

Usporedba modela kapaciteta različitih teorijskih postavki na primjeru malog gradskog kružnog raskrižja u gradu Mostaru

Danijela Maslač

Sveučilište u Mostaru, Građevinski fakultet, dipl. ing. građ.
danijela.maslac@gf.sum.ba

Dražen Cvitanić

Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, prof. dr. sc.
drazen.cvitanic@gradst.hr

Sažetak: U svijetu postoji veliki broj modela kapaciteta kružnih raskrižja koji su svrstani u tri ključne skupine: empirijski modeli, teoretski modeli i mikroskopski simulacijski modeli. U Bosni i Hercegovini i Republici Hrvatskoj ne postoji pravilnikom propisani model kapaciteta kružnih raskrižja. Teoretski modeli kapaciteta izvedeni su iz teorije prihvaćanja vremenskih praznina. Zbog određenih nedostataka teorije prihvaćanja vremenskih praznina Brilon i Wu uvode novi koncept za analizu kapaciteta nesemaforiziranih raskrižja, pa time i kružnih raskrižja, zasnovan na teoriji konflikata i teoriji repova (*queueing theory*). U ovom radu se analiziraju tri najčešće korištena modela kapaciteta kružnih raskrižja u svijetu (HCM, Akcelik, Brilon-Wu), s različitim teorijskim pozadinama, kako bi se usporedili s direktno mjerenim kapacitetom na terenu u lokalnim uvjetima u Bosni i Hercegovini i time uvidile razlike u rezultatima primjene.

Ključne riječi: kapacitet, kružna raskrižja, direktno mjerenje kapaciteta

Comparison of capacity models of different theoretical settings on the example of a small city roundabout in the City of Mostar

Abstract: Many roundabout capacity models are present in the world and they are classified into three key groups: empirical models, theoretical models, and microscopic simulation models. In Bosnia and Herzegovina and the Republic of Croatia, there is no roundabout capacity model prescribed by a rulebook. Theoretical capacity models are derived from gap acceptance theory. Due to some deficiencies of gap acceptance theory, Brilon and Wu introduce a new concept for analyzing the capacity of unsignalized intersections, and thereby of roundabouts too, based on conflict theory and queueing theory. This paper analyzes three roundabout capacity models most commonly used in the world (HCM, Akcelik, Brilon-Wu), with different theoretical backgrounds, in order to compare them with directly measured capacity in the field in local conditions in Bosnia and Herzegovina and thus to see the differences in application results.

Keywords: capacity, roundabouts, direct capacity measurement

Maslač, D., Cvitanić, D.

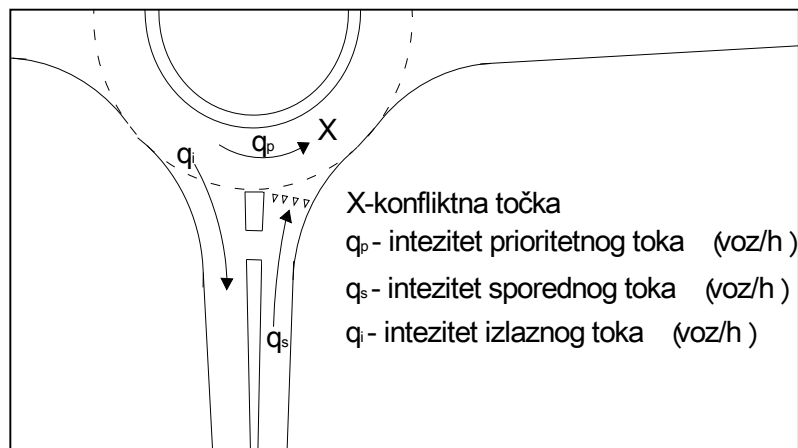
Usporedba modela kapaciteta različitih teorijskih postavki na primjeru malog gradskog kružnog raskrižja u gradu Mostaru

1. UVOD

Kružna raskrižja spadaju u skupinu nesemaforiziranih raskrižja. Vozila koja iz sporednog toka dolaze na ulaz u kružni tok moraju propustiti vozila koja su već u kružnom toku (prioritetnom toku) [1].

Kapacitet kružnog raskrižja se dobije tako da se zbroje kapaciteti svih privoza [2]:

$$c = \sum c_i \quad (1)$$



Slika 1. Određivanje kapaciteta privoza kružnog raskrižja

Kapacitet privoza (c_i) definira se na stop crti, gdje dolazi do interakcije prometnih tokova, te se postiže kada je dostignut kapacitet najsaturiranijeg traka. U funkciji je prometnog opterećenja ulaznog traka (q_s - sporedni tok), kružnog dijela raskrižja (q_p - prioritetni tok) i izlaznog traka (q_i). Prometno opterećenje se utvrđuje brojanjem prometa na postojećem raskrižju ili predviđanjem prometa za nova kružna raskrižja.

Na kapacitet kružnog raskrižja značajno utječe prisustvo pješaka i biciklista te vremenski uvjeti, kao i ponašanje vozača [2].

U svijetu postoji veliki broj modela kapaciteta kružnih raskrižja, koji su svrstani u tri ključne skupine, empirijski modeli (zasnivaju se na mjerenju stvarnog kapaciteta raskrižja u uvjetima zasićenog toka), teoretski modeli izvedeni iz teorije prihvaćanja vremenskih praznina i mikroskopski simulacijski modeli temeljeni na modeliranju ponašanja vozača, kinematike i interakcije vozila [3]. Teorija prihvaćanja vremenskih praznina se koristi za opisivanje prihvaćanja vremenskih praznina između prolazaka vozila u prioritetnom toku od strane vozila iz sporednog privoza, iz čega se izvodi kapacitet nesemaforiziranih raskrižja, pa time i kružnih raskrižja. Parametri modela su uglavnom prilagođeni uvjetima zemlje iz koje potiču i nužno ih je kalibrirati u lokalnim uvjetima.

U Bosni i Hercegovini ne postoji pravilnicima predloženi model kapaciteta za kružna raskrižja, pa projektanti mogu sami birati željeni model.

U ovom radu analiziraju se tri najčešće primjenjivana modela kapaciteta kružnih raskrižja (HCM 2010, Akcelik, Brilon-Wu) te se uspoređuju dobivene vrijednosti s mjerenim

Maslač, D., Cvitanić, D.

Usporedba modela kapaciteta različitih teorijskih postavki na primjeru malog gradskog kružnog raskrižja u gradu Mostaru

kapacitetom u lokalnim uvjetima. Teorijska pozadina odabranih modela se razlikuje, što je detaljnije prikazano u poglavlju 2.

Postoje dvije osnovne metode mjerenja kapaciteta [4]:

- direktni način mjerenja i
- indirektni način mjerenja

Direktni način mjerenja kapaciteta kružnog raskrižja podrazumijeva brojanje prometnog opterećenja ulaznog toka i konfliktnog toka u uvjetima zasićenog toka u 1-2 *minutnim* intervalima. Krivulja kapaciteta privoza u odnosu na konfliktni tok kružnog raskrižja dobije se regresijskom analizom. Direktno mjerenje kapaciteta daje točnije rezultate za promatrano raskrižje.

Indirektni način mjerenja podrazumijeva procjenu kapaciteta određenim teoretskim modelima, ali uz kalibraciju ključnih parametara prometnog toka.

U ovom radu se koristi direktno mjereni kapacitet za testiranje odabranih modela kapaciteta.

2. TEORIJSKA POZADINA ODABRANIH ANALITIČKIH MODELA

2.1 Model HCM 2010 (američki model)

Američki HCM 2010 model kapaciteta jednostranog kružnog raskrižja, definiran izrazom (2.1), uspostavljen je kao eksponencijalni regresijski model na temelju eksperimentalnog istraživanja u SAD-u [5]:

$$c = 1130e^{(-1.0 \times 10^{-3} v_c)} \quad (2)$$

Iz izraza (2) vidljivo je da ovaj oblik modela zahtjeva samo podatke o prometnom opterećenju glavnog (konfliktnog) toka. Zbog mogućnosti prilagodbe lokalnim uvjetima, HCM 2010 generalizira formu izraza kapaciteta uvodeći teoretske parametre modela što rezultira sljedećim izrazom:

$$c = Ae^{(-Bv_c)} \quad (3)$$

gdje je:

$$A = \frac{3600}{t_f}, \quad B = \frac{t_c - \left(\frac{t_f}{2}\right)}{3600}$$

v_c - konfliktni tok (unutar kružnog toka) (voz/h)

t_c - kritična vremenska praznina (s) i t_f - vrijeme slijeda (s)

Dakle, HCM 2010 model se može kalibrirati koristeći samo dva parametra: kritična vremenska praznina t_c i vrijeme slijeda t_f [5].

HCM 2010 model kapaciteta jednostranog kružnog raskrižja ima formu Siegloch M1 modela kapaciteta (iz skupine modela temeljenih na prihvaćanju vremenskih praznina) [6], [7], koji je definiran izrazom:

Maslač, D., Cvitanić, D.

Usporedba modela kapaciteta različitih teorijskih postavki na primjeru malog gradskog kružnog raskrižja u gradu Mostaru

$$c = \frac{e^{-q_p \left(t_c - \frac{t_f}{2} \right)}}{t_f} \quad (4)$$

Pretpostavka je da se vozila kreću željenom brzinom bez međusobne zavisnosti, vozila dolaze po Poissonovoj razdiobi, a razdioba vremenskih praznina glavnog toka je negativna eksponencijalna [7], [8]. U Tablici 1 prikazane su vrijednosti parametara modela.

Tablica 1. Kalibracijski parametri HCM 2010 za SAD [9]

| | t_c - kritična vremenska praznina (s) | t_f - vrijeme slijeda (s) |
|----------------|---|-----------------------------|
| Model HCM 2010 | 5.19 | 3.20 |
| Model HCM 2016 | 4.98 | 2.61 |

2.2 Model Akcelik (australijski model)

Model razvijen u Australiji utemeljen je na teoriji prihvaćanja vremenskih praznina za kružna raskrižja, a u početku je uveden u obliku modela naziva SR45 [10]:

$$c = \frac{\varphi Q_c e^{-\lambda(t_c - \Delta)}}{1 - e^{-\lambda t_f}} \quad (5)$$

Koristeći podatke s 55 kružnih raskrižja u Australiji, razvijene su jednadžbe regresije za kritične praznine (t_c) i vremena slijeda (t_f) glavnih i sporednih tokova [10].

Model SIDRA (Akcelik & Associates Pty Ltd, 2013) predstavlja daljnji razvoj modela SR45. Nastao je koristeći analogiju funkcioniranja semaforiziranih raskrižja [11] i revidirane verzije empirijskih praćenja kretanja te jednadžbi kritičnih vremenskih praznina iz SR45:

$$c = \frac{3600}{\beta} \left(1 - \Delta_c \frac{q_c}{3600} + 0.5 \beta \varphi_c \frac{q_c}{3600} \right) e^{-\lambda(\alpha - \Delta_c)} \quad (6)$$

gdje su:

α - kritična vremenska praznina (s)

β - vrijeme slijeda (s)

Δ_c - minimalna vremenska praznina u glavnom toku (za jednostručna kružna raskrižja $\Delta_c = 2s$)

Osjetljivost na promet i geometrijske parametre rezultirali su složenim modelom, ali svaki dio modela se može razumjeti kroz teoriju prihvaćanja vremenskih praznina.

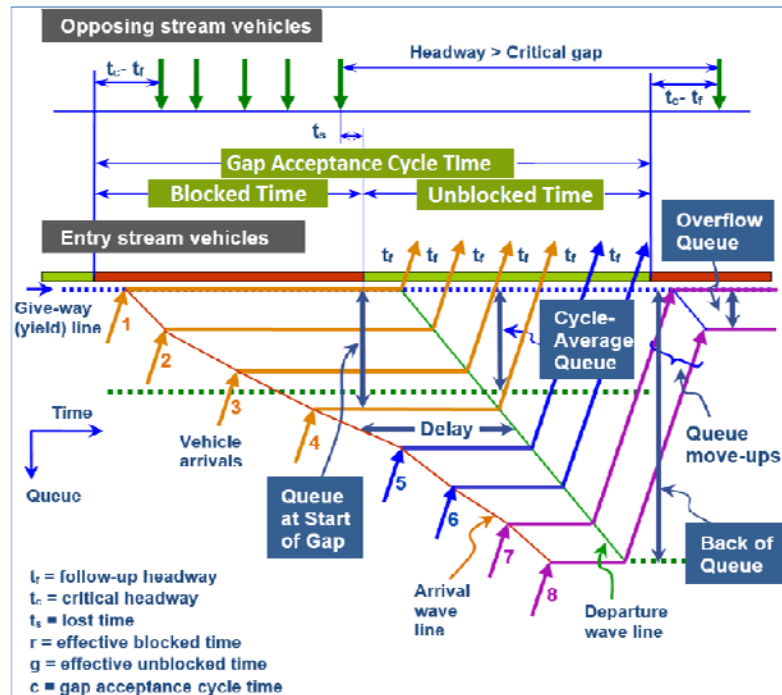
Jednadžba modela se najbolje objašnjava usporedbom kapaciteta privoza kružnog raskrižja s kapacitetom privoza semaforiziranog raskrižja kako je prikazano na Slici 2, [11].

Kapacitet (c) proporcionalan je veličini zasićenog toka (s) i omjeru efektivnog zelenog vremena (g) i duljina ciklusa (C), što rezultira jednadžbom: $c = s (g / C)$.

Za kružna raskrižja, omjer g/C analogan je efektivnom deblokiranom vremenu kada vozila mogu ući u kružni tok.

Maslač, D., Cvitanić, D.

Usporedba modela kapaciteta različitih teorijskih postavki na primjeru malog gradskog kružnog raskrižja u gradu Mostaru



Slika 2. Prikaz analogije semaforiziranog raskrižja za model prihvaćanja vremenskih praznina kružnog raskrižja, [11]

Vremenski ciklus prihvaćanja vremenskih praznina unutar glavnog toka (Gap Acceptance Cycle Time) podijeljen je prema analogiji duljine ciklusa (C) semaforiziranog raskrižja koji se sastoji od efektivnog zelenog (g) i efektivnog crvenog (r) vremena na [11]:

- (t_b) blokirano vrijeme (blocked period); vozila čekaju zbog nedostatka prihvatljive praznine- analogno crvenom vremenu (r)
- (t_u) neblokirano vrijeme (unblocked period); vozila ulaze kad se pojavljuje prihvatljiva praznina - analogno zelenom vremenu (g).

Gdje je:

$$t_b = \frac{e^{\lambda(\alpha - \Delta_m)}}{\varphi_m q_m} - \frac{1}{\lambda} \text{ (sekundi)} \quad (7)$$

$$t_u = \frac{1}{\lambda} \text{ (sekundi)} \quad (8)$$

$$C = t_b + t_u \text{ (sekundi)}$$

odnosno: $C = r + g$ (sekundi)

r, g - efektivno crveno i zeleno vrijeme unutar glavnog toka (sekundi)

Maslač, D., Cvitanić, D.

Usporedba modela kapaciteta različitih teorijskih postavki na primjeru malog gradskog kružnog raskrižja u gradu Mostaru

2.3 Model Brilon-Wu (njemački model)

Teorija prihvaćanja vremenskih praznina koristi se za opisivanje prihvaćanja vremenskih praznina između prolazaka vozila u prioritetnom toku od strane vozila iz sporednog privoza [13], iz čega se izvodi kapacitet nesemaforiziranih raskrižja, pa time i kružnih raskrižja.

Prema Brilon i Wu [12], [13] mogući ključni nedostaci teorije prihvaćanja vremenskih praznina su:

- Određivanje odnosno procjena kritične vremenske praznine je zahtjevna procedura. Procjena t_c -a je izvor nesigurnosti unutar modela kapaciteta temeljenih na prihvaćanju vremenskih praznina.
- Iako je ova metodologija teorijska ona je temeljena na dosta pragmatičnih pojednostavljenja.
- Teorija prihvaćanja vremenskih praznina ne funkcionira stvarno ako se vozači ne pridržavaju pravila, odnosno ako dođe do promjene prioriteta prometnih tokova.
- Teorija u potpunosti gubi primjenjivost kada je riječ o pješacima i biciklistima. Naime za pješake, barem na europskom kontinentu vrijede složena pravila prioriteta, tako da pješaci i biciklisti ponekad imaju prednost, a ponekad ne.

Zbog prethodno navedenih nedostataka teorije prihvaćanja vremenskih praznina, Brilon i Wu [12], opisuju koncept za analizu kapaciteta nesemaforiziranih raskrižja, pa time i kružnih raskrižja, zasnovan na teoriji repova (queuing theory) i teoriji konflikata (conflict theory) Analiziraju se konfliktne točke raskrižja i svaka točka konflikta se može analizirati kroz teoriju repova [12], [13]. Dolazak vozila koja dolaze na prilaz i čekaju ulazak u kružni tok može se modelirati i kao sustav čekanja. Prema konceptu teorije repova vozila su elementi koji čekaju u repu dok ne stignu na prvu poziciju kolone, te tada čekaju na uslugu. Time se ukupno prosječno zakašnjenje vozila sastoji od čekanja u koloni i čekanja na stop crtu raskrižja [8]. Rep je kolona vozila na sporednom privozu, a prva pozicija repa predstavlja stop crtu raskrižja. Pri tome mjera dolaska u sistem predstavlja veličinu prometnog toka, a mjera odlaska iz sistema predstavlja kapacitet sporednog privoza.

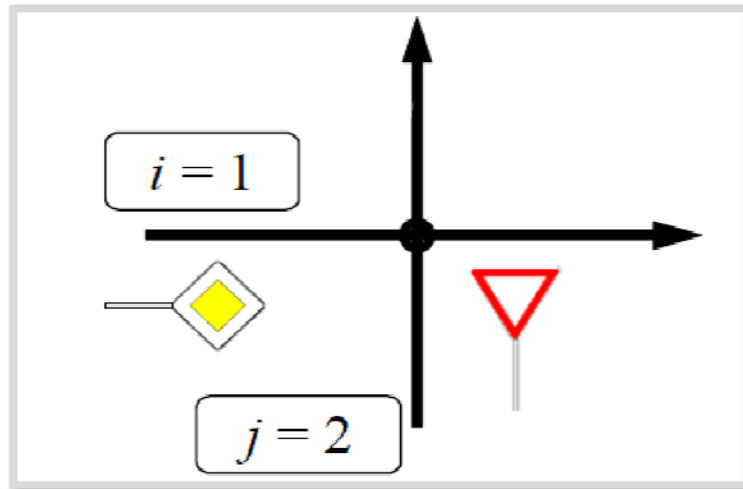
Prema teoriji konflikata koju uvode Brilon i Wu [14], raskrižje se promatra kao sustav gdje se određuje vjerojatnost pojave unaprijed definiranih stanja (pojave repa, kolone, pojedinačnog vozila ili slobodnog prostora) u glavnom toku, a kapacitet sporednog toka onda ovisi isključivo o vjerojatnosti pojave stanja slobodnog prostora (neblokirana vozila sporednog toka).

Najjednostavniji primjer za razumijevanje je konflikt dva toka (glavni i, sporedni j) kao što je prikazano na Slici 3 što odgovara situaciji jednostranog kružnog raskrižja. Pretpostavlja se da je područje konflikta usporedivo sa sistemom repova [13], [14].

Konfliktna točka može biti zauzeta od strane vozila glavnog toka na tri različita načina: zauzeta je ako postoji rep, kolona ili jedno vozilo koje dolazi. Vozilo iz sporednog toka može proći konfliktnu točku ako ona nije zauzeta kolonom ili niti jednim pristiglim vozilom u glavnom toku [12].

Maslač, D., Cvitanić, D.

Usporedba modela kapaciteta različitih teorijskih postavki na primjeru malog gradskog kružnog raskrižja u gradu Mostaru



Slika 3. Sustav s jednim glavnim i jednim sporednim tokom, koji se preslikava na kružno raskrižje [14]

Da bi prošli raskrižje vozila oba toka moraju proći točku konflikta, a ukupno vrijeme na raspolaganju za vozila iz oba toka jeste 3600 sekundi.

$$3600 = q_1 \cdot t_{B,1} + c_2 \cdot t_{B,2} \quad (9)$$

gdje je:

q_1 - prometno opterećenje glavnog toka i (voz/h)

c_2 - kapacitet sporednog toka j (voz/h)

$t_{B,i}$ - vrijeme usluge za tok i (s)

uz uvjet:

$$q_1 \cdot t_{B,1} \leq 3600 \quad (10)$$

Pri tome je kapacitet sporednog toka j :

$$c_2 = \frac{3600 - q_1 \cdot t_{B,1}}{t_{B,2}} = \frac{3600}{t_{B,2}} \cdot \left(1 - \frac{q_1 \cdot t_{B,1}}{3600}\right) = c_{\max,2} \cdot (1 - B_1) = c_{\max,2} \cdot p_{0,1} \quad (11)$$

gdje su:

$$B_1 = \frac{q_i \cdot t_{B,i}}{3600} \quad \text{- okupiranost konfliktnog područja tokom } i$$

$$p_{0,1} = 1 - B_1 \quad \text{- vjerojatnost da konfliktno područje nije zauzeto tokom } i$$

$$c_{\max,j} = \frac{3600}{t_{B,i}} \quad \text{- maksimalni kapacitet u slučaju kad nema konfliktnog toka } i$$

Vozila sporednog toka mogu proći konfliktno područje samo ako nijedno vozilo ne koristi konfliktno područje.

Maslač, D., Cvitanić, D.

Usporedba modela kapaciteta različitih teorijskih postavki na primjeru malog gradskog kružnog raskrižja u gradu Mostaru

Vjerojatnost da je područje konflikta zauzeto vozilom glavnog toka i ovisi o veličini glavnog toka q_i :

$$p(x) = \frac{1}{3600} q_i t_i \quad (12)$$

pri tome je

t_i - vrijeme zauzetosti područja konflikta s vozilom i

$1 - p(x)$ - vjerojatnost da područje konflikta nije zauzeto vozilom glavnog toka i

Za vozilo sporednog toka koje čeka za ulazak u raskrižje, područje konflikta je također blokirano ako se vozilo iz glavnog toka približava području konflikta. Time je vjerojatnost da konfliktno područje nije zauzeto nadolazećim vozilom glavnog toka:

$$p_a(x) = e^{-\left(\frac{1}{3600} q_p t_c\right)} \quad (13)$$

uz pretpostavku da su praznine glavnog toka eksponencijalno distribuirane.

Dakle vozilo sa sporednog toka može ući u raskrižje samo ako su ispunjena oba sljedeća uvjeta:

- ako konfliktno područje nije zauzeto od strane glavnog toka
- ako se nijedno vozilo iz glavnog toka ne približava raskrižju.

Wu je [14] predložio slijedeći model za jednotračna kružna raskrižja:

$$c = \left(1 - \frac{\tau q_c}{3600}\right) \frac{3600}{t_f} \cdot \exp\left(-\left(\frac{q_c}{3600}\right)\left(t_c - \frac{t_f}{2} - \tau\right)\right) \quad (14)$$

gdje je:

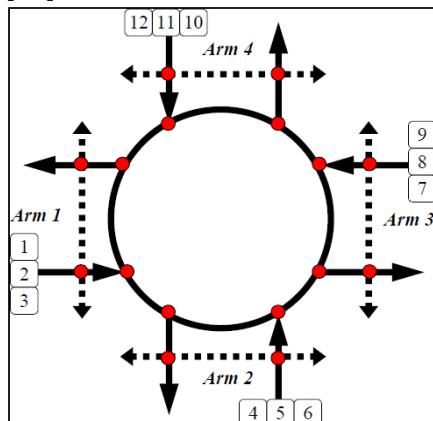
c kapacitet sporednog toka (voz/sat)

τ minimalna vremenska praznina između vozila u kružnom toku (s)

q_c - prometno opterećenje u kružnom toku (voz/sat)

Prednost modela je u primjeni eksponencijalne Cowan M3 distribucije (bunched) koja realnije opisuje vremenske praznine u glavnom toku.

Prema Brilon-Wu modelu kalibracijski parametri nisu fiksni i ovise o geometriji raskrižja. Primjenom teorije konflikata postoji mogućnost analize utjecaja pješaka, što je veoma važno u naseljenim područjima [14], [15].



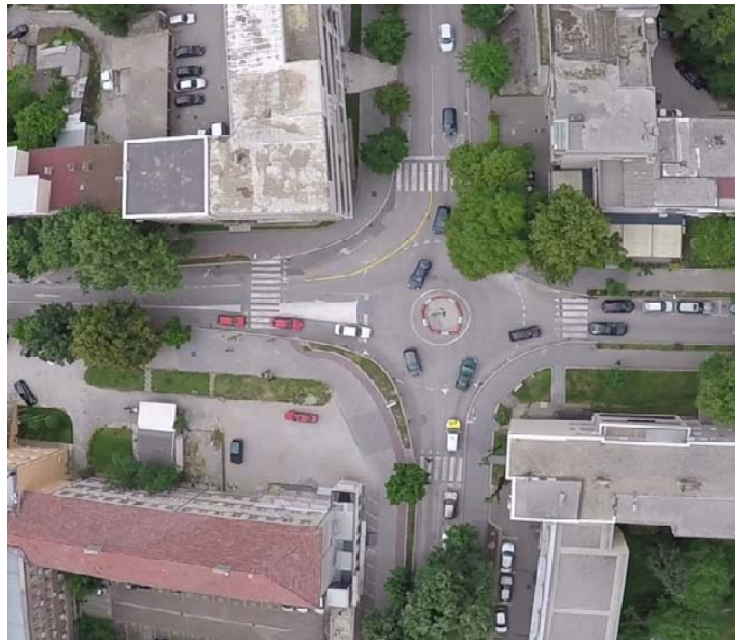
Slika 4. Konfliktne točke na jednotračnom kružnom raskrižju [14]

Maslač, D., Cvitanić, D.

Usporedba modela kapaciteta različitih teorijskih postavki na primjeru malog gradskog kružnog raskrižja u gradu Mostaru

3. PRIMJENA MODELA KAPACITETA U LOKALNIM UVJETIMA (MOSTAR)

U ovom poglavlju daje se prikaz usporedbe rezultata procjene kapaciteta odabranim modelima kalibriranim u lokalnim uvjetima na malom gradskom kružnom raskrižju s direktno mjerenim kapacitetom na terenu. Raskrižje se nalazi u gradu Mostaru, a promjer mu iznosi 22 m.



Slika 5. Predmetno raskrižje, grad Mostar

Na predmetnom raskrižju izvršeno je direktno mjerenje kapaciteta u zasićenim uvjetima brojanjem vozila u jednodominantnim intervalima.

Rezultati direktnog mjerenja kapaciteta privoza predmetnog raskrižja prikazani su raspršnim dijagramom na Slici 6. Eksponecijalna krivulja dobro opisuje mjerene podatke što potvrđuje koeficijent determinacije $R^2 = 0,758$. Jednadžba direktno mjenog kapaciteta glasi:

$$y = 1235,9 \cdot e^{-0,001x},$$

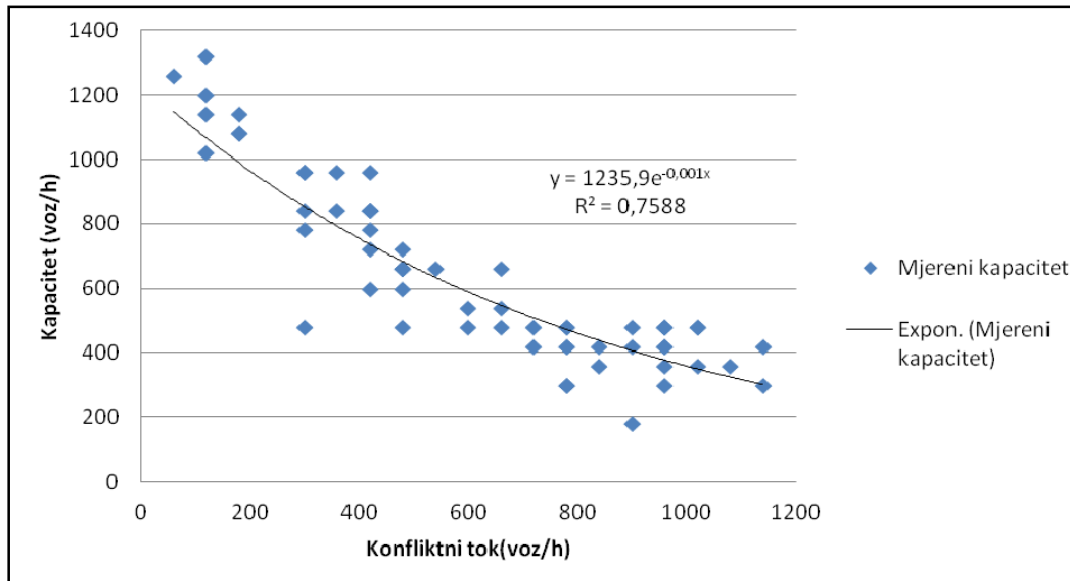
odnosno:

$$c = 1235,9e^{(-0,001q_c)},$$

pri čemu je c -kapacitet (voz/h); q_c -konfliktni tok (voz/h).

Maslač, D., Cvitanić, D.

Usporedba modela kapaciteta različitih teorijskih postavki na primjeru malog gradskog kružnog raskrižja u gradu Mostaru



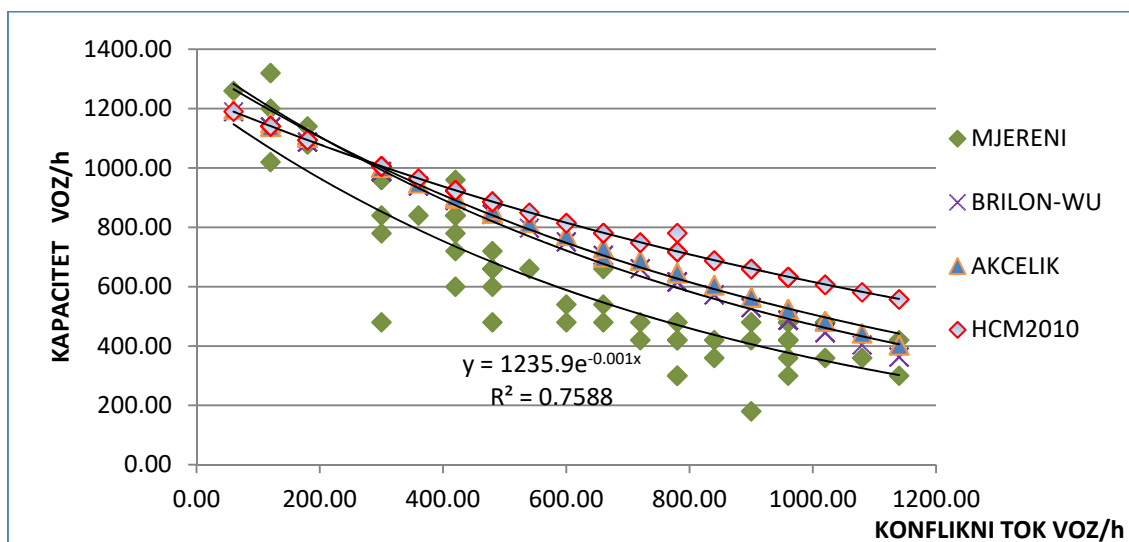
Slika 6. Direktno mjereni kapacitet na predmetnom raskrižju

Izvršena je kalibracija potrebnih parametara za odabrane modele kapaciteta te su dobivene sljedeće vrijednosti [16]:

- kritična vremenska praznina $t_c=4,46$ s (procjena je izvršena Wu metodom)
- vrijeme slijeda $t_f= 2,9$ s (direktno mjereno na terenu).

Nije se određivala vrijednost minimalne vremenske praznine unutar glavnog toka Δ , već je korištena vrijednost $D=2,3$ s, preporučena prema Brilon-Wu modelu te prema Akcelik modelu $D=2$ s.

Za model HCM 2010 (prema izrazu 2), dobivene su vrijednosti parametara: $A= 1241,5$ i $B=0,000861$.



Slika 7. Usporedba odabranih kalibriranih modela (HCM 2010, Akcelik i Brilon-Wu), i direktno mjenog kapaciteta za malo gradsko kružno raskrižje u gradu Mostaru

Maslač, D., Cvitanić, D.

Usporedba modela kapaciteta različitih teorijskih postavki na primjeru malog gradskog kružnog raskrižja u gradu Mostaru

Dobiveni rezultati kalibriranih modela kapaciteta u odnosu na direktno mjereni kapacitet na terenu prikazani su na Slici 7.

S grafikona se uočava najveće odstupanje modela HCM 2010 od direktno mjenenog terenskog kapaciteta. Naime, model HCM 2010 uspostavljen je kao eksponencijalni regresijski model u SAD-uvjetima, te je teško prilagodljiv u uvjetima druge zemlje. Ima formu teorijskog Sieglloch M1 modela.

M1 razdioba vremenskih praznina unutar glavnog toka nema mogućnost opisivanja kolone u glavnom toku, te se stoga posebice ističu velika odstupanja u zoni velikog konfliktnog toka. Može se zaključiti da pouzdanost ovog modela u lokalnim uvjetima itekako ovisi o prometnom opterećenju glavnog i sporednog toka, te da se može prihvatiti u lokalnim uvjetima samo u vrlo maloj zoni raspona opterećenja, konfliktni tok 0-200 voz/h i glavni tok (1000-1200 voz/h).

Odstupanja su znatno manja kod Akcelik modela i Brilon-Wu modela, lakše ih je prilagoditi lokalnim uvjetima. Prednost modela je i u primjeni M3 Cowanove razdiobe koja bolje opisuje vremenske praznine unutar glavnog toka.

S grafikona se uočava da Akcelik model i Brilon-Wu model u analiziranim lokalnim uvjetima nisu osjetljivi na raspon opterećenja, odnosno odstupanja modeliranog i mjenenog kapaciteta su podjednaka u svim rasponima opterećenja.

Dakle s aspekta pouzdanosti modela kriterije bolje zadovoljavaju Akcelik model i Brilon-Wu model.

Za testiranje modela kao mjera ocjene primijenjena je prosječna apsolutna postotna pogreška između modeliranog kapaciteta i direktno mjenenog kapaciteta na terenu, prikazano na sljedećim grafikonima i tablici.

Prosječna apsolutna postotna pogreška računa se prema sljedećem izrazu:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{modelirano} - y_{mjereno}}{y_{mjereno}} \right| * 100$$

Tablica 2. Vrijednosti prosječne apsolutne pogreške modeliranog i mjenenog kapaciteta

| Model kapaciteta | HCM 2010 | BRILON-WU | AKCELIK |
|--|----------|------------------|---------|
| Prosječna apsolutna postotna pogreška (MAPE) | 34,55 | 21,92 | 27,37 |

Prema dobivenim ocjenama u Tablici 2 prednost se daje Brilon-Wu modelu kapaciteta u odnosu na ostala dva odabrana modela. Dobivena su najmanja odstupanja u odnosu na direktno mjereni kapacitet, dakle ovaj model se pokazao kao primjenjiv u analiziranim lokalnim uvjetima.

5. ZAKLJUČAK

S obzirom na veliki broj postojećih modela kapaciteta kružnih raskrižja, nužno je izvršiti testiranje modela s direktno mjenenim kapacitetom u određenim uvjetima, kako bi se analizirala njihova primjena u određenim uvjetima.

U ovom radu je izvršeno testiranje tri odabrana najčešće korištena modela kapaciteta kružnih raskrižja (HCM 2010, Akcelik i Brilon-Wu). Sva tri modela imaju različite teorijske pozadine.

Maslač, D., Cvitanić, D.

Usporedba modela kapaciteta različitih teorijskih postavki na primjeru malog gradskog kružnog raskrižja u gradu Mostaru

Na temelju direktno mjenjenog kapaciteta utvrđeno je da u analiziranim lokalnim uvjetima u Bosni i Hercegovini (malo gradsko kružno raskrižje) najbliže rezultate direktno mjenjenom kapacitetu daje primjena Brilon-Wu modela. Model je pouzdan u odnosu na cjelokupne raspone opterećenja i ima dobru teorijsku pozadinu baziranu na teoriji konflikata i teoriji repova. Uz to, ovaj model daje mogućnost analize pješaka i biciklista što je posebice važno u urbanim sredinama.

LITERATURA

1. Luttinen, T.: Capacity at Unsignalized Intersections, TL Research Report No. 3, 2003.
2. Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama, Rijeka, srpanj 2014.
3. Wu, N.: A universal formula for calculating capacity at roundabouts, Arbeitsblaetter, Institute for traffic Engineering, Ruhr, University Bochum 1997
4. Jonsons T. Mark: Synthesis of roundabout geometric capacity measurement; calibration and validation to US field measurements, 92nd TRB Annual Meeting, 2013.
5. Highway Capacity Manual, Volume 3: Interrupted flow, TRB, Washington, 2010.
6. Troutbeck R., Brilon W.: Theory of traffic flow- Chapter 8, Unsignalized intersection theory, 8.1-8.47, 1997
7. Cvitanić, D.: Modeliranje kapaciteta i razine usluge nesemaforiziranih raskrižja, magistarski rad, 2000.
8. Cvitanic, D., Lozić, I.: Modeli kapaciteta nesemaforiziranih raskrižja, Ceste i mostovi, broj 7-8, str. 167-176, 2002.
9. Akcelik, R.: An Assessment of the Highway Capacity Manual 2010 Roundabout Capacity Model, International Roundabout Conference, Transportation Research Board, Carmel, Indiana, USA, 18-20 May 2011.
10. Akcelik, R.: An Assessment of the Highway Capacity Manual 6 Roundabout Capacity Model, 5th International Roundabout Conference, Transportation Research Board, Wisconsin, USA, 2017.
11. Akcelik, R.: Gap acceptance modeling by traffic signal analogy, Traffic Engineering and Control, 35 (9), pp. 498-506, 1994.
12. Brilon, W., Wu, N.: Capacity at unsignalized intersections derived by conflict technique, Transportation Research Record, No. 1776, p. 82 - 90, 2001
13. Brilon, W., Wu N.: Capacity at unsignalized two-stage priority intersections, Transportation Research Part A, Volume 33, Issues 3-4, Pages 275-289, 1999
14. Wu, N., Brilon W.: Roundabout Capacity Analysis Based on Conflict Technique, Teach Amerika, 2017.
15. Wu, N.: A universal procedure for capacity Determination at unsignalized (priority-controlled) intersections, Transportation Research part B 35, Issue 3, 2001.