

1. UVOD

Mesto su~eqavawa razli~itih putnih pravaca i tokova saobra}aja koji se wima kre}u nazivamo ukr{tawem puteva odnosno raskrsnicom. Usled zajedni~kog kori{}ewa saobra}ajne povr{ine sredi{weg dela raskrsnice neophodno je izvr{iti regulaciju odvijawa saobra}ajnih tokova. Po na~inu regulisawa saobra}aja, raskrsnice mogu biti regulisane:

- saobra}ajnim znacima prioriteta (prioritetne raskrsnice)
- svetlosnom signalizacijom (svetlosno signalisane raskrsnice)

Na prioritetnim raskrsnicama van naseqa, usled mawih optere}ewa i ve}ih brzina kretawa, osnovni saobra}ajni zahtevi usmereni su na bezbednost. Zato ovakve raskrsnice zahtevaju naro~it sistem grajevinskog ure}ewa podru~ja raskrsnice i wene opremqenosti.

Prioritetne raskrsnice u gradovima naj~e}e su posledica nasle}a u procesu geneze gradskog podru~ja. Usled porasta broja stanovnika i stepena motorizacije u gradovima, one postaju kriti~na mesta i zna~ajan faktor uticaja na uslove odvijawa saobra}aja i kapacitet gradskih saobra}ajnica. Savremeni saobra}ajni zahtevi u gradovima su, zbog prirode na~ina `ivota u wima, usmereni na proto~nost, visok nivo usluge i bezbednost. Upravo su takvi saobra}ajni zahtevi osnovni zadatak u regulisawu saobra}aja u gradovima, a naro~ito na raskrsnicama kao kriti~nim ta~kama.

Zbog specifi~nih zahteva korisnika saobra}aja u gradovima neophodno je vr{iti stalnu analizu kriti~nih mesta, u ovom slu~aju prioritetnih raskrsnica. Analiza se odnosi na analizu postoje}ih saobra}ajnih zahteva i mogu}nosti wihovog ostvarewa kroz analizu kapaciteta. Osim toga, analizom prioritetnih raskrsnica mo`emo dobiti podatke o budujim tendencijama promene obima saobra}aja, i shodno tome preduzeti odre}ene regulativno-konstruktivne mere kako bismo ostvarili potreban kapacitet.

Za prioritetne raskrsnice mo`emo re}i da su one potencijalno signalisane raskrsnice. Kada obim saobra}aja na prioritetnoj raskrsnici dosegne kriti~nu vrednost, blisku vrednosti kapaciteta posmatrane raskrsnice, na prioritetnoj raskrsnici vi{e nije mogu}e sprovoditi tzv. samoregulaciju. Mo`emo re}i da je osnovna karakteristika prioritetnih raskrsnica samoregulacija, jer se vozilima na sporednom prilazu ne saop{tava informacija o tome kada je bezbedno napustiti prilaz i obaviti manevar prolaska kroz raskrsnicu, a voza~i sami procewuju mogu}nost izvr{ewa svog manevra preko intervala sle}ewa izme}u vozila u glavnom toku. Kriti~na vrednost koja odre}uje potrebu za uvo}ewem svetlosne signalizacije je predmet mnogih polemika.

Svako uvo}ewe svetlosne signalizacije kao regulativne mere iziskuje odre}ene tro{kove projektovawa, postawawa svetlosnih signala, odr`awawa sistema i tro{kove elektri~ne energije potrebne za rad svetlosnog signala. Postoji

mogućnost da se uvođenjem svetlosnih signala ne postignu `eđeni efekti, pa čak i da se postoje}i uslova odvijawa saobra}aja i nivo usluge pogor{aju. Postavqawe svetlosne signalizacije, bez detaqne analize uslova odvijawa saobra}aja i pravilnog prora~una ciklusa i fazne podele, ne}e samo po sebi dovesti do pobol{awa nivoa usluge. Nepravilna ocena i analiza uslova odvijawa saobra}aja na raskrsnici, koja rezultira odlukom o uvođenju svetlosne signalizacije, mo`e da ima slede}e kontraindikacije:

- nefunkcionalnost (svetlosni signal je nepotreban-totalno neopravdan)
- mere bez efekta (ne postoji nikakvo pobol{awe uslova odvijawa saobra}aja)
- zagu{ewa u saobra}aju (pogor{awe uslova odvijawa saobra}aja)
- pad nivoa bezbednosti

Zajedni~ka karakteristika sva ~etiri slu~aja je nepostojawe `eđenog u~inka uz velike tro{kove.

Najobjektivnija ocena o potrebnosti uvođenja svetlosne signalizacije na prioritetnoj raskrsnici donosi se na osnovu analize kapaciteta i nivoa usluge posmatrane raskrsnice. U stru~noj praksi, za analizu kapaciteta i nivoa usluge na prioritetnim raskrsnicama naj~e}e se koristi metodologija koja je data u ameri~kom priru~niku za prora~un kapaciteta puteva i putnih objekata HCM (Highway Capacity Manual).

Predmet ovog diplomskog rada bi}e predstavqawe pomenute metodologije iz posledweg izdawa HCM-2000, promena nastalih u odnosu na predhodno izdawe ovog priru~nika (HCM-iz 1994 godine), kao i mogućnost primene opisane metodologije na prioritetnim raskrsnicama u na{im uslovima.

2. PRIORITETNE RASKRSNICE

2.1. Vrste i tipovi prioritetnih raskrsnica

U najrasprostranjenijem obliku prioriteta raskrsnica predstavlja ukr{taj glavnog i sporednog putnog pravca. Jedan pravac progla{ava se prioritetnim, a sporedni pravci reguli{u se znacima:

- II–2 "Obavezno zaustavqawe – STOP", oblika pravilnog osmougla
- II–1 "Nailazak na put sa prvenstvom prolaza", oblika obrnutog trougla

Prioritetne raskrsnice mo`emo podeliti prema:

1. geometrijskom obliku raskrsnice
2. na~inu regulisawa saobra}aja na prilazima
3. mestu u odnosu na podru~je naseqa

Osnovna podela prioritetnih raskrsnica prema geometrijskom obliku je na:

- ~etvorokrake prioritetne raskrsnice
- trokrake prioritetne raskrsnice
- kru`ne prioritetne raskrsnice

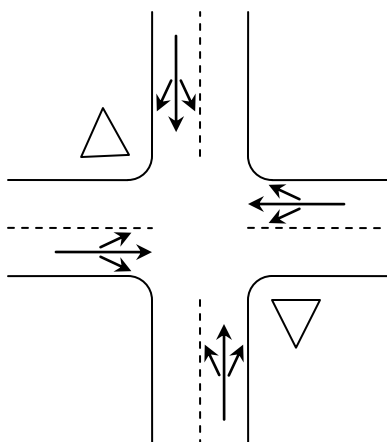
Posebna geometrijska struktura raskrsnica odnosi se na ugao pod kojim prilazi raskrsnice stoje u odnosu na zami{qenu osu koja prolazi kroz centar sredi{weg dela raskrsnice. Ukoliko je takav ugao o{tar, vreme putovawa kroz raskrsnicu je du`e, tj. vozila su du`e vreme izlo`ena u konfliktnoj zoni. Osim toga preglednost je slabija pa se smawuje bezbednost. Zato, prilikom projektovawa (ukoliko je to mogu}e) treba te`iti polo`aju prilaza koji su pod pravim uglom u odnosu na sredi{wi deo raskrsnice, jer }e vreme putovawa kroz sredi{wi konfliktni deo biti kra}e.

Prema na~inu regulisawa saobra}aja na sporednim prilazima, prioritetne raskrsnice mogu biti:

- prioritetne raskrsnice na kojima su sporedni prilazi regulisani znacima prioriteta (najrasprostranjenije)
- prioritetne raskrsnice na kojima su svi prilazi regulisani znacima prioriteta (ovakav tip raskrsnica, koji je regulisan postavqawem znakova obaveznog zaustavqawa na svim prilazima, predstavlja najrestriktivniju meru regulacije, i pogodan je kao privremena mera ako je broj saobra}ajnih nezgoda na posmatranoj raskrsnici kriti~an, a ne postoji detaqno razra}en projekat o opravdanosti uvo}ewa svetlosne signalizacije). Za razliku od prakse u svetu, kod nas su ove raskrsnice vrlo retke. Raskrsnice na kojima su svi prilazi regulisani znakom trougao kod nas su kru`ne prioritetne raskrsnice na kojima se saobra}aj odvija po pravilu desne strane, a prioritet imaju vozila u kru`nom toku.

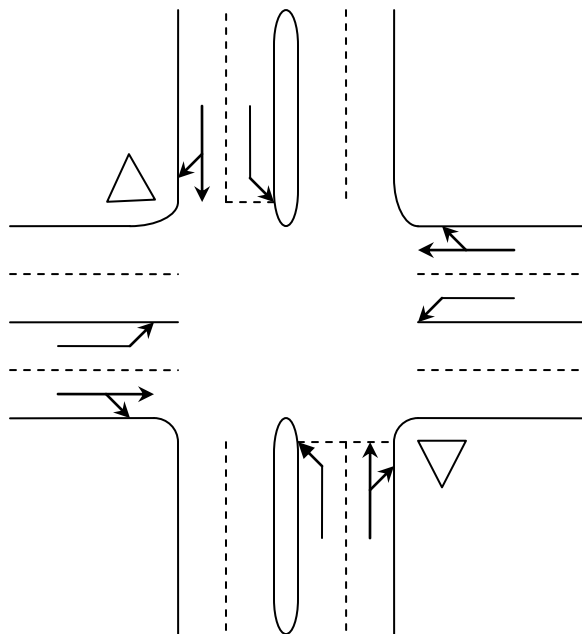
Podjela prioritetnih raskrsnica po tipovima odnosi se na razlike po građevinskom uređenju prilaza. Tipovi prioritetnih raskrsnica su:

- Tip A: Prioritetne raskrsnice opremljene elementarnom vertikalnom i horizontalnom signalizacijom, bez posebno uređenih prilaza. Njihova osnovna karakteristika je mali obim saobraćaja.



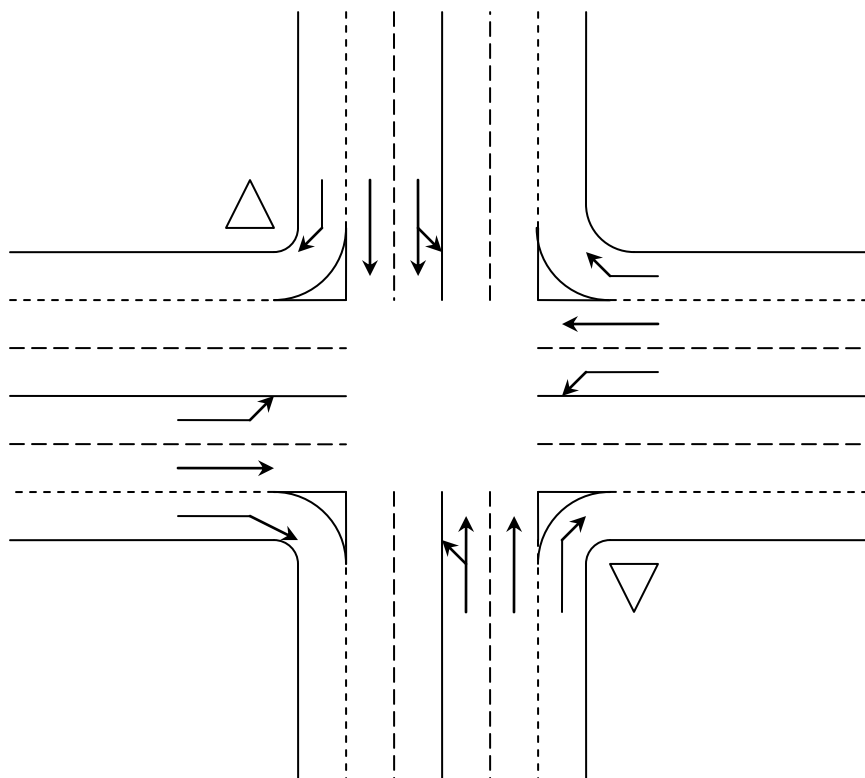
Slika 2.1. Prioritetna raskrsnica tipa A

- Tip B: Prioritetne raskrsnice na kojima su sporednim prilazima kolovozne površine odvojene klinastim ostrvom. Opterećenje raskrsnice je srednje, a obim levih skretawa na sporednom prilazu ne prelazi 10% od merodavnog protoka raskrsnice. (slika 2.2.)



Slika 2.2. Prioritetna raskrsnica tipa B

- Tip C : raskrsnice sa kompletnim građevinskim uređenjem prilaza i posebnim saobraćajnim trakama za tokove na glavnom prilazu, dok su na sporednom prilazu tokovi desnih skretawa kanalisani. Ovakve prioritetne raskrsnice karakteristične su na magistralnim i regionalnim putnim ukrštajima. (slika 2.3)

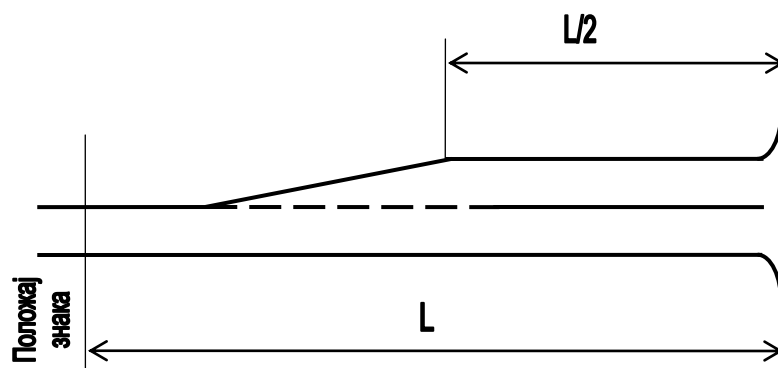


Slika 2.3. Prioritetna raskrsnica tipa C

2.2. Prilaz prioritetne raskrsnice

Kapacitet prioritetnih raskrsnica računa se na prilazima raskrsnici. Prilaz raskrsnici je deo kolovoza, koji se, posmatrano po uzdužnoj osovini puta, prostire od saobraćajnog znaka ispred raskrsnice za ograničene brzine kretawa vozila pa sve do samog ulaza u raskrsnicu. Pre prilaza raskrsnici nalazi se napojna deonica puta. Unutar prilaza (obično od polovine prilaza pa sve do ulaska u raskrsnicu) nalazi se ulazno grlo. Prilaz raskrsnici služi blagovremenom prilagođavanju brzine kretawa vozila ograničenoj brzini kretawa na raskrsnici, a njegova dužina zavisi od maksimalne brzine kretawa na napojnoj deonici puta koja predhodi ulazu u raskrsnicu (tabela 2.1). Zato se na raskrsnicama u naseqenim mestima, na kojima je ograničena brzina jednaka maksimalnoj brzini kretawa na deonici koja predhodi ulasku u raskrsnicu, prilaz izjednačava sa ulaznim grlom raskrsnice.

Osnovna funkcija ulaznog grla je izjednačavanje kapaciteta između napojne deonice i prilaza raskrsnici, a osim toga ulazno grlo nameweno je prestrojavawu vozila radi izvršewa `eqenog manevra prolaska kroz raskrsnicu. Prioritetne raskrsnice najčešće se javqaju na ukrštawima puteva gde napojne deonice imaju dve ili četiri saobraćajne trake za kretawe u oba smera.



Slika 2.4. Prilaz prioritetne raskrsnice

Na slici 2.4, oznaka L predstavlja dužinu prilaza raskrsnici, a deo koji predhodi prilazu je napojna deonica puta. Oznaka $L/2$ je dužina ulaznog grla na prilazu.

Dužina prilaza zavisi od maksimalne brzine na napojnoj deonici puta V_{MAX} , a maksimalna brzina napojne deonice puta zavisi od kategorije puta. Putevi se po kategoriji svrstavaju u 4 grupe. Put (napojna deonica) četvrte kategorije predhodi prioritetnim raskrsnicama u naseqenim mestima, na kojima je brzina ograničena na 60 km/h.

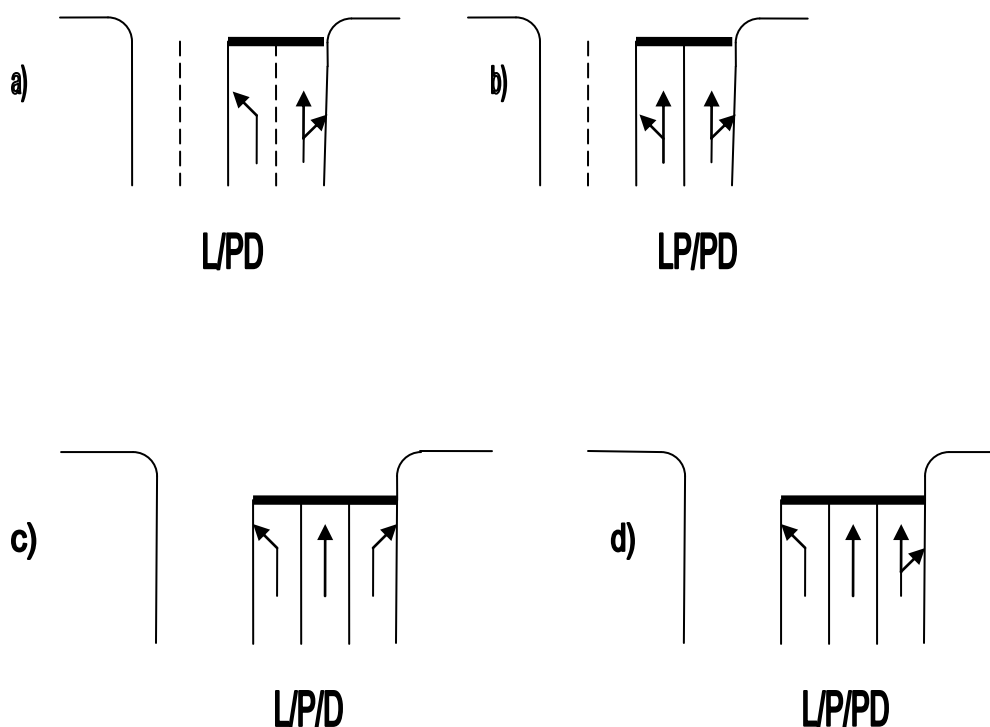
Tabela 2.1. Zavisnost dužine prilaza prioritetne raskrsnice od maksimalne brzine na napojnoj deonici i od kategorije napojne deonice.

kategorija puta	maksimalno dozvođena brzina na napojnoj deonici, V_{MAX} (km/h)	dužina prilaza prioritetne raskrsnice L (m)
1	90-120	500
2	85-90	250
3	75-85	150
4	60-75	100

Na odvijawe saobraćaja na prioritetnim raskrsnicama, pored veličine obima saobraćaja i načina regulisawa, utiče:

- dužina prilaza
- širina i konfiguracija ulaznog grla

Konfiguracija ulaznog grla predstavqa na~in raspodele i kori{}ewa saobra}ajnih traka od strane tokova na prilazu. Mogu}e konfiguracije ulaznog grla predstavqene su na slici 2.5. Ulazno grlo sa jednom saobra}ajnom trakom ima jednu mogu}u konfiguraciju, odnosno jednu saobra}ajnu traku dele sva tri toka. Pro{}irewe ulaznog grla uvek zna~i pove}awe kapaciteta prilaza a samim tim i cele raskrsnice.

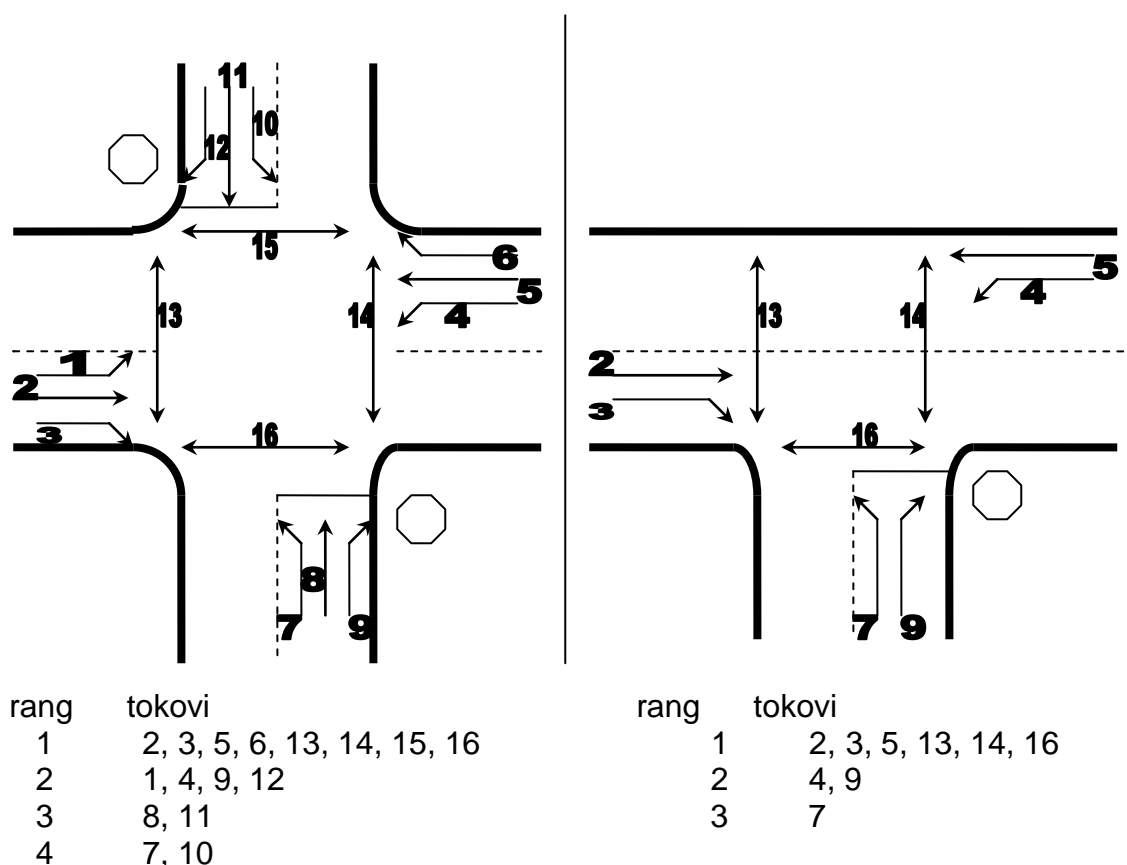


Slika 2.5. Uobi~ajene konfiguracije ulaznih grla sa dve (a, b) i sa tri saobra}ajne trake (c, d)

2.3. Odvijawe saobra}aja na prioritetnim raskrsnicama

Odvijawe saobra}aja na prioritetnim raskrsnicama na kojima su sporedni prilazi regulisani znacima prioriteta vr}i se prema rangiranom prioritetu prolaska vozila kroz raskrsnicu.

Kod ~etvorokrakih raskrsnica razlikujemo 4 ranga vozila po prioritetu, a na trokrakim 3. Na slici 2.6 prikazan je rang tokova vozila i tokova pe}aka. Prioritet pe}aka zavisi od na~ina regulisawa, jer u nekim zemqama oni imaju rang 2 po prioritetu, {to zna~i da im prvenstvo moraju ustupiti sva vozila osim vozila ranga 1 na glavnom putu, dok vozila ranga 1 pri skretawu levo ili desno sa glavnog puta moraju dati prednost pe}a~kim tokovima. Kod nas va`i da sva vozila bez obzira na rang moraju ustupiti prvenstvo pe}a~kim tokovima na prioritetnim raskrsnicama.



Slika 2.6. Prioritet tokova na ~etvorokrakoj i trokrakoj prioritetnoj raskrsnici

Rang 1 po prioritetu imaju tokovi koji se kre}u pravo glavnim prilazom i tokovi koji su u desnom skretawu sa glavnog prilaza.

Rang 2 po prioritetu prolaska kroz raskrsnicu imaju tokovi koji skre}u levo sa glavnog prilaza i tokovi koji su u desnom skretawu sa sporednog prilaza. Tokovi ranga 2 ustupaju prvenstvo samo tokovima ranga 1.

Rang 3 ima tok koji prolazi pravo kroz raskrnicu sa sporednog prilaza za slu~aj ~etvorokrake prioritetne raskrsnice i tok koji skre}e levo sa sporednog prilaza ako se posmatra trokraka prioritetna raskrsnica.

Rang 4 mo`e da se pojavi samo na ~etvorokrakoј prioritetnoj raskrsnici a ima}e ga tok koji skre}e levo sa sporednog prilaza. Manevar ranga 4 predstavqa najkompleksniji manevar, jer mu je prolazak kroz raskrnicu omogu}en tek nakon {to prvenstvo ustupi svim vozilima vi{eg ranga.

Uz poznavawe na~ina odvijawa saobra}aja i prioriteta me|u tokovima pri izvr{ewu manevara prolaska kroz raskrnicu, mo`emo prora~unati veli~inu konfliktnog protoka posmatranom sporednom toku, {to je neophodan podatak u prora~unu potencijalnog kapaciteta sporednog manevra odnosno prilaza.

Postupak izra~unawawa veli~ine konfliktnog saobra}aja ($V_{C,x}$) posmatranom sporednom toku x vr{i se sumirawem svih konfliktnih tokova posmatranom, uz odre|ena pravila koja pri tom va`e, a koja zavise od konfiguracije ulaznog grla, kanalisawa tokova desnog skretawa, broja saobra}ajnih traka na napojnoj deonici glavnog prilaza. Na~in na koji se ra~una konfliktni saobra}aj posmatranom toku detaqno }e biti opisan u delu 3 ovog rada.

2.4. Prora~un kapaciteta prioritetnih raskrsnica

Princip prora~una kapaciteta na celoj posmatranoј prioritetnoj raskrsnici je slede}i:

1. Defini{u se geometrijske karakteristike cele raskrsnice (konfiguracija ulaznih grla raskrsnice, broj traka na napojnoj deonici puta, podaci o uzdu`nom nagibu prilaza..) i uslovi pod kojima se obavqa saobra}aj (protok svakog toka posebno, podaci o vr{nom optere}ewu..)
2. Utvr|ivawe veli~ine konfliktnog saobra}aja za svaki sporedni tok
3. Utvr|ivawe veli~ine kriti~nog intervala sle|ewa i vremena sle|ewa, kori{}ewem preporu~enih vrednosti ili merewem na terenu
4. Utvr|ivawe kapaciteta manevara na glavnom prilazu
5. Utvr|ivawe potencijalnog kapaciteta svakog sporednog manevra
6. Odre|ivawe veli~ine realnog kapaciteta sporednog manevra preko faktora uticaja na smawewe potencijalnog kapaciteta
7. Sumirawem dobijenih vrednosti kapaciteta svakog sporednog manevra na posmatranom prilazu dobijamo veli~inu kapaciteta prilaza, a sumirawem kapaciteta svih prilaza prioritetne raskrsnice dobijamo veli~inu kapaciteta prioritetne raskrsnice.

Kapacitet prioritetne raskrsnice ra~una se primenom 2 modela:

- model prihvatqivog intervala sle|ewa (analiti~ki model) koji koristimo kada ra~unamo kapacitet sporednog manevra odnosno sporednog prilaza.

- model zasi}enog toka (empirijski model) koji koristimo pri prora~unu kapaciteta glavnog manevra odnosno prilaza.

3. HCM-2000

HCM 2000 (Highway Capacity Manual) je posledwe izdawe ameri~kog priru~nika za prora~un kapaciteta na putevima. U poglavqu 17 ovog priru~nika predstavqena je detaqna procedura za analizu kapaciteta i nivoa usluge za svaku vrstu prioritetnih raskrsnica:

- prioritetne raskrsnice na kojima su sporedni prilazi regulisani znakom obaveznog zaustavqawa
- prioritetne raskrsnice na kojima su svi prilazi regulisani znakom obaveznog zaustavqawa
- kru`ne prioritetne raskrsnice

Opisana metodologija ne sadr`i postupak za prora~un kapaciteta i nivoa usluge na prioritetnim raskrsnicama koje su regulisane znacima obrnutog trougla, a koji ne predvi}aju obavezno zaustavqawe. Me}utim smatra se da se korigovawem odre}enih kqu~nih parametara u prora~unu kapaciteta (na primer korigovawem veli~ine vremena sle}ewa koje se za slu~aj regulisawa znakom obaveznog zaustavqawa ra~una kao vreme izme}u uzastopnih polazaka vozila sa linije zaustavqawa, pa bi za prora~un kapaciteta za slu~aj regulisawa znakom trougao ova vrednost bila mawa), opisana metodologija mo`e primewivati i za slu~aj raskrsnica regulisanih znacima trougao.

U posledwem izdawu, HCM-2000, dobijena vrednost kapaciteta izra`ava se jedinicom voz/h. Preporu~ene vrednosti t_c i t_f u ovom izdawu (tabela 3.1) predstavqaju bazi~ne vrednosti koje va`e za homogeni tok sastavqen od putni~kih automobila koje se prvo modifikuju razli~itim faktorima uticaja, gde spada i faktor u~e}a teretnih vozila, tako da dobijamo vrednosti t_c i t_f za nehomogeni tok koje tek onda uvr}tavamo u formulu za prora~un kapaciteta a izlazni rezultat izra`en je jedinicom voz/h.

Date bazi~ne vrednosti dobijene su merewem na terenu u razli~itim uslovima odvijawa saobra}aja u SAD, na prioritetnim raskrsnicama ~ije napojne deonice imaju 2 ili 4 saobra}ajne trake. Za napojne deonice glavnih prilaza sa {est saobra}ajnih traka koriste se iste vrednosti kao i za napojne deonice sa 4 saobra}ajne trake.

Tabela 3.1. Preporučene bazi~ne vrednosti t_c i t_f za prora~un kapaciteta sporednog manevra na prioritetnim raskrsnicama, iz HCM-2000:

manevar vozila	bazi~ni kriti~ni interval slejewa $t_{c,base}$ (s)		vreme slejewa $t_{f,base}$ (s)
	dvotra~na napojna deonica	~etvorotra~na napojna deonica	
levo sa glavnog prilaza	4.1	4.1	2.2
desno sa sporednog prilaza	6.2	6.9	3.3
pravo sa sporednog prilaza	6.5	6.5	3.4
levo sa sporednog prilaza	7.1	7.5	3.5

Kriti~ni interval slejewa ra~una se po formuli 3.1:

$$t_{c,X} = t_{c,base} + t_{c,HV} P_{HV} + t_{c,G} G - t_{c,T} - t_{3,LT} \quad (s) \quad (3.1)$$

$t_{c,X}$ =kriti~ni interval slejewa manevra x (s)

$t_{c,base}$ =bazi~na vrednost kriti~nog intervala slejewa (tabela 3.1) (s)

$t_{c,HV}$ =faktor za u~e{}e teretnih vozila (ima vrednost 1 za dvotra~ne napojne deonice glavnih prilaza i vrednost 2 za ~etvorotra~ne napojne deonice glavnih prilaza) (s)

P_{HV} =u~e{}e teretnih vozila u sporednom toku

$t_{c,G}$ =faktor korekcije za nagib prilaza (ima vrednost 0.1 za manevre desnih skretawa sa sporednog prilaza i vrednost 0.2 za manevre ranga 3 i 4) (s)

G =veli~ina uzdu`nog nagiba prilaza podeqena sa 100

$t_{c,T}$ =faktor korekcije za svaki stepen ako postoji dvostepeni manevar prolaska kroz raskrsnicu (ima vrednost 1 za svaki stepen, a ako ne postoji dvostepeni manevar onda ovaj faktor ima vrednost 0) (s)

$t_{3,LT}$ =faktor uticaja geometrije raskrsnice, ra~una se samo za manevar levog skretawa sa sporednog prilaza na trokrakoj raskrsnici i u tom slu~aju ima vrednost 0.7. (s)

Vreme sle|ewa ra~una se po formuli 3.2:

$$t_{f,X} = t_{f,base} + t_{f,HV} P_{HV} \quad (s) \quad (3.2)$$

$t_{f,X}$ =vreme sle|ewa sporednog manevra x (s)

$t_{f,base}$ =bazi~no vreme sle|ewa dobijeno iz tabele 3.1 (s)

$t_{f,HV}$ =faktor korekcije za teretna vozila (0.9 za dvotra~ne napojne deonice glavnog prilaza i 1 za ~etvorotra~ne napojne deonice glavnog prilaza)

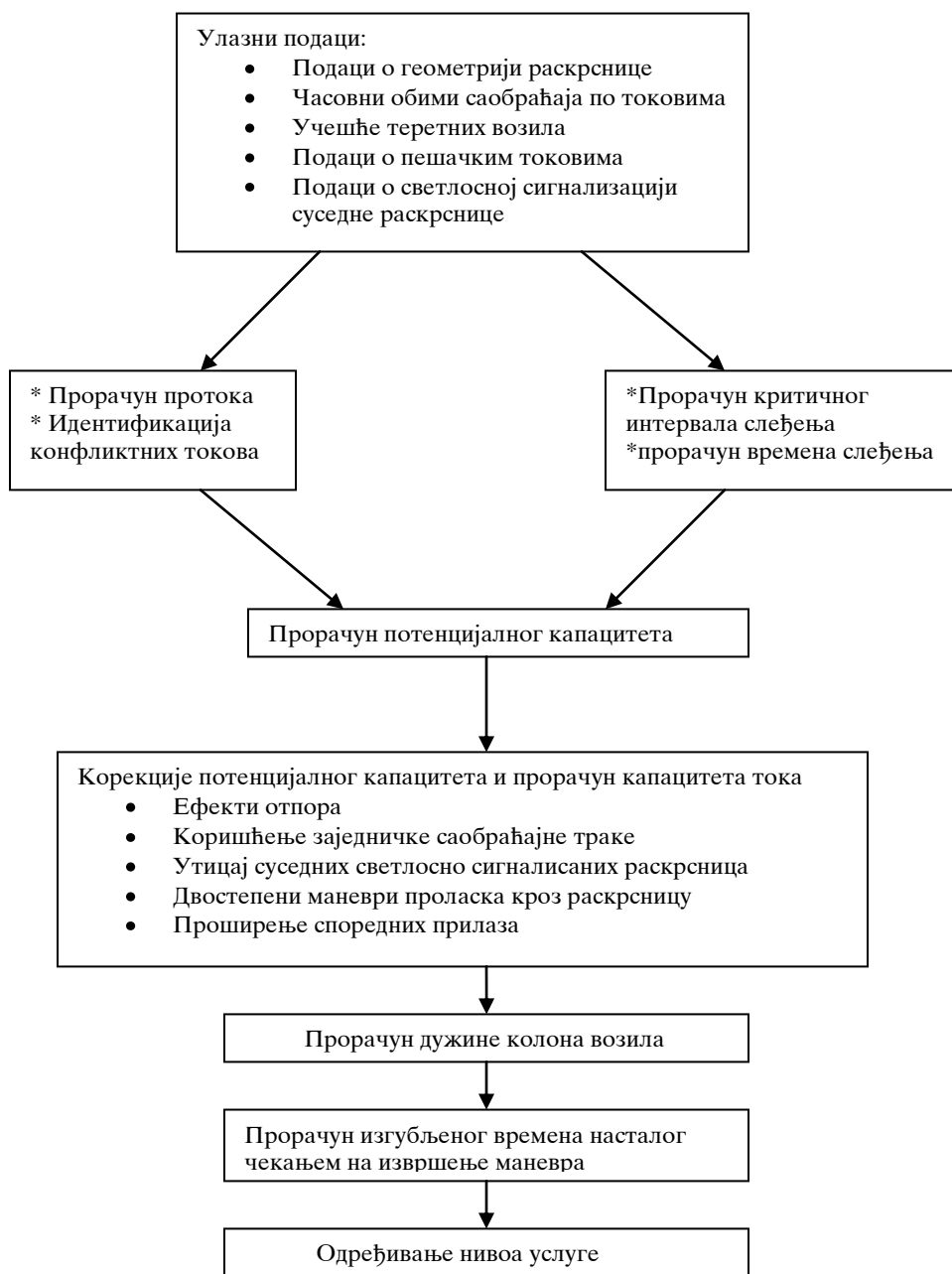
P_{HV} =u~e{}e teretnih vozila u sporednom toku

Kapacitet sporednog prilaza najvi{}e zavisi od vrednosti kriti~nog intervala sle|ewa i vremena sle|ewa, jer je obim konfliktnog saobra}aja konstantna veli~ina (za posmatrani slu~aj). [to su vrednosti kriti~nog intervala sle|ewa i vremena sle|ewa ve}e, kapacitet }e biti mawi, i obrnuto.

Prema ve}oj vrednosti kriti~nog intervala sle|ewa, a uz istu vrednost konfliktnog obima saobra}aja, dobija se mawi kapacitet i ve}a vrednost izgubqenog vremena koja ujedno zna~i ni`i nivo usluge. Zato }e u delu 4 biti prikazan prora~un kapaciteta i nivoa usluge sporednog manevra ra~unat preko preporu~enih vrednosti iz ameri~kog priru~nika i vrednosti merenih na terenu u na{im uslovima, gde }e se doneti ocena o tome da li ameri~ki priru~nik treba primewivati u na{im uslovima, i kakve to posledice mo`e da ostavi.

Metodologija HCM-2000 razlikuje se za svaku vrstu prioritetnih raskrsnica, odnosno postoji posebna metodologija za prora~un kapaciteta na raskrsnicama na kojima su sporedni prilazi regulisani znakom obaveznog zaustavqawa, raskrsnice na kojima su svi prilazi regulisani znakom obaveznog zaustavqawa, i posebna metodologija za prora~un kapaciteta kru`nih raskrsnica na kojima se uslovi saobra}aja ocewuju preko odnosa toka i kapaciteta, zbog specifi~nosti odvijawa saobra}aja na takvim raskrsnicama.

3.1. Proračun kapaciteta i nivoa usluge na raskrsnicama na kojima su sporedni prilazi regulisani znakom obaveznog zaustavljanja.



Слика 3.1. Metodologija proračuna kapaciteta i nivoa usluge na prioritetnim raskrsnicama na kojima su sporedni prilazi regulisani znakom obaveznog zaustavljanja.

3.1.1. Ulazni podaci

Podaci o geometriji raskrsnice odnose se na:

- broj saobraćajnih traka i na~in njihove raspodele po tokovima
- podaci o kanalisavu tokova
- specifičnosti geometrijskog uređenja raskrsnice u vezi sa središnjim delom koji služi dvostepenom izvršewu sporednih manevara prolaska kroz raskrsnicu
- uzdužni nagib prilaza raskrsnice
- proširewe sporednih prilaza

Kritični uticaj na kapacitet ima broj saobraćajnih traka i na~in njihovog korišćewa (npr. na zajedničkim trakama dolazi do međusobnog ometawa tokova koji ih dele, dok posebne trake omogućavaju istovremeno korišćewe istog intervala sleđenja od strane višew sporednih manevara).

Kanalisawe tokova desnog skretawa na glavnom prilazu povećava kapacitet sporednog manevra jer se time smanjuje vrednost konfliktnog toka posmatranom sporednom.

Središnji deo raskrsnice uređen tako da omogući smećtaj za sporedna vozila koja vrše dvostepeni manevar, omogućava sporednim vozilima da za kraće vreme obave manevar preko konfliktnog površine. Takav sistem omogućava povećawe kapaciteta sporednog manevra, ukoliko je prostor za smećtaj vozila u središnjem delu raskrsnice довољан да одговори заhtevima saobraćaja na sporednim prilazima.

Uzdužni nagib ima direktni uticaj na kapacitet, jer pozitivan uzdužni nagib uspon smanjuje kapacitet, a negativni ga povećava.

Prošireno ulazno grlo sporednih prilaza povećava kapacitet jer više vozila sa sporednog prilaza time može biti istovremeno opsluženo.

Podaci o obimu saobraćaja na raskrsnici obuhvataju:

- obim saobraćaja po svakom toku posebno
- podaci o vršnom opterećewu
- učestvew teretnih vozila u toku
- podaci o pešačkim tokovima na raskrsnici

Ako treba da se u analizi obuhvati uticaj 15-min. vršnog opterećewa na stawe u saobraćaju u posmatranom ~asu, potrebno je ~asovni obim saobraćaja svakog toka podeliti faktorom vršnog ~asa, jer time dobijamo merodavni ~asovni protok koji se koristi pri proračunu.

Podaci o svetlosnoj signalizaciji susedne raskrsnice

Ukoliko je u blizini prioritetne raskrsnice posmatrano pravcem glavnog prilaza prisutna susedna svetlosno signalisana raskrsnica, dođi će do ometawa izvr{ewa sporednih manevara od strane vozila koja pristi`u u porcijama sa susedne signalisane raskrsnice, {to uti`e na smawewe kapaciteta sporednih manevara. Po{to je model za prora~un kapaciteta sporednog manevara zasnovan na eksponencijalnoj raspodeli, on ne mo`e da se koristi za prora~un kapaciteta sporednog manevara na koji uti`u tokovi koji pristi`u sa susedne signalisane raskrsnice. Zato se u ovoj metodologiji takav uticaj ra~una na poseban na~in, koji je u nastavku biti prikazan.

Ako je od posmatrane prioritetne raskrsnice po pravcu glavnog prilaza na удаqености до 400 метара locirana svetlosno signalisana raskrsnica, onda je neophodno sakupiti sve podatke u vezi sa projektovanim radom svetlosnog signala na toj raskrsnici.

3.1.2. Prora~un veli~ine konfliktnog obima saobra}aja sporednim tokovima

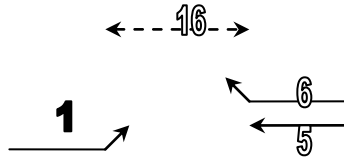
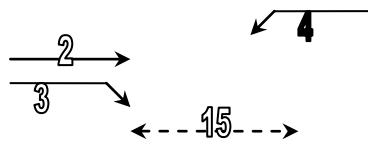
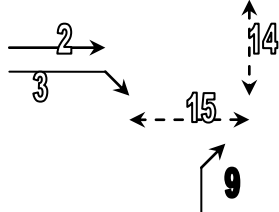
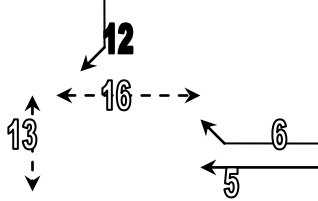
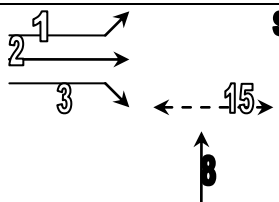
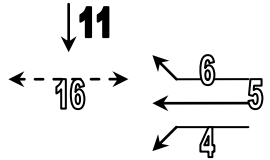
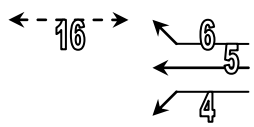
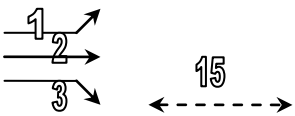
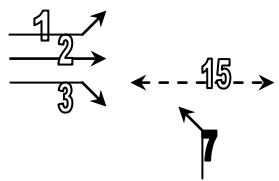
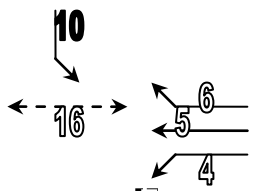
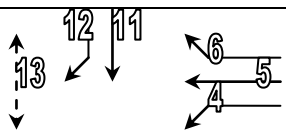
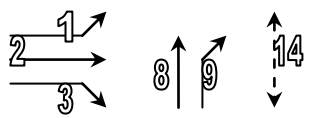
U prora~unu veli~ine konfliktnog toka, osim tokova vozila, po ovoj metodologiji ulaze i veli~ine tokova pe{aka. Tokovi vozila i pe{aka tretiraju se ravnopravno. Prioritet za pe{a~ke tokove razlikuje se po sistemima regulisawa. U nekim sistemima pe{acima se daje apsolutni prioritet u odnosu na tokove vozila, dok ova metodologija predviđa da pe{a~ki tokovi koji su direktno konfliktni vozilima na sporednom prilazu imaju rang 1, a pe{a~ki tokovi direktno konfliktni vozilima na glavnom prilazu imaju rang 2. Sporedni tokovi moraju ustupiti prvenstvo svim pe{acima na raskrsnici, a vozila na glavnom prilazu ustupaju prvenstvo pe{a~kim tokovima samo pri skretawu levo ili desno sa glavnog prilaza.

Prioritet tokova vozila isti je kao na slici 2.2 uz razliku prioriteta za pe{a~ki saobra}aj koji predviđa HCM.

Dvostepeni manevar prolaska kroz raskrsnicu mogu vr{iti svi sporedni tokovi osim tokova koji skre}u desno sa sporednog prilaza. Tokovi koji skre}u levo sa glavnog prilaza imaju konfliktnе tokove samo za jedan stepen u dvostepenom manevaru, dok tokovi ranga 3 i 4 imaju konfliktnе tokove za oba stepena.

Na slici 3.2 je prikazan na~in prora~una konfliktnih tokova za sve sporedne manevre a za manevre ranga 3 i 4 prikazan je prora~un konfliktnih tokova za slu~aj dvostepenog manevara ako postoji, a ako ne postoji konfliktni tok manevrima ranga 3 i 4 dobija se zbirom konfliktnih tokova za oba stepena.

sporedni tok	konfliktni tok posmatranom sporednom manevaru, $V_{C,X}$
--------------	--

levo sa glavnog prilaza (1, 4)	 $V_{C,1} = V_5 + V_6^{\text{C}} + V_{16}$	 $V_{C,4} = V_2 + V_3^{\text{C}} + V_{15}$
desno sa sporednog prilaza (9, 12)	 $V_{C,9} = \frac{V_2^{\text{f}}}{N} + 0.5V_3^{\text{C}} + V_{14} + V_{15}$	 $V_{C,12} = \frac{V_5^{\text{f}}}{N} + 0.5V_6^{\text{C}} + V_{13} + V_{16}$
pravo sa sporednog prilaza (8, 11)	 <p>Stepen I</p> $V_{C,I,8} = 2V_1 + V_2 + 0.5V_3^{\text{f}} + V_{15}$	 $V_{C,I,11} = 2V_4 + V_5 + 0.5V_6^{\text{f}} + V_{16}$
	 <p>Stepen II</p> $V_{C,II,8} = 2V_4 + V_5 + V_6^{\text{f}} + V_{16}$	 $V_{C,II,11} = 2V_1 + V_2 + V_3^{\text{f}} + V_{15}$
levo sa sporednog prilaza (7, 10)	 <p>Stepen I</p> $V_{C,I,7} = 2V_1 + V_2 + 0.5V_3^{\text{f}} + V_{15}$	 $V_{C,I,10} = 2V_4 + V_5 + 0.5V_6^{\text{f}} + V_{16}$
	 <p>Stepen II</p> $V_{C,II,7} = 2V_4 + V_5 / N + 0.5V_6^{\text{f}} + 0.5V_{12}^{\text{f}} + 0.5V_{11} + V_{13}$	 $V_{C,II,10} = 2V_1 + V_2 / N + 0.5V_3^{\text{f}} + 0.5V_9^{\text{f}} + 0.5V_8 + V_{14}$

Slika 3.2 Određivanje obima konfliktnog saobraćaja sporednom toku

Na slici 3.2, oznake malim slovima u zagradi predstavqaju pravila koja va`e pri prora~unu veli~ine konfliktnog toka:

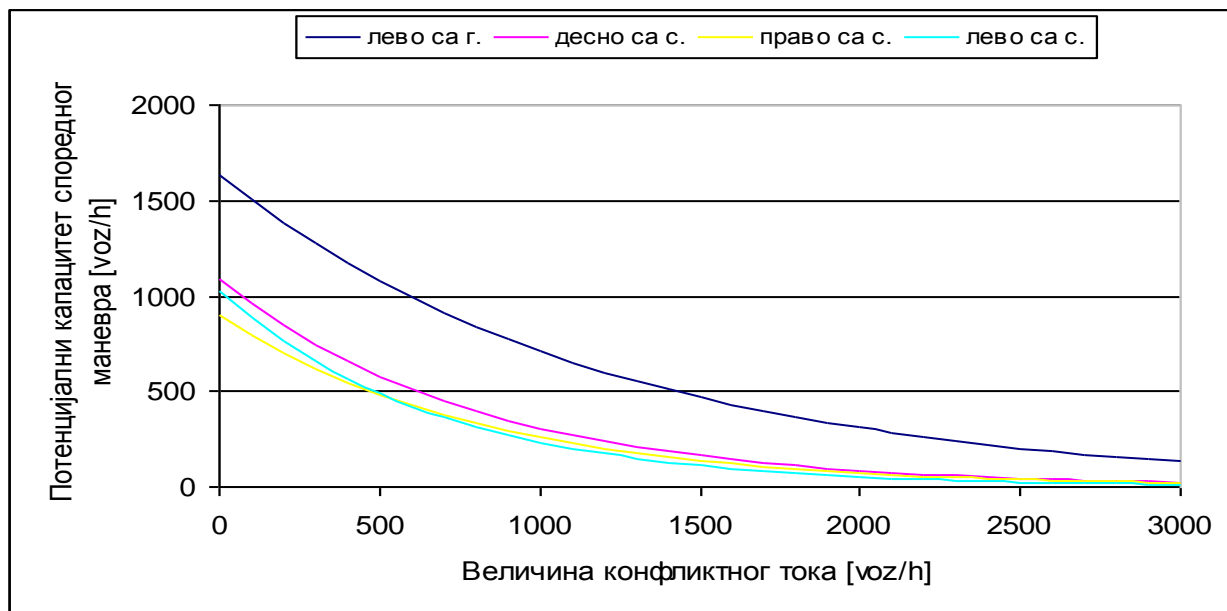
- (a) Ako je desno skretawe sa glavnog prilaza kanalisano i regulisano znakom prioriteta, obim saobra}aja desnih skretawa sa glavnog prilaza ne ulaze u prora~un konfliktnog saobra}aja jer nisu konfliktna posmatranom toku
- (b) Ako na glavnom prilazu ima vi{e saobra}ajnih traka za kretawe pravo, a pri tom se raspola`e podatkom o ukupnom toku koji ide pravo glavnim prilazom, takav podatak delimo sa brojem saobra}ajnih traka za kretawe pravo kako bismo dobili obim saobra}aja za posmatranu saobra}ajnu traku
- (c) Ako postoji posebna traka za desno skretawe na glavnom prilazu, onda desno skretawe sa glavnog prilaza nije konfliktno toku koji sa sporednog prilaza prolazi pravo kroz raskrnicu ili toku koji skre}e desno sa sporednog prilaza kao ni toku koji skre}e levo sa sporednog prilaza.
- (d) Ako je glavni prilaz vi{etra~ni, u prora~unu veli~ine konfliktnog toka za levo skretawe sa sporednog prilaza ne ulazi tok koji se kre}e krajwom desnom trakom
- (e) Ako je desno skretawe na sporednom prilazu kanalisano i regulisano znakom prioriteta, taj tok ne}e biti konfliktan suprotnom sporednom toku koji vr{i levo skretawe sa sporednog prilaza
- (f) Ako je sporedni prilaz pro{iren, a glavni prilaz ima vi{e traka, ili se izuzima ili se koristi polovina obima saobra}aja toka koji skre}e desno sa sporednog prilaza.

3.1.3. Prora~un potencijalnog kapaciteta sporednog manevra

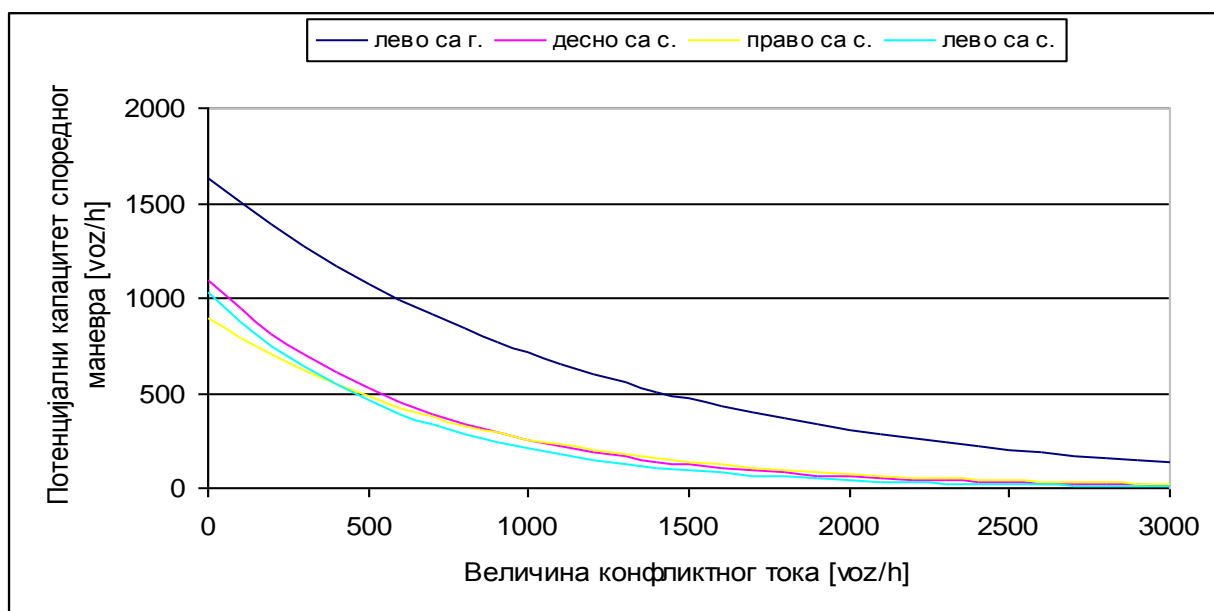
Ova veli~ina ra~una se primenom Harders modela (formula 2.9), a pretpostavke su slede}e:

- Vozila koja su pro{la kroz posmatranu raskrnicu ne}e se vra}ati na istu u periodu posmatrawa
- svaki sporedni tok posmatra se kao da se kre}e posebnom saobra}ajnom trakom
- na obim dolaze}eg saobra}aja na glavnom prilazu ne uti~e svetlosni signal susedne raskrsnice
- posmatrani sporedni manevra nije ometan od strane bilo kog drugog sporednog manevra

Grafi~ki prikaz modela, u funkciji od broja saobra}ajnih traka na napojnoj deonici glavnog prilaza, tipa manevra i veli~ine konfliktnog saobra}aja dat je na slikama 3.3 i 3.4



Slika 3.3. Potencijalni kapacitet sporednog manevra u funkciji od veličine konfliktnog toka i tipa manevra za dvotračnu napojnu deonicu na glavnom putu



Slika 3.4. Potencijalni kapacitet sporednog manevra u funkciji od veličine konfliktnog toka i tipa manevra za četvorotračnu napojnu deonicu na glavnom putu

3.1.4. Proračun stvarnog kapaciteta sporednog manevra

Stvarni kapacitet dobija se redukcijom potencijalnog kapaciteta faktorima:

- otpora vozila
- otpora pe{aka
- otpor kori{ewa zajedni~ke saobra}ajne trake manevara ranga 1 i 2 na glavnom prilazu.

Metodologija HCM-2000 sadr`i posebnu proceduru za prora~un kapaciteta sporednog manevara prioritetnih raskrsnica na koji uticaj ima:

- saobra}aj sa susedne svetlosno signalisane raskrsnice
- sistem dvostepenog sporednog manevara
- pro{irewe sporednih prilaza

U tim procedurama figuri`e vrednost stvarnog kapaciteta dobijena redukcijom faktorima otpora vozila, pe{aka i zajedni~kog kori{ewa saobra}ajne trake.

Otpor vozila i otpor kori{ewa zajedni~ke trake na glavnom prilazu ra~una se kao {to je to opisano u delu 2, odnosno u priru~niku HCM-94.

3.1.5 Otpor pe{aka

Pe{a~ki tokovi su po ovom priru~niku ravnopravni sa tokovima vozila, a sistem regulisawa je takav da pe{aci nemaju apsolutni prioritet, odnosno pe{a~ki tokovi koji su u direktnom konfliktu sa vozilima ranga 1 nemaju prioritet, dok vozila ranga 1 koja su u skretawu sa glavnog prilaza moraju ustupiti prvenstvo pe{acima ~ije tokove pri skretawu ugro`avaju. Sva vozila sporednih manevara moraju ustupiti prvenstvo pe{a~kim tokovima. Ukoliko su na posmatranoj raskrsnici pe{a~ki tokovi intenzivni, kapacitet sporednog manevara bi}e smawen.

Faktor blokade vozila koju izazivaju pe{a~ki tokovi ra~una se formulom 3.3:

$$f_{pb} = \frac{V_x \left(\frac{W}{S_p} \right)}{3600}$$

(3.3)

f_{pb} =faktor blokade koju izazivaju pe{a~ki tokovi, odnosno deo vremena u toku jednog ~asa u kom je jedna saobra}ajna traka blokirana pe{a~kim tokom.

V_x =broj grupa pe{aka pe{a~kog toka x

W = {irina saobra}ajne trake

S_p =brzina kretawa pe{aka, usvaja se 1.2 m / s

Faktor otpora pe{aka ra~una se preko faktora blokade pe{a~kih tokova, po formuli 3.4:

$$f_p = 1 - f_{p,b}$$

(3.4)

a kapacitet sporenog manevra kojeg ometaju pe{a~ki tokovi dobi}e se kao:

$$C_{m,X} = C_{m,X} \bullet f_{p,b}$$

(3.5)

pri ~emu je $C_{m,X}$ stvarni kapacitet manevra, dobijen kao potencijalni koji je redukovan otporom vozila.

3.1.10. Izgubqeno vreme (vremenski gubici vozila)

Izgubqeno vreme vozila na raskrsnici predstavqa kvalitativni pokazateq uslova odvijawa saobra}aja sa aspekta korisnika. Ideja ove metodologije je dobiti vrednost izgubqenog vremena prema kojoj se odre|uje nivo usluge, a u zavisnosti od dobijenog nivoa usluge, odre|uje se potreba za uvo|ewem nekih od mera kojima bi se popravilo stawe u saobra}aju na posmatranoj raskrsnici.

Izgubqeno vreme preko kojeg se dobija klasa nekog nivoa usluge je izgubqeno vreme koje je posledica na~ina regulisawa na prioritetnim raskrsnicama. Takvo izgubqeno vreme ra~una se kao vreme od momenta zaustavqawa vozila na za~equ formirane kolone na posmatranom prilazu, do momenta kada vozilo do|e do ~ela kolone i krene sa linije zaustavqawa. Dakle

ono obuhvata vreme pomerawa vozila u koloni i vreme potrebno da sporedno vozilo sa~eka prihvatqiv interval slejewa.

Izgubqeno vreme nastalo kao posledica sistema regulisawa na prioritetnim raskrsnicama je samo deo od ukupnog izgubqenog vremena, koje obuhvata izgubqeno vreme nastalo usled saobra}ajnih nezgoda, zagu{ewa u saobra}aju i ostalih vanrednih situacija.

HCM-2000 u vrednost izgubqenog vremena vozila na sporednom maneuvru uvodi dodatnih 5 sekundi koje obuhvata vreme usporewa vozila sa brzine pre ulaska u raskrsnicu do brzine kretawa vozila u koloni i vreme ubrzawa od $v=0$ do brzine kojom se vozilo prose~no kre}e u toku. U tabeli 3.2 koja se odnosi na vrednosti izgubqenog vremena vozila po HCM-2000, po kojima se odre}uje klasa nivoa usluge, uneta je promena za dodatnu vrednost od 5 sekundi.

U formuli koja se koristi za prora~un sredweg izgubqenog vremena vozila u toku (formula 3.14), vidi se da je ta veli~ina funkcija od kapaciteta i protoka posmatranog toka. Ta se formula koristi ako je za vreme perioda analize odnos toka i kapaciteta <1 , a ukoliko u posmatranom periodu doje do prezasi}ewa, dobijeni rezultat za period posmatrawa ne}e biti ta~an, ve} se taj period mora produ`iti za period u kom traje prezasi}ewe.

Ako je odnos toka i kapaciteta >0.9 , na veli~inu izgubqenog vremena primenom formule 3.14 zna~ajno uti~e du}ina perioda posmatrawa. U najve}em broju slu~ajeva preporu~uje se period posmatrawa u trajawu od 15 minuta.

$$d = \frac{3600}{C_{m,X}} + 900T \left[\frac{V_X}{C_{m,X}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{V_X}{C_{m,X}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_{m,X}} \right) \left(\frac{V_X}{C_{m,X}} \right)}{450T}} \right] + 5 \quad (\text{s/voz}) \quad (3.14)$$

Izgubqeno vreme ra~una se samo za vozila sporednih manevara, jer metodologija ne predvi}a bilo kakvo ometawe tokova ranga 1. Metodologija predpostavqa da se levo skretawe sa glavnog prilaza vr{i iz posebne saobra}ajne trake.

Me}utim, ako tokovi ranga 1 dele saobra}ajnu traku sa tokom ranga 2, odnosno sa tokom koji skre}e levo, leva skretawa }e zbog prirode svog prioriteta ometati vozila koja se nalaze iza wih, pa }e i vozila ranga 1 imati izgubqeno vreme. U praksi je to retka pojava jer je na glavnom putu }irina trake obi~no dovoqna da vozilo ranga 1 obavi svoj manevar obila`ewem vozila u levom skretawu a koje ~eka na prihvatqiv interval slejewa.

Da bi postojalo izgubqeno vreme za vozila ranga 1, neophodno je da se ispune 2 uslova:

- da postoji odre}eni broj vozila ranga 1 koji se nakupio iza vozila koje skre}e levo i koje ~eka prihvatqiv interval slejewa.

- da postoji određena dužina vremena u kom vozilo koje skreće levo čeka na izvršewe svog manevra prolaska kroz raskrsnicu.

Proračunato izgubqeno vreme za vozila ranga 1 zavisi i od broja saobraćajnih traka za njihovo kretawe N.

Za
$$N > 1, \quad d_{rangl.} = \frac{(1 - p_{0,j}^*) d_{M,LT} \left(\frac{V_{i,1}}{N} \right)}{V_{i,1} + V_{i,2}} \quad (3.15)$$

Za
$$N = 1, \quad d_{rangl.} = (1 - p_{0,j}^*) d_{M,LT} \quad (3.16)$$

$p_{0,j}^*$ =verovatnoća da vozilo koje skreće levo iz zajedničke saobraćajne trake na glavnom prilazu neće stvarati zastoje vozila ranga 1

$d_{M,LT}$ =izgubqeno vreme vozila koja su u levom skretawu (po formuli 3.14) (s/voz)

$V_{i,1}$ =tok ranga 1 koji ide pravo kroz raskrsnicu (voz/h)

$V_{i,2}$ =tok ranga 1 koji skreće desno sa glavnog prilaza (voz/h)

U brojiocu izraza 3.15, veličina $\frac{V_{i,1}}{N}$, za slućaj da vozila koja idu pravo ne mogu

da zaobiću vozila koja su u levom skretawu, postaje $\frac{V_1}{N}$, $V_1 = V_{i,1} + V_{i,2}$

Prosećno izgubqeno vreme svih vozila na jednom prilazu računa se kao prosećna vrednost izgubqenog vremena svih tokova na posmatranom prilazu:

$$D_p = \frac{d_r V_r + d_l V_l + d_i V_i}{V_r + V_l + V_i} = \frac{\sum d_i V_i}{\sum V_i} \quad (3.17)$$

i = tokovi koji idu pravo, levo ili desno

d_r, d_l, d_i =izgubqena vremena po tokovima desno, pravo, levo na posmatranom prilazu. (s/voz)

V_r, V_l, V_i =obim saobraćaja tokova na prilazu koji idu desno, pravo, levo (voz/h)

Analogno izrazu 3.17, prosećno izgubqeno vreme vozila na celoj raskrsnici dobija se kao prosećna vrednost svih prosećnih izgubqenih vremena vozila na prilazima koji čine raskrsnicu.

$$D_R = \frac{D_1 V_1 + D_2 V_2 + D_3 V_3 + \dots D_n V_n}{V_1 + V_2 + V_3 + \dots V_n} = \frac{\sum D_i V_i}{\sum V_i}, i = \text{prilaz}$$

(3.18)

3.1.11. Nivo usluge

Vrednosti izgubqenog vremena vozila preko kojih se odreђuje kategorija nivoa usluge date su u tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Nivo usluge na prioritetnim raskrsnicama, HCM-2000

Nivo usluge	Prose~ni vremenski gubici po vozilu (s/voz)
A	0-10
B	>10-15
C	>15-25
D	>25-35
E	>35-50
F	>50

Ako prora~unom dobijemo vrednost prose~nog izgubqenog vremena po vozilu koje je ve}e od 50 sekundi, to odgovara nivou usluge F.

Ovaj nivo usluge ne mora uvek da se javi u obliku dugih kolona vozila na sporednom prilazu, ve} se mo`e javiti i u slu~aju u kom je obim saobra}aja na sporednom prilazu vrlo mali a ako su tokovi na glavnom prilazu velikih intenziteta. U tom slu~aju vozila sa sporednog prilaza usled nemogu}nosti odabira prihvatqivog intervala sleђewa i dugih vremena ~ekawa, biraju intervale sleђewa mawe od kriti~nih ~ime ugro`avaju bezbednost saobra}aja na raskrsnici i ometaju tokove glavnih prilaza. Nivo usluge F na putevima u Americi mo`e da se javi ako je kapacitet sporednog toka mawi od 85 vozila na ~as.

Na putevima u SAD dnevni obimi saobra}aja na glavnim ulicama iznose 15000-20000 vozila na dan, sa optere}ewem vr{nog ~asa 1500-2000 voz/h, pa }e na ve}ini prioritetnih raskrsnica u SAD izgubqeno vreme manevra levog skretawa sa sporednog prilaza biti ve}e od 50 sekundi, odnosno nivo usluge tog manevra bi}e F, bez obzira na obim saobra}aja tog toka.

Iako se metodologijom HCM-2000 dobije neprihvatqiv nivo usluge nekog sporednog manevra, potrebno je da se pri odluci o merama koje }e se sprovesti konsultuju i drugi priru~nici koji sadr`e detaqne pokazateqe opravdanosti sprovoђewa bilo koje regulativne mere, a u ovom slu~aju mere uvoђewa svetlosne signalizacije.

Mere efektivnosti cele raskrsnice su, pored prose~nog izgubqenog vremena po vozilu, i

- odnos toka i kapaciteta svakog toka, prilaza, raskrsnice
- prose~na o~ektivana du`ina kolone svakog toka

Ukoliko se posmatra samo najkriti~niji pokazateq efektivnosti samo jednog manevra, i na osnovu wega donese odluka o meri regulacije na celoj raskrsnici, to }e biti pogre{no jer mo`e da izazove pogor{awe uslova odvijawa saobra}aja na celoj raskrsnici.

Pri odabiru regulativne mere raskrsnicu treba posmatrati sistemski.

Odluka o uvo|ewu svetlosne signalizacije treba da se donese na osnovu detaqne analize:

- kriterijuma opravdanosti uvo|ewa svetlosne signalizacije
- podataka o analizi nivoa usluge
- podataka o broju saobra}ajnih nezgoda na posmatranoj raskrsnici
- podataka o zahtevima korisnika saobra}aja

Kriterijumi opravdanosti uvo|ewa svetlosne signalizacije mogu biti: minimalni obim saobra}aja na sporednom prilazu, obim saobra}aja u vr{nom ~asu, minimalni obim pe{a~kog saobra}aja na raskrsnici, izgubqeno vreme vozila u vr{nom ~asu...