



УНИВЕРЗИТЕТ
у НОВОМ САДУ

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАЏМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН О.Д.



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
Departman za saobraćaj

**MODEL PRORAČUNA KAPACITETA ČETVOROKRAKIH
NESTANDARDNIH NESIGNALISANIH RASKRSNICA**

TEHNIČKO REŠENJE

Predloženo tehničko rešenje nastalo je iz istraživanja koja su sprovedena u okviru sledećih projekata:

- Modeli integracije transportnog sistema (evidencijski broj 36024) koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije za period 2011–2015
- Modeli održivog razvoja saobraćaja u Vojvodini koji finansira Pokrajinski sekretar za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine za period 2011–2014

Novi Sad 2015

Radni tim na izradi tehničkog rešenja:

Rukovodilac:

Dr Nenad Ruškić, dipl. inž. saobraćaja
docent, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu

Saradnici:

Dr Vuk Bogdanović, dipl. inž. saobraćaja
vanredni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu

Dr Valentina Basarić, dipl. inž. saobraćaja
docent, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu

Dr Milica Miličić, dipl. inž. saobraćaja
docent, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu

Dr Ilija Tanackov, dipl. inž. saobraćaja
redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu

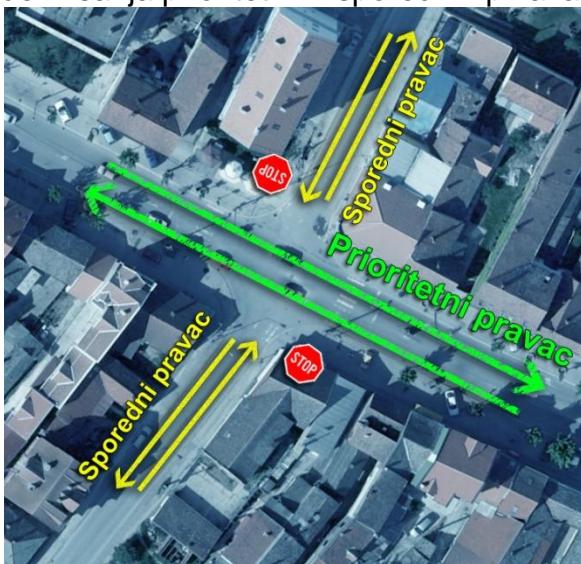
MSc Nemanja Garunović, dipl. inž. saobraćaja
asistent, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu

1. Opis problema

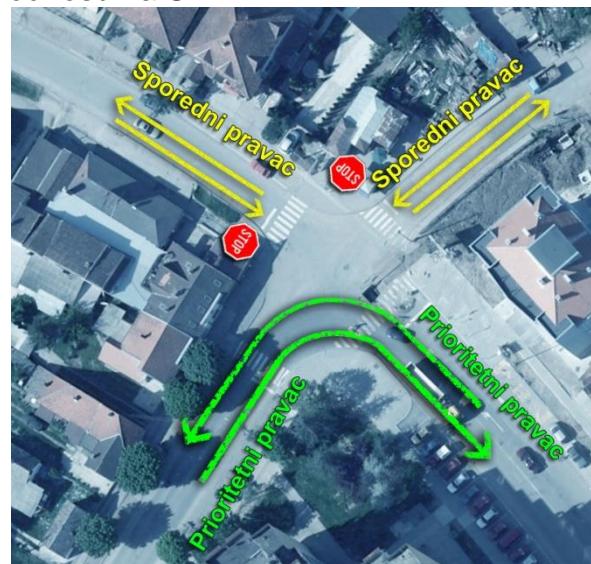
Raskrsnice, kao mesta gde dolazi do presecanja saobraćajnih tokova, sa aspekta kapaciteta i nivoa usluge, predstavljaju potencijalno kritična mesta na putnoj i uličnoj mreži. Najčešći način regulisanja saobraćaja na raskrsnicama je korišćenjem saobraćajnih znakova prioriteta, a raskrsnice sa ovakvim načinom regulisanja saobraćaja nazivaju se prioritetne ili nesignalise raskrsnice. Postupci za proračun kapaciteta ovih raskrsnica pojavili su se u naučnoj i stručnoj literaturi tek 70-tih godina prošlog veka, a praktična primena ovih postupaka počela je tek u 80-tim godinama prošlog veka. Postupci za proračun kapaciteta nesignalisanih raskrsnica zasnovani su na verovatnoći korišćenja slobodnih intervala za prolazak vozila koja vrše sporedne manevre kroz središte raskrsnice. Do sada su u svetu razvijani postupci za proračun kapaciteta standardnih nesignalisanih raskrsnica (SNR), koji se mogu primeniti na standardnim četvorokrakim raskrsnicama. Modeli za proračun drugih tipova nesignalisanih raskrsnica su definisani mnogo kasnije, pa je tek krajem XX veka definisan postupak za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica na kojima je saobraćaj regulisan znacima prioriteta. Postupci za proračun nestandardnih tipova nesignalisanih raskrsnica nisu definisani ni do danas.

Kao nestandardna nesignalisana raskrsnica (NNR) može se definisati svaka nesignalisana raskrsnica kod koje se glavni put ne pruža u pravcu. NNR, slično kao i SNR, mogu biti simetrične ili nesimetrične, ili četvorokrake, mada se u praksi pojavljuju i NNR sa više od četiri prilaza i nepravilne geometrije. NNR sa više od četiri prilaza veoma teško se mogu opisati jedinstveno, s obzirom da je u praksi teško pronaći ove raskrsnice sa istim ili vrlo sličnim geometrijskim karakteristikama. Kako vrednosti parametara saobraćajnog toka zavise i od geometrije raskrsnice, objektivno je teško definisati univerzalnu proceduru za NNR koje imaju više od četiri kraka.

NNR sa tri i četiri prilaza se prilično često javljaju na putnoj i uličnoj mreži, odnosno uvek u situaciji kada put sa prvenstvom prolaza na raskrsnici menja pravac pružanja. Prema tome, NNR se javljaju na putnoj i uličnoj mreži zbog drugačijeg definisanja prioritetnih i sporednih prilaza u odnosu na SNR.



Slika 1. Standardna nesignalisana raskrsnica



Slika 2. Nestandardna nesignalisana raskrsnica

Na slikama 1 i 2 je prikazana standardna četvorokraka simetrična raskrsnica, Za razliku od SNR (slika 1), kod NNR (slika 2), glavni, odnosno prioritetni prilazi se

ne nalaze jedan naspram drugog, već jedan pored drugog. Pružanje prioritetnog puta u skretanju predstavlja i pravac kretanja najintenzivnijih saobraćajnih tokova, tako da nije funkcionalno opravdana promena prioriteta na NNR u cilju njenog pretvaranja u SNR funkcionalno, jer bi se na taj način značajno pogoršali uslovi odvijanja saobraćaja.

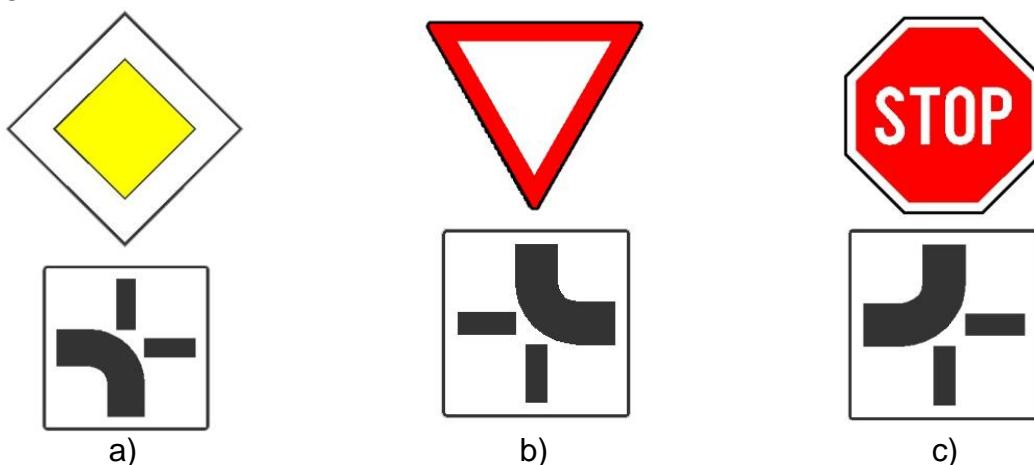
S obzirom na raspored prilaza, regulisanje saobraćaja na NNR, odstupa od klasičnog načina, odnosno načina koji se primenjuje na SNR. Osim potrebe da se na sporednim prilazima postave saobraćajni znaci **II-1 – „Ukrštanje sa putem sa prvenstvom prolaza“** ili **II-2 „Obavezno zaustavljanje – STOP“**, na ovim raskrsnicama je, potrebno označiti i pravac pružanja glavnog putnog pravca. Zbog potrebe da se na NNR saobraćaj reguliše na nedvosmislen način, u mnogim zemljama su u upotrebi posebni saobraćajni znaci koji ukazuju na pravac pružanja prioritetnog putnog pravca. Neki od znakova koji se u Evropskim zemljama često koriste za označavanje pružanja glavnog – prioritetnog puta, prikazani su na slici 3. U našoj zemlji prema Pravilniku o saobraćajnoj signalizaciji ovi znaci spadaju u IV grupu znakova, odnosno dopunskih tabli i nose oznaku IV-23 „*Pružanje puta sa pravom prvenstva*“.

Izgled znakova IV-23 nije potpuno standardizovan zato što izgled simbola zavisi od geometrijskog izgleda raskrsnice i rasporeda prilaza. Naime, u praksi se često javljaju i nesimetrične NNR, koje kao takve zahtevaju jedinstven dizajn simbola. Primer izgleda znaka i simbola za nesimetričnu NNR dat je na slici 3b.



Slika 3. Saobraćajni znakovi koji prikazuju pravac pružanja prioritetnog pravca na nestandardnoj nesignalisanoj raskrsnici (u oznaci IV-23)

Ovakvi znaci kao dopunske table se prema pravilniku za projektovanje puteva postavljaju kako na glavnom, tako i na sporednim prilazima u kombinaciji sa znakom **II-1 – „Ukrštanje sa putem sa prvenstvom prolaza“** ili **II-2 – „Obavezno zaustavljanje – STOP“**.



Slika 4. Način postavljanja znakova III-3, II-1, II-2 i dopunske table IV-23 na prioritetnim i na sporednim prilazima

Primer postavljanja znakova i dopunskih tabli na NNR, dati su na sledećim slikama:



Slika 5. Saobraćajni znakovi i dopunske table za obeležavanje prioritetnog odnosno sporednog prilaza na nestandardnoj nesignalisanoj raskrsnici

Iako je u Pravilniku o saobraćajnoj signalizaciji definisan način regulisanja saobraćaja na NNR raskrsnica, u zakonima i drugim pravilnicima koji se odnose na bezbednost saobraćaja, NNR nisu uopšte tretirane. U našoj zemlji nisu jasno definisana pravila ponašanja vozača na NNR, pa oni često imaju dilemu kako da se ponašaju kada treba da izvrše neki manevr.

Pored toga, u svetu pa i u našoj zemlji, do sada nisu definisani modeli za proračun kapaciteta prilaza za NNR. Proračun kapaciteta NNR je neophodan radi planiranja optimalnog sistema upravljanja saobraćajem na uličnoj mreži. Zbog specifičnog rasporeda prioritetnih prilaza, postupci koji se koriste za proračun kapaciteta na SNR nisu primenljivi na NNR. Pored toga, vrednosti parametara saobraćajnog toka koji figurišu u postupku proračuna kapaciteta, zbog bitno različitih uslova odvijanja saobraćaja imaju različite vrednosti na SNR u odnosu na NNR.

Ovo tehničko rešenje prikazuje model za proračun kapaciteta četvorokrakih simetričnih NNR, koje se veoma često sreću na putnoj i uličnoj mreži.

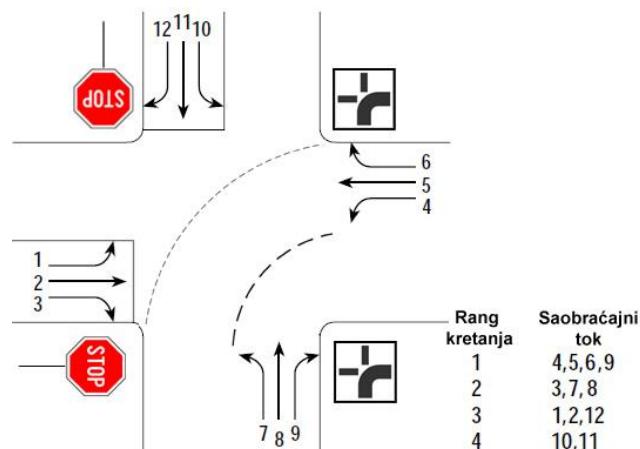
Na osnovu analizirane literature tokom istraživanja vidi se da problem nestandardnih nesignalisanih raskrsnica do sada nije bio prepoznat kako od strane istraživača, tako i od strane renomiranih svetskih institucija, koje se bave problemom kapaciteta putne i ulične mreže..

Članovi radnog tima koji su učestvovali na izradi ovog tehničkog rešenja su u periodu trajanja projekta (2010-2014) objavili ukupno 8 radova koji su za temu imali raskrsnice, kako standardne, tako i nestandardne.

2. Analiza saobraćajnih karakteristika NNR

U dosadašnjoj naučnoj i stručnoj praksi definisani su različiti modeli proračuna kapaciteta za SNR. Zbog različitog rasporeda prioritetnih i sporednih prilaza raspodele rangova kretanja koja se koristi u postupku proračuna kapaciteta SNR u ne odgovara rangovima kretanja koji se javljaju na NNR. Na NNR je u odnsu na SNR drugačija raspodela konfliktnih tokova, karakter i način vršenja sporednih manevara, pa su samim tim i različiti parametri saobraćajnog toka koji se koriste u postupku proračuna kapaciteta.

Glavni i sporedni manevri na svim tipovima NNR sa četiri prilaza mogu se označiti na način koji je prikazan na slici 6. Na četvorokrakoj NNR prikazanoj na slici 6, sporedni prilazi su severni i zapadni, a prioritetni prilazi istočni i južni. Svaka četvorokraka raskrsnica može se pozicionirati na način kako je to prikazano na slici 6, sa prikazanim rasporedom glavnih i sporednih prilaza.



Slika 6. Tokovi i rangovi kretanja na četvorokrakoj NNR

Da bi se definisali sporedni manevri i rangovi kretanja na četvorokrakoj NNR, potrebno je uzeti u obzir specifičnosti konfiguracije prilaza. Na NNR postoji ukupno 8 sporednih manevra koji su svrstani u četiri ranga. Rangiranje je izvršeno na sličan način kao što je to definisano na SNR, s tim što na NNR ima duplo više vrsta manevara u odnosu na SNR.

Da bi se definisali prioriteti manevara, koji nisu raspoređeni kao na SNR, uvedeni su nazivi i oznake „SEVERNI sporedni prilaz“ i „ZAPADNI sporedni prilaz“. Slično kao i kod SNR, navedeni način definisanja prioriteta tokova se može primeniti na svim NNR na sledeći način:

Rang I – Ovom rangu kretanja pripadaju manevar pravo, levo i desno sa istočnog prilaza i desno skretanje sa južnog prilaza (manevri 4,5,6 i 9). Manevri 4 – levo skretanje sa istočnog prilaza i 9 – desno skretanje sa južnog prilaza imaju apsolutni prioritet, jer se vozila koja vrše ovaj manevar kreću prioritetnim prilazima, dok su manevri 5 – pravo sa istočnog prilaza i 6 – desno skretanje sa istočnog prilaza prioritetni u odnosu na tokove 7 – levo skretanje sa južnog prilaza i 8 – pravo sa južnog prilaza, u skladu sa pravilom desne strane.

Rang II – Drugom rangu pripadaju kretanja 3 – desno skretanje sa zapadnog sporednog prilaza, 7 – levo skretanje sa južnog prilaza i 8 – pravo sa južnog prilaza.

Navedena kretanja su u obavezi da propuste sva kretanja prvog ranga, s tim da međusobno nisu u konfliktu, odnosno vozila koja vrše navedene manevre nemaju obavezu da se međusobno propuštaju.

Rang III – Ovom rangu kretanja pripadaju manevri 1 – levo skretanje sa istočnog sporednog prilaza, 2 – kretanje pravo sa istočnog sporednog prilaza i 12 – desno skretanje sa severnog sporednog prilaza. Manevar 12 pripada rangu III jer je u obavezi da propusti sva kretanja ranga I i ranga II, a manevri 1 i 2, koji takođe imaju obavezu da propuste sva kretanja ranga I i II imaju prioritet u odnosu na vozila koja vrše manevar 10 – levo skretanje sa severnog sporednog prilaza i 11 – pravo kretanje sa severnog sporednog prilaza, u skladu sa pravilom desne strane.

Rang IV – Rangu IV pripadaju manevri 10 – skretanje levo sa severnog sporednog prilaza i 11 – kretanje pravo sa severnog sporednog prilaza. Ovi manevri su ujedno i najkompleksniji, jer vozila koja vrše ovaj manevar moraju propustiti sva vozila na raskrsnici. Kako ne postoji konflikt između ova dva manevra, oni pripadaju istom rangu.

S obzirom da je raspored prioritetnih i sporednih prilaza značajno različit na NNR u poređenju sa SNR, može se zaključiti da postupak proračuna konfliktnih tokova koji se koristi za SNR nije moguće koristiti prilikom proračuna kapaciteta NNR.

3. Osnovni pojmovi o kapacitetu nesignalisanih raskrsnica

Proračun kapaciteta standardnih četvorokrakih nesignalisanih TWSC raskrsnica zasnovan je na teoriji verovatnoće, odnosno pretpostavci da će se u prioritetnom toku stvoriti dovoljno intervala u kojima će se izvršiti sporedni manevri.

Interval koji je prethodno naveden u engleskom govornom području naziva se **gap**, ili **headway** i predstavlja dovoljno veliki razmak između vozila u prioritetnom toku koji će omogućiti vozilima sa sporednog prilaza da izvrše manevar.

Postupak koji je pokazao najbolje rezultate u praksi sa najvećom tačnošću za većinu SNR je onaj koji je dat u novijim verzijama HCM-a. Ovaj postupak je zasnovan na Harders-ovom modelu prihvatljivih intervala sleđenja, u kome prema definiciji figuriraju intervali sleđenja koje će vozači priхватiti za izvođenje određenih sporednih manevara i čija vrednost se nalazi između maksimalnih i minimalnih vrednosti koje se mogu izmeriti na terenu, u realnom saobraćajnom toku. Iz tog razloga, za dalje analize i preporuke korišćena je upravo ova procedura.

Intervali koji figuriraju u formuli za proračun kapaciteta su:

- interval sleđenja vozila u sporednom toku;
- kritični interval sleđenja vozila u prioritetnom toku.

Interval sleđenja vozila u sporednom toku (follow-up headway) definiše se kao vreme koje protekne od momenta kada prvo vozilo iz reda čekanja sa sporednog prilaza pređe zaustavnu liniju i uđe u središte raskrsnice, do momenta kada sledeće vozilo pristigne i zaustavi se na zaustavnoj liniji. Prema tome, vreme sleđenja u sporednom toku predstavlja period između dva uzastopna ulaska vozila u središte raskrsnice iz reda čekanja, a sastoji se od:

- vremena kretanja u redu čekanja i zauzimanja čeone pozicije;

- vremena osmatranja saobraćajne situacije i donošenja odluke od strane vozača o nastavku kretanja kroz središte raskrsnice.

Ovaj parametar obeležava se sa t_f i njegova veličina značajno utiče na kapacitet nesignalisanih raskrsnica. Što je sporedni manevar komplikovaniji, to je vreme osmatranja i donošenja odluke od strane vozača duže, pa je i vremenski interval sleđenja veći.

Kritični interval sleđenja vozila u prioritetnom toku (critical headway) je minimalno potrebna veličina intervala sleđenja u glavnom toku koja omogućava jednom vozilu iz sporednog toka prolazak kroz središte raskrsnice. Vozači koji svojim vozilima vrše sporedni manevar (npr. skreću levo sa sporednog prilaza na kome je postavljen saobraćajni znak II-2 „Obavezno zaustavljanje – STOP“) koriste svaki interval sleđenja koji je jednak ili veći od kritičnog da bi izvršili prolazak kroz središte raskrsnice. Kritični interval sleđenja obeležava se sa t_c . Na temu veličine kritičnog intervala objavljen je veliki broj naučnih u kojima je utvrđeno da on zavisi od mnogih faktora, kao što su vrsta i karakter sporednog manevra, veličina toka na glavnom prilazu, broj saobraćajnih traka, uzdužni nagib, dozvoljena brzina kretanja u prioritetnom toku, itd.

Prema Harders-ovom obrascu, potencijalni kapacitet svakog sporednog manevra računa se prema sledećoj relaciji:

$$C_{p,x} = V_{c,x} \cdot \frac{e^{-V_{c,x} \cdot t_{c,x}/3600}}{1 - e^{-V_{c,x} \cdot t_{f,x}/3600}} \quad (1)$$

Gde su:

- | | |
|-----------|---|
| $C_{p,x}$ | – potencijalni kapacitet sporednog manevra x (voz/h); |
| $V_{c,x}$ | – konfliktni tok za sporedni manevar x (voz/h); |
| $t_{c,x}$ | – kritični interval sleđenja za sporedni manevar x (s); |
| $t_{f,x}$ | – interval sleđenja na sporednom pravcu za manevar x (s). |

Osim konfliktnog toka, ulazni parametri za proračun kapaciteta su kritični interval sleđenja vozila u glavnom toku – **critical headway** ($t_{c,x}$) i interval sleđenja vozila u sporednom toku – **follow-up headway** ($t_{f,x}$), Kritični interval sleđenja ($t_{c,x}$) računa se prema sledećem izrazu:

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HV} \cdot PHV + t_{c,G} - t_{c,T} - t_{3,,LT} \quad (2)$$

Gde su:

- | | |
|--------------|--|
| $t_{c,x}$ | – kritični interval sleđenja za manevar x , |
| $t_{c,base}$ | – bazni kritični interval sleđenja, |
| $t_{c,HV}$ | – faktor prilazođavanja za teretna vozila (1,0 s ukoliko je glavni prilaz dvotračni i 2,0 s ukoliko je glavni prilaz četvorotračni), |
| PHV | – procenat teretnih vozila u sporednom toku, |
| G | – procenat nagiba u absolutnoj vrednosti, |
| $t_{c,G}$ | – faktor prilagođavanja za nagib na sporednom prilazu (0,1 s za skretanje desno sa sporednog prilaza – tok 9 i 0,2 s za kretanje pravo i skretanje levo sa sporednog prilaza), |

$t_{c,T}$ – faktor prilagođavanja za dvofazno izvođenje sporednog manevra (1,0 za svaku od dve faze; 0,0 ukoliko se sporedni manevr izvodi u jednoj fazi),
 $t_{3,LT}$ – faktor prilagođavanja geometriji raskrsnice (0,7 s za levo skretanje sa sporednog prilaza na trokrakoj raskrsnici; 0,0 s u ostalim slučajevima).

Interval sleđenja vozila u sporednom toku ($t_{f,x}$) računa se prema izrazu:

$$t_{f,x} = t_{f,base} + t_{f,HV} \cdot PHV \quad (3)$$

Gde su:

- $t_{f,x}$ - interval sleđenja vozila u sporednom toku za manevar **x**,
- $t_{f,base}$ - bazni interval sleđenja vozila u sporednom toku,
- $t_{f,HV}$ - faktor prilagođavanja za teretna vozila (0,9 s ukoliko je glavni prilaz dvotračni i 1,0 s ukoliko je glavni prilaz četvorotračni).

Bazne vrednosti kritičnog intervala sleđenja ($t_{c,x}$) i intervala sleđenja ($t_{f,x}$), date su u sledećoj tabeli.

Tabela 1. Bazne vrednosti kritičnog intervala sleđenja i intervala sleđenja na standardnoj TWSC raskrsnici

Manevr	Bazni kritični interval sleđenja $t_{c,base}$ (s)		Bazni interval sleđenja $t_{f,base}$ (s)
	Dvotračni glavni pravac	Četvorotračni glavni pravac	
Levo skretanje sa glavnog prilaza	4,1	4,1	2,2
Desno skretanje sa sporednog prilaza	6,2	6,9	3,3
Pravo kretanje sa sporednog prilaza	6,5	6,5	4,0
Levo skretanje sa sporednog prilaza	7,1	7,5	3,5

Nakon proračuna potencijalnog kapaciteta sporednih manevara, standardnim postupkom koji je zasnovan na teoriji verovatnoće, proračunavaju se vrednosti praktičnog kapaciteta svakog sporednog manevra, a nakon toga i kapaciteta prilaza.

Ovakav način definisanja tokova, konflikta i proračun kapaciteta, karakterističan je za sve četvorokrake NNR koje se mogu okarakterisati kao standardne, odnosno kod kojih se prioritetni prilazi nalaze približno jedan naspram drugog.

4. Model za proračun kapaciteta NNR

S obzirom da su NNR podgrupa nesignalisanih TWSC raskrsnica, kao osnova za proračun njihovog kapaciteta je usvojen model prihvatljivih intervala sleđenja i Harders-ov obrazac za proračun kapaciteta u kome figurišu vrednosti konfliktog toka (V_c), kritičnog intervala sleđenja (t_c) i intervala praćenja vozila (t_f). Ovaj model je

usvojen iz razloga sličnog načina odvijanja saobraćaja na SNR i NNR koji se zasniva na strogo definisanoj hijerarhiji u prioritetu prolaska kroz središte raskrsnice, istog broja rangova-prioriteta kretanja i drugih zajedničkih osobina ova dva tipa raskrsnica.

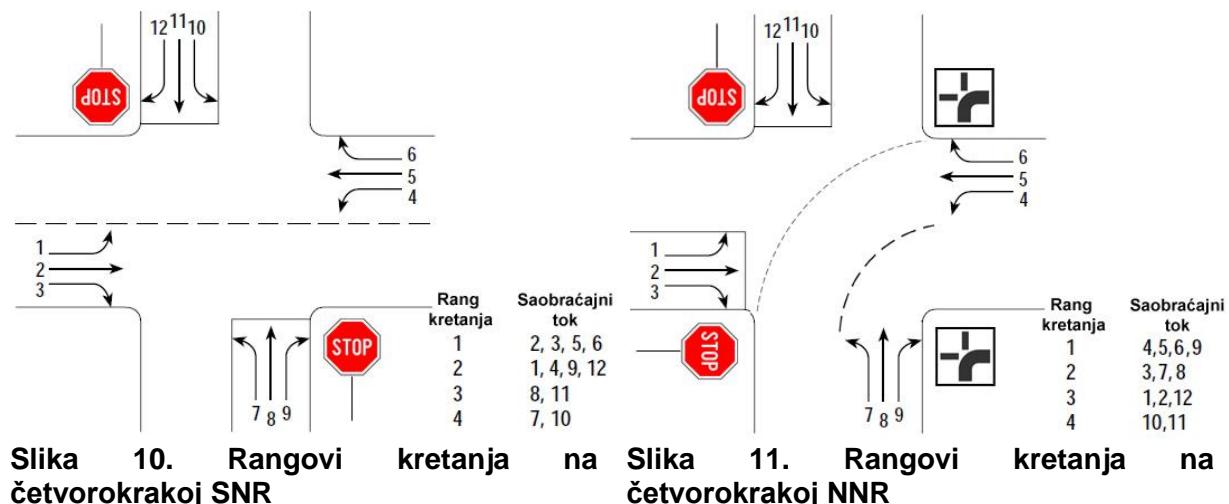
Veličina kritičnog intervala sleđenja je u nekim ranijim istraživanjima utvrđivana sa jedne strane teoretski – matematičkim modelima i praktično – merenjem na terenu i ove vrednosti su date kroz modele prihvatljivih intervala sleđenja (eng. – *Gap Acceptance Models*). Preporučene vrednosti za SNR su date kako u HCM-u, tako i u drugim priručnicima za proračun kapaciteta nesignalisanih ukrštanja. Ipak, svi ovi priručnici predlažu lokalna merenja i posebne analize, jer se kritični intervali mogu razlikovati od raskrsnice do raskrsnice (npr. zbog njihove geometrije) ili od države do države (razlika u propisima, u obuci vozača i slično).

Ovakvi zaključci i preporuke su posebno značajni za analizu kritičnih intervala sleđenja na NNR, jer se njihovi kritični intervali ne mogu poistovetiti sa intervalima na SNR.

4.1. Utvrđivanje vrednosti konfliktnih tokova

Način utvrđivanja konfliktnih tokova na NNR zasnovan je na hijerarhiji prioriteta prolaska kroz središte raskrsnice, odnosno na principu da su svi manevri nižeg ranga u obavezi da ustupe prvenstvo prolaza manevrima viših rangova (manevri ranga II moraju se podrediti manevrima ranga I, manevri ranga III manevrima ranga I i II, a ranga IV, svim višim rangovima, odnosno manevrima ranga I, II i III).

Originalnost tehničkog rešenja može se sagledati na uporednom prikazu rangoa na SNR (slika 10) u odnosu na NNR (slika 11). Naime, na NNR prioriteti i sporedni prilazi su drugačije raspoređeni u odnosu na SNR, tako da se nalaze jedan pored drugog, umesto jedan naspram drugog.



Poređenjem slike 10 i 11 mogu se videti sve razlike u prioritetu tokova i rangovima kretanja, odnosno da su pojedini prioritetni manevri na SNR (manevri 2 i 3), sporedni manevri na NNR. Isto tako, manevar 9, koji je na SNR sporedan, na NNR ima absolutni prioritet.

Iz tog razloga konfliktni tokovi definisani HCM-om za SNR se ne mogu koristiti za analizu na NNR, pa je za analizu na NNR potrebno definisati nov način utvrđivanja konfliktnih tokova.

Na osnovu definisanih rangova kretanja, utvrđeni su i konfliktni tokovi za svaki manevar na četvorokrakim NNR.

Prema utvrđenim procedurama, vremenski gubici i nivo usluge za kretanja I ranga se ne računaju, jer ovi manevri nemaju konfliktne tokove.

Konfliktni tokovi za manevre ranga II:

$$V_{c,3} = V_4^{(a)} \quad (4)$$

$$V_{c,7} = V_4 + V_5 \quad (5)$$

$$V_{c,8} = V_4 + V_5 + V_6 \quad (6)$$

Konfliktni tokovi za manevre ranga III:

$$V_{c,1} = V_5 + V_6^{(a)} + V_7 + V_8 \quad (7)$$

$$V_{c,2} = V_4 + V_7 + V_8 + V_9^{(a)} \quad (8)$$

$$V_{c,12} = V_5 + \frac{1}{2} \cdot V_6^{(b)} + V_7 \quad (9)$$

Konfliktni tokovi za manevre IV:

$$V_{c,10} = V_1 + V_2 + \frac{1}{2} V_3^{(b)} + V_4 + V_5 + \frac{1}{2} V_6^{(b)} + V_8 + V_9^{(a)} \quad (10)$$

$$V_{c,11} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + \frac{1}{2} V_6^{(b)} + V_7 \quad (11)$$

^(a) Ukoliko na izlivnom grlu postoje dve ili više saobraćajnih traka, ovi tokovi se mogu isključiti iz proračuna. Naime, ukoliko neko kretanje na izlivnom grlu ima svoju saobraćajnu traku, u tom slučaju ono nije u konfliktu sa sporednim manevrom.

* Na primer, vozila koja vrše manevar 3 (desno skretanje sa zapadnog sporednog prilaza) su u obavezi da propuste sva vozila koja vrše manevar 4 (levo skretanje sa istočnog prioritetnog prilaza). Ukoliko na izlivnom grlu (južni prilaz) postoji dve saobraćajne trake, vozila koja vrše manevar 4 će se uključiti u svoju saobraćajnu traku, a vozila koja vrše manevar 3 u svoju traku. Iz tog razloga se za proračun konfliktog toka za manevar 3, tok 4 može isključiti iz proračuna. Isti princip se može primeniti za proračun konfliktog toka za manevar 2 i 10.

^(b) Ukoliko na ulivnom grlu postoji odvojena traka za desno skretanje, ovi tokovi se mogu isključiti iz proračuna.

* Vozila koja vrše manevre 12 (desno skretanje sa severnog sporednog prilaza), 11 (pravo kretanje sa severnog sporednog prilaza) i 10 (levo skretanje sa severnog sporednog prilaza) nisu u obavezi da propuste vozila koja u kretanjima višeg ranga skreću desno (3 – desno skretanje sa zapadnog sporednog prilaza i 6 – desno skretanje sa istočnog prioritetnog prilaza). Međutim, s obzirom da ova vozila prilikom desnog skretanja ne uključe uvek pokazivač pravca, ili zbog reda čekanja vozači koji vrše sporedni manevar ne mogu videti pokazivač pravca, oni su često u dilemi da li se to vozilo kreće pravo ili desno. Istraživanjem je utvrđeno da vozači koji vrše sporedni manevar zbog ovih situacija ne koriste sve raspoložive intervale sleđenja u prioritetnom toku, odnosno da i navedena desna skretanja stvaraju određeni broj konflikti koji utiču na veličinu konfliktog toka. Zbog toga se vrednosti u proračunu konfliktih tokova za manevre 10,11 i 12 uzimaju u obzir, ali sa umanjenom vrednošću, odnosno njihova polovina ($\frac{1}{2} V_3$ i $\frac{1}{2} V_6$). Sa druge strane, ukoliko za ove manevre postoji izdvojena traka za desno, vozači koji izvode sporedni manevar (10,11 ili 12) nemaju dilemu da li se ova vozila kreću pravo ili desno, pa se ovi tokovi mogu isključiti iz proračuna.

NAPOMENA: Ukoliko je raskrsnica drugačije geometrije i namene traka od primera koji je dat na slici 11, moguće je neke tokove isključiti iz proračuna.

4.2. Proračun vrednosti potencijalnog i merodavnog kapaciteta

S obzirom da NNR predstavljaju podgrupu nesignalisanih TWSC raskrsnica, za proračun kapaciteta se može upotrebiti *Harders-ov* obrazac koji je prethodno dat u okviru tačke 2.

$$C_{p,x} = V_{c,x} \cdot \frac{e^{-V_{c,x} \cdot t_{c,x}/3600}}{1 - e^{-V_{c,x} \cdot t_{f,x}/3600}} \quad (12)$$

U okviru ovog obrasca figuriraju tri vrednosti, i to: konfliktni tok - $V_{c,x}$, interval sleđenja - $t_{f,x}$, i kritični interval sleđenja $t_{c,x}$. Uvrštavanjem ovih vrednosti u izraz 12(12), dobijaju se vrednosti potencijalnog kapaciteta svakog pojedinačnog manevra.

4.3. Određivanje vremenskih gubitaka i nivoa usluge

Kao i kod SNR, i kod NNR, vremenski gubici se računaju prema definisanim formulama za proračun vremenskih gubitaka, koje su date u HCM-u.

- *Vremenski gubici pojedinačnog manevra X*

$$d_x = \frac{3600}{C_{m,x}} + 900 \cdot T \cdot \left[\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{V_x}{C_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,x}} \right) \left(\frac{V_x}{C_{m,x}} \right)}{450 \cdot T}} \right] + 5 \quad (13)$$

Gde su:

X – oznaka sporednog manevra;

V_x – veličina toka \mathbf{X} ;

$C_{m,x}$ – merodavni kapacitet za tok \mathbf{X} ;

T – vremenski interval za koji se posmatraju vremenski gubici ($T=1$ za satni interval odnosno 0,25 za 15-minutni interval).

- Vremenski gubici sporednog prilaza:

$$d_{pr} = \frac{V_l \cdot d_l + V_p \cdot d_p + V_d \cdot d_d}{V_l + V_p + V_d} \quad (14)$$

Gde su:

d_{pr} – vremenski gubici na prilazu;

V_l – intenzitet toka koji se kreće levo;

V_p – intenzitet toka koji se kreće pravo;

V_d – intenzitet toka koji se kreće desno;

d_l – vremenski gubici za levo skretanje;

d_p – vremenski gubici za kretanje pravo;

d_d – vremenski gubici za desno skretanje.

- Kapacitet zajedničke trake:

Ukoliko tokovi na sporednom prilazu dele traku, kapacitet se, prema preporukama, računa na sledeći način:

$$C_{SH-l,p,d} = \frac{V_l + V_p + V_d}{\frac{V_l}{C_{m,l}} + \frac{V_p}{C_{m,p}} + \frac{V_d}{C_{m,d}}} \quad (15)$$

* Napomena - sve vrednosti koje se koriste u izrazu su prethodno definisane.

Nivo usluge se određuje na osnovu vremenskih gubitaka, koji su klasifikovani u 6 osnovnih grupa, od A do F, što je prikazano u sledećoj tabeli.

Tabela 2. Kriterijum nivoa usluge nesignalisanih raskrsnica.

Nivo usluge	Prosečni vremenski gubici (s/voz)
A	0 – 10
B	> 10 – 15
C	> 15 – 25
D	> 25 – 35
E	> 35 – 50
F	> 50

5. Zaključak

Za potrebe izrade tehničkog rešenja NNR su analizirane kao posebna kategorija nesignalisanih raskrsnica sa jednim ili dva sporedna prilaza, sa ciljem da se uspostavi model proračuna njihovog kapaciteta i metod utvrđivanja kvaliteta odvijanja saobraćaja na njima.

Analizom dosadašnjih referenci koje su vezane za nesignalisane raskrsnice, utvrđeno je da su istraživanja koja se odnose na postupak proračuna kapaciteta NNR u svetu veoma retka.

Činenica da četvorokrake NNR na putnoj i uličnoj mreži postoje u gotovo svim zemaljama Evrope u značajnom broju, nameće potrebu za proračunom kapacitivnih sposobnosti raskrsnica. Dosadašnji modeli nisu definisani u skladu sa karakteristikama NNR i prioritetom i rangom kretanja na ovim raskrsnicama koji je definisan saobraćajnim znacima prioriteta koji su za ove raskrsnice posebno dizajnirani. Iz tog razloga nije moguće izvršiti analizu nivoa usluge na ovim raskrsnicama i uporediti ih ravnopravno sa drugim tipovima raskrsnica. Dosadašnja istraživanja pokazala su da u pojedinim slučajevima NNR imaju bolji nivo usluge u odnosu na sva druga moguća rešenja.

U okviru ovog tehičkog rešenja definisana je kompletna procedura za proračun kapaciteta i nivoa usluge četvorokrakih NNR koji obuhvata i postupak proračuna konfliktnih tokova.

6. Literatura

- Bogdanović, V., Ruškić, N., Ivanović, B., & Dragić, D. (2013). Uslovi odvijanja saobraćaja na nestandardnoj nesignalisanoj raskrsnici. *Mobilnost i sigurnost cestovnog prometa* (str. 20-30). Travnik: Internacionani Univerzitet Travnik.
- Bogdanović, V., Ruškić, N., Kulović, M., & Han, L. D. (2013). Toward a Capacity Analysis Procedure for Nonstandard TWSC Intersections. *TRB Annual Meeting* (str. 1-17). Washington D.C. USA: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Bogdanović, V., Ruškić, N., Papić, Z., & Saulić, N. (2013). Analiza prioriteta kretanja vozila na nestandardnoj nesignalisanoj raskrsnici. *Savetovanje na temu saobraćajne nezgode* (str. 119-128). Zlatibor: Agencija Expert.
- Brilon, W., Koenig, R., & Troutbeck, R. J. (1999). Useful estimation procedures for critical gaps. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33, 161-186.
- Đorđević, T., & Bogdanović, V. (2002). *Kapacitet putnih i uličnih ukrštanja prioritetne raskrsnice (novi koncept) – monografija*. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- Gattis, J., & Low, S. T. (1999, May/June). Gap Acceptance at Atypical Stop-Controlled Intersections. *Journal of Transportation Engineering*, 201-207.
- Harders, J. (1968). *Die Leistungsfähigkeit nicht signalregelter städtischer Verkshsrsknoten [Capacity of unsignalized urban intersections]*. Bonn: Bundesminister für Verkehr.
- Highway Capacity Manual - Chapter 17 - Unsignalized Intersections*. (2000). Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Highway Capacity Manual - Chapter 19 - Two-Way Stop-Controlled Intersections*. (December 2010). Washington D.C: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Highway Capacity Manual*. (1965). Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Highway Capacity Manual*. (1985). Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Highway Capacity Manual*. (1994). Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- MUTCD. (2009). *Manual On Uniform Traffic Control Devices For Streets And Highways*. Washington D.C.: U. S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
- Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji. (2010). Beograd, Srbija: Ministarstvo Infrastrukture.
- Ruškić, N. Model proračuna kapaciteta nestandardnih nesignalisanih raskrsnica – doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2013.
- Siegloch, W. (1973). Die leistungsermittlung an knotenpunkten ohne lichtsignalanlagen (Capacity calculations at unsignalized intersections). *Series Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*



Наш број: _____
Ваш број: _____
Датум: 2015-11-26

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 3. редовној седници одржаној дана 28.10.2015. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 13.3.6: У циљу верификације новог техничког решења предлажу се рецензенти:

- Др Гордан Стојић, ванред. проф, ФТН
- Др Драженко Главић, доцент, Саобраћајни факултет Београд

МОДЕЛ ПРОРАЧУНА КАПАЦИТЕТА ЧЕТВОРОКРАКИХ НЕСТАНДАРДНИХ НЕСИГНАЛИСАНИХ РАСКРСНИЦА

Автори: Ненад Рушчић, Вук Богдановић, Валентина Басарић, Милица Миличић,
Илија Танацков, Немања Гаруновић.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан

Проф. др Раде Дорословачки

Na osnovu uvida u tekst tehničkog rešenja pod nazivom:

MODEL PRORAČUNA KAPACITETA ČETVOROKRAKIH NESTANDARDNIH NESIGNALISANIH RASKRSNICA

koje su uradili saradnici Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu (rukovodilac predloženog tehničkog rešenja je dr Nenad Ruškić, docent), a koje je nastalo na osnovu istraživanja obavljenih u okviru projekta **Modeli integracije transportnog sistema** kojeg finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije za period 2011 – 2015. godine (evidencijski broj 36024) i projekta **Modeli održivog razvoja saobraćaja u Vojvodini** kojeg finansira Pokrajinski sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine za period 2011 – 2014. godine. Na osnovu uvida u tehničko rešenje sledi

RECENZIJA

U prvom poglavlju **Opis problema** autori su definisali pojam **nestandardnih nesignalisanih raskrsnica (NNR)** i najvažnije karakteristike četvorokrakih NNR, kao i način regulisanja saobraćaja i distribucije tokova po smerovima vožnje na ovom tipu raskrsnicama. U okviru ovog poglavlja objašnjena je razlika u distribuciji glavnih i sporednih manevara na ovoj vrsti raskrsnica u odnosu na standardne nesignalisane raskrsnice (SNR).

U drugom poglavlju pod nazivom **Analiza saobraćajnih karakteristika NNR** autori opisuju sve glavne i sporedne manevre na najsloženijoj četvorokrakoj NNR. Nakon analize, autori su definisali rangove kretanja na NNR, kao jedan od najvažnijih koraka u definisanju postupka za propracun kapaciteta NNR raskrsnica.

U trećem poglavlju predloženog tehničkog rešenja pod nazivom **Osnovni pojmovi o kapacitetu nesignalisanih raskrsnica** autori su prikazali dosadašnje postupke za proračun kapaciteta nesignalisanih raskrsnica i parametre koji se koriste u postupku proračuna. U okviru ovog poglavlja prikazan je Haredersov matematički model koji je korišćen u okviru definisanog postupka proračuna kapaciteta NNR, kao i bazne vrednosti osnovnih parametara saobraćajnog toka koji su neophodni za određivanje njihovog kapaciteta.

U četvrtom poglavlju pod nazivom **Model za proračun kapaciteta NNR** opisuje se predloženi model i svi neophodni koraci u postupku proračuna. U posebnoj podtački ovog poglavlja definisan je postupak proračuna konflikt tokova za sve sporedne manevre na NNR, kao i uporedna analiza sa konfliktnim tokovima na SNR. U okviru posebne podtačke ovog poglavlja dat je pospupak za proračuna potencijanog kapaciteta svih sporednih manevara prema Hardersovom modelu. Pored toga u ovom poglavlju je prikazan postupak za proračun vremenskih gubitaka koji su parametar za određivanje nivoa usluge.

U petom poglavlju pod nazivom **Zaključak** autori predloženog tehničkog rešenja izložili su zaključna razmatranja vezana za predloženi postupak i mogućnost njegove primene u praksi.

U šestom poglavlju **Literatura** dati su literarni citati koje su autori koristili za potrebe izrade modela predloženog tehničkog rešenja.

Na osnovu izloženog, mišljenja sam da se ovako razvijeni model predloženog tehničkom rešenju pod nazivom **Model proračuna kapaciteta četvorokrakih nestandardnih nesignalisanih raskrsnica** predstavlja originalni postupak koji je vrlo značajan za operativnu analizu i planiranje saobraćaja na putnoj i uličnoj mreži, zbog čega se može smatrati novim postupkom. U skladu sa tim predlažem da na osnovu odredaba *Pravilnika o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača* ovaj rad bude prihvaćen kao **tehničko rešenje** kategorije M83.

U Beogradu, 15.10.2015. godine,

Doc. dr Draženko Glavić, dipl. inž.

На основу увида у текст техничког решења под називом:

МОДЕЛ ПРОРАЧУНА КАПАЦИТЕТА ЧЕТВОРОКРАКИХ НЕСТАНДАРДНИХ НЕСИГНАЛИСАНИХ РАСКРСНИЦА

које су урадили сарадници Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду (руководилац предложеног техничког решења је др Ненад Рушкић, доцент) а које је настало на основу истраживања обављених у оквиру пројекта **Модели интеграције транспортног система** којег финансира Министарство просвете и науке Републике Србије за период 2011 – 2015. године (евиденциони број 36024) и пројекта **Модели одрживог развоја саобраћаја у Војводини** којег финансира Покрајински секретаријат за науку и технолошки развој АП Војводине за период 2011 – 2014. године. На основу увида и прегледа достављеног техничког решење следи :

РЕЦЕНЗИЈА

У првом поглављу **Опис проблема** аутори су дефинисали појам **нестандардних несигналисаних раскрсница ННР**, посебно четворокраке раскрснице које су и најзаступљеније на путној и уличној мрежи. У даљој анализи показане су различитости саобраћајних карактеристика ННР у односу на стандардне несигналисане раскрснице СНР. Поред тога, у оквиру овог поглавља приказане су специфичности регулисања саобраћаја на ННР раскрсница на којима су у употреби саобраћајни знаци који су специфични и који се посебно дизајнирани у зависности од геометријских карактеристика ННР и просторног распореда главних и споредних прилаза.

У другом поглављу под називом **Анализа саобраћајних карактеристика ННР** аутори анализирају и описују све врсте маневара на четворокракој ННР и врше упоредну анализу са главним и споредним маневрима који се јављају на СНР. Након спроведених анализа, аутори дефинишу рангове кретања на ННР, што представља први корак у дефинисању предложеног модела. Наиме, због различитих рангова маневара и просторног распореда главних и споредних прилаза аутори доказују да постојеће моделе прорачуна капацитета за СНР није могуће применити на ННР.

У трећем поглављу предложеног техничког решења под називом **Основни појмови о капацитetu несигналисаних раскрсница** аутори су описали и анализирали поступке за прорачун капацитета СНР, као и математичке моделе, на основу којих се користе у поступку прорачуна капацитета. Компаративном анализом доказано је да се математички модели који се користе у поступку прорачуна капацитета СНР могу применити и у поступцима прорачуна ННР. Међутим, доказано је да су

вредности параметара саобраћајног тока и начин њиховог прорачуна битно различити на ННР у односу на СНР.

У четвртом поглављу под називом **Модел за прорачун капацитета ННР** описује се предложени поступак прорачуна капацитета за ННР. Овај поступак састоји се од неколико корака који су разрађени у посебним тачкама овог поглавља. У првој тачки дефинисан је поступак за прорачун величине конфликтних токова за све споредне маневре на основу специфичних карактеристика и распореда прилаза на ННР и разлике у односу на СНР. У наредним тачкама приказан је поступак за прорачун потенцијалног капацитета свих споредних маневара према претходно изабраном Хардерсовом моделу, а након тога поступак за прорачун временских губитак и одређивање нивоа услуге.

У петом поглављу под називом **Закључак** аутори предложеног техничког решења дали су основна закључна разматрања везана за модел прорачуна капацитета ННР и могућност његове практичне примене.

У шестом поглављу **Литература** наведени су цитати који су коришћени приликом израде модела.

На основу изложеног, мишљења сам да техничко решење под називом **Модел прорачуна капацитета четворокраких нестандардних несигналисаних раскрсница** представља оригинално решење које је неопходно за анализу услова одвијања саобраћаја на путној и уличној мрежи. Из тог разлога сматрам да се предложени модел може сматрати новим поступком, па у складу са тим предлажем да на основу одредаба **Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача** он буде прихваћен као техничко решење категорије М83.

У Новом Саду, 10.10.2015. године,

Ванр. проф. др Гордан Стојић, дипл. инж. саоб.





Наш број: 01.сл
Ваш број:
Датум: 2015-11-26

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 5. редовној седници одржаној дана 25.11.2015. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 17. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

Тачка 17.2.: На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење под називом:

17.2.17. Назив техничког решења:

МОДЕЛ ПРОРАЧУНА КАПАЦИТЕТА ЧЕТВОРОКРАКИХ НЕСТАНДАРДНИХ НЕСИГНАЛИСАНИХ РАСКРСНИЦА

Аутори: Ненад Рушкић, Вук Богдановић, Валентина Басарић, Милица Миличић, Илија Танацков, Немања Гаруновић.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан

Проф. др Раде Дорословачки