub>M</sub>	Radnička cesta - Petruševac 1.	40,0	28,0	6,0	4	3,0/3,5	1/1

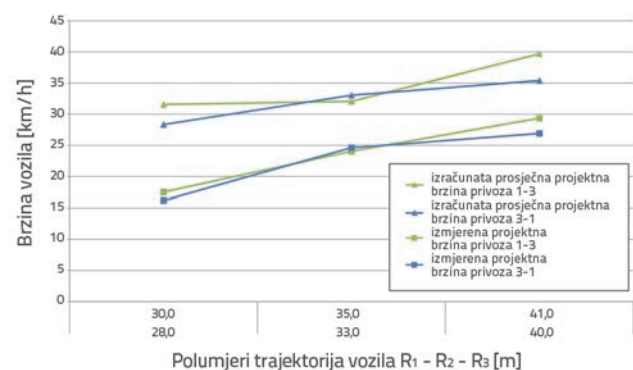
S obzirom na to da se promatrana raskrižja nalaze u blizini osnovnih škola, ograničenje brzine kretanja za motorna vozila iznosi 40 km/h, a time i svih privoza. Mjerenje samo prilaznih brzina vozila provedeno je u suradnji s Ministarstvom unutarnjih poslova 7. srpnja 2008. (utorak) tijekom jutarnjih vršnih opterećenja u razmaku od 5, 10 i 15 minuta. Meteorološki uvjeti bili su primjereni, pretežito sunčano vrijeme s laganom naoblakom omogućavalo je dobru vidljivost na svim raskrižjima, te je kolnik bio suh. S obzirom na specifičnost analiziranih raskrižja i na namjeru da se prikupi što više pouzdanih podataka o brzinama toka te o tehničkim karakteristikama uređaja, izabran je uređaj MULTANOVA 6F. Za potrebe mjerenja bio je na raspolaganju civilni policijski automobil i službenik u civilu, kako bi se smanjila mogućnost uočavanja prisutnosti policije i time djelovalo na reakcije vozača, odnosno na brzinu kretanja vozila [18, 19]. Opsežnijim istraživanjem prikupljeni su podaci o brzinama na prilazu, kružnom kolniku te na izlazu iz kružnog raskrižja. Ta istraživanja provedena su 15. rujna 2011. (četvrtak) tijekom u jutarnjih vršnih opterećenja u razmaku od 15 minuta upotrebom GPS (Global Positioning System) uređaja ugrađenog u osobno vozilo. Pogodni meteorološki uvjeti omogućili su dobru vidljivost i suh kolnik na svim raskrižjima i pripadajućim privozima.

#### 4. Analiza rezultata istraživanja

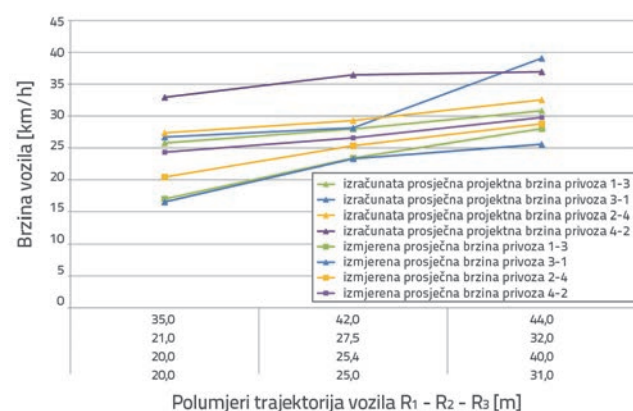
U tablici 3. na uzorku od 50 mjerenja upotrebom alata AutoCad, prikazani su podaci izmjerenih prosječnih vrijednosti polumjera trajektorija provoženja vozila (slika 2.), stvarnih nagiba kolnika, postotci teških vozila te pripadajući koeficijenti trenja izračunani prema mjerodavnim prometnim opterećenjima [18]. Također, na uzorku od 50 mjerenja, prikazani su podaci izmjerenih prosječnih vrijednosti brzina trajektorija provoženja vozila kružnim raskrižjima. Prema izrazima (1) do (4) izračunana je projektna brzina za svladavanje kružnog raskrižja, dok su vrijednosti odstupanja

između izmjerene i izračunane projektne brzine prikazane i analizirane u nastavku ovog teksta.

U tablici 3. lakim vozilima smatraju se sva vozila kategorije L, M, M1, M2, te N, N1 i O1, O2, dok se teškim vozilima smatraju vozila kategorije M3, N2 i N3, te O3 i O4 prema [38]. Radi preglednije usporedbe dobivenih rezultata, brzine trajektorija provoženja vozila kružnim raskrižjima prikazane su na slikama 3. do 6.

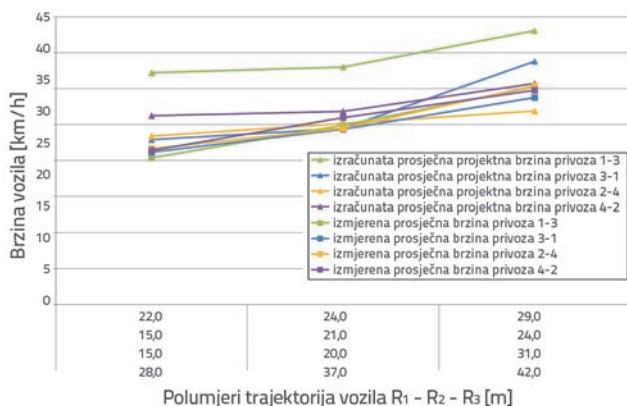


Slika 3. Odnos projektne i izmjerene brzine kružnog raskrižja Sv. Duh – Kunišćak

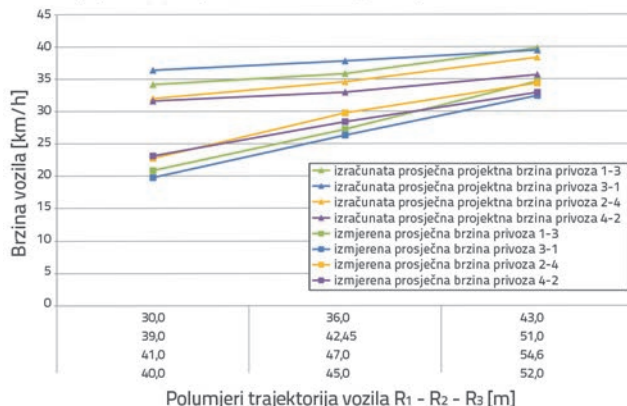


Slika 4. Odnos projektne i izmjerene brzine kružnog raskrižja Petrova – Jordanovac





Slika 5. Odnos projektne i izmjerene brzine kružnog raskrižja Voćarska - Bijenička



Slika 6. Odnos projektne i izmjerene brzine kružnog raskrižja Radnička - Petruševac 1.

Na slikama je prikazana usporedba između stvarno izmjerenih prosječnih brzina i izračunanih prosječnih projektnih brzina trajektorija provoženja osobnih vozila. Ukupno gledajući, najmanje brzine trajektorije provoženja vozila izmjerene su na ulazu u kružno raskrižje, jednake ili neznatno veće vrijednosti brzina su oko središnjeg otoka, dok su najveće vrijednosti brzina na izlazu iz kružnog raskrižja. Rezultati istraživanja također pokazuju da su izračunane prosječne

vrijednosti projektnih brzina uglavnom manje od brzine ograničenja raskrižja (40 km/h) te manje ili neznatno veće od maksimalno preporučene brzine (35 km/h) prema tablici 1. Sve prosječne brzine dobivene mjerenjem su manje od maksimalno preporučene brzine (35 km/h), a samim time i od brzine ograničenja. Zabilježena odstupanja između prosječno izmjerenih brzina i izračunanih prosječnih projektnih brzina prikazana su u tablici 3., a posebno analiza o tome slijedi.

Tablica 3. Izračunana prosječna projektna brzina i izmjerena prosječna brzina vozila na odabranim raskrižjima: a) ulazni podaci

Naziv raskrižja / prometnice	Prosječne vrijednosti polumjera trajektorija (uzorak N = 50)			Nagib			P <sub>HV</sub> [dec]
	R <sub>1</sub> [m]	R <sub>2</sub> [m]	R <sub>3</sub> [m]	e [m/m]			
				Privoz	Kružni kolnik	Privoz	
<b>Sveti Duh - Kuniščak</b>				<b>R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>2</sub></b>	<b>R<sub>3</sub></b>	
Sv. Duh jug - privoz 1	28,0	33,0	40,0	0,02	-0,015	0,05	0,148
Sv. Duh sjever - privoz 3	30,0	35,0	41,0	-0,05	-0,015	-0,02	0,141
<b>Petrova - Jordanovac</b>							
Petrova zapad - privoz 1	20,0	25,0	31,0	0,00	-0,015	-0,02	0,102
Jordanovac jug - privoz 2	20,0	25,4	40,0	0,02	-0,015	0,04	0,115
Petrova istok - privoz 3	21,0	27,5	32,0	0,02	-0,015	0,00	0,115
Jordanovac sjever - privoz 4	35,0	42,0	44,0	-0,04	-0,015	-0,02	0,052
<b>Voćarska - Bijenička</b>							
N. Grškovića - privoz 1	28,0	37,0	42,0	0,05	-0,03	0,01	0,117
M. Mesića - privoz 2	15,0	20,0	31,0	0,01	-0,03	0,03	0,061
Voćarska - privoz 3	15,0	21,0	24,0	0,02	-0,03	-0,03	0,025
Bijenička - privoz 4	22,0	24,0	29,0	-0,02	-0,03	-0,01	0,043
<b>Radnička cesta - Petruševac 1.</b>							
Radnička sjever - privoz 1	40,0	45,0	52,0	0,00	-0,005	0,01	0,538
Petruševac 1. - privoz 2	41,0	47,0	54,6	0,01	-0,005	-0,02	0,331
Radnička jug - privoz 3	39,0	42,4	51,0	-0,02	-0,005	0,00	0,578
Žitnjak - privoz 4	30,0	36,0	43,0	0,02	-0,005	-0,01	0,354

Legenda: P<sub>HV</sub> – postotak teških vozila u toku [decimal], M<sub>vLV</sub> – prosječna masa lakih vozila (1400 – 1500) [kg], M<sub>vHV</sub> – prosječna masa teških vozila (11000 – 15000) [kg]

Tablica 3. b) usporedba izračunane i izmjerene projektne brzine

Koeficijenti trenja			Smjer kretanja	Izračunana prosječna projektna brzina			Izmjerena prosječna brzina			Odstupanje od projektne brzine		
$f_{SLV}$	$f_{SHV}$	$f_s$		$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_1$	$V_2$	$V_3$
			[km/h]									
<b>Sveti Duh - Kunišćak</b>												
0,27	0,21	0,26	1-3	31,5	32,0	39,6	17,52	24,04	29,34	-44,49	-25,00	-26,09
0,27	0,21	0,26	3-1	28,3	33,0	35,3	16,20	24,60	26,90	-42,81	-25,55	-24,00
<b>Petrova - Jordanovac</b>												
0,27	0,21	0,26	1-3	25,7	27,9	30,8	16,96	23,40	28,02	-34,18	-16,34	-9,11
0,27	0,21	0,26	3-1	26,7	28,1	39,0	16,52	23,31	25,56	-38,12	-17,19	-34,59
0,27	0,21	0,26	2-4	27,3	29,2	32,5	20,42	25,34	28,78	-25,36	-13,49	-11,57
0,27	0,21	0,26	4-2	32,9	36,4	36,9	24,34	26,56	29,78	-22,93	-27,17	-19,41
<b>Voćarska - Bijenička</b>												
0,27	0,21	0,26	1-3	32,2	33,0	38,0	20,36	24,90	30,24	-38,87	-24,57	-20,60
0,27	0,21	0,27	3-1	22,8	24,4	33,8	21,15	24,34	28,76	-7,62	-0,40	-14,90
0,27	0,21	0,27	2-4	23,3	25,1	26,8	21,66	24,48	30,40	-7,39	-2,66	13,07
0,27	0,21	0,27	4-2	26,2	26,8	30,7	21,38	25,96	29,78	-18,48	-3,24	-3,05
<b>Radnička cesta - Petruševac 1.</b>												
0,27	0,20	0,23	1-3	34,1	35,8	39,7	20,86	27,22	34,64	-38,92	-24,03	-12,92
0,27	0,20	0,24	3-1	36,3	37,7	39,4	19,76	26,30	32,40	-45,69	-30,40	-17,83
0,27	0,20	0,23	2-4	32,0	34,5	38,3	22,74	29,74	34,34	-28,95	-13,95	-10,41
0,27	0,20	0,24	4-2	31,6	32,9	35,6	23,12	28,38	32,88	-26,90	-13,89	-7,74
Legenda: $f_{SLV}$ – koeficijent trenja za laka vozila, $f_{SHV}$ – koeficijent trenja za teška vozila, $f_s$ – koeficijent trenja vozila												

Na raskrižju Sv. Duh – Kunišćak prosječno izmjerena brzina trajektorije provoženja vozila iz privoza 1 (Ul. Sv. Duh – jug) u privoz 3 (Ul. Sv. Duh – sjever) iznosila je za 44,49 % manju vrijednost od izračunane prosječne projektne brzine. Na raskrižju Petrova – Jordanovac prosječno izmjerena brzina trajektorije provoženja vozila iz privoza 3 (Petrova ul. – istok) u privoz 1 (Petrova ul. – zapad) iznosila je od izračunane prosječne projektne brzine za 38,72 % manju vrijednost. Na raskrižju Voćarska – Bijenička prosječno izmjerena brzina trajektorije provoženja vozila iz privoza 1 (Ul. N. Grškovića) u privoz 3 (Voćarska ul.) iznosila je od izračunane prosječne projektne brzine manju vrijednost za 38,87 %, dok je za trajektoriju kretanja iz privoza 2 (Mesićeva ul.) u privoz 4 (Bijenička ul.) od izračunane prosječne projektne brzine bila veća za 13,07%. Na raskrižju Radnička – Petruševac 1. prosječno izmjerena brzina trajektorije provoženja vozila iz privoza 3 (Radnička cesta – jug) u privoz 1 (Radnička cesta – sjever) iznosila je od izračunane prosječne projektne brzine manju vrijednost za 45,69%.

Znatna odstupanja prosječno izmjerenih brzina kretanja od prosječno izračunanih brzina mogu se objasniti na sljedeće načine. Raskrižje Sv. Duh – Kunišćak smješteno je na prijelazu iz brdovitog u zaravnjeni teren, te je cijelo raskrižje u nagibu

od 5 do 7 %. Zbog skučenosti prostora i potrebe da se mogu kretati teška teretna vozila iz privoza 1 (Ul. Sv. Duh – jug) u privoz 2 (Ul. Kunišćak), kompleks Zagrebačke pivovare koji se nalazi 500 metara istočno od raskrižja), raskrižje je izvedeno s povoznim središnjim otokom. Također, zbog položaja osnovne škole s istočne strane raskrižja između privoza 1 i 3 (Ul. Sv. Duh – jug i sjever), a s ciljem uspravljanja prometa, brzina kretanja motornih vozila na privozima ograničena je na 40 km/h. Uzimajući sve to u obzir i podatak da je teških vozila u toku do 14,8 %, može se objasniti odstupanje od -44,49 % prosječno izmjerene brzine u odnosu na izračunanu brzinu. Raskrižje Petrova – Jordanovac smješteno je u dnu pribrežnog terena (privoz 4, Ul. Jordanovac – sjever, nagiba 4 %), dok su ostali privozi i kružni kolnik bez većih terenskih ograničenja. Međutim, zbog skučenosti prostora oblikovni elementi manjih su vrijednosti što bitno utječe na odvijanje prometnih tokova na raskrižju i u području raskrižja. Zbog položaja osnovne škole s istočne strane raskrižja između privoza 2 i 3 (Ul. Jordanovac – jug i Petrova ul. – istok), a s ciljem usporivanja prometa, brzina kretanja motornih vozila na privozima ograničena je na 40 km/h. Uzimajući sve to u obzir, kao i podatak da je teških vozila u toku u iznosu do 11,5 % (u što se ubrajaju i vozila javnog gradskog prijevoza-JGP), može se

objasniti odstupanje od -38,12 % prosječno izmjerene brzine u odnosu na izračunanu brzinu.

Raskrižje Voćarska – Bijenička smješteno je na prijelazu iz brdovitog u zaravnjeni teren, te je cijelo raskrižje u nagibu od 3 %, pri čemu je privoz 1 (Ul. N. Grškovića) nagiba 5 %. Zbog skučenosti prostora, oblikovni elementi manjih su vrijednosti što bitno utječe na odvijanje prometnih tokova na raskrižju i u području raskrižja. Zbog položaja osnovne škole s južne strane raskrižja te položaja Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Instituta za fiziku i Instituta Ruđer Bošković udaljenih 300 metara sa sjeverne strane raskrižja, a s ciljem usporivanja prometa, brzina kretanja motornih vozila na privozima ograničena je na 40 km/h. Lokacija spomenutih institucija zahtijeva veći intezitet vozila JGP-a što je vidljivo iz podatka da je teških vozila u toku 11,5 %. Uzimajući sve to u obzir, može se objasniti odstupanje od -38,87 % prosječno izmjerene brzine u odnosu na izračunanu brzinu.

Raskrižje Radnička – Petruševac 1. smješteno je na zaravnjenom terenu, ali se nalazi na vrlo frekventnoj Radničkoj cesti u jugoistočnom dijelu grada Zagreba. Raskrižje je izgrađeno radi boljega povezivanja jugoistočnog dijela Zagreba, odnosno obližnje industrijske zone koja se nalazi 500 metara sjeverno od raskrižja preko Domovinskog mosta sa zagrebačkom obilaznicom – čvor Kosnica te sa zračnom lukom Pleso. Zbog položaja osnovne škole sa zapadne strane raskrižja, između privoza 2 i 3 (Ul. Petruševac 1. i Radnička cesta – jug), a s ciljem usporivanja prometa, brzina kretanja motornih vozila na privozima ograničena je na 40 km/h. Uzimajući sve to u obzir te podatak da je teških vozila u toku čak do 57,8 % (u što se ubrajaju i vozila JGP-a), može se objasniti odstupanje od -45,69 % prosječno izmjerene brzine u odnosu na izračunanu brzinu.

## 5. Zaključak

Projektiranje kružnih raskrižja u urbanim sredinama predstavlja zahtjevan zadatak. Pri izboru mikro-lokacije i načina rješavanja kružnog raskrižja potrebno je svaki pojedini slučaj studijski proanalizirati, vodeći se odgovarajućim načelima optimalnosti. Naime, nepravilno koncipirano i oblikovano kružno raskrižje, posebno u skućenim urbanim područjima sa zadanim prometnim tokovima, znatno smanjuje učinkovitost i sigurnost prometa svih sudionika u odvijanju prometnih tokova. Pri oblikovanju i dimenzioniranju malih kružnih raskrižja ( $D_v \leq 35$  m) treba posebno paziti na oblikovanje pojedinih elemenata (vanjski promjer i unutarnji promjer kružnog raskrižja, širina kružnog kolnika te širina privoznih trakova) kako bi zadovoljili potrebnu brzinu trajektorije provoženja vozila za svladavanje kružnog raskrižja. Stoga je potrebno dobro upoznati metodu definiranja utjecaja korelacijskog odnosa oblikovnih elemenata i brzine trajektorije provoženja vozila, kao i mogućnost predviđanja brzine provoženja za sigurno svladavanje kružnog raskrižja.

Sve je to nužno kako bi se u fazi modeliranja novih ili pri analizi postojećih kružnih raskrižja definirala odgovarajuća funkcionalna učinkovitost, razina usluge i stupanj prometne sigurnosti raskrižja.

Prema rezultatima provedenih istraživanja brzine trajektorije provoženja vozila u uvjetima normalnog toka na četiri odabrana jednotračna kružna raskrižja (broj: privoza = 3/4; kružni kolnik/privoz = 1/1) smještenih u gradu Zagrebu, može se zaključiti da je ispunjen osnovni uvjet pri projektiranju kružnih raskrižja  $R_1, R_2 < R_3$  prema [4, 24].

Ukupno gledajući rezultate istraživanja za promatrana raskrižja, odstupanja između projektne i stvarno izmjerene brzine u rasponima su od -45,69 % do +13,07 %, te su rezultat primijenjenih metoda za proračun projektne brzine, specifičnosti prostornih lokacija raskrižja i položaja u prometnoj mreži grada, pripadajućih oblikovnih elemenata područja raskrižja, prometne opreme raskrižja, različitih osovinskih opterećenja i postavki/ značajki vozila, te značajki prometnih tokova kao i strukture, ponašanja i osposobljenosti vozača u promatranom vremenu. Rezultati istraživanja također mogu poslužiti za djelomičnu validaciju i verifikaciju u lokalnim uvjetima.

Posebno ističemo da bi razvijena metoda "in situ" [17] i prikazani rezultati istraživanja brzine trajektorije provoženja vozila trebali poslužiti kao temelj za daljnja sustavna i opsežna istraživanja kauzalnosti brzine i trajektorije vozila. Također je nužno istražiti ostale oblikovne elemente kao i utjecajne čimbenike kako bi se odredila odgovarajuća funkcionalna učinkovitost, razina usluge i stupanj prometne sigurnosti kružnih raskrižja, posebice na području Republike Hrvatske. Nastavak istraživanja obuhvaćao bi veći broj istovrsnih kružnih raskrižja s većim brojem mjernih uzoraka, te brzinu trajektorija provoženja za lijeva i desna skretanja kroz kružno raskrižje. Trebalo bi istražiti strukturu i ponašanje vozača za vrijeme mjerenja te analizirati njihov utjecaj na brzinu provoženja vozila kružnim raskrižjem. Također, bilo bi korisno provesti kalibraciju primijenjenih metoda prema lokalnim uvjetima te istraživanje brzine trajektorija provoženja vozila prema metodi autora [39]. Konačni zaključci bili bi mogući tek nakon uspoređivanja dobivenih rezultata istraživanja te uspoređivanjem sa stvarnim brojem, vrstama i uzrocima prometnih nesreća na analiziranim kružnim raskrižjima.

## Zahvala

Istraživanje opisano u ovom radu provedeno je u sklopu znanstvenoistraživačkog projekta "Korelacija oblikovnosti i sigurnosti u raskrižjima s kružnim tokom prometa", broj: 135-0000000-3313 financiranog od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske. Mjerenje prilaznih brzina vozila provedeno je u suradnji s Ministarstvom unutarnjih poslova, Policijskom upravom zagrebačkom, Odjelom za sigurnost cestovnog prometa. Autori zahvaljuju na suradnji i pruženoj potpori.



## LITERATURA

- [1] Polus, A. & Shmueli, S.: Analysis and Evaluation of the Capacity of Roundabouts, *Transportation Research Record*, 1572, pp. 99-104, 1997.
- [2] Tolazzi, T.: The Contribution to the Procedure of Capacity Determination at Unsignalized Priority-controlled Intersections, *Promet - Traffic & Transportation*, 16(1), pp. 31-36, 2004.
- [3] Ištoka Otković, I. & Dadić, I.: Comparison of Delays at Signal-controlled Intersection and Roundabout, *Promet - Traffic & Transportation*, 21(3), pp. 157-165, 2009.
- [4] NCHRP - National Cooperative Highway Research Program: Roundabouts: An Informational Guide, Second Edition, Report No. 672, Transportation Research Board, Washington D.C., 2010.
- [5] Šubić, N., Legac, I., Pilko, H.: Analysis of Capacity of Roundabouts in the City of Zagreb According to HCM-C-2006 and Ning Wu Methods, *Technical Gazette*, 19(2), pp. 451-457, 2012.
- [6] Vasconcelos, A. L. P., Seco, A. J. M., Silva, A. C. B.: Comparison of Procedures to Estimate Critical Headways at Roundabouts, *Promet - Traffic & Transportation*, 25(1), pp. 43-53, 2013.
- [7] Chodur, J.: Capacity Models and Parameters for Unsignalized Urban Intersections in Poland, *Journal of Transportation Engineering*, 131, pp. 924-930, 2005.
- [8] Hyden, C. & Varheyli, A.: The Effects on Safety, Time Consumption and Environment of Large Scale Use of Roundabouts in an Urban Area: A Case Study, *Accident Analysis and Prevention*, 32, pp. 11-23, 2000.
- [9] Varheyli, A.: The Effects of Small Roundabout on Emissions and Fuel Consumption: A Case Study, *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 7, pp. 65-71, 2002.
- [10] Coelho, M. C., Farias, T. L., Roupail, N. M.: Effect of Roundabout Operations on Pollutant Emissions, *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, 11(5), pp. 333-343, 2006.
- [11] Ahn, K., Kronprasert, N., Rakha, H.: Energy and Environmental Assessment of High-Speed Roundabouts, *Transportation Research Record*, 2123, pp. 54-65, 2009.
- [12] Mauro, R., Cattani, M.: Functional and Economic Evaluations for Choosing Road Intersection Layout, *Promet - Traffic & Transportation*, 24(5), pp. 441-448, 2012.
- [13] Persaud, B. N., Retting, R. A., Garder, P. E., Lord, D.: Safety effect of roundabout conversions in the United States: Empirical Bayes observational before-after study, *Transportation Research Record*, 1751, pp. 1-8, 2001.
- [14] Elvik, R.: Effects on Road Safety of Converting Intersections to Roundabouts: Review of Evidence from Non-U.S. Studies, *Transportation Research Record*, 1847, pp. 1-10, 2003.
- [15] Saccomanno, F. F., Cunto, F., Guido, G., Vitale, A.: Comparing Safety at Signalized Intersections and Roundabouts Using Simulated Rear-End Conflicts, *Transportation Research Record*, 2078, pp. 90-95, 2008.
- [16] Sacchi, E., Bassani, M., Persaud, B.: Comparison of Safety Performance Models for Urban Roundabouts in Italy and Other Countries, *Transportation Research Record*, 2265, pp. 253-259, 2011.
- [17] Korelacija oblikovnosti i sigurnosti u raskrižjima s kružnim tokom prometa, znanstvenoistraživački projekt MZOŠ, Fakultet prometnih znanosti Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2008-2013.
- [18] Prometna analiza i unapređenje sigurnosti i protočnosti raskrižja s kružnim tokom prometa (studija), Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2009.
- [19] Legac, I., Ključarić, M., Blaić, D., Pilko, H.: Sigurnost prometa u kružnim raskrižjima grada Zagreba, *Zbornik Medicinski, tehnički i pravni aspekti sigurnosti prometa*, Zagreb, pp. 49-55, 2009.
- [20] Šurdonja, S., Deluka-Tibljaš, A., Babić, S.: Optimization of Roundabout Design Elements, *Technical Gazette*, 20(3), pp. 533-539, 2013.
- [21] Ištoka Otković, I., Tollazzi, T., Šraml, M.: Calibration of Microsimulation Traffic Model using Neural Network Approach, *Expert Systems with Application*, 40, pp. 5965-5974, 2013.
- [22] Legac, I., i dr.: Gradske prometnice, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2011.
- [23] FHWA - Federal Highway Administration: Roundabouts: An Informational Guide, Publication No. FHWA-RD-00-067, Kittelson & Associates, Inc., Portland, Oregon, USA, June 2000.
- [24] Mehmood, A.: Geometric Design of Single-lane Roundabouts for Optimum Consistency and Operation (PhD thesis), Ryerson University, Toronto, 2003.
- [25] Macioszek, E.: Analiza Prędkości Przejazdu Pojazdów Przez Skrzyżowania z Ruchem Okrężnym, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport z. 82. Systemy, Podsystemy i Środki w Transporcie Drogowym, Morskim i Śródlądowym*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, pp. 69-84, 2012.
- [26] Smjernice za projektiranje raskrižja u naseljima sa stajališta sigurnosti prometa (prijedlog), Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2004.
- [27] Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor nad putevima, Knjiga I.: Projektovanje, Dio 1.: Projektovanje puteva, Poglavlje 4.: Funkcionalni elementi i površine puta, *Direkcija cesta federacije BiH/Javno preduzeće Putevi Republike Srpske*, Sarajevo/Banja Luka, 2005.
- [28] Krožna križišča - TSC 03.341:2011, Ministarstvo za infrastrukturo in prostor, *Direkcija Republike Slovenije za ceste*, Ljubljana, Slovenia, November 2011.
- [29] Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehrsplätzen, FGSV, Köln, Deutschland, 2006.
- [30] Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS), FGSV, Köln, Deutschland, 2009.
- [31] Wytyczne Projektowania Skrzyżowań Drogowych, Część II - Ronda, *Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych*, Warszawa, 2001.
- [32] Kenjić, Z.: Priručnik za planiranje i projektovanje kružnih raskrižja - rotora, *IPSA Institut Sarajevo*, Sarajevo, avgust 2009.
- [33] Legac, I., Pilko, H., Šubić, N.: Introduction of Roundabouts in Croatia - preliminary experiences, *Proceedings on 16th IRF World Congress*, Lisboa, Portugal, 25-28th May, 2010, pp 9.
- [34] Sangyoun, K., Jaisung, C.: Safety Analysis of Roundabout Designs based on Geometric and Speed Characteristics, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17(6), pp. 1446-1454, 2013.
- [35] NCHRP - National Cooperative Highway Research Program: Roundabouts in the United States, Report No. 572, National Academy Press, Washington, D. C., 2007.

- [36] Legac, I.: Raskrižja javnih cesta/Cestovne prometnice II., Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2008.
- [37] Pilko, H., Brčić, D., Šubić, N.: Speed as an Element for Designing Roundabouts, Proceedings of 2nd International Conference on Road and Rail Infrastructure – CETRA 2012, pp. 981-988, Dubrovnik, 2012.
- [38] Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama, NN br. 140/13, Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, Zagreb, 2013.
- [39] Zheng, D., Chitturi, M., Bill, A., Noyce D. A.: Comprehensive Evaluation of Wisconsin Roundabouts, Volume 1: Traffic Operations, Traffic Operations and Safety Laboratory, Wisconsin, September 2011.