

# Proračun kapaciteta i uslužnosti signalnih raskrižja u gradu Rijeci

---

Vivoda, Karla

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:065446>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-07**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**uniri** DIGITALNA  
KNJIŽNICA



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**KARLA VIVODA**

**PRORAČUN KAPACITETA I USLUŽNOSTI  
SIGNALNIH RASKRIŽJA U GRADU RIJECI, PODRUČJE  
POTOK**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2022.

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET

**PRORAČUN KAPACITETA I USLUŽNOSTI SIGNALNIH  
RASKRIŽJA U GRADU RIJECI, PODRUČJE POTOK**  
**CALCULATION OF CAPACITY AND LEVEL OF SERVICE  
OF SIGNAL INTERSECTIONS IN THE CITY OF RIJEKA,  
POTOK AREA**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Prometno inženjerstvo

Mentor: izv. prof. dr. sc. Neven Grubišić

Komentor: Tomislav Krljan, mag. ing. traff.

Studentica: Karla Vivoda

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112070135

Rijeka, rujan 2022.

Studentica: Karla Vivoda  
Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa  
JMBAG: 0112070135

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

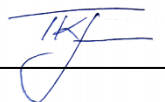
Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom  
**PRORAČUN KAPACITETA I USLUŽNOSTI SIGNALNIH RASKRIŽJA U  
GRADU RIJECI, PODRUČJE POTOK**

---

izradila samostalno pod mentorstvom  
izv. prof. dr. sc. Nevena Grubišića

---

te komentorstvom Tomislava Krljana mag. ing. traff.



stručnjaka iz tvrtke Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet

U radu sam primijenila metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristila literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući navela u završnom radu na uobičajen, standardan način citirala sam i povezala s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Studentica



Karla Vivoda

Studentica: Karla Vivoda

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112070135

IZJAVA STUDENTA – AUTORA  
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Studentica



---

Karla Vivoda

## **SAŽETAK**

Prometni tok urbanih cestovnih prometnica spada u prekidni prometni tok, što znači da se povremeno prekida na način da se uređuju raskrižja, kako bi sva vozila koja se žele koristiti tim dijelom prometnice dobila svoje pravo prolaska. Na signalnim raskrižjima potrebno je napraviti vrlo kvalitetne signalne planove prema uvjetima prometne potražnje, što znači da se mogu mijenjati ovisno o količini prometa. Ovaj rad bavi se analizom dva signalna raskrižja na području grada Rijeke. Uz pomoć raznih metoda kao što su: metoda brojanja prometa, metoda analize, metoda opažanja, metoda modeliranja te uz ulazne podatke o količini prometa, vrstama vozila koja se koriste raskrižjima, broju prilaznih traka i ostalih podataka analiza se uslužnost i kapacitet dva određena raskrižja. Analiza se provela u programima PTV Vissim i SIDRA Intersection.

Ključne riječi: prekidni prometni tok, razina uslužnosti, signalna raskrižja, signalni plan

## **SUMMARY**

The traffic flow of urban roads belongs to the interrupted traffic flow, that it is periodically interrupted by intersections, in such a way all vehicles that want to use that part of the road get the right of way. At signalized intersections where traffic is managed by signal controllers, it is necessary to make high-quality signal plans such that a traffic demand is satisfied, which means that they can change depending on the traffic volume. The topic of this paper is analysis of two signalised intersections in city of Rijeka. With various methods such as: the traffic counting method, the analysis method, the observation method, the modeling method, and with the input data on the amount of traffic at intersections, the types of vehicles that use the intersections, the number of lanes and other data, the level of service and capacity of this two intersections are analysed. The analysis will be carried out in PTV Vissim and SIDRA Intersection software.

Keywords: interrupted traffic flow, level of service, signalised intersections, signal plan

# SADRŽAJ

SAŽETAK I

SUMMARY I

1. UVOD 1

1.2.CILJ I SVRHA RADA ..... 1

1.3.STRUKTURA RADA ..... 2

2.OBILJEŽJA PROMETNOG TOKA U GRADU/ URBANI PROMET ..... 3

2.1. PROMETNI TOK..... 3

2.1.1. Obilježja prekidnog prometnog toka..... 3

2.1.2. Parametri i glavna metrika prekidnog toka ..... 4

2.2.NAČIN REGULACIJE RASKRIŽJA ..... 7

2.2.1.Obilježja signalnih raskrižja ..... 8

2.2.2.Signalne faze i signalni planovi..... 8

2.2.3.Vrste signalne kontrole..... 9

2.3. KRETNJE NA RASKRIŽJU ..... 10

2.4.PROTOK ..... 10

3.METODOLOGIJA PRORAČUNA PROMETNIH PARAMETRA SIGNALNIH RASKRIŽJA (HCM)..... 14

3.1. ODREĐIVANJE GRUPA KRETNJI I GRUPA TRAKA ..... 15

3.1.1. Grupe kretnji..... 16

3.1.2. Grupe traka ..... 16

3.2.ODREĐIVANJE PROTOKA GRUPA KRETNJI ..... 17

3.3.ODREĐIVANJE PROTOKA GRUPA TRAKA ..... 17

3.4.PRILAGODBA SATURACIJSKOG PROTOKA PREMA PREVLAĐAVAJUĆIM UVJETIMA 17

3.5.PRORAČUN KOLIČINE DOLAZAKA TIJEKOM ZELENOG INTERVALA ..... 18

3.6.PRORAČUN TRAJANJA SIGNALNIH FAZI ..... 18

3.7.ODREĐIVANJE KAPACITETA I ODNOSA VOLUMENA I KAPACITETA ..... 19

3.8. IZRAČUN FAKTORA KAŠNJENJA ( eng. *DELAY*)..... 20

3.9.ODREĐIVANJE KRITERIJA USLUŽNOSTI (LOS)..... 24

4.PRIMJER ANALIZE KAPACITETA I USLUŽNOSTI U GRADU RIJECI, PODRUČJE POTOK 26

4.1.OPIS PODRUČJA ..... 26

4.1.1. Privozi i prometne trake ..... 28

4.1.1.1. Raskrižje R38 .....	28
4.1.1.2. Raskrižje R39 .....	30
4.2. ANALITIČKI PRORAČUN POMOĆU PROGRAMA SIDRA INTERSECTION I VISSIM	31
4.3. RAČUNALNA SIMULACIJA VISSIM .....	32
4.3.1. Izrada simulacije u programu Vissim.....	32
4.3.2. Rezultati dobiveni u programu Vissim pomoću postavke <i>Node</i> .....	33
4.3.2.1. Rezultati analize raskrižja R38 i R39 pomoću postavke <i>Node</i> za signalni plan 1-2 (dobiveni signalni plan).....	33
4.3.2.2. Rezultati analize raskrižja R38 i R39 pomoću postavke <i>Node</i> za signalni plan 3-4 (izmjereni signalni plan).....	36
4.4. ANALIZA U SIDRA INTERSECTION PROGRAMU .....	39
4.4.1. Podaci dobiveni analizom u aplikaciji SIDRA.....	40
4.4.2. Zaključak analize iz SIDRA INTERSECTION programa.....	44
5. ZAKLJUČAK.....	45
LITERATURA .....	46
POPIS TABLICA .....	47
POPIS GRAFIKONA.....	48
POPIS SLIKA .....	49





# **1. UVOD**

## **1.1.OPIS TEME**

Ovaj završni rad bavi se tematikom signalnih raskrižja koja su dio cestovne prometne infrastrukture. Cestovne gradske prometnice jedne su od važnijih dijelova prometne infrastrukture te se iz tog razloga na njima nastoji što bolje planirati i kontrolirati promet. Potrebno je osigurati što kvalitetnije i sigurnije prometne tokove kako bi se promet odvijao što je više moguće kvalitetnije te kako bi razina uslužnosti raskrižja bila što bolja. U ovom radu promatrati će se i analizirati promet na dva konkretna raskrižja te će se ona prikazati simulacijskim modelom u programu Vissim. Na temelju tog modela doći će se do proračuna kapaciteta i određivanja razine uslužnosti dva analizirana raskrižja. Također će se uz ovu metodu u Vissimu, koristiti i metoda temeljena na HCM priručniku uz pomoć SIDRA računalnog programa.

## **1.2. CILJ I SVRHA RADA**

Cilj ovog rada je odrediti kapacitet i razinu uslužnosti dvaju promatranih raskrižja na području grada Rijeke, točnije na području Potok.

Svrha rada je primjena analitičkih i simulacijskih metoda kod mikro planiranja u gradskom prometu na konkretnom primjeru.

U ovom radu korištene su sljedeće metode: metoda brojenja, metoda analize, metoda deskripcije, metoda opažanja, metoda modeliranja, metoda simulacija, matematička metoda, analitička metoda.

### 1.3. STRUKTURA RADA

Prvo poglavlje ovoga rada čini uvodni dio. U ovom dijelu opisuje se tema završnog rada, ciljevi i svrha pisanja rada te struktura rada.

U poglavlju 2 definirati će se obilježja prometnog toka, i to prekidnog prometnog toka jer se on odnosi na predmet istraživanja ovog rada. Objasniti će se vrste regulacije prometa, osnovni parametri prekidnog prometnog toka, signalne faze i signalni planovi, kretnje raskrižjem, saturacijski protoci i općenito protok i prometno opterećenje.

U trećem dijelu predstavljena će biti metodologija proračuna prometnih parametara signalnih raskrižja koja se temelji na priručniku Highway Capacity Manual. Prvo i osnovno kako započinje ova metodologija jest definiranje prometnih kretnji odnosno traka, kasnije slijedi određivanje protoka i saturacijskog protoka, izračun količine dolazaka vozila dok traje zeleni signal, izračun trajanja signalnih fazi, izračun volumena i odnosa volumena-kapaciteta, izračun kašnjenja vozila na kojem se temelji definiranje razina uslužnosti (LOS) te na kraju izračun kapaciteta reda čekanja.

U četvrtom dijelu pokazat će se primjena metodologije određivanje kapaciteta i uslužnosti signalnih raskrižja na konkretnom primjeru raskrižja u gradu Rijeci, točnije na području Potok. Ovdje će se opisati područje analize odnosno dva raskrižja bitna za ovo istraživanje pomoću slika, prikaza na karti te pomoću prikaza u simulaciji. Određivati će se na temelju dobivenih podataka prometna opterećenja za svaki od prilaza raskrižju odnosno količina prometa koja cirkulira na oba raskrižja te koja je prometna potražnja raskrižja. Pomoću programa Vissim i simulacije raskrižja koja je napravljena u tom programu te postavke *Node* i ulaznih podataka doći će se do rezultata na temelju kojih će se odrediti razina uslužnosti na ova dva raskrižja. Također će se pomoću SIDRA INTERSECTION računalnog programa koji se temelji na HCM metodi doći do proračuna kapaciteta i razine uslužnosti ova dva raskrižja te će se na kraju usporediti rezultati koji su dobiveni pomoću obje metode.

Peto poglavlje rada čini zaključak u kojem se iznose dobiveni rezultati analize te se navode rješenja koja bi pomogla za poboljšanje kvalitete prometa i uslužnosti na navedenim raskrižjima.

## 2. OBILJEŽJA PROMETNOG TOKA U GRADU/ URBANI PROMET

### 2.1. PROMETNI TOK

Prometni tok se može definirati kao istovremeno kretanje više vozila na putu u određenom poretku[1]. Prometni tok sastoji se od individualnih kretanja vozila i drugih prometnih entiteta, npr. biciklisti, pješaci, koji stvaraju međusobne odnose te utječu na okolinu i prometni sustav. Zbog individualnih karakteristika vozača te ostalih sudionika u prometu, prometni tok nije jednoliko raspoređen odnosno stohastičan je s obzirom na vremenski period u kojem se promatra. Parametri prometnog toka dakle najviše ovise o ponašanju i navikama korisnika odnosno vozača i ostalih sudionika u prometu[2].

Prometni tok klasificiramo prema tipu infrastrukture te prema prometno-tehničkim obilježjima. Prema tipu infrastrukture prometnice dijelimo ga na neprekidni (eng. *free-flow*), prekidni (eng. *interrupted*) prometni tok te na djelomično ometani i povremeno prekinuti prometni tok. Prema prometno tehničkim obilježjima dijelimo ga na nezasićeni, prezasićeni te na tok oslobađanja reda čekanja[2].

#### 2.1.1. Obilježja prekidnog prometnog toka

Prekidni prometni tok jest onaj tok koji se odnosi na prometnice na kojima se eksternim uređajima, na primjer prometnim znakovima ili semaforima, regulira prometni tok, odnosno on se povremeno prekida na način kako bi sva vozila iz svih smjerova na raskrižju dobila svoje pravo prolaska kroz to raskrižje. Također se i na taj način prekidanja prometnog toka omogućuje pješacima prijelaz preko prometnice. Upravo ova vrsta prometnog toka biti će glavna tema ovog rada. U prekidni prometni tok uglavnom spadaju prometnice u gradovima i naseljima, gdje je kako bi se promet što kvalitetnije odvijao potrebno postaviti prometne znakove ili signalne uređaje - semafore za regulaciju prometa. Dakle kružna raskrižja (kružni tokovi), signalna raskrižja, raskrižja regulirana prometnim znakovima (horizontalna i vertikalna prometna signalizacija) odnosno svaki dio ceste gdje se prometni tok u nekom trenutku prekida ili usporava, spada pod prekidni prometni tok[2].

### 2.1.2. Parametri i glavna metrika prekidnog toka

Pod parametre i glavnu metriku za prekidni tok, odnosno za raskrižja, spadaju ova tri parametra: Kašnjenje (eng. *delay*), duljina reda čekanja (eng. *queue length*), broj zaustavljanja i vrijeme zaustavljanja (eng. *stop time*).

#### *Kašnjenje*

Pojam kašnjenja opisuje se kao količina vremena potrebnog za prolazak raskrižjem odnosno razlika između vremena dolaska na raskrižje i prolaska raskrižjem. Kašnjenje se iskazuje u sekundama ili minutama kao prosječna vrijednost po vozilu u promatranom vremenu. Razlikuje se nekoliko vrsta kašnjenja: prilazno kašnjenje, kontrolno kašnjenje, kašnjenje zbog zaustavljanja.

Prilazno kašnjenje jest kašnjenje vozila zbog usporavanja, geometrije i provjere prolaska raskrižjem u slučaju kada nema ostalih vozila na raskrižju. Prilazno kašnjenje uključuje vrijeme izgubljeno tijekom usporavanja (od putne brzine do zaustavljanja), kao i vrijeme izgubljeno zbog ubrzavanja do putne brzine. Prosječno prilazno kašnjenje je prosjek prilaznih kašnjenja svih vozila za vrijeme određenog vremenskog intervala. Kod signalnih raskrižja ovo kašnjenje može uključivati i vrijeme zaustavljanja te se iskazuje kao ukupno vrijeme potrebno za prolaz raskrižjem[2].

Kontrolno kašnjenje predstavlja spoj prilaznog kašnjenja i kašnjenja zbog zaustavljanja. Također ono predstavlja kašnjenje zbog upravljačkog uređaja, bilo da se radi o prometnom znaku ili signalnom uređaju.

Pod pojmom kašnjenje treba spomenuti i gubitke u trajanju putovanja (*eng. travel time delay*) koji se definiraju kao razlika između očekivanog trajanja prolaska kroz raskrižje i stvarnog trajanja prolaska odnosno trajanja putovanja nekom dionicom u odnosu na stvarno vrijeme putovanja.

### *Duljina reda čekanja*

Opisuje se kao duljina kolone vozila zaustavljenih iza zaustavne linije za vrijeme trajanja crvenog signala na semaforu. Produljeni red čekanja (eng. *back of queue*) uključuje zaustavljena vozila koja su pristigla nakon što se aktivirao zeleni signal na semaforu.

Vrijeme provedeno u redu čekanja predstavlja ukupno provedeno vrijeme od trenutka kada je vozilo ušlo u red čekanja do trenutka kada je prešlo preko linije zaustavljanja na križanju.

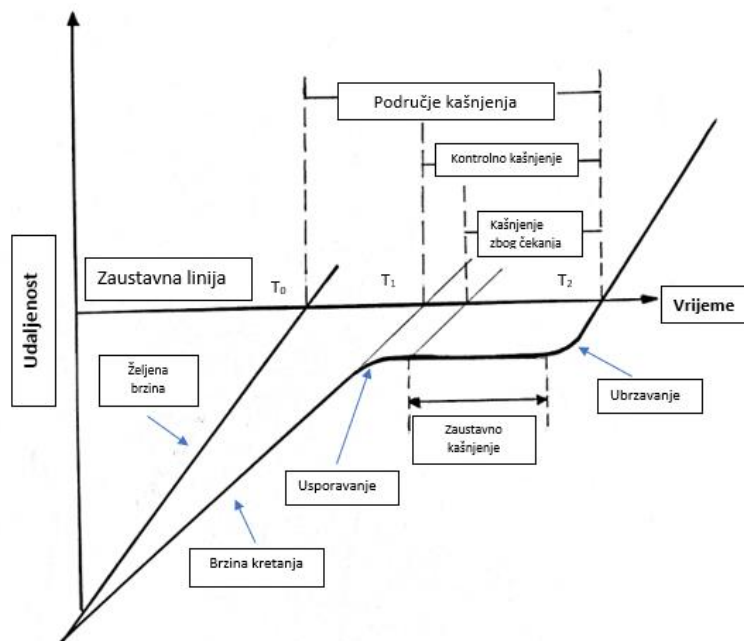
Duljina reda čekanja predstavlja udaljenost od linije zaustavljanja do kraja produljenog reda. Ovdje treba napomenuti da je potrebno osigurati da lijeva i desna skretanja ne utječu na formiranje reda odnosno da ne blokiraju prometnu traku. Također, red koji se formira ne smije ometati prethodna raskrižja. Duljina prostora na kojem se formira red čekanja računa se kao 95% od maksimalno očekivanog reda. Potrebno je osigurati 6 do 7 metara prostora za svako vozilo[2].

### *Zaustavljanje*

Ovaj pojam opisuje se kao postotak ili broj vozila koja su se morala zaustaviti ispred signalnog raskrižja. Kod ovog pojma zaustavljanja treba napomenuti da imamo i kašnjenje koje se dešava upravo zbog zaustavljanja vozila.

Kašnjenje zbog stajanja predstavlja vrijeme tijekom kojeg je vozilo bilo zaustavljeno dok je čekalo za prolazak raskrižjem. Prosječno kašnjenje zbog zaustavljanja je prosjek kašnjenja svih vozila za vrijeme određenog vremenskog perioda.

Neki od već navedenih pojmova čine modalitete za iskazivanje kašnjenja te parametre efikasnosti. Pod te pojmove spada: kašnjenje zbog stajanja, prilazno kašnjenje, kontrolno kašnjenje, vrijeme provedeno u redu čekanja te gubici u trajanju putovanja (eng. *travel time delay*). Većina pojmova prethodno je definirana međutim ostaje nam definicija gubitaka u trajanju putovanja. Gubici u trajanju putovanja definirani su kao razlika između očekivanog trajanja prolaska kroz raskrižje i stvarnog trajanja prolaska, odnosno kao očekivano trajanje putovanja nekom dionicom u odnosu na stvarno putovanje[2].



**Grafikon 1. Prikaz kašnjenja vozila zbog zaustavljanja na raskrižju**

Izvor: pripremila studentica na temelju grafičkog prikaza iz HCM (Highway Capacity Manual) priručnika (izdanje 2016.g); 7.poglavlje prvog dijela priručnika, str 7-24, prikaz 7-8 [4]

## 2.2. NAČIN REGULACIJE RASKRIŽJA

Regulacija prometa na raskrižjima obavlja se na temelju tri razine upravljanja. U sljedećoj tablici navedene su te razine upravljanja.

**Tablica 1. Razine upravljanja raskrižjem**

Razine upravljanja raskrižjem		
<b>RAZINA 1</b>	Pasivna kontrola raskrižja-nema davanja prednosti	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Bez prometnih znakova</li><li>➤ Samo horizontalna signalizacija</li><li>➤ Znakovi upozorenja</li></ul>
<b>RAZINA 2</b>	Kontrola prometnim znakovima-davanje prednosti glavnim prilazima	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Znak uvjetnog zaustavljanja (TROKUT)</li><li>➤ Znak obaveznog zaustavljanja (STOP) na sporednim prilazima</li><li>➤ Znak obaveznog zaustavljanja (STOP) na svim prilazima</li></ul>
<b>RAZINA 3</b>	Kontrola signalnim uređajima-ekskluzivitet prolaska	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Semafori</li><li>➤ Prometni redar/policajac</li></ul>

Izvor: Pripremila studentica na temelju tablice prikazane na online predavanju *Upravljanje raskrižjima* (Youtube Neven Grubišić)

U Tablici 1. navedene su sve razine upravljanja raskrižjima, međutim za temu ovog rada i analizu navedenih raskrižja bitna je *Razina 3* jer se ona odnosi na kontrolu signalnim uređajima odnosno semaforima. Upravljanje raskrižjima pomoću signalnih uređaja primjenjuje se kada nije moguće osigurati kretanja i manevriranje kroz raskrižje na neki drugi način s obzirom na intenzitet prometnog toka te nije moguće osigurati sigurnosni razmak za prolazak vozila kroz konfliktna područja.



Kod razine 3 gdje se raskrižjima upravlja pomoću signalnih uređaja odnosno semaforima konfiguracija signala odvija se kroz dvije ili više faza. Konfiguracija signala kroz dvije faze osigurava prvenstvo prolazaka vozilima koja zadržavaju pravac kretanja, dok ta ista vozila za lijeva skretanja moraju osigurati sigurnosni razmak kako bi i ona mogla proći raskrižjem. Višefazna konfiguracija signalnih kontrolera osigurava prioritet lijevih skretanja odnosno određenu razinu zaštite tih vozila. U toj konfiguraciji vozilima iz suprotnog smjera zabranjen je prolaz kroz križanje, dok je vozilima koja skreću lijevo dopušteno kretanje.

### **2.2.1. Obilježja signalnih raskrižja**

Signalna raskrižja predstavljaju križanje minimalno dva prometna toka. Vozila se propuštaju kroz raskrižje izmjenom signalnih faza koje se izrađuju na način da dolazi do što manje konfliktnih točaka, koje se definiraju kao točke presijecanja prometnih tokova. Njihovim smanjenjem dolazi do povećanja propusne moći raskrižja, što označava korelaciju tih dviju veličina[2].

### **2.2.2. Signalne faze i signalni planovi**

Signalne faze definirane su kao dijelovi ciklusa u kojima se nekim određenim prometnim tokovima dopušta kretanje. Faze definiramo kao zeleni interval, žuti interval (interval promjene) i crveni interval (interval rasčišćivanja) u ciklusu koji su dodijeljeni određenoj prometnoj kretnji (ili kretnjama). Dodjeljivanje kretnji fazama u praksi varira ovisno o željenom slijedu faza i kretnjama prisutnim na raskrižju[1].

Signalni planovi sastoje se od slijeda signalnih faza, signalni plan radi se za cjelokupno raskrižje te je u njemu posebno određeno trajanje svake faze za sve kretnje koje se odvijaju na raskrižju.

### 2.2.3. Vrste signalne kontrole

Na raskrižjima gdje se upravlja signalnim uređajima u današnje vrijeme koriste se dvije vrste kontrolera a to su: kontroleri s unaprijed određenom kontrolom fiksnog trajanja signalnih faza te kontroleri s aktivacijskom kontrolom signalnih faza.

Kontroleri s unaprijed određenom kontrolom sastoje se od fiksnog slijeda faza koje se prikazuju ponavljajućim redoslijedom i u ovakvoj kontroli trajanje svake faze je fiksno zbog čega se stvara konstantna duljina ciklusa. Međutim, trajanje faze zelenog intervala podložno je promjenama ovisno o dijelu dana ili određenom danu u tjednu kako bi se trajanje faze prilagodilo varijacijama u prometu. Rad ovakve vrste kontrolera opisuje se kao koordiniran ili nekoordiniran[1].

Kontroleri s aktivacijskom kontrolom signala sastoje se od definiranog slijeda faza u kojem prikaz svake faze ovisi o tome je li faza na opozivu ili je kretanje vozila pomoću detektora poslalo poziv za uslugu. Trajanje zelenog signala određeno je informacijama o prometnoj potražnji dobivenoj na temelju detektora, koja podliježe unaprijed postavljenim minimalnim i maksimalnim ograničenjima. Kako bi se završila faza aktivirane kontrole potreban je novi zahtjev detektora iz konfliktnog prometnog kretanja. Faza u ovakvom tipu kontrole može se i preskočiti ako ne dođe do zahtjeva za uslugom. Rad kontrolera s aktivacijskom kontrolom može se opisati kao potpuno aktiviran, polu aktiviran ili koordinirano aktiviran[1].

Signalna raskrižja koja se nalaze blizu jedno drugome u istoj ulici obično su upravljana koordiniranim signalnim sustavom, u kojem se određene signalne faze na svakom od raskrižja upravljaju na temelju zajedničkog vremenskog rasporeda kako bi se omogućio kontinuirani tijek povezanih kretanja planiranom brzinom. Signali u takvom koordiniranom sustavu obično se upravljaju unaprijed određenom ili koordinirano aktiviranom kontrolom, koordinirane faze služe ulici glavnih kretnji za prolaz ravno kroz raskrižje. Koordinirani signali omogućuju veći protok između međusobno bliskih raskrižja te na taj način sprječavaju stvaranje kolone koja bi blokirala raskrižja koje se nalaze prije. Također, minimiziraju vremena zaustavljanja, kašnjenja i potrošnju goriva te osiguravaju sigurnije putovanje [1].

### **2.3. KRETNJE NA RASKRIŽJU**

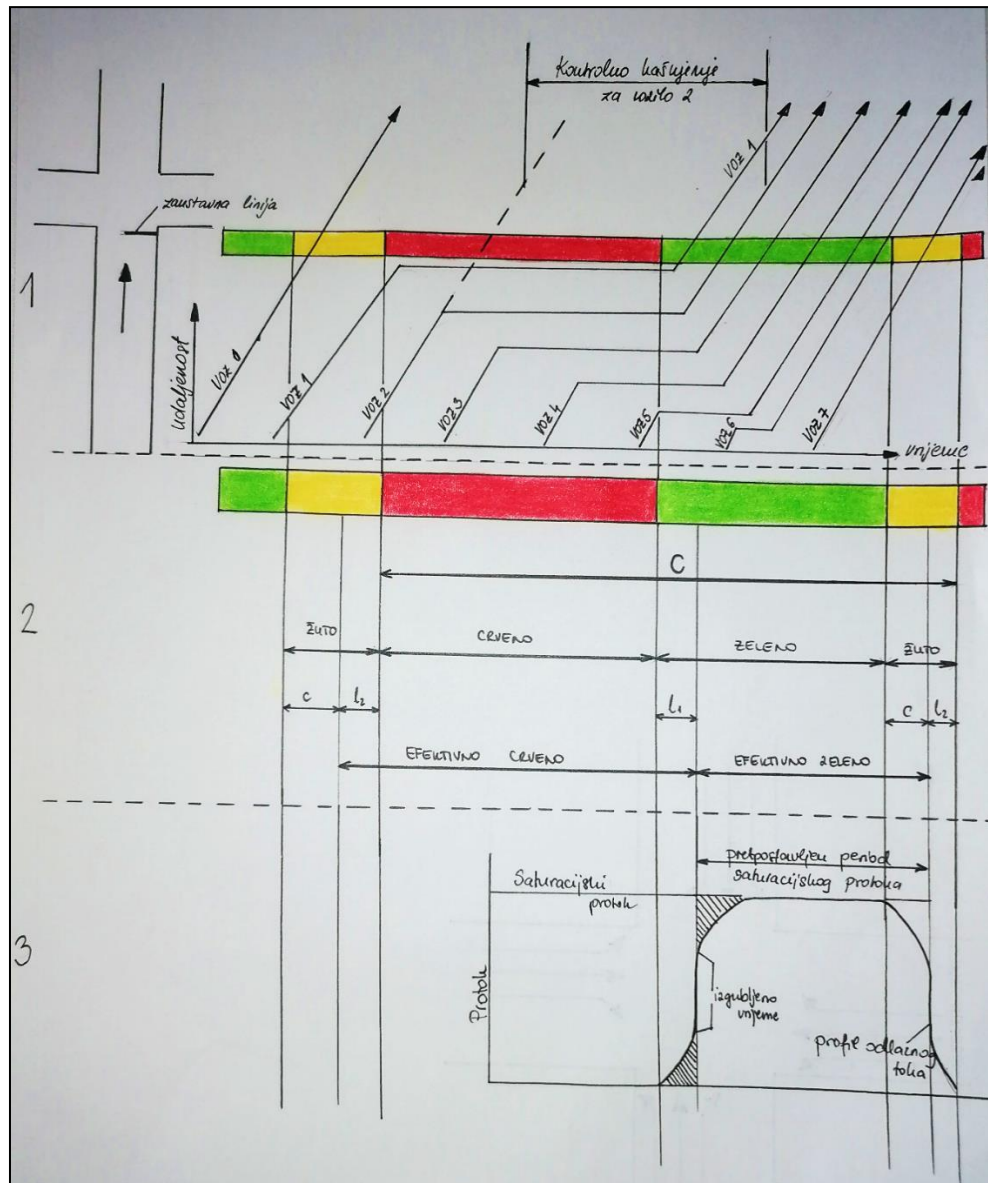
Kretnje odnosno kretanja na raskrižju označava tok vozila koja ulaze u raskrižje na jednom privozu i izlaze na drugom privozu: prolazak ravno, lijevo i desno skretanje. Za svaku kretanju potrebno je odrediti kolika je potražnja odnosno koliki je broj vozila na toj kretnji jer o tome ovisi kapacitet odnosno saturacijski protok svakog privoza. Također je za svaku od kretnji potrebno definirati strukturu vozila koja se njome koriste iz razloga što struktura vozila također utječe na saturacijski protok (različiti intervali slijeđenja). Brojanje kretanja vozila vrši se ručno ili automatskim brojanjem te detektorima, za vrijeme vršnih sati u danu, karakterističnih dana u tjednu, perioda pred vikend i sl.[2].

### **2.4.PROTOK**

Pod pojmom protok vozila podrazumijeva se broj vozila koja prođu kroz promatrani presjek prometnice u jedinici vremena u jednom smjeru za jednosmjerne prometnice ili u oba smjera za dvosmjerne prometnice[2].

#### *Definicija protoka za prekidni prometni tok raskrižja*

Prekidni prometni tok definiran je kao tok koji se povremeno prekida prometnim znakom STOP, ostalim prometnim znakovima, kružnim tokovima te prometnim signalima odnosno semaforima. Iz tog razloga što se takav tok povremeno prekida, protok vozila i kapacitet takvog dijela prometnice nije uvijek isti. Kada je promet vozila kontroliran prometnim signalima tada se tokom određenih dijelova ciklusa dopušta kretanje nekim kretanjama kroz raskrižje. U tom slučaju, vrijeme postaje faktor koji utječe na protok i kapacitet jer objekt nije dostupan za kontinuiranu upotrebu. Obrazac protoka prometa diktira vrsta kontrole koja se koristi. Na primjer, prometni signali stvaraju nizove vozila koji putuju duž objekta kao grupa, sa značajnim razmacima između jednog voda i drugog. Nasuprot tome, raskrižja i kružni tokovi kontrolirani STOP-om u svim smjerovima ispuštaju vozila nasumičnije, stvarajući male (ali ne nužno upotrebljive) praznine u prometu.



**Grafikon 2. Grafički prikaz osnovnih atributa protoka prometa na signalnom raskrižju**

Izvor: Izradila studentica na temelju grafičkog prikaza iz HCM priručnika (izdanje 2016.);  
19.poglavlje trećeg dijela priručnika, str 19-10, prikaz 19-5

Dijagram predstavlja jednostavnu situaciju vozila na jednom od prilaza raskrižju tijekom jednog signalnog ciklusa.

Prvi dio prikazuje vremensko-prostornu putanju nekoliko vozila na prilazu dok putuju do raskrižja i kroz raskrižje. Vodoravna traka predstavlja prikaz signala tijekom vremena. Nalazi se na slici na poziciji koja se poklapa sa zaustavnom crtom raskrižja.

Drugi dio prikazuje trajanje prikazanih crvenih, zelenih i intervala izmjene. Također prikazuje i efektivno zeleno, učinkovito crveno i trajanje izgubljenog vremena. U ovom se dijelu također ciklus rastavlja na dvije vrste signala: efektivno zeleno i efektivno crveno vrijeme. Efektivno zeleno vrijeme smatra se kao vrijeme tokom kojeg je kombinacija prometnih kretnji efektivna za prometni tok. Efektivno crveno vrijeme definira se kao duljina ciklusa od koje oduzimamo efektivno vrijeme zelenog intervala.

Treći dio prikazuje dijagram profila protoka otpuštanja (mjenog na zaustavnoj crti) kao funkciju vremena [1].

### *Izgubljeno vrijeme*

Postoje četiri vrste izgubljenog vremena na raskrižju: izgubljeno vrijeme pri kretanju, izgubljeno vrijeme intervala čišćenja, izgubljeno vrijeme u fazi i izgubljeno vrijeme u ciklusu.

Izgubljeno vrijeme pri kretanju predstavlja ono vrijeme koje stvara prvih nekoliko vozila u redu radi pokretanja i reakcije na pojavu zelenog signala i potrebe za ubrzanjem. Izgubljeno vrijeme intervala čišćenja predstavlja posljednji dio intervala promjene koji se obično ne koristi za kretanje vozila kroz raskrižje. Vrijeme izgubljeno u fazi nastaje zbog izgubljenog vremena pri kretanju i izgubljenog vremena intervala čišćenja. Izgubljeno vrijeme u ciklusu predstavlja vrijeme koje se izgubi tijekom jednog ciklusa odnosno zbroj ukupno izgubljenog vremena za svaku kritičnu fazu [1].

### *Saturacijski protok*

Predstavlja ekvivalentnu satnu stopu po kojoj prethodno zaustavljena vozila u redu čekanja mogu proći prilazom raskrižja pod pretpostavkom da je zeleni signal dostupan u svakom trenutku te da nema izgubljenog vremena. Mjerna jedinica za saturacijski protok opisuje se kao broj vozila po satu po prometnoj traci (veh/h/ln). Raspoznaju se dvije vrste saturacijskog protoka: osnovni saturacijski protok (očekivani prosječni protok za traku za prolaz ravno za izuzetno povoljne geometrijske i prometne uvjete) i prilagođeni saturacijski protok (za prevladavajuće geometrijske i prometne uvjete) [1].

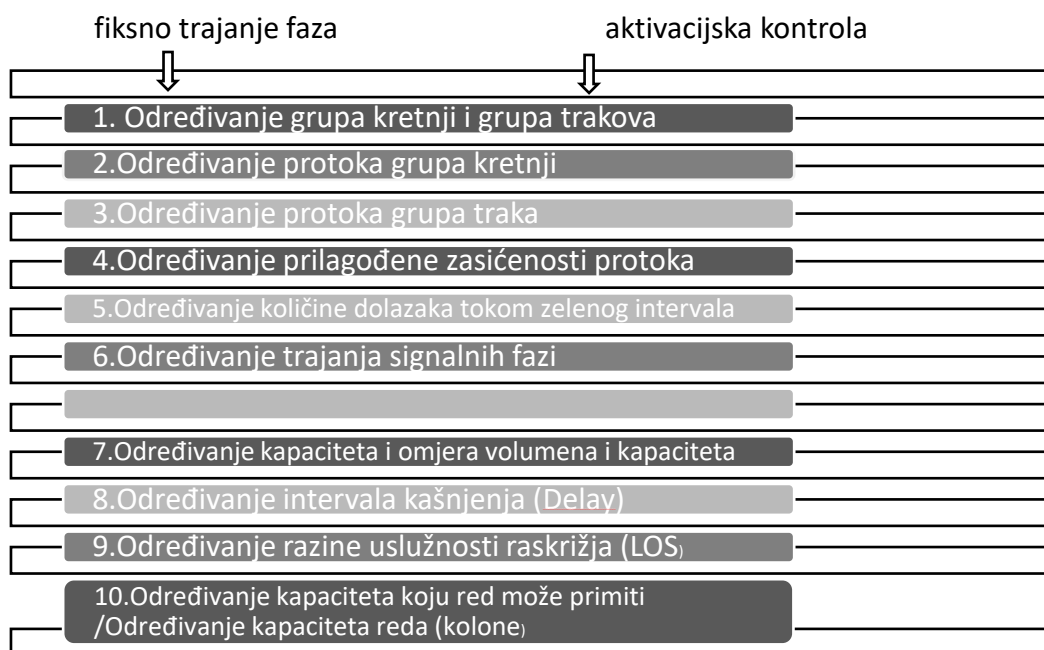
### *Kapacitet*

Definiran je kao maksimalan broj vozila koja mogu proći kroz raskrižje pod prevladavajućim uvjetima prometa, kolnika i signalizacije tijekom 15-minutnog razdoblja. Izračunava se kao umnožak prilagođenog saturacijskog protoka i efektivnog udjela vremena slobodnog prolaska u signalnom ciklusu [1].

### 3. METODOLOGIJA PRORAČUNA PROMETNIH PARAMETRA SIGNALNIH RASKRIŽJA (HCM)

Highway Capacity Manual (HCM) jest priručnik na temelju kojeg se predstavlja standard u projektiranju i planiranju cesta, autocesta i gradskih ulica. Služi za proračune kapaciteta i razina usluga raskrižja, dionica cesta, javnog gradskog prijevoza, te pješačkog i biciklističkog prometa. Ovaj priručnik opisuje nekoliko vrsta metodologija u prometu: metodologija motornih vozila, metodologija koja se odnosi na pješački promet (na pješake), metodologija biciklističkog prometa (biciklista), metodologija tranzita. Za raspravu u ovom radu najbitnija je metodologija motornih vozila, odnosno metodologija signalnog raskrižja, te će se ona detaljnije analizirati kroz ovo poglavlje. Metodologija motornih vozila dizajnirana je na način da analizira performanse određenih traka, grupa traka, pristupa raskrižju i cijelog raskrižja.

#### METODOLOGIJA SIGNALNOG RASKRIŽJA














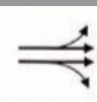












**Slika 1. Popis koraka kojima se određuju parametri signalnog raskrižja**

Izvor: Treći dio HCM priručnika, 19.poglavlje, str 19-42, prikaz 19-18

### 3.1. ODREĐIVANJE GRUPA KRETNJI I GRUPA TRAKA

U ovom koraku određujemo grupe kretnji i grupe traka. Potrebno je za svaki prilaz posebno odrediti te dvije vrste grupa. U sljedećoj tablici prikazane su neke uobičajene grupe kretnji i grupe traka.

Tablica 2. Grupe kretnji i grupe traka

BROJ TRAKA	KRETNJE TRAKAMA	GRUPE KRETNJI (GK)	GRUPE TRAKA (GT)
1	Lijevo, ravno i desno 	GK 1: 	GT 1: 
2	Posebna traka za lijevo skretanje  Traka za prolaz ravno i desno skretanje 	GK 1:  GK 2: 	GT 1:  GT 2: 
2	Traka za lijevo skretanje i prolaz ravno  Traka za desno skretanje i prolaz ravno 	GK 1: 	GT 1:  GT 2: 
3	Posebna traka za lijevo skretanje  Posebna traka za lijevo skretanje  Traka za prolaz ravno  Traka za prolaz ravno  Traka za desno skretanje i prolaz ravno 	GK 1:  GK 2: 	GT 1:  GT 2:  GT 3: 

Izvor: Treći dio HCM priručnika, 19.poglavlje, str 19-43, prikaz 19-19



### **3.1.1. Grupe kretnji**

Koncept grupa kretnji uspostavljen je kako bi se olakšao unos podataka u samu metodologiju. Ulazni podaci, koji opisuju promet na raskrižju uglavnom su specifični za kretnje te nisu specifični za trake. Osnovno načelo za uspostavljanje grupa kretnji jest da se nijedno prometno kretanje ne može dodijeliti više od jednoj grupi kretnji. Stoga se uspostavlja posebna grupa kretnji za: a) svaki pokret skretanja s jednom ili više posebnih traka za skretanje; b) prolaz ravno (uključujući i svaki pokret skretanja koji je na toj dijeljenoj traci). Grupa kretnji može sadržavati jednu ili više traka[1].

#### *Određivanje grupa kretnji*

Određivanje grupa kretnji radi se temeljem ova dva pravila: 1.skretanje koje opslužuje jedna ili više ekskluzivnih traka, te trake koje nisu dijeljene, dizajniraju se kao grupe kretnji; 2. sve trake koje nisu dodijeljene grupi na temelju prethodnog pravila svrstavaju se u drugu grupu kretnji. Ova pravila rezultiraju formuliranjem jedne do tri grupe kretnji za svaki prilaz raskrižja. Grupa kretnji može uključivati jednu ili više traka [1].

### **3.1.2. Grupe traka**

Trake ili grupa traka dizajnirane za pojedinačnu analizu nazivaju se grupa traka. Općenito, posebna grupa traka uspostavljena je za: a) svaku traku (ili kombinaciju susjednih traka) koja služi isključivo jednom kretanju; b) svaka traka koja dijeli dvije ili više kretnji. Grupa traka može uključivati jednu ili više traka[1].

#### *Određivanje grupa traka*

Temeljem sljedećih pravila određuju se grupe traka za pristup raskrižju: Posebna traka odnosno trake za skretanje ulijevo trebaju biti označene kao zasebne grupe traka. Isto se odnosi i na trake za posebno desno skretanje. Također svaka zajednička traka treba biti označena kao zasebna grupa traka. Sve ostale trake koje nisu posebne trake za skretanje ili zajedničke trake se svrstavaju u zasebnu grupu traka[1].

### 3.2. ODREĐIVANJE PROTOKA GRUPA KRETNJI

Ako se za skretanja koristi jedna ili više posebnih traka te nema zajedničkih traka, tada se brzina protoka tih kretnji dodjeljuje grupi kretnji za posebne trake. Bilo kojem protoku na prilazu koji se tek mora dodijeliti nekoj grupi kretnji dodjeljuje se jednoj grupi kretnji.

### 3.3. ODREĐIVANJE PROTOKA GRUPA TRAKA

Ako na prilazu raskrižja nema zajedničkih traka ili prilaz ima samo jednu traku, postoji korespondencija jedan na jedan između grupa traka i grupa kretnji. U ovakvoj situaciji protok grupe traka jednak je protoku grupa kretnji.

### 3.4. PRILAGODBA SATURACIJSKOG PROTOKA PREMA PREVLADAVAJUĆIM UVJETIMA

U ovom koraku izračunava se saturacijski protok za svaku traku koja se nalazi u grupi traka. Kao ulazna varijabla za ovaj proračun koristi se osnovna stopa saturacijskog protoka. Saturacijski protok predstavlja maksimalni protok tijekom otpuštanja vozila iz reda čekanja za vrijeme trajanja zelenog signala te ga se iskazuje u voz/h.

Postupak opisan u ovom koraku primjenjuje se na grupe traka koje se sastoje od posebne trake (ili traka) koja radi u unaprijed određenom zaštićenom načinu rada i bez interakcije pješaka ili bicikla. Sljedeća jednadžba koristi se za izračunavanje prilagođene stope saturacijskog protoka po traci za određenu grupu traka:

$$S = S_0 f_w f_{HVg} f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} f_{wz} f_{ms} f_{sp}$$

S - prilagođena stopa zasićenja protoka (veh/h/ln)

S<sub>0</sub> - osnovna stopa zasićenja protoka (pc/h/ln)

f<sub>w</sub> - faktor prilagodbe širine trake

f<sub>HVg</sub> - faktor prilagodbe za teška vozila i nagibe

f<sub>p</sub> - faktor prilagodbe za postojanje parkirne trake i aktivnosti parkiranja uz grupu traka

f<sub>bb</sub> - faktor podešavanja blokirajućeg učinka lokalnih autobusa koji se zaustavljaju unutar područja raskrižja

f<sub>a</sub> - faktor prilagodbe za vrstu područja

$f_{LU}$  – faktor prilagodbe iskorištenosti trake

$f_{LT}$  – faktor prilagodbe prisutnosti lijevih skretanja u grupi traka

$f_{RT}$  – faktor prilagodbe prisutnosti desnih skretanja u grupi traka

$f_{Lpb}$  – faktor prilagodbe za pješake koji spadaju u grupu lijevih skretača

$f_{Rpb}$  – faktor prilagodbe za pješake i bicikliste koji spadaju u grupu desnih skretača

$f_{wz}$  – faktor prilagodbe za zonu radova na raskrižju

$f_{ms}$  – faktor prilagodbe uslijed zastoja nakon križanja

$f_{sp}$  – faktor prilagodbe uslijed utjecaja kontinuiranog produljenog reda čekanja na sljedećem raskrižju

### 3.5. PRORAČUN KOLIČINE DOLAZAKA TIJEKOM ZELENOG INTERVALA

Kontrolno kašnjenje i duljina reda na signalnom raskrižju uvelike ovise o udjelu vozila koja stignu tijekom zelenog i crvenog intervala. Kašnjenje i duljina reda znatno su manji kada veći udio vozila pristigne na raskrižje tokom zelenog intervala. Za izračun količine dolazaka za svaku grupu traka tijekom zelenog intervala koristi se sljedeća formula:

$$P = R_p \frac{g}{C}$$

$P$  – udio vozila koja dolaze tijekom zelenog intervala

$R_p$  – period crvenog intervala

$g$  – efektivno vrijeme zelenog intervala

$C$  – duljina ciklusa

Ova formula zahtijeva prethodno znanje o efektivnom zelenom vremenu ( $g$ ) i o duljini ciklusa ( $C$ ). Te se varijable koriste kada imamo unaprijed određeno fiksno trajanje faza.

### 3.6. PRORAČUN TRAJANJA SIGNALNIH FAZI

Trajanje signalne faze ovisi o vrsti kontrole koja se koristi na određenom raskrižju. Ako raskrižje ima unaprijed određeno fiksno trajanje signalnih faza, tada je trajanje faze ulaz, a procjena se nastavlja u sljedećem koraku.

### 3.7. ODREĐIVANJE KAPACITETA I ODNOSA VOLUMENA I KAPACITETA

Kapacitet dane grupe traka koja opslužuje jedno prometno kretanje, a za koju nema dopuštenih skretanja ulijevo, definiran je sljedećom jednadžbom:

$$c_i = s_i \frac{g_i}{C}$$

$c_i$ -kapacitet prilazne trake ili grupe prometnih traka,

$s_i$ -saturacijski protok za prilaz,

$g_i$ - efektivno vrijeme zelenog intervala za prilaz,

$C$ -duljina sig.ciklusa

Ova formula ne može se koristiti za izračunavanje kapaciteta kada imamo dijeljene trake grupa traka ili grupe traka s dopuštenim operacijama jer takve grupe traka imaju i druge čimbenike koji utječu na njihov kapacitet. Odnos volumena i kapaciteta za grupu traka definiran je kao omjer volumena grupa traka i njezinog kapaciteta. Taj odnos prikazujemo sljedećom formulom:

$$x = \frac{q}{c}$$

$x$ - stupanj saturacije,

$q$ - protok na prilazu raskrižja (voz/h)

$c$ - kapacitet prilazne ceste (voz/h)

### 3.8. IZRAČUN FAKTORA KAŠNJENJA ( eng. *DELAY*)

Kašnjenje koje se izračunava u ovom koraku predstavlja prosječno kontrolno kašnjenje koje zahvaća sva vozila koja stignu tokom razdoblja analize. Uključuje sva kašnjenja koja su nastala zbog tih vozila koja su još uvijek u redu (koloni) i nakon završetka analize. Kontrolno kašnjenje za danu grupu traka izračunava se pomoću sljedeće formule:

$$d=d_1 + d_2 + d_3$$

d – kontrolno kašnjenje (s/voz)

d<sub>1</sub> – uniformno kašnjenje (s/voz)

d<sub>2</sub> – slučajno-random kašnjenje (s/voz)

d<sub>3</sub> – početno kašnjenje (s/voz)

### Uniformno kašnjenje

Formula :

$$UD = \frac{C \left[1 - \left(\frac{g}{C}\right)\right]^2}{2 \left[1 - \left(\frac{v}{s}\right)\right]}$$

Uniformno kašnjenje za određenu grupu traka koja opslužuje jedno prometno kretanje i za koje nema dopuštenih kretanja izračunava se na temelju sljedećih formula:

Jednadžba 1 :

$$d_1 = PF \frac{0.5 C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - [\min(1, X) g/C]}$$

Ova jednadžba ne daje točne rezultate kada se radi o grupi sa zajedničkim trakama i trakama za dopušten rad, te kada postoji početni red čekanja za jednu ili više kretnji.

Jednadžba 2 :

$$PF = \frac{1 - P}{1 - \frac{g}{C}} \times \frac{1 - y}{1 - \min(1, X) P} \times \left[1 + y \frac{1 - P C/g}{1 - g/C}\right]$$

Jednadžba 3 :

$$y = \min(1, X) g/C$$

PF – faktor prilagodbe

y – omjer protoka

P – udio vozila koja dolaze tijekom zelenog signala (decimalni prikaz)

g – efektivno vrijeme zelenog intervala (s)

C – duljina ciklusa (s)

### Početno kašnjenje u redu čekanja

Pojam početnog kašnjenja reda čekanja obračunava dodatno ujednačeno kašnjenje nastalo zbog početnog reda čekanja.. Takav red rezultat je nezadovoljene prometne potražnje u prethodnom vremenskom razdoblju. Početno kašnjenje čekanja iznosi 0.0 s/voz kada nije prisutan početni red na početku razdoblja analize za bilo koju grupu traka raskrižja.

### Slučajno (eng. random delay) kašnjenje

Formula:

$$RD = \frac{\left(\frac{v}{c}\right)^2}{2v \left[1 - \left(\frac{v}{c}\right)\right]}$$

Slučajno kašnjenje sastoji se od dvije komponente kašnjenja. Jedna komponenta objašnjava kašnjenje zbog učinka slučajnih, neravnomjernosti potražnje koje povremeno prekoračuju kapacitet. Druga komponenta objašnjava kašnjenje zbog trajnog prezasićenja tijekom razdoblja analize. Ovo kašnjenje nastaje kada ukupna potražnja tijekom razdoblja analize prekoračuje ukupni kapacitet.

Sljedećim formulama izračunavamo ovu vrstu kašnjenja :

$$d_2 = 900 T \left[ (X_A - 1) + \sqrt{(X_A - 1)^2 + \frac{8 k l X_A}{c_A T}} \right]$$
$$X_A = v/c_A$$

$X_A$  – prosječan omjer volumena i kapaciteta

$c_A$  – prosječan kapacitet (voz/h)

Pojam slučajnog kašnjenja vrijedi za sve vrijednosti  $X_A$  , uključujući visoko zasićene grupe traka.

### *Izračun zbirnog kašnjenja*

Uglavnom je poželjno izračunati prosječno kontrolno kašnjenje za pristup raskrižju. Ovakvo skupno kašnjenje predstavlja određenu stopu kašnjenja, gdje je svako kašnjenje grupe traka određeno stopom potražnje grupe traka.

Kontrolno kašnjenje na prilazu računa se sljedećom formulom :

$$d_{A,j} = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} d_i v_i}{\sum_{i=1}^{m_j} v_i}$$

$d_{A,j}$  – kontrolno kašnjenje na prilazu za prilaz  $j$  (s/voz)

$d_i$  – kontrolno kašnjenje za grupu traka  $i$  (s/voz)

$m_j$  – broj grupa traka na prilazu  $j$

Kontrolno kašnjenje raskrižja računa se na sličan način:

$$d_I = \frac{\sum d_i v_i}{\sum v_i}$$

$d_I$  – kontrolno kašnjenje raskrižja (s/voz)

Uvjeti zbrajanja u ovoj formuli predstavljaju zbroj za sve grupe traka na predmetnom raskrižju.



### 3.9. ODREĐIVANJE KRITERIJA USLUŽNOSTI (LOS)

Kriterij uslužnosti je kvalitativna mjera koja opisuje prevladavajuće operativne uvjete prometnog toka, a može ga se odrediti za svaki pristup raskrižju, svaku grupu traka te za cijelo raskrižje[1]. Za izračun razine uslužnosti za cijelo raskrižje ili prilaz raskrižja koristi se izračun kontrolnog kašnjenja, dok se izračun kriterija uslužnosti za grupu traka temelji na izračunu kontrolnog kašnjenja i omjera volumena i kapaciteta. Prikaz rezultata tog izračuna vidljiv je u sljedećoj tablici:

**Tablica 3. Razine uslužnosti temeljene na odnosu volumena i kapaciteta**

Razina uslužnosti (LOS) koja se temelji na veličini odnosa volumena i kapaciteta		
Kontrolno kašnjenje (s/voz)	$\leq 1.0$	$>1.0$
$\leq 10$	A	F
$>10-20$	B	F
$>20-35$	C	F
$>35-55$	D	F
$>55-80$	E	F
$>80$	F	F

\*Za procjene koje se odnose na prilaze raskrižja i općenito cijelog raskrižja LOS se definira isključivo kontrolnim kašnjenjem.

Izvor: Treći dio HCM priručnika, 19.poglavlje, str 19-16, prikaz 19-9

Kao što se vidi i u prethodnoj tablici, kriterij uslužnosti dijelimo u šest razina, od A do F. Gdje razina uslužnosti A predstavlja najbolje operativne uvjete (slobodan tok bez zastoja), a razina F predstavlja najlošije uvjete (zastoji, kašnjenja). U sljedećoj tablici je detaljan opis svake od razina uslužnosti na temelju kontrolnog kašnjenja i omjera volumena i kapaciteta.

**Tablica 4. Opis razina uslužnosti**

Razina uslužnosti A	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kontrolno kašnjenje od 10 s/voz ili manje</li> <li>➤ Omjer volumena i kapaciteta manji od 1.0</li> <li>➤ Povoljno napredovanje vozila kroz raskrižje</li> <li>➤ Duljina ciklusa vrlo je kratka</li> <li>➤ Vozila prolaze kroz raskrižje za vrijeme trajanja zelenog signala bez zaustavljanja</li> </ul>
Razina uslužnosti B	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kontrolno kašnjenje između 10 i 20 s/voz</li> <li>➤ Omjer volumena i kapaciteta manji od 1.0</li> <li>➤ Napredovanje vozila kroz raskrižje je vrlo povoljno</li> <li>➤ Kratka duljina ciklusa</li> <li>➤ Vozila prolaze raskrižjem slobodno ali dolazi do više zaustavljanja nego u prethodnoj razini</li> </ul>
Razina uslužnosti C	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kontrolno kašnjenje između 20 i 35 s/voz</li> <li>➤ Omjer volumena i kapaciteta nije manji od 1.0</li> <li>➤ Napredak vozila povoljan je</li> <li>➤ Duljina ciklusa je umjerena</li> <li>➤ Pojedinačni neuspjesi ciklusa su mogući zbog nedovoljnog kapaciteta ciklusa</li> <li>➤ Značajan broj vozila koja se zaustavljaju, ali i značajna razina vozila koja prolazi bez zaustavljanja</li> </ul>
Razina uslužnosti D	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kontrolno kašnjenje između 35 i 55 s/voz</li> <li>➤ Omjer volumena i kapaciteta nije manji od 1.0</li> <li>➤ Ova razina dodjeljuje se kad je omjer volumena i kapaciteta visok, napredovanje vozila nije učinkovito ili kad je duljina ciklusa duga</li> <li>➤ Mnoga vozila se zaustavljaju i dolazi do neuspješnih ciklusa</li> </ul>
Razina uslužnosti E	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kontrolno kašnjenje između 55 i 80 s/voz</li> <li>➤ Omjer volumena i kapaciteta ne veći od 1</li> <li>➤ Ova razina dodjeljuje se kad je omjer volumena i kapaciteta visok, napredak vozila je nepovoljan i dužina ciklusa je duga te su prisutni česti neuspjesi ciklusa</li> </ul>
Razina uslužnosti F	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kontrolno kašnjenje veće od 80 s/voz</li> <li>➤ Omjer volumena i kapaciteta veći od 1</li> <li>➤ Ova razina dodjeljuje se kad je omjer volumena i kapaciteta vrlo visok, napredak vozila je vrlo slabo, duljina ciklusa je preduga te većina ciklusa je neuspješna i ne uspijeva doći do rasčišćivanja vozila u redu čekanja</li> </ul>

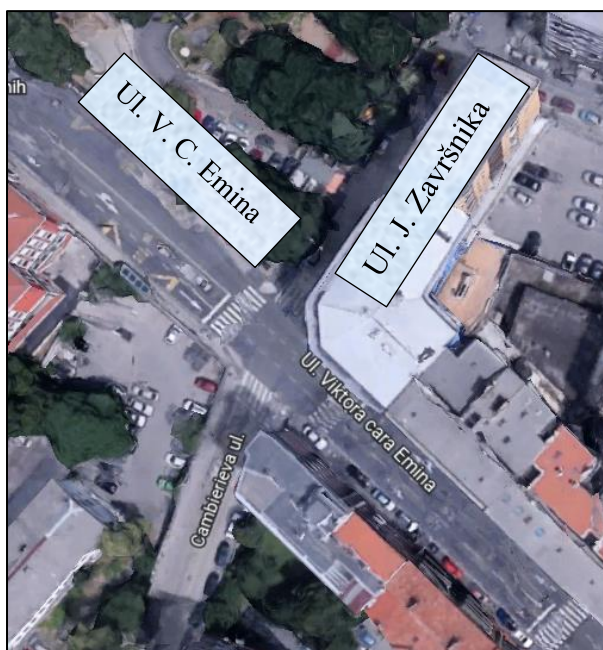
Izvor: Napravila studentica na temelju tablice prikazane na predavanjima [2]

## **4. PRIMJER ANALIZE KAPACITETA I USLUŽNOSTI U GRADU RIJECI, PODRUČJE POTOK**

### **4.1.OPIS PODRUČJA**

U ovom poglavlju prikazan je proračun kapaciteta i razine uslužnosti napravljen na konkretnom primjeru dva signalna raskrižja na području grada Rijeke. Radi se o raskrižjima na području Potok, koja se spajaju glavnom ulicom Viktor Cara Emina.

Prvo raskrižje je ono na zapadnoj strani ulice V.C.E. i to je četverokrako raskrižje, označavati će ga se sa oznakom R38. Na ovom raskrižju spajaju se tri ulice a to su: Ulica V.C. Emina(zapad) koja iz smjera zapada nastavlja smjerom ravno kroz raskrižje prema nastavku te iste ulice odnosno u smjeru drugog raskrižja i lijevo u ul. J. Završnika; Ulica V.C. Emina(istok) je i ona koja čini privoz raskrižja iz smjera istoka prema zapadu, te se njome promet odvija u smjeru ravno prema zapadu ili desno prema ul. J. Završnika; Cambierijeva ulica spada pod sporednu cestu i iz nje je moguće skrenuti lijevo prema zapadu ulicom V.C. Emina prema Vukovarskoj ulici, desno prema istoku u ulicu V. C. Emina ili nastaviti ravno kroz raskrižje u jednosmjernu ulicu J. Završnika; treća ulica je ulica Josipa Završnika i ona je također jednosmjerna te se promet njome odvija samo u smjeru sjevera, u nju se ulijeva promet vozila iz sve tri prethodno navedene ulice koje čine tri privoza raskrižja R38.



**Slika 2. Geografski prikaz raskrižja R38**

Izvor: Google Earth

Drugo raskrižje nalazi se na istočnoj strani ulice V. C. Emina i to raskrižje nalazi se u nastavku prethodno opisanog raskrižja, označavati će ga se sa oznakom R39. Također ga se opisuje kao četverokrako raskrižje i glavna ulica tog raskrižja jest ona V. C. Emina. Tim raskrižjem se spajaju tri ulice: Ulica V. C. Emina (zapadna strana) kojom se može nastaviti ravno u ulicu V. C. Emina prema istoku ili desno u smjeru ulice N. Tesle; Ulica V. C. Emina (istočna strana) kojom se može nastaviti ravno kroz raskrižje prema prethodno navedenom raskrižju odnosno prema ulici V. C. Emina (u smjeru zapada) ili se može skrenuti lijevo u ulicu N. Tesle; Ulica Nikole Tesle nalazi se na južnom dijelu ovog raskrižja i njome se može skrenuti lijevo u smjeru zapada ulicom V. C. Emina ili desno u smjeru istoka također ulicom V. C. Emina; ulica N. Cara jednosmjerna je ulica i njome se promet odvija iz smjera sjevera desno u smjeru zapadne strane ul. V. C. Emina ili ravno u smjeru ulice N. Tesle. Raskrižje se sastoji dakle od četiri privoza koje tvore navedene ulice.



**Slika 3. Geografski prikaz raskrižja R39**

Izvor: Google Earth

#### **4.1.1. Privozi i prometne trake**

##### *4.1.1.1. Raskrižje R38*

Raskrižje V.C.E.- Cambierijeva - J. Završnika sastoji se od tri privoza odnosno pet privoznih traka.

Prvi privoz: ul. V. C. Emina (smjer zapad) – ul. J. Završnika – ul. V. C. Emina (nastavak ulice prema R39)

Ovaj privoz ima dvije prilazne trake: jedna traka je dijeljena traka kojom se može proći ravno kroz raskrižje te nastaviti ulicom V.C. Emina prema sljedećem raskrižju ili se tom trakom može skrenuti lijevo u ulicu J. Završnika; druga traka na ovom prilazu odnosi se samo na kretanje ravno kroz raskrižje u nastavak ulice V. C. Emina prema istoku odnosno prema drugom raskrižju.

Drugi privoz: Cambierijeva ul. – ul. J. Završnika – ul. V. C. Emina

Ovaj privoz također se sastoji od dvije prilazne trake: jedna traka je dijeljena traka i odnosi se na prolaz ravno kroz raskrižje iz smjera Cambierijeve ulice prema ulici J. Završnika ili na skretanje lijevo prema ulici V. C. Emina u smjeru zapada; druga privozna traka odnosi se na skretanje u desno iz Cambierijeve ulice prema ul. V. C. Emina u smjeru istoka odnosno prema drugom raskrižju.

Treći privoz V. C. Emina(istok) - V.C. Emina (zapad) - J. Završnika

Ovaj privoz sastoji se od jedne privozne trake koja je dijeljena traka i odnosi se na prolaz ravno kroz raskrižje, iz smjera istoka ulicom V. C. Emina prema nastavku ulice V. C. Emina u smjeru zapada, te na skretanje desno iz V. C. Emina (istočna strana ulice) u ulicu J. Završnika.

#### 4.1.1.2. Raskrižje R39

Raskrižje V. C. Emina - N. Tesle - N. Cara sastoji se od četiri privoza odnosno sedam privoznih traka.

##### Prvi privoz: ul. V. C. Emina (iz smjera R38) - N. Tesle-V. C. Emina (prema istoku grada)

Ovaj privoz sastoji se od dvije privozne trake: prva privozna traka jest ona za skretanje desno iz smjera V. C. Emina (zapad, smjer iz R38) prema ul. N. Tesle a druga privozna traka jest ona koja služi za prolaz ravno kroz raskrižje u nastavak ul. V. C. Emina u smjeru istoka odnosno prema centru grada.

##### Drugi privoz: ul. N. Tesle - ul. V. C. Emina (istok) – ul. V. C. Emina (zapad)

Ovaj privoz sastoji se od jedne dijeljene privozne trake kojom se autobusi kreću desno u smjeru ul. V. C. Emina (istok) ili lijevo u smjeru ul. V. C. Emina (zapad).

##### Treći privoz: ul. V. C. Emina (istok) - ul. V. C. Emina (zapad prema R38) – ul. N. Tesle

Ovaj privoz sastoji se od tri privozne trake: traka namijenjena za prolaz ravno kroz raskrižje odnosno iz ul. V. C. Emina iz smjera istoka u ul. V. C. Emina u smjeru zapada koja ide prema R38 ; dvije trake za lijevo skretanje iz smjera ul. V. C. Emina iz smjera istoka u ul. N. Tesle.

##### Četvrti privoz: ul. N. Cara – ul. N. Tesle – V. C. Emina (u smjeru zapada prema R38)

Ovaj privoz sastoji se od jedne dijeljene trake koja služi za prolaz ravno kroz raskrižje iz ul. N. Cara u ul. N. Tesle ili za desno skretanje iz ul. N. Cara u ul. V. C. Emina u smjeru zapada odnosno prema R38.

## 4.2. ANALITIČKI PRORAČUN POMOĆU PROGRAMA SIDRA INTERSECTION I VISSIM

U ovom dijelu predstavljen će biti proračun kapaciteta, odnosno izračun parametara na temelju kojih se određuje uslužnost određenih raskrižja. Program SIDRA baš kao i Vissim služe upravo za proračun određenih parametara raskrižja, kao što su stupanj uslužnosti raskrižja, duljinu reda čekanja, kašnjenje, stupanj saturacije itd. Za početak potrebno je odrediti za svako raskrižje neke osnovne elemente na temelju kojih se radi analiza. U sljedećoj tablici navedeni su glavni podaci potrebni za analiziranje. Treba napomenuti kako se u analizi u obzir ne uzima pješački promet već samo promet motornih vozila.

**Tablica 5. Popis ulaznih podataka potrebnih za analitički proračun**

<b>ULAZNI PODACI/PRETPOSTAVKE POTREBNI ZA ANALIZU</b>
Određivanje područja analize
Određivanje prilaza, prilaznih traka te smjerova kretanja na raskrižjima
Definiranje o kakvoj se signalizaciji na raskrižjima radi (signalna raskrižja)
Brojanje prometa odnosno utvrđivanje količine vozila koja prolaze raskrižjima
Utvrđivanje koje se skupine vozila koriste raskrižjima (teška i laka vozila)
Definiranje signalnog plana (dobiveni predložak signalnog plana te stvarno mjerenje), utvrđivanje broja faza te trajanje svjetlosnih intervala

Izvor: Pripremila studentica

Analizom će se dobiti podaci navedeni u sljedećoj tablici:

**Tablica 6. Podaci koji se dobivaju analitičkim proračunom**

<b>CILJ ANALIZE/PODACI DOBIVENI ANALIZOM</b>
Razina uslužnosti raskrižja odnosno privoza raskrižja
Kašnjenje
Red čekanja
Stupanj saturacije

Izvor: pripremila studentica



## 4.3. RAČUNALNA SIMULACIJA VISSIM

### 4.3.1. Izrada simulacije u programu Vissim

Prvo i osnovno bilo je potrebno nacrtati elemente raskrižja prema geometriji. Prometne trake crtaju se pomoću opcije *Links*. Kada su osnovni elementi napravljeni bilo je potrebno dodati pozadinsku sliku kako bi ona što konkretnije prikazivala stvarni izgled dvaju raskrižja. Ovaj korak može se napraviti i prije samog crtanja elemenata raskrižja kako bi se što točnije spajalo linkove i kako bi dobili što točniju geometriju raskrižja. Bilo je također potrebno urediti postavke brzine (*Reduced Speed Areas*) za područja u kojima je na raskrižju potrebno smanjiti brzinu. Također, trebalo je odrediti kompozicije vozila (*Vehicle Compositions*) koji su kasnije bili potrebni kada su se ubacivali ulazni podaci za svaki od privoza na raskrižjima odnosno *Vehicle Input*. Što se tiče ulaznih podataka, oni su dobiveni na temelju prosječnih podataka (mjerenih detektorima) o broju vozila koja dolaze na raskrižje. Prosjek se uzimao na temelju 6 radnih dana za konkretne datume u razdoblju 2019. i 2020. godine. Bilo je potrebno izračunati prosjek svih dana te iz prosječnih vrijednosti izvući one koji se odnose na vršne sate u danu (vršni sati između 6 i 10 sati ujutro). Nakon ubacivanja ulaznih podataka za svaki privoz trebalo je također urediti podatke za *Vehicle Routing Decision* odnosno unesti podatke posebno za svaku kretnju na raskrižjima. Nakon što su u model bili ubačeni svi potrebni podaci bilo je potrebno urediti postavku *Signal Controllers/Signal Groups*. Ova postavka predstavlja unos signalnog plana. Za analizu je dobiven već određen signalni plan te je on ubačen u simulaciju[3]. Također, kako se analiza ne bi temeljila samo na tom signalnom planu (koji je možda zastario i/ili se više ne koristi) bilo je potrebno utvrditi stvarni signalni plan za promatrane vršne sate u danu, pa se u tom slučaju on morao mjeriti u određeno doba dana na navedenim raskrižjima. Analiza je provedena 25. svibnja 2022. godine. U model je ubačen dakle dobiveni signalni plan i onaj stvarno izmjereni signalni plan. Nakon ubacivanja signalnih planova uređivala se postavka *Signal heads* odnosno postavljale su se signalne glave na oba raskrižja. Na temelju tih signalnih glava moguće je funkcioniranje signalnog plana u simulaciji. Na kraju svega, kada su svi podaci bili ubačeni analizirala se postavka *Node*. Nju je bilo potrebno nacrtati na oba raskrižja te se uz pomoć te postavke došlo do rezultata koji su bili bitni za ovu analizu kao što su uslužnost raskrižja, duljina reda čekanja, kašnjenje i ostali podaci.

### 4.3.2. Rezultati dobiveni u programu Vissim pomoću postavke *Node*

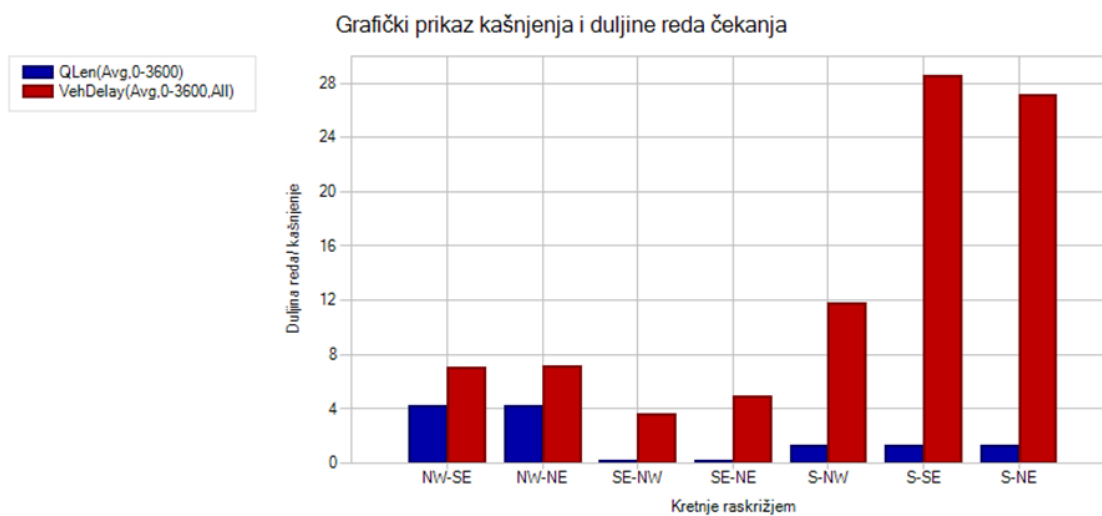
#### 4.3.2.1. Rezultati analize raskrižja R38 i R39 pomoću postavke *Node* za signalni plan 1-2 (dobiveni signalni plan)

**Tablica 7. Podaci dobiveni analitičkim proračunom u Vissim programu za dobiveni signalni plan**

Count	SimRun	TimeInt	Movement	Move...	QLen	QLenMax	Veh...	Pers(All)	LOS(All)	LOSVal(All)	VehDelay...	StopDelay(All)	Stops(All)	
170	10	0-3600	2: R39	Total	0,00	0,00	63	63	LOS_A		1	0,30	0,00	0,00
171	Average	0-3600	1: R38 - 1@34.6 - 3...	NW-SE	4,23	43,37	51	51			1	7,05	3,61	0,32
172	Average	0-3600	1: R38 - 1@34.6 - 11...	NW-NE	4,23	43,37	24	24			1	7,11	3,49	0,33
173	Average	0-3600	1: R38 - 4@40.4 - 2...	SE-NW	0,22	7,45	4	4			1	3,62	2,21	0,15
174	Average	0-3600	1: R38 - 4@40.4 - 11...	SE-NE	0,22	7,45	3	3			1	4,96	2,31	0,29
175	Average	0-3600	1: R38 - 10@35.1 - 2...	S-NW	1,27	15,78	2	2			2	11,80	8,21	0,46
176	Average	0-3600	1: R38 - 10@35.1 - 3...	S-SE	1,27	15,78	2	2			3	28,54	22,22	0,77
177	Average	0-3600	1: R38 - 10@35.1 - 1...	S-NE	1,27	15,78	2	2			3	27,19	21,54	0,75
178	Average	0-3600	1: R38	Total	1,91	43,63	88	88			1	7,87	4,38	0,34
179	Average	0-3600	2: R39 - 3@43.3 - 6...	NW-SE	0,25	17,12	32	32			1	0,57	0,11	0,04
180	Average	0-3600	2: R39 - 3@43.3 - 8...	NW-SW	0,25	17,12	21	21			1	1,25	0,16	0,05
181	Average	0-3600	2: R39 - 7@52.8 - 4...	NE-NW	0,00	0,00	0	0			1	0,05	0,00	0,00
182	Average	0-3600	2: R39 - 7@52.8 - 8...	NE-SW	0,00	0,00	0	0			1	0,00	0,00	0,00
183	Average	0-3600	2: R39 - 9@51.8 - 4...	SW-NW	0,00	0,00	0	0			1	0,14	0,00	0,00
184	Average	0-3600	2: R39 - 9@51.8 - 6...	SW-SE	0,00	0,00	0	0			1	0,07	0,00	0,00
185	Average	0-3600	2: R39 - 12@5.9 - 4...	SE-NW	0,00	0,00	6	6			1	0,14	0,00	0,00
186	Average	0-3600	2: R39 - 12@5.9 - 8...	SE-SW	0,00	0,00	11	11			1	0,57	0,00	0,01
187	Average	0-3600	2: R39	Total	0,06	17,12	71	71			1	0,72	0,09	0,03

Izvor: Pripremila studentica na temelju vlastitog modela i rezultata dobivenih u programu Vissim

## Raskrižje R38 - rezultati

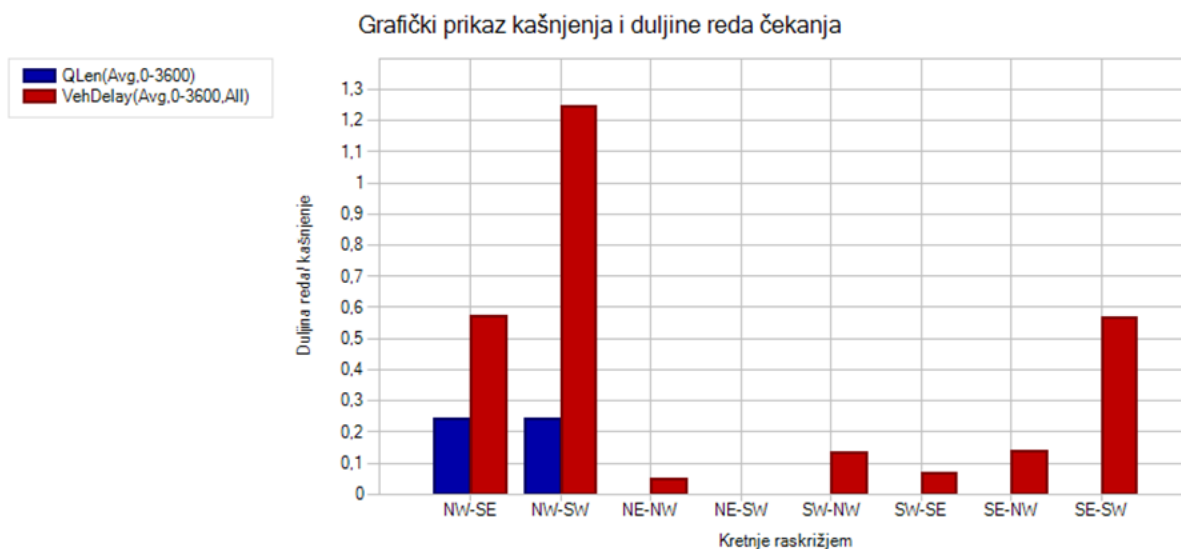


**Grafikon 3. Prikaz kašnjenja i duljine reda čekanja na raskrižju R38 (na temelju dobivenog signalnog plana)**

Izvor: Izradila studentica na temelju modela izrađenog u Vissim programu

Na temelju ovog grafičkog prikaza za raskrižje R38 uočeno je kako do najvećeg kašnjenja vozila dolazi na prilazu iz Cambijerijeve ulice, dok se najveći red čekanja stvara na kretnjama iz ulice Viktor Cara Emina u smjeru grada i u smjeru ulice J. Završnika.

## Raskrižje R39 - rezultati



**Grafikon 4. Prikaz kašnjenja i duljine reda čekanja na raskrižju R39 (na temelju dobivenog signalnog plana)**

Izvor: Izradila studentica na temelju modela izrađenog u Vissim programu

Na temelju ovog grafičkog prikaza za raskrižje R39 uočeno je kako do najvećeg kašnjenja vozila dolazi na prilazu raskrižja iz Viktora Cara Emina (ulica iz smjera R38) na kretnjama u smjeru ulice V. C. Emina (u smjeru istoka) i u smjeru ulice N. Tesle.

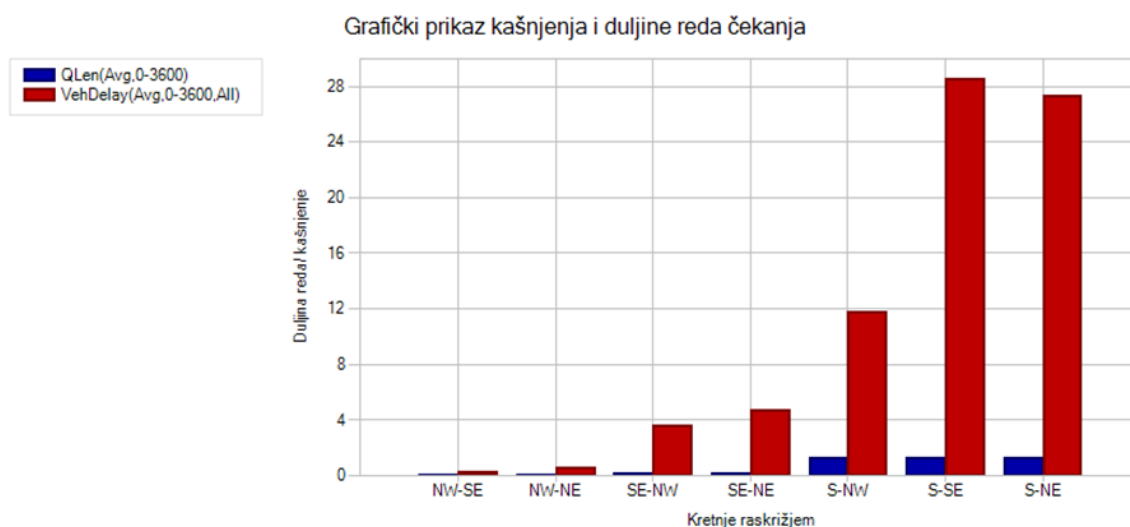
4.3.2.2. Rezultati analize raskrižja R38 i R39 pomoću postavke Node za signalni plan 3-4 (izmjereni signalni plan)

**Tablica 8. Podaci dobiveni analitičkim proračunom u Vissim programu za stvarno izmjereni signalni plan**

Count	SimRun	TimeInt	Movement	Move...	QLen	QLenMax	Veh...	Pers(All)	LOS(All)	LOSVal(All)	VehDelay...	StopDelay(All)	Stops(All)	
169	10	0-3600	2: R39 - 12@5.9 - 8...	SE-SW	0,00	0,00	12	12	LOS_A		1	0,78	0,00	0,00
170	10	0-3600	2: R39	Total	0,00	0,00	63	63	LOS_A		1	0,27	0,00	0,00
171	Average	0-3600	1: R38 - 1@34.6 - 3...	NW-SE	0,07	1,78	51	51			1	0,31	0,08	0,00
172	Average	0-3600	1: R38 - 1@34.6 - 11...	NW-NE	0,07	1,78	24	24			1	0,62	0,00	0,00
173	Average	0-3600	1: R38 - 4@40.4 - 2...	SE-NW	0,22	7,44	4	4			1	3,62	2,21	0,15
174	Average	0-3600	1: R38 - 4@40.4 - 11...	SE-NE	0,22	7,44	3	3			1	4,73	2,31	0,29
175	Average	0-3600	1: R38 - 10@35.1 - 2...	S-NW	1,27	15,78	2	2			2	11,80	8,21	0,46
176	Average	0-3600	1: R38 - 10@35.1 - 3...	S-SE	1,27	15,78	2	2			3	28,56	22,22	0,77
177	Average	0-3600	1: R38 - 10@35.1 - 1...	S-NE	1,27	15,78	2	2			3	27,32	21,54	0,75
178	Average	0-3600	1: R38	Total	0,52	16,91	88	88			1	2,18	1,38	0,06
179	Average	0-3600	2: R39 - 3@43.3 - 6...	NW-SE	0,07	6,82	32	32			1	0,15	0,04	0,01
180	Average	0-3600	2: R39 - 3@43.3 - 8...	NW-SW	0,07	6,82	21	21			1	0,70	0,04	0,00
181	Average	0-3600	2: R39 - 7@52.8 - 4...	NE-NW	0,00	0,00	0	0			1	0,05	0,00	0,00
182	Average	0-3600	2: R39 - 7@52.8 - 8...	NE-SW	0,00	0,00	0	0			1	0,00	0,00	0,00
183	Average	0-3600	2: R39 - 9@51.8 - 4...	SW-NW	0,00	0,00	0	0			1	0,14	0,00	0,00
184	Average	0-3600	2: R39 - 9@51.8 - 6...	SW-SE	0,00	0,00	0	0			1	0,07	0,00	0,00
185	Average	0-3600	2: R39 - 12@5.9 - 4...	SE-NW	0,00	0,00	6	6			1	0,15	0,00	0,00
186	Average	0-3600	2: R39 - 12@5.9 - 8...	SE-SW	0,00	0,00	11	11			1	0,60	0,00	0,01
187	Average	0-3600	2: R39	Total	0,02	6,82	71	71			1	0,38	0,03	0,01
188	Standa...	0-3600	1: R38 - 1@34.6 - 3...	NW-SE	0,17	4,04	5	5			0	0,26	0,18	0,01
189	Standa...	0-3600	1: R38 - 1@34.6 - 11...	NW-NE	0,17	4,04	6	6			0	0,17	0,00	0,00
190	Standa...	0-3600	1: R38 - 4@40.4 - 2...	SE-NW	0,17	5,29	2	2			0	4,25	3,09	0,17

Izvor: Pripremila studentica na temelju vlastitog modela i rezultata dobivenih u programu Vissim

## Raskrižje R38 – rezultati

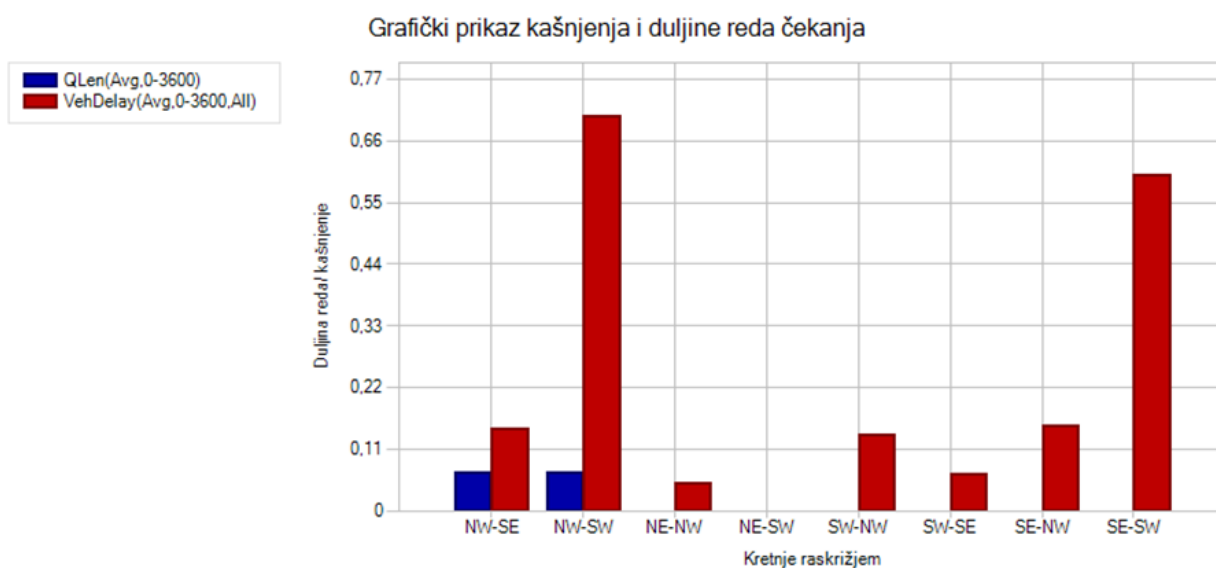


**Grafikon 5. Prikaz kašnjenja i duljine reda čekanja na raskrižju R38 (na temelju stvarno izmjerenog signalnog plana)**

Izvor: Izradila studentica na temelju modela izrađenog u Vissim programu

Na temelju ovog grafičkog prikaza za raskrižje R38 uočeno je kako do najveće duljine reda čekanja te do najvećeg kašnjenja vozila dolazi na kretnjama iz smjera Cambijerijeve ulice u smjeru V. C. Emina (u smjeru zapada i smjeru istoka) te u smjeru ulice J. Završnika.

## Raskrižje R39 - rezultati



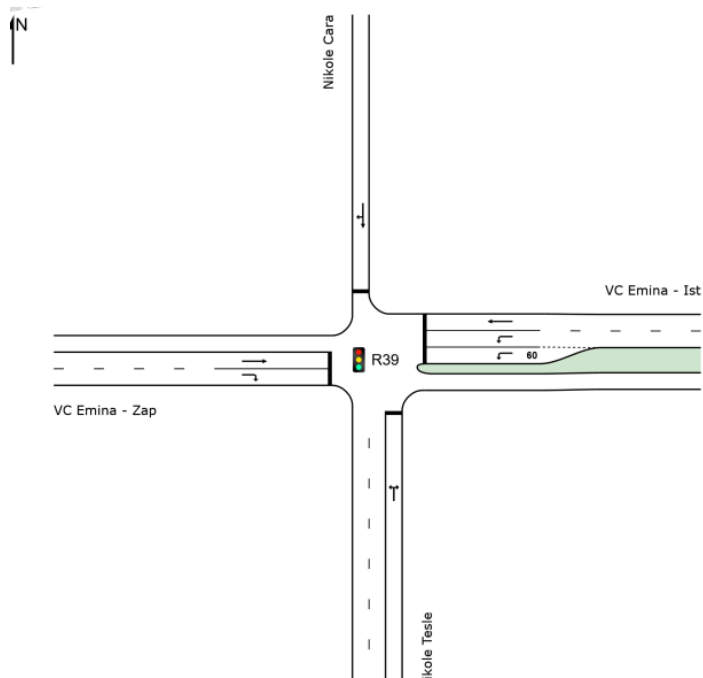
**Grafikon 6. Prikaz kašnjenja i duljine reda čekanja na raskrižju R39 (na temelju stvarno izmjenog signalnog plana)**

Izvor: Izradila studentica na temelju modela izrađenog u Vissim programu

Na temelju ovog grafičkog prikaza za raskrižje R39 uočeno je kako do najvećeg kašnjenja vozila dolazi na kretnjama ulicom V. C. Emina (iz smjera R38) prema ulici N. Tesle i prema ulici V. C. Emina (u smjeru istoka) te iz smjera V. C. Emina (iz smjera istoka) u smjeru ulice N. Tesle. Duljina reda čekanja stvara se na kretnjama iz smjera V. C. Emina (iz smjera R38) prema ulicama N. Tesle i prema ulici V. C. Emina (u smjeru istoka).

#### 4.4. ANALIZA U SIDRA INTERSECTION PROGRAMU

Analiza koja se provela u programu SIDRA INTERSECTION odnosila se samo na raskrižje R39. U sljedećem prikazu vidi se geometrija ovog raskrižja, privozi i privozne trake te smjerovi kretanja vozila na raskrižju. Analiza je provedena na temelju 30-minutnog intervala između 9:15 i 9:45 sati ujutro. Potrebno je bilo za početak odrediti koje raskrižje analiziramo, te na koji način se raskrižje regulira. Kasnije su se ubacivali podatci poput: broja traka na raskrižju, smjerova kretanja raskrižjem, određivanje trajanja vremenskog intervala analize, ulazni podatci količine vozila za određeno razdoblje analize, uređivanje signalnih faza i trajanje ciklusa. Ovo su samo neki od podataka koji se u aplikaciju mogu upisati i koristiti za analizu.



**Slika 4. Geometrijski prikaz raskrižja**

Izvor: SIDRA INTERSECTION program

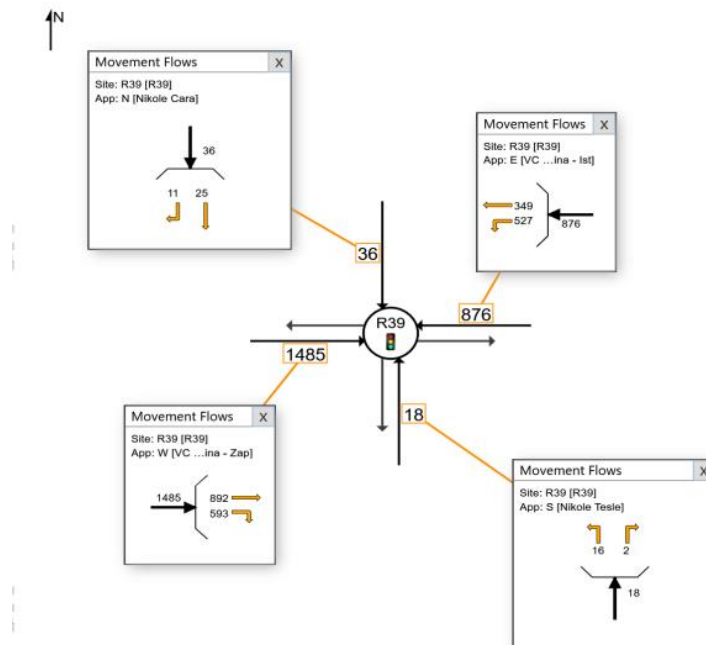


#### 4.4.1. Podaci dobiveni analizom u aplikaciji SIDRA

##### *Protok vozila po privozima i kretanjama na svakom od privoza*

Na ovom prikazu vidi se broj vozila koja ulaze u raskrižje na svakom od privoza. Također, vidi se i točno koliko vozila ulazi kojom privoznom trakom i u kojem smjeru se kreću vozila kroz raskrižje. Očito je kako se glavina prometa odvija glavnom ulicom V.C.Emina:

1. iz smjera zapada u ulicu V.C.Emina prema istoku te u smjeru juga u ulicu N.Tesle.
2. iz smjera istoka prema V.C.Emina u smjeru zapada te u smjeru juga u ulicu N.Tesle.

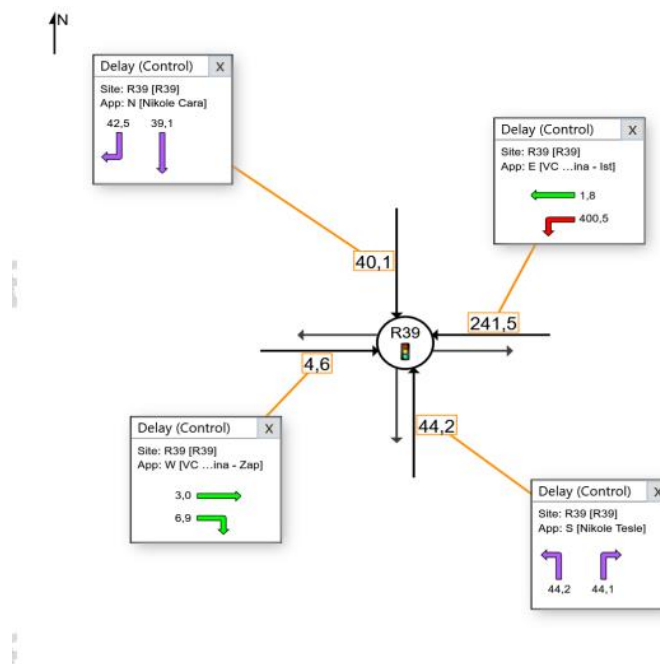


**Slika 5. Prikaz broja vozila koja ulaze na svaki od privoza raskrižja R39**

Izvor: SIDRA INTERSECTION program

## Kontrolno kašnjenje

Ovim prikazom pokazani su podatci za prosječno kontrolno kašnjenje po vozilu za svaku kretnju na svakom od privoza raskrižja. Ponovno se može primijetiti na temelju kontrolnog kašnjenja na kojim prilazima dolazi do odlične ili solidne razine uslužnosti a gdje se ipak javlja loša razina uslužnosti. Razina uslužnosti F (najlošija razina uslužnosti) javlja se na kretnji iz smjera istoka ulicom V. C. Emina gdje vozila skreću lijevo u ulicu N. Tesle te ovdje dolazi do čak 400 sekundi kašnjenja po vozilu.

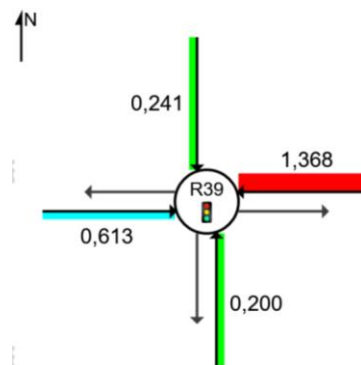


**Slika 6. Kontrolno kašnjenje po pojedinim kretnjama te privozima na raskrižju R39**

Izvor: SIDRA INTERSECTION program

### *Stupanj saturacije po privozima*

Na temelju ovog prikaza vidi se omjer potražnje i kapaciteta po trakama na raskrižju. Jasno je kako je kapacitet privoza naspram potražnje zadovoljavajući u ulicama N. Cara i N. Tesle. U ulici V. C. Emina odnosno na zapadnom privozu raskrižja također je zadovoljena potražnja. Do problema dolazi na istočnom privozu koji također čini ulica V. C. Emina jer ovdje dolazi do nepovoljnog stupnja saturacije, što znači da je potražnja veća od kapaciteta privoza.

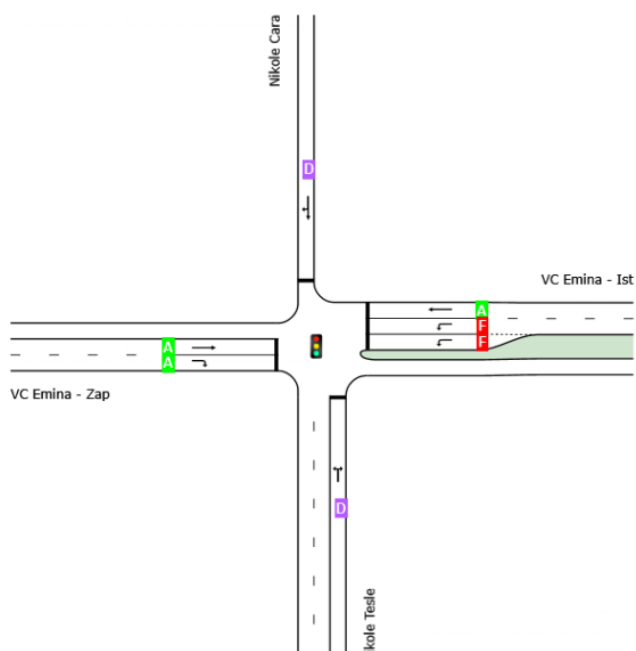


**Slika 7. Prikaz stupnja saturacije po privozima na raskrižju R39**

Izvor: SIDRA INTERSECTION program

### Stupanj uslužnosti za svaku kretnju na raskrižju

Grafičkim prikazom definirane su posebno razine uslužnosti za svaku od kretnji na raskrižju. Vidi se da je razina uslužnosti na privozu iz smjera zapada prema jugu i istoku- A, što znači da je odlična. Na prilazu iz smjera juga razina uslužnosti je D, što je malo lošije od A međutim to je i dalje zadovoljavajući stupanj uslužnosti. Ista takva razina uslužnosti je i na privozu iz smjera sjevera. Što se tiče istočnog privoza ovdje je jasno vidljivo kako je razina uslužnosti za kretnju iz smjera istoka prema zapadu odlična, no za kretnje iz smjera istoka prema jugu dolazi do F razine uslužnosti koja je nezadovoljavajuća. U ovom slučaju do nezadovoljavajuće razine uslužnosti dolazi vjerovatno jer se radi o lijevom skretanju za koje nije posebno uređena još jedna signalna faza.



**Slika 8. Prikaz stupnja uslužnosti za svaku pojedinu kretnju na raskrižju R39**

Izvor: SIDRA INTERSECTION program

#### **4.4.2. Zaključak analize iz SIDRA INTERSECTION programa**

Na raskrižju R38 (V. C. Emina-Cambijerijeva ulica-J. Završnika) stvara se veliki red čekanja iz smjera ulice V.C. Emina u smjeru istoka i na skretanju u ulicu J. Završnika te se najveće kašnjenje vozila događa na prilazu Cambijerijeve ulice gdje vozila skreću desno i lijevo te nastavljaju ravno. Što se tiče ovog raskrižja problem vjerojatno nastaje iz razloga što nisu svugdje uređene posebne signalne faze za lijeva i desna skretanja. Trebalo bi se u budućnosti razmotriti ideja o tome da se takve dodatne faze urede ili da se na neki način pokuša urediti raskrižje kako bi došlo do što manjeg opterećenja u takvim vršnim satima u danu. Treba napomenuti kako ipak na prilazu iz Cambijerijeve ulice postoji dio faze koji desnim skretačima dopušta kretanje dok je aktivno zeleno svijetlo na kretnji iz ul. V. C. Emina (smjer zapad).

Na raskrižju R39 (V. C. Emina-N. Tesle-N. Cara) se također najveće kašnjenje i najveći red čekanja vozila dešava na prilazu iz smjera V. C. Emina (iz smjera zapada) gdje vozila nastavljaju ravno u smjeru centra grada ili skreću lijevo u ulicu N. Tesle te iz suprotnog smjera ul V. C. Emina (smjer istok) gdje vozila skreću lijevo u ulicu N. Tesle. Problem ovdje nastaje ponovno zbog skretanja vozila koja dolaze iz smjera grada te skreću lijevo prema ulici N. Tesle. Ovdje bi također trebalo razmotriti ideju o dodavanju dodatne faze koja bi tim vozilima koja skreću omogućila nesmetan prolaz raskrižjem tokom određenog vremena. Na taj način bi se smanjio i red čekanja na prilazu iz smjera R38 jer bi tada vozila koja dolaze iz tog smjera nesmetano mogla nastaviti kretanje ravno kroz raskrižje jer ne bi morala propuštati vozila koja skreću iz suprotnog smjera.

Prvo raskrižje R38 koje ima 3 privoza signalnim je planom dobro uređeno iako svejedno dolazi do redova čekanja i kašnjenja vozila u jutarnjim vršnim satima zbog toga što tada velike količine vozila kreću uglavnom u istom smjeru prema istoku odnosno centru grada. Najviše gužve stvara se naravno ulicom V. C. Emina u smjeru drugog raskrižja R39, također se i Cambijerijevom ulicom stvara red čekanja i kašnjenje vozila vjerojatno iz razloga što se tim ulicama uglavnom skreće u ulicu V.C.Emina pa zbog skretanja vozila više usporavaju.

## 5. ZAKLJUČAK

Analizom ova dva raskrižja R38 i R39 koja se nalaze u gradu Rijeci na području Potok, može se zaključiti kako se gradskim prometnicama odvija velika količina prometa pogotovo u vršnim periodima dana. Primjerice u ovom slučaju u jutarnjim vršnim satima kada se zbog odlaska na posao, u školu te zbog obavljanja drugih obaveza na području grada stvaraju velike gužve na određenim dionicama prometnica u smjeru centra grada odnosno iz smjera zapada prema istoku grada Rijeke.

S obzirom da se analiza odnosila na dva signalna raskrižja koja se nalaze u nizu jedno za drugim, zaključuje se da su signalni planovi usklađeni na oba raskrižja, odnosno oni su planirani na način da se vozila što manje zaustavljaju za vrijeme trajanja zelenog signala te da se u tom intervalu, glavnom ulicom V.C.Emina (iz smjera zapada te istoka), dopusti kretanje što većoj količini vozila. Također se i sa sporednih prilaza na oba raskrižja u drugoj signalnoj fazi signalnog plana dopušta kretanje vozila koja se nalaze na tim prilazima. Analizom je uočeno kako na oba raskrižja dolazi do kašnjenja vozila te da se stvaraju redovi čekanja osobito na određenim prilazima.

Kroz ovaj rad može se zaključiti kako signalni planovi iako pomno planirani ipak imaju određenih nedostataka. S obzirom da je period analize bio vršni sat u danu kada se tim dionicama odvija velika količina prometa jasno je da će doći do kašnjenja, te da će uslužnost raskrižja biti nešto lošija, što ne znači da će tako biti kroz cijeli dan. Treba uzeti u obzir također da se ovdje radi o gradskoj prometnici koja prolazi skoro pa centrom grada te je normalno da zbog geometrije i lokacije samih raskrižja nije moguće dovesti razinu uslužnosti do najvišeg stupnja.

Trebalo bi se u budućnosti razmotriti ideju o novijim postavkama signalnih planova na ova dva analizirana raskrižja kako bi se poboljšala razina uslužnosti, kako bi se smanjilo stvaranje redova čekanja i poboljšao protok vozila, osobito u vršnim satima u danu kada se povećava količina vozila koja koriste te dijelove ceste i općenito prometnice u urbanoj sredini.

## LITERATURA

- [1] The Nacional Academies, *Highway Capacity Manual A Guide for Multimodal Mobility Analysis*, 6th ed, Volume 3: Interrupted flow, Chapter 19, godina izdanja 2016. (pdf format)
- [2] Grubišić N., Prometno inženjerstvo, Autorizirana predavanja, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, 2021.
- [3] PEEK PROMET d.o.o., Uvodić B., Rajković D.; *Izvedbeni projekt semaforizacije*, godina izvedbe projekta 2002.
- [4] The Nacional Academies, *Highway Capacity Manual A Guide for Multimodal Mobility Analysis*, 6th ed, Volume 1: Concepts, Chapter 7, godina izdanja 2016. (pdf format)

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Razine upravljanja raskrižjem .....	7
Tablica 2. Grupe kretnji i grupe traka .....	15
Tablica 3. Razine uslužnosti temeljene na odnosu volumena i kapaciteta .....	24
Tablica 4. Opis razina uslužnosti.....	25
Tablica 5. Popis ulaznih podataka potrebnih za analitički proračun .....	31
Tablica 6. Podaci koji se dobivaju analitičkim proračunom .....	31
Tablica 7. Podaci dobiveni analitičkim proračunom u Vissim programu za dobiveni signalni plan.....	33
Tablica 8. Podaci dobiveni analitičkim proračunom u Vissim programu za stvarno izmjereni signalni plan.....	36



## POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Prikaz kašnjenja vozila zbog zaustavljanja na raskrižju .....	6
Grafikon 2. Grafički prikaz osnovnih atributa protoka prometa na signalnom raskrižju ....	11
Grafikon 3. Prikaz kašnjenja i duljine reda čekanja na raskrižju R38 (na temelju dobivenog signalnog plana).....	34
Grafikon 4. Prikaz kašnjenja i duljine reda čekanja na raskrižju R39 (na temelju dobivenog signalnog plana).....	35
Grafikon 5. Prikaz kašnjenja i duljine reda čekanja na raskrižju R38 (na temelju stvarno izmjerenog signalnog plana).....	37
Grafikon 6. Prikaz kašnjenja i duljine reda čekanja na raskrižju R39 (na temelju stvarno izmjerenog signalnog plana).....	38

## POPIS SLIKA

Slika 1. Popis koraka kojima se određuju parametri signalnog raskrižja .....	14
Slika 2. Geografski prikaz raskrižja R38 .....	27
Slika 3. Geografski prikaz raskrižja R39 .....	28
Slika 4. Geometrijski prikaz raskrižja .....	39
Slika 5. Prikaz broja vozila koja ulaze na svaki od privoza raskrižja R39 .....	40
Slika 6. Kontrolno kašnjenje po pojedinim kretnjama te privozima na raskrižju R39 .....	41
Slika 7. Prikaz stupnja saturacije po privozima na raskrižju R39 .....	42
Slika 8. Prikaz stupnja uslužnosti za svaku pojedinu kretnju na raskrižju R39 .....	43