

# NOVA METODA ZA IZRAČUN KAPACITETE KROŽNEGA KRIŽIŠČA Z UPOŠTEVANJEM VPLIVA IZVOZNEGA TOKA

## NEW METHOD FOR THE CALCULATION OF ROUNDABOUT CAPACITY CONSIDERING EXITING FLOW IMPACT

**mag. Simona Perme, univ. dipl. inž. grad.**

simona.perme@dri.si

DRI upravljanje investicij, d. o. o.

Kotnikova 40, Ljubljana

**doc. dr. Tomaž Maher, univ. dipl. inž. grad.**

tomaz.maher@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Jamova 2, Ljubljana

**Znanstveni članek**

UDK 625.739:656.021-047.58

**Povzetek** | Analiza pretoka prometa in izračun kapacitete uvoznega kraka v krožno križišče sta predmet raziskav številnih avtorjev v zadnjih desetletjih. Večina analiz temelji na empiričnih in stohastičnih modelih, med seboj pa se razlikujejo po definiciji konfliktnega toka. Modeli, ki temeljijo na teoriji sprejemljivih časovnih praznin, ne upoštevajo izvoznega prometnega toka, temveč za konfliktni tok upoštevajo samo krožni prometni tok, ki je v krožnem križišču pred posameznim uvozom v krožno križišče. Nova oziroma predpostavljena metoda PTI temelji na uporabi modelov sprejemljivih časovnih praznin in teorije strežbe, pri čemer sta za konfliktni tok upoštevana krožni in izvozni prometni tok pred analiziranim uvozom v krožno križišče. Za osnovo smo uporabili model sprejemljivih časovnih praznin, ki je znan kot Brilonov model. Predlagana metoda je preverjena na enopasovnem krožnem križišču z enopasovnima uvozom in izvozom, glede na izpeljavo metode pa bi lahko veljala tudi za večpasovna krožna križišča. Rezultate smo primerjali z rezultati uveljavljenih modelov avtorjev Brilona in Bovyja. S pomočjo enačbe za izračun povprečnih zamud so na osnovi izračunane kapacitete določene zamude, ki pa smo jih medsebojno primerjali na osnovi rezultatov mikroskopske simulacije s programskim orodjem PTV VISSIM.

Ključne besede: krožno križišče, kapaciteta, zamude

**Summary** | Analysis of traffic flow in roundabouts and calculation of their entry lane capacity has been a subject of research of several authors in the last decades. The majority of methods focus on empirical and stochastic models which differ in the definition of the conflict flow. No gap acceptance model in the literature takes the exiting traffic flow into account when estimating capacity – all methods are based on taking into account only circulating flow. The proposed PTI method is based on the models developed using the gap acceptance and queuing theory. It extends the most widely used Brilon model by considering both the circulating and the exiting flow. The proposed method was tested on a simple roundabout with one entry, exit and circulating lane. The roundabout entry capacity and the average delay per vehicle were calculated using the PTI method and Brilon and Bovy model. The average driver's delay for all analytical models is calculated by the same delay equation. The results were compared to the quasi observed data. Sources of the quasi observed data were compared with the results of the microscopic simulation using the PTV VISSIM software.

Keywords: roundabout, capacity, delays

## 1 • UVOD

Nivojska križišča prometnic so bila zaradi svojega pomena že od nekdaj predmet raziskav in skrbnega načrtovanja prometnih strokovnjakov. Križišča so kritični element učinkovitosti cestne mreže, njihova prepustnost pa lahko pomeni ozko grlo. Izbira vrste križišča temelji na različnih kriterijih. Kapaciteta oziroma kriterij pretočnosti je vsekakor eden ključnih. Večina analiz za določitev kapacitete uvozov v krožno križišče temelji na empiričnih in analitičnih modelih. Določitev kapacitete uvoznega pasu in/ali povprečne zamude voznikov sta glavna kazalnika pretočnosti križišča. Vse metode za določitev kapacitete temeljijo na odvisnosti primarnih oziroma konfliktnih in sekundarnih tokov. Metode se razlikujejo le po definiciji

konfliktnega toka. Nekateri avtorji menijo, da ima izvozni tok ravno tako vpliv na kapaciteto uvoznega pasu (Fortuijn, 2009). Potreba po upoštevanju vpliva izvoznega toka tik pred analiziranim uvozom v krožno križišče na kapaciteto uvoza temelji na dejstvu, da le del voznikov, ki zapuščajo krožno križišče, nakaže svojo namero z desnimi utripalkami. To pomeni, da bi bilo treba pri izračunu kapacitete upoštevati ne samo krožnega prometnega toka v krožnem križišču, ampak vsaj delno tudi izvozni tok. V kolikšni meri se upošteva izvozni tok, pa je odvisno od razdalje med točko uvoza in izvoza ter voznikovih reakcij oziroma voznikovega obnašanja. Če je za naključnega voznika pri uvozu sprejem-

ljiva mejna časovna praznina v krožnem toku manjša kot čas, ki je potreben, da vozilo v tem toku prevozi razdaljo med točko uvoza in izvoza, na kapaciteto uvoza vpliva samo jakost krožnega prometnega toka v krožnem križišču, sicer pa menimo, da je treba pri izračunu kapacitete upoštevati tudi prometni tok, ki pred analiziranim uvozom zapušča krožno križišče.

Nova oziroma predpostavljena metoda (v nadaljevanju poimenovana metoda PTI) temelji na uporabi modelov sprejemljivih časovnih praznin, pri čemer sta za konfliktni tok upoštevana tako krožni kot izvozni prometni tok. Za model sprejemljivih časovnih praznin je uporabljen najbolj pogosto zastopan t.i. Brilonov model (Brilon, 1997).

Namen članka je prikaz izpeljave nove metode za izračun kapacitete uvoza z upoštevanjem izvoznega toka pri krožnih križiščih.

## 2 • DOSEDANJE RAZISKAVE KAPACITETE KROŽNIH KRIŽIŠČ

Pri določanju kapacitete krožnih križišč lahko ločimo dva pristopa – empirični modeli in stohastični modeli, kot so na primer modeli sprejemljivih časovnih praznin.

Pri empiričnih modelih matematično razmerje med jakostjo konfliktnega prometnega toka pred uvozom v krožno križišče ( $Q_C$ ) in kapaciteto uvoznega kraka ( $C_E$ ) izhaja iz meritev pri obstoječih krožnih križiščih. Leta 1980 je Kimber izpeljal linearno odvisnost med  $Q_C$  in  $C_E$ . V letu 1986 se je tudi Cetur pojavil s formulo, ki je temeljila na linearni odvisnosti. 1991. pa je Ceturjevo formulo nekoliko prilagodil švicarski raziskovalec Bovy (Yperman, 2003).

$$C_E = \frac{1500 - \frac{8}{9} \cdot Q_C}{\gamma} \quad (1)$$

$$Q_C = \beta \cdot Q_R + \alpha \cdot Q_S \quad (2)$$

Kjer je:

$C_E$  – kapaciteta uvoza (EOV/h);

$Q_C$  – jakost konfliktnega prometnega toka (EOV/h);

$Q_R$  – jakost krožnega prometnega toka (EOV/h);

$Q_S$  – jakost prometnega toka pri izvozu (EOV/h);

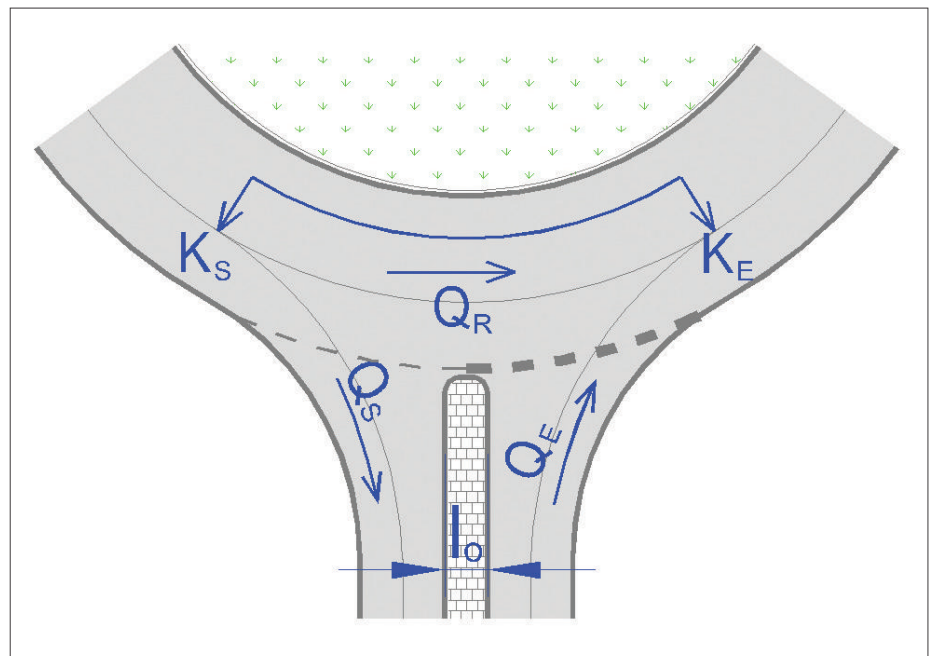
$\alpha$  – faktor ločne razdalje  $K_S$ - $K_E$  (-);

$\beta$  – faktor števila voznih pasov v krožnem vozišču (1:  $0,9 \leq \beta \leq 1$ ; 2:  $0,6 \leq \beta \leq 0,8$ ; 3:  $0,5 \leq \beta \leq 0,6$ );

$\gamma$  – faktor števila voznih pasov pri uvozu (1:  $\gamma = 1$ ; 2:  $0,6 \leq \gamma \leq 0,7$ ; 3:  $\gamma = 0,5$ ).

Faktor  $\alpha$ , določa vpliv izhodnega prometnega toka na kapaciteto uvoza v krožno križišče in je odvisen od geometrije krožnega križišča oziroma od razdalje krožnega loka  $K_S$ - $K_E$ , kot je prikazano na sliki 1.

Večina analiz, ki obravnavajo promet v nese-maforiziranem križišču, temelji na stohastičnih modelih. Primer je teorija sprejemljive časovne praznine med vozili, pri kateri je predpostavljeno, da neprednostni tok vozil lahko uvozi v križišče le, ko je interval do naslednjega prihajajočega vozila s prednostjo večji od mejne časovne praznine. Več vozil z neprednostne smeri zaporedno uvozi v križišče v intervalu časovnih praznin sledenja, dokler na prednostni smeri ne pripelje naslednje vozilo. Osnova za model, ki temelji na metodi



Slika 1 • Prometni tokovi: uvozni  $Q_E$ , krožni  $Q_R$  in izvozni  $Q_S$ , ter ločna razdalja  $K_S$ - $K_E$

sprejemljivih časovnih praznin, je Tannerjeva enačba, ki jo je Wu prilagodil izračunu kapacitete za krožna križišča (Brilon, 2011). Enačba se imenuje tudi Brilonova enačba oziroma Brilonov model.

$$C_E = 3600 \cdot \left(1 - \frac{t_{min} \cdot Q_R}{n_c \cdot 3600}\right)^{n_c} \cdot \frac{n_s}{t_f} \cdot e^{-\frac{Q_R}{3600} \left(t_c - \frac{t_f}{2} - t_{min}\right)} \quad (3)$$

Kjer je:

$C_E$  – kapaciteta uvoza (EOV/h);

$Q_R$  – obremenitev v krožnem vozlišču (EOV/h);

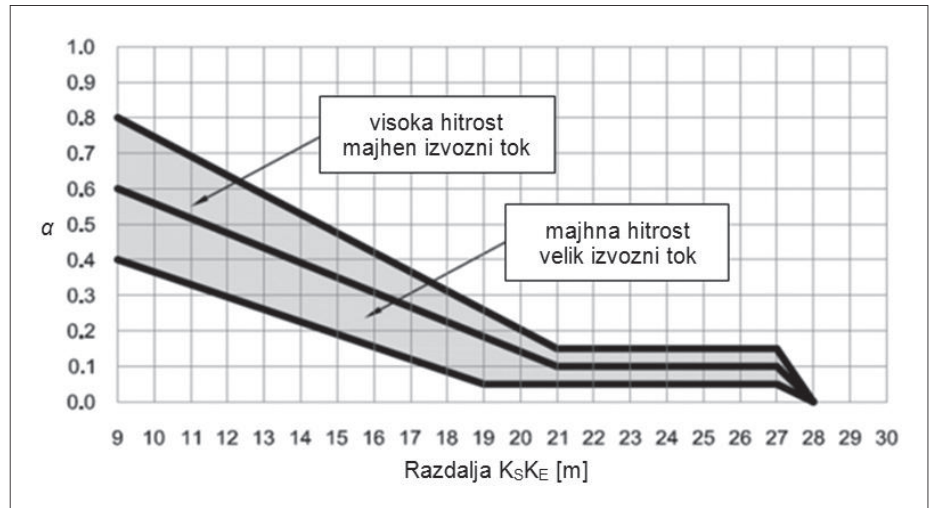
$n_c$  – število voznih pasov v krožnem križišču (-);

$n_s$  – število pasov pri uvozu (-);

$t_c$  – mejna časovna praznina (s);

$t_f$  – časovna praznina sledenja (s);

$t_{min}$  – minimalna časovna praznina med vozili v krožnem toku (s).



Slika 2 • Definicija faktorja  $\alpha$  (Kenjić, 2009), str. 32

### 3 • IZPELJAVA ENAČBE ZA IZRÄČUN KAPACITETE Z UPOŠTEVANJEM IZVOZNEGA TOKA PRI KROŽNIH KRIŽIŠČIH

Če je kritična oziroma mejna časovna praznina  $t_c$ , ki omogoča vozilu pri uvozu, da se vključi v krožno križišče, manjša od časa, potrebnega za vožnjo od točke izvoza do točke uvoza, potem voznik upošteva za konfliktni tok le krožni prometni tok. Če pa je mejna časovna praznina večja od časa, potrebnega za vožnjo od točke izvoza do točke uvoza, mora upoštevati poleg krožnega prometnega toka tudi izvozni tok.

Osnovna ideja predlagane metode, ki jo bomo v nadaljevanju zaradi lažjega opisovanja poimenovali tudi metoda PTI, je, da se najprej določi delež vozil, ki imajo mejno časovno praznino manjšo od časa  $t_K$ , potrebnega za vožnjo od točke  $K_E$  do točke  $K_S$ . Ta čas je poleg hitrosti odvisen tudi od širine otoka  $l_o$  med uvoznim in izvoznim pasom (slika 2.1)

#### 3.1 Izračun deleža vozil z mejno časovno praznino $t_c$ manjšo od časa $t_K$

Predpostavi se, da je mejna časovna praznina  $t_c$  porazdeljena z Erlangovo verjetnostno funkcijo, kot jo je predpostavil tudi Wu (Wu, 2001).

$$f(t_c) = \frac{\lambda}{(\alpha - 1)!} \cdot (\lambda t_c)^{\alpha - 1} \cdot e^{-\lambda t_c} \quad (4)$$

Kumulativna porazdelitvena funkcija je prikazana v enačbi (5).

$$F(t_c) = 1 - \sum_{n=0}^{\alpha-1} e^{-\lambda t_c} \cdot \frac{(\lambda t_c)^n}{n!} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{\alpha}{t_c} \quad (6)$$

Kjer je:

$\alpha$  – parameter Erlangove porazdelitvene funkcije;

$\bar{t}_c$  – povprečna vrednost mejne časovne praznine.

Če se v enačbi (5) predpostavi, da je  $\alpha = 5$  (Brilon, 1997), se lahko z enačbo (7) določi delež voznikov, ki imajo mejno časovno praznino  $t_c$  manjšo od časa  $t_K$ .

$$P(t_c < t_K) = 1 - e^{-\lambda t_K} - e^{-\lambda t_K} \cdot \lambda t_K - \frac{e^{-\lambda t_K} \cdot (\lambda t_K)^5}{120} - \frac{e^{-\lambda t_K} \cdot (\lambda t_K)^2}{2} - \frac{e^{-\lambda t_K} \cdot (\lambda t_K)^3}{6} - \frac{e^{-\lambda t_K} \cdot (\lambda t_K)^4}{24} \quad (7)$$

Delež voznikov, ki pa imajo časovno praznino  $t_c$  večjo od časa  $t_K$ , pa se določi z enačbo (8).

$$P(t_c > t_K) = 1 - (P(t_c < t_K)) \quad (8)$$

#### 3.2 Izpeljava kapacitete

Pri izračunu kapacitete uvoza je pomembno, kateri konfliktni tok se upošteva:

- če je mejna časovna praznina manjša od časa, potrebnega za vožnjo od izvozne točke do točke uvoza, potem na kapaciteto uvoza vpliva samo krožni prometni tok  $Q_R$ ;
- če pa je mejna časovna praznina večja od časa, potrebnega za vožnjo od izvozne točke do točke uvoza, na kapaciteto uvoza poleg krožnega prometnega toka  $Q_R$  vpliva tudi izvozni prometni tok  $Q_S$ .

Kapaciteta uvoza  $C_E$  se zapiše z enačbo (9).

$$C_E = P(t_c < t_K) \cdot C_E(Q_R) + P(t_c > t_K) \cdot C_E(Q_R + Q_S) \quad (9)$$

Za izračun  $C_E(Q_R)$  in  $C_E(Q_R + Q_S)$  se uporabi Brilonova enačba (3).

$$C_E(Q_R) = 3600 \cdot \left(1 - \frac{t_{min} \cdot Q_R}{n_c \cdot 3600}\right)^{n_c} \cdot \frac{n_s}{t_f} \cdot e^{-\frac{Q_R}{3600} \left(t_c - \frac{t_f}{2} - t_{min}\right)} \quad (10)$$

$$C_E(Q_R + Q_S) = 3600 \cdot \left(1 - \frac{t_{min} \cdot (Q_R + Q_S)}{n_c \cdot 3600}\right)^{n_c} \cdot \frac{n_s}{t_f} \cdot e^{-\frac{(Q_R + Q_S)}{3600} \left(t_c - \frac{t_f}{2} - t_{min}\right)} \quad (11)$$

### 3.3 Primerjava predlagane metode z drugimi modeli

Metoda PTI je preizkušena na enopasovnem krožnem križišču z enopasovnim uvozom in izvozom ter notranjim polmerom 17,25 m ter voznim pasom širine 5 m. Za primerjavo rezultatov, pridobljenih z metodo PTI, je kapaciteta določena tudi z dvema uveljavljenima modeloma, in sicer z Brilonovim modelom, ki temelji na teoriji sprejemljivih časovnih praznin, ter Bovyjevem empiričnim modelom. S pomočjo enačbe (12), ki predstavlja izračun povprečnih zamud (HCM, 2000), so iz kapacitete določene zamude, ki pa so primerjane z rezultati mikroskopske simulacije, izdelane s programskim orodjem PTV VISSIM.

$$d_E = \frac{3600}{C_E} + 900 \cdot T \cdot \left[ \frac{Q_E}{C_E} - 1 + \sqrt{\left( \frac{Q_E}{C_E} - 1 \right)^2 + \frac{3600 \cdot Q_E}{C_E \cdot C_E}} \right] \quad (12)$$

Kjer je:

$d_E$  – povprečna zamuda na vozilo pri uvozu v krožno križišče (s);

$Q_E$  – uvozni prometni tok (EOV/h);

$C_E$  – kapaciteta uvoza (EOV/h);

$T$  – čas analize (h).

Za konfliktno tokove smo upoštevali: krožni prometni tok  $Q_R$ , vstopni prometni tok  $Q_E$  in izvozni prometni tok  $Q_S$  v vrednostih po 100 EO/h od 0 do 500 EO/h. Pri izračunu kapacitete oziroma zamud so izdelane vse kombinacije med vrednostmi prometnih tokov.

Glede na to, da je vpliv izvoznega toka pri predlagani metodi PTI odvisen od razdalje med točko uvoza in izvoza (razdalja  $K_S - K_E$ ), so v primeru obravnavane različne dolžine te razdalje, in sicer po 2 m, od 16 do 24 m. Pri izračunu časa  $t_k$ , potrebnega za prevoz te razdalje, je upoštevana hitrost vozil 25 km/h.

Pri Bovyjevem modelu so upoštevani naslednji faktorji:  
 $\gamma = 1$   
 $\beta = 0,95$

V Brilonovem modelu pa so predpostavljene naslednje časovne praznine:

$\bar{t}_c = 3,3$  s

$t_f = 3,0$  s

$t_{min} = 2,0$  s

### 3.4 Izračun kapacitete in zamud

Za vse kombinacije prometnih obremenitev in razdalje med uvoznim in izvoznim tokom, skupaj jih je 900, je bila simulacija prometa za en krak krožnega križišča izdelana s programskim orodjem PTV VISSIM. Obdelava rezultatov izračunov za metodo PTI ter za Brilonov in Bovyjev model je bila izdelana s programskim orodjem MS Access.

Na sliki 3 so za vse primere prikazane naraščajoče zamude, in sicer glede na rezultate povprečnih zamud iz simulacije, s programskim orodjem VISSIM. Opazi se, da zamude pri simulaciji narastejo čez 350 s, pri čemer vsa vozila ne pridejo skozi krožno križišče, kar pomeni, da je križišče že doseglo stopnjo zasičenosti. Zamude pri metodi PTI veliko počasneje naraščajo in znašajo največ nekaj čez 20 s, pri Bovyjevem in Brilonovem modelu pa ne presežejo 10 s.

Za preveritev zanesljivosti in verodostojnosti metode smo rezultate metode primerjali z rezultati simulacije s programskim orodjem PTV VISSIM.

Primerjava je narejena glede na posamezne zamude, in sicer z naslednjima dvema meriloma:

- statistično analizo vrednosti GEH in
- regresijsko analizo.

GEH je metoda za oceno ustreznosti prometnega modela, ki jo priporoča angleški Department for Transport v svojem priročniku Design Manual for Roads and Bridges (DMRB, 1997). Statistična metoda GEH je empirična formula, ki se je izkazala za koristno pri različnih namenih analize prometa, predvsem analizi prometnih obremenitev.

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \cdot (M - C)^2}{M + C}} \quad (13)$$

Kjer je:

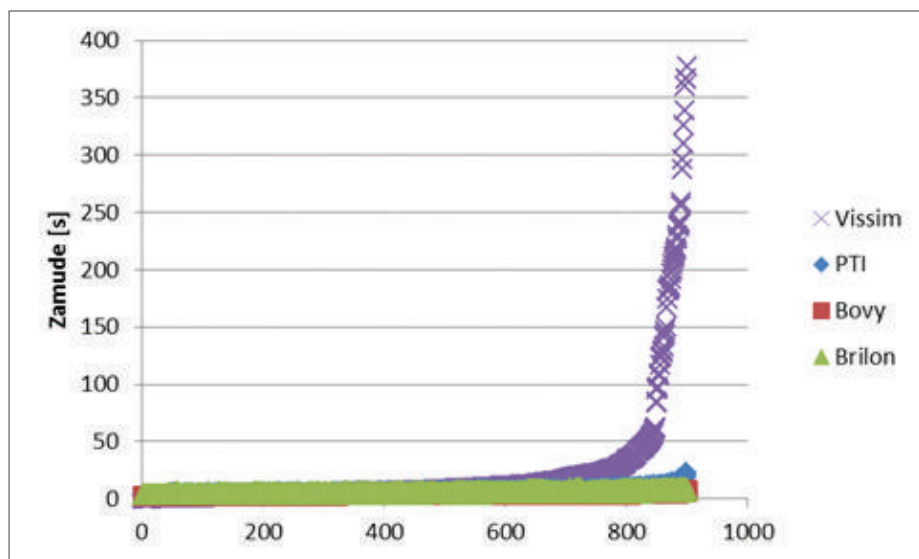
$M$  – prometna obremenitev pri modelu;

$C$  – prometna obremenitev pri šteju prometa.

Po smernicah DMRB je priporočeno, da 85 % posameznih primerov naj ne bi imelo vrednosti GEH večje kot 5.

Prometni tok	(EOV/h)					
$Q_R$	0	100	200	300	400	500
$Q_S$	0	100	200	300	400	500
$Q_E$		100	200	300	400	500

Preglednica 1 • Vrednosti krožnega  $Q_R$ , izvoznega  $Q_S$  in uvoznega  $Q_E$  prometnega toka



Slika 3 • Povprečne zamude na vozilo po velikosti glede na rezultat simulacije s programskim orodjem VISSIM za 900

V obravnavanem primeru se namesto para- metra prometnih obremenitev uporabi para- meter zamude, model predstavlja predlaga- na metoda, štetje prometa pa se nadomesti z zamudami, pridobljenimi s simulacijo pro- meta s programskim orodjem VISSIM.

$M \rightarrow d_{PTI}$  – zamuda pri metodi PTI (s)

$C \rightarrow d_{VISSIM}$  – zamuda pri simulaciji pro- meta s programskim orodjem VISSIM (s)

Rezultat statistične metode GEH je prikazan v preglednici 2. Za primerjavo sta poleg metode PTI dodana tudi Bovyjev in Brilonov model. Vrednost GEH je pri metodi PTI v 38 primerih od 835 večja od 5, kar pomeni, da je v 95,8 % primerov vrednost GEH < 5. Rezultat pri Bovyjevem in Brilonovem modelu je neko- liko slabši od rezultata za metodo PTI, vendar je rezultat še vedno v predpisanih mejah. Na osnovi rezultata statistične metode GEH se ocenjuje, da je metoda PTI ustrezna.

Regresijska analiza je pomembna za opis zveze med eno ali več neodvisnimi spremen- ljivkami in odvisno spremenljivko z ustreznim regresijskim modelom. Koefficient  $R^2$ , s kate- rim se meri povezava, določena z regresijsko premico med neodvisno spremenljivko  $x$  in odvisno spremenljivko  $y$ , se imenuje determi- nacijski koeficient ali koeficient določenosti.  $R^2$  zavzema vrednosti od 0 do 1. V primeru, ko je  $R^2 = 1$ , je napaka modela  $E = 0$ , in je med spremenljivkama  $x$  in  $y$  popolna povezava. Ko pa je  $R^2 = 0$ , takrat med spren- menjivkama ni odvisnosti. V situaciji, ko je  $0 < R^2 < 1$ , sta spremenljivki  $x$  in  $y$  povezani: če je  $R^2$  večji in bližje 1, se izbrana funkcija bolje prilega podatkom, in nasprotno, če je  $R^2$  majhen, se izbrana funkcija ne prilega dobro podatkom in model ni dober za dane podatke (Korenjak, 2010).

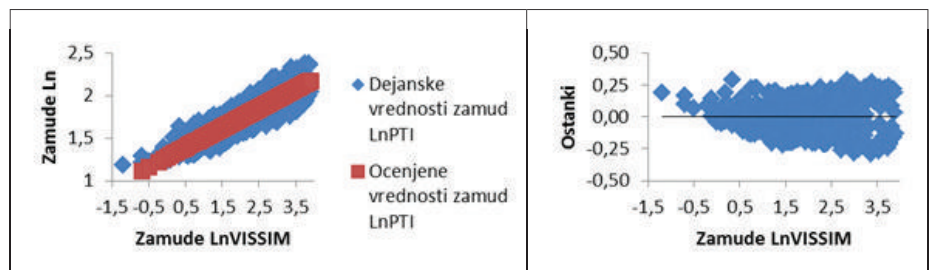
Poleg vrednosti  $R^2$  je pomemben tudi rezultat grafičnega prikaza regresijske funkcije, okrog katere morajo vrednosti variirati s konstantno varianco. Če je model pravilen, so ostanki simetrično razporejeni okrog premice (hori- zontalne črte) s povprečno vrednostjo 0.

Za regresijsko analizo je izbrana potenčna regresijska krivulja, saj je v primeru, ko neka spremenljivka narašča eksponencialno, odnos med spremenljivkama  $x$  in  $y$  v obliki krivulje (Baker, 2008).

Na sliki 4 je prikazan razsevni diagram za logaritmirane zamude metode PTI v odvis- nosti od logaritmiranih zamud VISSIM. Na desnem diagramu so prikazane vrednosti ostankov (residualov) med dejanskimi in

	Število primerov z GEH > 5	Odstotek primerov z GEH < 5	Povprečni GEH
Metoda PTI	38	95,8 %	1,56
Bovyjev model	67	92,6 %	1,94
Brilonov model	50	94,4 %	1,74

Preglednica 2 • Rezultat statistične metode GEH za zamude pri metodi PTI ter Bovyjevem in Brilonovem modelu v primerjavi z rezultati simulacije prometa s programskim orodjem VISSIM



Slika 4 • Razsevni diagram za logaritmirane zamude VISSIM in PTI z vrisano logaritmirano potenčno regresijsko krivuljo (levo) ter diagram ostankov (desno) za metodo PTI

ocenjenimi vrednostmi logaritmiranih zamud. Na levem diagramu je razvidno, da vrednosti variirajo okrog regresijske premice s konstantno varianco, ostanki na desnem dia- gramu pa so simetrično porazdeljeni okrog premice z vrednostjo 0. Glede na grafične re- zultate menimo, da je metoda PTI ustrezna. V preglednici 3 so prikazani povzetki rezultatov regresijske analize (ANOVA) za vse tri primere (metoda PTI ter Bovyjev in Brilonov model). Glede na rezultate menimo, da je regresijski model za metodo PTI ustrezen. Glede na rezultate statistične analize vrednosti GEH in regresijske analize je metoda PTI ustre- na in je primerna za nadaljnjo uporabo.

### 3.5 Analiza rezultatov

V nadaljevanju je v obliki preglednice in dia- grama prikazana analiza rezultatov nekate- rih primerov. Razvidno je, da je kapaciteta, določena z metodo PTI, manjša od kapa- citete, določene z Bovyjevem in Brilonovim modelom. V primeru, ko izvozni prometni tok ( $Q_s$ ) narašča ali ko narašča razdalja od točke  $K_e$  do točke  $K_s$ , ki jo v nadaljevanju poimenujemo  $l_{K_s}$ , se vidi, da so zamude, določene z Brilonovim modelom, ves čas konstantne, medtem ko zamude, določene z drugimi metodami, padajo, kar je po našem mnenju pravilno in ustrezno.

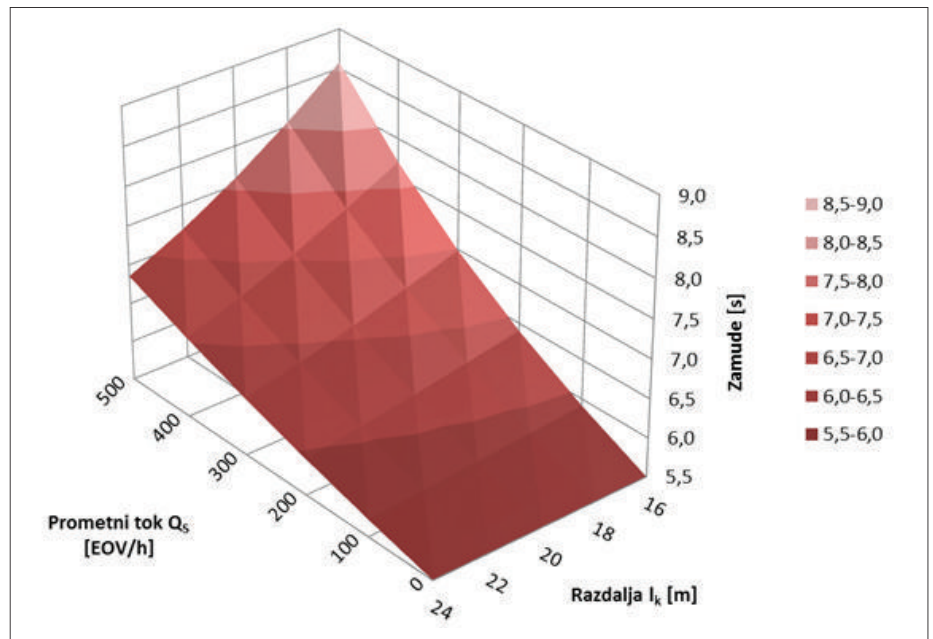
	$R^2$	Standardna napaka	P-vrednost
Metoda PTI	0,747	0,130	0,000
Bovyjev model	0,713	0,106	0,000
Brilonov model	0,523	0,157	0,000

Preglednica 3 • Rezultat regresijske analize za zamude pri metodi PTI ter Bovyjevem in Brilonovem modelu v primerjavi z rezultati simulacije prometa s programskim orodjem VISSIM

Vhodni podatki		Kapaciteta			Zamude			
$Q_s$	$I_k$	PTI	Bovy	Brilon	VISSIM	PTI	Bovy	Brilon
0	16	954	1162	954	6,8	5,5	4,2	5,5
0	18	954	1162	954	6,6	5,5	4,2	5,5
0	20	954	1162	954	6,7	5,5	4,2	5,5
0	22	954	1162	954	6,8	5,5	4,2	5,5
0	24	954	1162	954	6,8	5,5	4,2	5,5
100	16	908	1135	954	9,6	5,9	4,3	5,5
100	18	914	1142	954	9,1	5,9	4,3	5,5
100	20	919	1150	954	9,2	5,8	4,2	5,5
100	22	924	1153	954	9,2	5,8	4,2	5,5
100	24	929	1153	954	8,6	5,7	4,2	5,5
200	16	862	1107	954	11,1	6,4	4,5	5,5
200	18	873	1122	954	10,6	6,3	4,4	5,5
200	20	883	1137	954	11	6,2	4,3	5,5
200	22	894	1144	954	10,8	6,1	4,3	5,5
200	24	903	1144	954	11	6	4,3	5,5
300	16	815	1080	954	17,3	7	4,6	5,5
300	18	831	1102	954	16,7	6,8	4,5	5,5
300	20	847	1124	954	14,1	6,6	4,4	5,5
300	22	863	1136	954	12,1	6,4	4,3	5,5
300	24	878	1136	954	11,6	6,2	4,3	5,5
400	16	767	1053	954	26,1	7,7	4,8	5,5
400	18	789	1082	954	23,7	7,4	4,6	5,5
400	20	811	1112	954	22	7	4,4	5,5
400	22	832	1127	954	21,7	6,8	4,4	5,5
400	24	851	1127	954	20,4	6,5	4,4	5,5
500	16	719	1025	954	123,3	8,6	5	5,5
500	18	746	1062	954	56,1	8,1	4,7	5,5
500	20	774	1099	954	51,6	7,6	4,5	5,5
500	22	800	1118	954	42,5	7,2	4,4	5,5
500	24	825	1118	954	26,4	6,9	4,4	5,5

 Preglednica 4 • Kapaciteta in zamude za konstantne vrednosti  $Q_R = 400$  EO/h in  $Q_E = 300$  EO/h ter variacija  $Q_s$  od 0 do 500 EO/h in  $I_k$  od 16 do 24 m

Na sliki 5, kjer so prikazane zamude za različne vrednosti  $Q_S$  pri metodi PTI v odvisnosti od razdalje  $l_k$ , pri čemer sta  $Q_R$  in  $Q_E$  konstantni vrednosti, se vidi, da se zamude zmanjšujejo s povečevanjem razdalje  $l_k$ . Pri vrednosti  $Q_S = 0$  EO/h pa je zamuda konstantna za vse vrednosti  $l_k$ .



Slika 5 • Diagram zamud pri metodi PTI za različne vrednosti izvoznega toka  $Q_S$  (EOV/h) v odvisnosti od razdalje  $l_k$  pri vrednosti  $Q_R = 400$  EO/h in  $Q_E = 300$  EO/h

#### 4 • SKLEP

Nova oziroma predpostavljena metoda temelji na uporabi modelov sprejemljivih časovnih praznin, pri čemer sta za konfliktni tok upoštevana tako krožni kot izvozni prometni tok. Za model sprejemljivih časovnih praznin je najbolj pogosto uporabljen Brilonov model. Predlagana metoda PTI je preizkušena na enopasovnem krožnem križišču z enopasovnim uvozom in izvozom ter primerjana z uveljavljenima modeloma – z Brilonovim in Bovyjevim modelom. Z enačbo za izračun povprečnih zamud so iz kapacitete določene zamude, ki so primerjane z rezultati mikroskopske simulacije s programskim orodjem VISSIM. Z regresijsko analizo in statistično analizo GEH je ugotovljena primernost predpostavljenega modela v primerjavi z rezultati simulacije prometa. Metoda PTI se glede na rezultate bolj približa rezultatom simulacije prometa s programskim orodjem VISSIM kot pri Brilonovem in Bovyjevem modelu, zato je mogoče trditi, da je metoda PTI nadgradnja Brilonovega modela, ki poleg spremenljivih časovnih praznin upošteva tudi izvozni prometni tok, ki ga Brilonov model ne, in je zato mogoče trditi, da metoda PTI izkazuje bolj realne rezultate kot Brilonov model. Glede na vse predpostavke, ki so upoštevane pri izpeljavi metode PTI ter pri poskusu na primeru, smo ugotovili:

- Ideja za upoštevanje izvoznega toka pri določitvi kapacitete krožnega križišča izhaja iz dejstva, da le del voznikov spoštuje pravilo, da se pri vožnji iz krožnega križišča nakaže svoja namera z desnimi utripalkami. V metodi PTI se vsa vozila obravnavajo enako, in sicer je predpostavljeno, da noben voznik ne nakaže svojega izvoza iz krožnega križišča z utripalkami. Če voznik z utripalkami nakaže svojo pot iz krožnega križišča in je mejna časovna praznina večja od časa, potrebnega za vožnjo od izvozne točke do točke uvoza, potem po metodi PTI na kapaciteto uvoza vpliva tudi to vozilo, ki vozi iz krožnega križišča, čeprav je svojo namero nakazal z utripalkami. V metodi PTI bi bilo torej treba upoštevati delež vozil, ki z utripalkami nakažejo izvoz iz križišča, in teh dejansko ne upoštevati kot konfliktni tok.
  - Osnova za izpeljavo metode PTI je Brilonov model. Poleg uporabljenega Brilonovega modela bi bil lahko uporabljen tudi model HCM.
  - Mejna časovna praznina je porazdeljena z Erlangovo verjetnostno funkcijo s parametrom  $\alpha = 5$ . Namesto Erlangove funkcije bi bila lahko tudi katerakoli druga, na primer negativna eksponentna funkcija ali logaritemska normalna porazdelitev.
- Odločitev za Erlangovo porazdelitveno funkcijo izhaja iz teorije, ki je prikazana v članku *A universal procedure for capacity determination at unsignalized (priority-controlled) intersection* (Wu, 2001). Vrednost parametra  $\alpha$  izhaja iz članka *Useful Estimation Procedures for Critical Gaps* (Brilon, 1997), vendar je lahko tudi drugačna.
- Oblika in velikost krožnega križišča nimata vpliva, saj je dejansko pomembna samo razdalja  $l_k$  med konfliktnima točkama  $K_S-K_E$ . V primeru je preverjenih 5 različnih dolžin krožnega loka od izvozne konfliktna točke do uvozne konfliktna točke, pri čemer je pri hitrosti vozila 25 km/h čas vožnje pri najkrajši razdalji 2,3 s, kar je manj, kot je uporabljen povprečni mejni časovni razmik (3,3 s), pri najdaljši razdalji pa je čas vožnje 3,5 s, kar je več, kot je uporabljen povprečni mejni časovni razmik. Pri upoštevanju drugačne hitrosti vozil v krožnem križišču bi bile tudi vrednosti časa vožnje med konfliktnima točkama drugačne.
  - Simulacija v programskem orodju VISSIM je izvedena pri enakih pogojih, kot so predpostavke pri metodi PTI: velikost in oblika krožnega križišča, Erlangova porazdelitev mejne časovne praznine s parametrom  $\alpha = 5$ , hitrost vozil v krožnem križišču, prometne obremenitve. Če bi bile pri izračunu z metodo PTI drugačne predpostavke, bi bile te upoštevane tudi pri simulaciji s programskim orodjem PTV VISSIM.

## 5 • LITERATURA

- Baker, S. L., Non-Linear Regression. University of South Carolina, The Arnold School of Public Health, Department of Health Services Policy and Management Course Materials, <http://hspm.sph.sc.edu/courses/J716/pdf/716-5%20Non-linear%20regression.pdf>, pridobljeno 15. 1. 2013, 2008.
- Bilon, W., Studies on Roundabouts in Germany: Lessons Learned, Transportation Research Board, 3rd International Roundabout Conference, Carmel, Indiana, 17.–20. 5, 2011. <http://teachamerica.com/RAB11/RAB11Papers/RAB1122Bilon-0097.pdf>, pridobljeno 18. 1. 2012, 2011.
- Bilon, W., König, R., Troutbeck, R., Useful Estimation Procedures for Critical Gaps, 3rd International Symposium on Intersections without Traffic Signals, Portland Oregon, 21.–23. 7. 1997, [http://www.verkehr.bi.ruhr-uni-bochum.de/download/literatur/Portland97\\_Bri\\_trout\\_koen\\_2005\\_11\\_03.pdf](http://www.verkehr.bi.ruhr-uni-bochum.de/download/literatur/Portland97_Bri_trout_koen_2005_11_03.pdf), pridobljeno 22. 5. 2012, 1997.
- DMRB, Design Manual for Roads and Bridges, V: Traffic Appraisal of Road Schemes, knjiga 12, Great Britain, Department for Transport, Highways Agency, 1997.
- HCM, Highway Capacity Manual, V: Unsignalized Intersections, Washington, D.C, Transportation Research Board, National Research Council, 2000.
- Fortuijn, L. G. H., Turbo Roundabouts: Estimation of Capacity, Transportation Research Board, Journal of the Transportation Research Board, 2009.
- Kenjić, Z., Priručnik za planiranje o projektovanje kružnih raskrsnica – rotora. Sarajevo, IPSA Institut Sarajevo, 2009.
- Korenjak, A., Regresijska analiza, diplomsko delo, UM, Maribor, 2010.
- Yperman, I., Immers, B., 2003, Capacity of a turbo-roundabout determined by micro-simulation, Katholieke Universiteit Leuven, Department of Civil Engineering – Transportation Planning and Highway Engineering, <http://www.kuleuven.be/traffic/dwn/P2003D.pdf>, pridobljeno 18. 1. 2012, 2003.
- Wu, N., A universal procedure for capacity determination at unsignalized (priority-controlled) intersections, Transportation research Part B 35, 6, 2001.



**4BUILD**  
managing construction projects

**PROGRAMSKA REŠITEV ZA OBVLADOVANJE  
GRADBENO-INVESTICIJSKIH PROJEKTOV**

WWW.4BUILD.EU