

NESIGNALISANE RASKRSNICE (RASKRSNICE NA KOJIMA JE SAOBRAĆAJ REGULISAN ZNACIMA PRIORITETA)

Nesignalisana raskrsnica je svaka raskrsnica na kojoj je režim saobraćaja regulisan saobraćajnim znacima, odnosno vertikalnom signalizacijom i pratećom usaglašenom horizontalnom signalizacijom. Saobraćajnim znacima se uspostavlja projektovani režim saobraćaja u skladu sa planom i organizacijom saobraćaja na tom delu putne mreže. Na vangradskim deonicama put višeg ranga je po pravilu prioritetan. Ukoliko se put višeg ranga ukršta sa nekategorisanim i poljskim putevima na sporednom prilazu često ne postoji nikakva vertikalna signalizacija, jer prema zakonskoj regulativi vozila koja se kreću putem višeg ranga imaju pravo prvenstva prolaza. Regulisanje saobraćaja saobraćajnim znacima se uglavnom primenjuje na manje opterećenim raskrsnicama u nivou i na semaforisanim raskrsnicama u situaciji kada iz nekog razloga svetlosna signalizacija ne funkcioniše (kvar ili plansko isključivanje svetlosne signalizacije usled manjeg opterećenja – rad u režimu žutih treptuća).

1.1.1 TWSC

TWSC je raskrsnica na kojoj je jedan pravac definisan kao prioritetni, dok su preostali prilazi – jedan ili dva, sporedni.

Pravo prvenstva prolaza na TWSC raskrsnicama definisano je znacima prioriteta koji se postavljaju na prioritetne i sporedne prilaze. Regulisanje saobraćaja na nesignalisanim raskrsnicama zasnovano je na principu prioriteta tokova i pravca kojim se oni kreću. Prema HCM-u (HCM, 2010) definisano je ukupno četiri manevra na raskrsnici (desno, pravo, levo i polukružno okretanje) i četiri hijerarhijska ranga u prioritetu kretanja vozila.

Ovakav način definisanja prioriteta kretanja na nesignalisanim raskrsnicama odnosi se na SNR, koje su veoma rasprostranjene u čitavom svetu. Ove raskrsnice imaju tri ili četiri prilaza, pri čemu su dva naspramna prilaza prioritetna, a jedan ili dva prilaza su sporedna. Broj prilaza definiše moguće manevre, odnosno kretanja kroz središte raskrsnice. Saobraćajnim znacima se neka kretanja mogu zabraniti i na taj način smanjiti ukupan broj mogućih manevara.

Regulisanje saobraćaja znacima prioriteta po pravilu jednom od putnih pravaca daje prioritet prilikom prolaska zajedničkim, središnjim delom raskrsnice, dok se vozilima sa drugih prilaza saobraćajnim znacima uslovljava pravo prolaska kroz raskrsnicu. Ovakvo funkcionisanje saobraćaja na prioritetnim raskrsnicama zasnovano je na zakonski utemeljenoj hijerarhiji prema kojoj je tačno definisano pravo i obaveza svakog vozača u svim situacijama koje se potencijalno mogu pojaviti na raskrsnici.

Za regulisanje režima saobraćaja na prioritetnim raskrsnicama koriste se sledeći saobraćajni znaci:

- II–1 „ukrštanje sa putem sa prvenstvom prolaza“ (slika 2.2a),

- II-2 „obavezno zaustavljanje – STOP“ (slika 2.2b).

Ovi saobraćajni znaci postavljaju se na sporedne prilaze, dok se na glavnom putnom pravcu postavljaju saobraćajni znak:

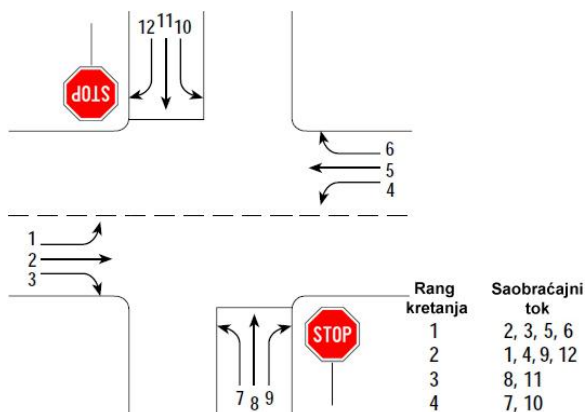
- III-3 „put sa prvenstvom prolaza“ (slika 2.2c).



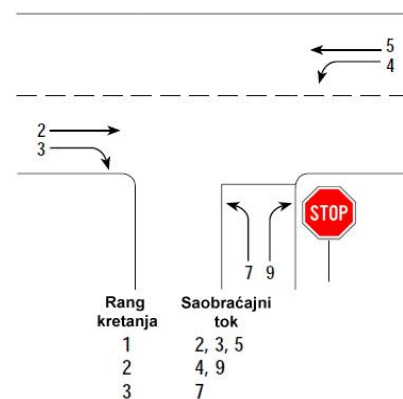
Slika Error! No text of specified style in document..1. Izgled saobraćajnih znakova za regulisanje saobraćaja na nesignalisanoj raskrsnici

U inženjerskoj praksi, za proračun kapaciteta nesignalisanih raskrsnica najčešće se koriste postupci HCM-a (HCM 2000, 2010). Da bi se postupak proračuna kapaciteta mogao sprovesti, neophodno je za svaki manevar odrediti veličinu konfliktnog toka, koja predstavlja zbir svih tokova višeg prioriteta sa kojima je posmatrani sporedni manevar u potencijalnom konfliktu. Prema tome, veličina konfliktnog toka zavisi i od položaja - ranga posmatranog manevra u hijerarhiji prioriteta koja je definisana saobraćajnom signalizacijom i opštim pravilima saobraćaja.

Ovim postupkom predviđeno je da se kao konfliktni tokovi računaju i tokovi pešaka i biciklista, ali se u okviru ove disertacije oni neće uzimati u obzir. Za SNR definisano je četiri ranga prioriteta. Na slikama 2.3 i 2.4 prikazani su svi manevri na standardnim trokrakim i četvorokrakim TWSC raskrsnicama i njihova pripadnost odgovarajućem rangu kretanja. Ukoliko se analizira trokraka TWSC raskrsnica, označavanje manevara je identično kao na četvorokrakoj, s tim da u tom slučaju izostaju manevri 1, 6, 8, 10, 11 i 12.



Slika.2. Tokovi i rangovi na standardnoj četvorokrakoj nesignalisanoj raskrsnici



Slika.3. Tokovi i rangovi na standardnoj trokrakoj nesignalisanoj raskrsnici

U skladu sa postavljansom saobraćajnom signalizacijom i opštim pravilima saobraćaja, na TWSC raskrsnici definisani su sledeći rangovi kretanja:

Rang I – kretanja pravo prioritetnim prilazom i skretanje desno sa prioritetnog prilaza (tokovi 2, 3, 5, 6). Vozila koja pripadaju svim ostalim rangovima kretanja u obavezi su da ustupe pravo prvenstva prolaza vozilima koja vrše manevar koji pripada rang I.

Rang II – levo skretanje sa glavnog prilaza i desno skretanje sa sporednog prilaza (tokovi 1, 4, 9, 12). Vozila koja vrše manevar koji pripada rang II su u obavezi da ustupe pravo prvenstva prolaza vozilima koja se kreću kretanjima ranga I, dok sa druge strane imaju pravo prvenstva prolaza u odnosu na kretanja ranga III i IV.

Rang III – kretanje pravo sa sporednog prilaza (tokovi 8, 11). Vozila koja vrše manevar koji pripada ovom rang u obavezi su da ustupe pravo prvenstva prolaza vozilima koji pripadaju manevrima ranga I i ranga II, a imaju prioritet u odnosu na kretanja ranga IV.

Rang IV – levo sa sporednog prilaza je najsloženiji manevar na TWSC raskrsnicama (tokovi 7, 10). Vozila koja vrše ovaj manevar u obavezi su da propuste vozila koja pripadaju manevrima ranga I, ranga II i ranga III.

Raspodela manevara na rangove kretanja na TWSC raskrsnici zasnovana je na položaju saobraćajnih znakova kojima se određeni prilaz označava kao glavni ili sporedni.

1.1.2 Proračun kapaciteta standardnih TWSC raskrsnica

Proračun kapaciteta standardnih trokrakih i 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**, (HCM, 2000), odnosno **headway** (HCM, 2010) 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 (HCM, 2000, 2010). Ovaj postupak je zasnovan na Harders-ovom modelu (Harders, 1968) prihvatljivih intervala sleđenja, u kome prema definiciji figuriraju intervali sleđenja koje će vozači prihvatiti 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 čeonih 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 radova (Ashworth, 1968; Beanland, Lenné, Candappa, & Corben, 2013; Brilon, Koenig, & Troutbeck 1999; Daganzo, 1981 i dr.) 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 (Harders, 1968), potencijalni kapacitet svakog sporednog manevra računa se prema sledećoj relaciji:

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

Gde su:

- $C_{p,x}$ – potencijalni kapacitet sporednog manevra **x** (voz/h);
- $V_{c,x}$ – konfliktan 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:

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

Gde su:

- $t_{c,x}$ – kritični interval sleđenja za manevar **x**,
- $t_{c,base}$ – bazni kritični interval sleđenja,
- $t_{c,HV}$ – faktor prilagođavanja 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 apsolutnoj 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 manevar 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:

$$t_{f,x} = t_{f,base} + t_{f,HV} \cdot PHV$$

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

Manevar	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

* Tabela preuzeta iz (HCM 2000)

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 nesignalisane trokrake i četvorokrake raskrsnice koje se mogu okarakterisati kao standardne, odnosno kod kojih se prioritetni prilazi nalaze jedan naspram drugog. Iako su navedene raskrsnice veoma rasprostranjene u čitavom svetu, pojedine države su nasledile putnu i uličnu mrežu nepravilnog karaktera. Na ovakvoj putnoj mreži se pojavljuju raskrsnice na kojima se iz nekog razloga ni jedan pravac ne može proglasiti za prioritetni, već se prioritetni pravac pruža u levo ili desno skretanje. Na ovaj način, prioritetni prilazi postaju dva susedna, umesto dva naspramna kraka raskrsnice, što ih čini značajno različitim od SNR, tako da se ove raskrsnice mogu okarakterisati kao nestandardne nesignalisane raskrsnice.