

# Dodjela bezuvjetnog prioriteta vozilima pod pratnjom na raskrižjima

---

**Božić, Duje**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:432303>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-20**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Duje Božić**

**DODJELA BEZUVJETNOG PRIORITETA VOZILIMA POD PRATNJOM NA  
RASKRIŽJIMA**

**DIPLOMSKI RAD**

Zagreb, 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**DIPLOMSKI RAD**

**DODJELA BEZUVJETNOG PRIORITETA VOZILIMA POD PRATNJOM NA  
RASKRIŽJIMA**

**GRANTING UNCONDITIONAL PRIORITY TO ESCORTED VEHICLES AT  
INTERSECTIONS**

Mentor: doc. dr. sc. Miroslav Vujić

Student: Duje Božić, 1219049582

Zagreb, rujan 2022.

Zagreb, 6. lipnja 2022.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**  
Predmet: **Cestovna telematika**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 6987

Pristupnik: **Duje Božić (1219049582)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Dodjela bezuvjetnog prioriteta vozilima pod pratnjom na raskrižjima**

### Opis zadatka:

Kroz ovaj diplomski rad prikazati će se razvoj inteligentnih transportnih sustava i telematičkih rješenja, te dati pregled strategija dodjele prioriteta vozilima na raskrižjima sa semaforima. Također, prikazati će se struktura signalnih planova i algoritmi upravljanja. Pojasnit će se metodologija istraživanja i način prikupljanja podataka, te analizirati i evaluirati dobiveni rezultati.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

doc. dr. sc. Miroslav Vujić

## **Sažetak**

**Naslov:** Dodjela bezuvjetnog prioriteta vozilima pod pratnjom na raskrižjima

Ovaj diplomski rad fokusiran je na razvoj inteligentnih transportnih sustava i telematičkih rješenja te je obrađena arhitektura istog. Prikazana je strategija dodjele bezuvjetnog prioriteta vozila pod pratnjom te struktura signalnih planova i algoritama na raskrižju. Radom su obrađene metodologije istraživanja kao i njezini prikupljeni podatci koji su se analizom istraživanja proveli kroz obradu rezultata, odnosno izvršena je evaluacija prikupljenih rezultata u PTV VISSIM simulacijskom softver-u.

**Ključne riječi:** Inteligentni transportni sustavi; telematika; dodjela bezuvjetnog prioriteta; vozila pod pratnjom na raskrižjima

## **Summary**

**Title:** Granting unconditional priority to escorted vehicles at intersections

This graduate thesis focuses on the development of intelligent transport systems and telematic solutions and the architecture of it is processed. The strategy of assigning unconditional priority of escorted vehicles and the structure of signal plans and algorithms at the intersection are presented. The paper deals with the research methodologies as well as its collected data, which were carried out through the analysis of the research through the processing of the results, i.e. the evaluation of the collected results in the PTV VISSIM simulation softwer was carried out.

**Keywords:** Intelligent transport systems; telematics; granting an unconditional priority; escorted vehicles at intersections

## SADRŽAJ

<b>1. Uvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Razvoj inteligentnih transportnih sustava i telematičkih rješenja .....</b>	<b>3</b>
2.1. Inteligentni transportni sustavi .....	3
2.2. Arhitektura ITS-a .....	4
2.2.1. Fizička arhitektura .....	5
2.2.2. Logička arhitektura .....	5
2.2.3. Komunikacijska arhitektura .....	5
2.3. Telematika .....	6
2.4. Napredna telematička rješenja .....	7
2.4.1. Upravljanje priljevnim tokovima - Ramp metering .....	7
2.4.2. Varijabilno ograničenje brzine - Speed Limit Control .....	8
2.5. Arhitektura telematike .....	9
2.5.1. Centralizirana arhitektura .....	9
2.5.2. Distribuirana arhitektura s pojedinačnim vezama .....	9
2.5.3. Distribuirana mrežna arhitektura .....	10
<b>3. Pregled strategija dodjele prioriteta na raskrižju sa semaforima .....</b>	<b>11</b>
3.1. Aktivna strategija dodjele prioriteta .....	12
3.2. Pasivna strategija dodjele prioriteta .....	15
3.3. Prometno ovisna (adaptivna) strategija dodjele prioriteta .....	17
3.3.1. Model optimizacije .....	18
3.3.2. Genetski algoritam i neuronska mreža .....	18
3.3.3. Nejasni algoritam .....	19
<b>4. Struktura signalnih planova i algoritmi .....</b>	<b>20</b>
4.1. Adaptivni utjecaj na semaforizirano raskrižje .....	21
4.1.1. SCOOT .....	22
4.1.2. SCATS .....	22
4.1.3. UTOPIA .....	23
4.1.4. imFLOW .....	23
<b>5. Metodologija istraživanja i prikupljanje podataka .....</b>	<b>24</b>
5.1. Odabir testnog koridora/raskrižja .....	25
5.2. Opis postojećeg stanja testnog raskrižja .....	27
5.2.1. Geometrijski uvjeti odabranog raskrižja .....	28
5.2.2. Prometni uvjeti postojećeg stanja odabranog testnog raskrižja .....	29
5.2.3. Uvjeti semaforizacije testnog raskrižja .....	31

5.3. Izrada mikrosimulacijskog modela postojećeg stanja.....	33
5.3.1. Opis VISSIM modela.....	33
5.3.2. Kalibracija modela - GEH statistika.....	37
5.4. Izrada algoritma pružanja bezuvjetnog prioriteta .....	39
5.4.1. Opis korisničkog sučelja za izradu algoritma.....	39
5.4.2. Opis strategije dodjele bezuvjetnog prioriteta.....	39
5.4.3. Simuliranje prolaska VIP vozila i prikaz algoritma davanja prioriteta .....	41
<b>6. Analiza istraživanja i evaluacijski rezultati.....</b>	<b>44</b>
6.1. Evaluacija rezultata početnog scenarija .....	44
6.2. Evaluacija rezultata scenarija s dodjelom prioriteta.....	45
6.3. Usporedna analiza podataka.....	47
<b>7. Zaključak.....</b>	<b>50</b>
<b>Literatura.....</b>	<b>51</b>
<b>Popis kratica.....</b>	<b>53</b>
<b>Popis slika .....</b>	<b>53</b>
<b>Popis tablica.....</b>	<b>54</b>
<b>Popis grafikona.....</b>	<b>54</b>

## 1. Uvod

U današnjici zbog sve većeg nataliteta i prometne potražnje, dolazi do zagušenja u urbanim sredinama, također s povećanjem globalizacije i razvojem gospodarstva povećava se potražnja za visokokvalitetnim prijevoznim uslugama. Razlog tome se pridodaje rastu broja vozila po kućanstvu, a prometna mreža i dalje stagnira s razvijanjem i širenjem istog zbog nemogućnosti prostora. Način kako poboljšati sadašnjost i budućnost stremi u inteligentnim transportnim sustavima „(ITS)“ koji mogu učiniti prometnu mrežu i raskrižja učinkovitijim, pametnijim, sigurnijim te fluidnijim. Implementiranjem takvog sustava, tj. nadogradnja sustava u postojeće semafore i u vozila, mogla bi se smanjiti opterećenja na prometnicama te izvršiti dodjela prioriteta prolaska vozila od posebne važnosti, kao i mogućnost informiranja putnika. Dodjela bezuvjetnog prioriteta povezanim vozilima posebne važnosti na raskrižjima, u ovom slučaju VIP vozila (sportaši u pratnji, predsjednik u pratnji, itd.) prilikom posjete gradu zbog utakmice, važnih događanja, uz sva zagušenja koja prethodno postoje, stvaraju se još i dodatna zbog regulacije prometa od strane policijskih službenika na semaforima duž gradske mreže. Da bi prolazak takve vrste vozila bio lakši, brži, sigurniji te ekonomsko isplativiji potrebno je implementirati određeni sustav u infrastrukturu i na vozilo.

Svrha diplomskog rada je ustanoviti problematiku sudionika u prometu prilikom dolaska VIP vozila u urbanu sredinu, a cilj istraživanja je u skorijoj budućnosti omogućiti VIP vozilima fluidniji prolazak sa što manje zaustavljanja do odredišta, iskorijeniti policijski angažman upravljanja semaforima, izraditi simulacijski model određene dionice ceste sa sadržajnim parametrima broja vozila, vremena čekanja, repa čekanja, razine usluge. Kao dodatni parametri uzet će se ukupno vrijeme čekanja vozila, vrijeme putovanja i brzina vozila s prioritetskom pod pratnjom. Predložiti će se algoritam dodjele bezuvjetnog prioriteta povezanim vozilima. Rad je sastavljen od sedam cjelina:

1. Uvod
2. Razvoj inteligentnih transportnih sustava i telematičkih rješenja
3. Pregled strategija dodjele prioriteta na raskrižju sa semaforima
4. Struktura signalnih planova i algoritmi
5. Metodologija istraživanja i prikupljanje podataka
6. Analiza istraživanja i evaluacijski rezultati
7. Zaključak

U prvom poglavlju (*Uvod*) definirana je problematika navedene teme rada, određena je svrha i cilj istog te je navedena struktura, odnosno radne teze.

U drugom poglavlju (*Razvoj inteligentnih transportnih sustava i telematičkih rješenja*) definiran je koncept funkcioniranja inteligentnih transportnih sustava i naprednih telematička rješenja, kao i arhitektura navedenog.



U trećem poglavlju (*Pregled strategija dodjele prioriteta na raskrižju sa semaforima*) definirane su strategije u tri dimenzije dodjele prioriteta, njihov način obavljanja funkcija na semaforiziranom raskrižju, kao i koncept grafičkih prikaza tehnika dodjele.

U četvrtom poglavlju (*Struktura signalnih planova i algoritmi*) obrađena je tehnika optimizacije upravljanja i koordinacije pomaka podijeljenog ciklusa, optimizacija gradskog prometa integriranom automatizacijom te koordinirani prilagodljivi prometni sustav.

U petom poglavlju (*Metodologija istraživanja i prikupljanje podataka*) navedena je tehnika prikupljanja podataka te prometno opterećenje za navedeno raskrižje. Opisano je postojeće stanje odabranog testnog raskrižja i navedena je ruta atrakcije VIP vozila u pratnji. Opisani su koraci izrade prometnog modela u mikrosimulacijskom okruženju, koraci izrade algoritma dodjele prioriteta te spajanje algoritamskog sučelja sa sučeljem simulacijskog alata.

U šestom poglavlju (*Analiza istraživanja i evaluacijski rezultati*) obrađeni su dobiveni rezultati simulacijskog modela postojećeg stanja i budućeg stanja modela s bezuvjetnom dodjelom prioriteta. Prema evaluacijskim parametrima, utvrđena je mogućnost implementacije algoritma za promatrano raskrižje uz minimalni utjecaj na ostale prilazne.

U sedmom poglavlju (*Zaključak*) ukratko je opisan proces djelovanja dolaska VIP vozila pod pratnjom u urbanu sredinu promatranog raskrižja te se predloženi algoritam dodjele prioriteta pokazao ispravnim. Implementiranjem takvog sustava, može se povećati kvaliteta odvijanja prometa u urbanim sredinama pri dolasku VIP vozila u pratnji.

## 2. Razvoj inteligentnih transportnih sustava i telematičkih rješenja

Krajem 20. stoljeća problemi prometa i razvoj prometa išli su ruku pod ruku sa stvaranjem prometne znanosti i tehnologije. Kako sve više ljudi, roba i informacija zahtijeva prijevoz, povećale su se gužve na cestovnim, zračnim i drugim rutama. Uz zamjenu fizičkog kretanja virtualnim (korištenje telekomunikacija, interneta, rad na daljinu i učenje na daljinu), razvijen je i niz kibernetičkih rješenja nazvanih „inteligentni transportni sustavi“. ITS omogućuje poboljšanje informacijske transparentnosti prilikom upravljanja i odazivanja prometnog sustava, čime dobiva atribute inteligentnog sustava [1], [2], [3] i [4].

Kratica „ITS“ ili sintagma „inteligentni transportni sustavi“ ušla je u rječnik profesionalnih inženjera prometa i transporta tijekom 1990-ih. Dio njihova znanstvenog vokabulara postao je nakon prvog svjetskog kongresa ITS-a, održanog u Parizu 1994. godine. Prije toga se, između ostalih, koristio i izraz „inteligentni sustavi prometnica“ i „cestovna transportna telematika“ [5].

### 2.1. Inteligentni transportni sustavi

Inteligentni transportni sustav „(ITS)“ se može opisati kao skup aplikacija, usluga i infrastrukturnih uređaja koji omogućuju upravljanje informacijsko komunikacijskim nadogradnjama klasičnih transportnih sustava. Takav sustav ujedno i vrši poboljšanje protočnosti prometa, povećava učinkovitost, sigurnost, udobnost i zaštitu putnika te smanjuje onečišćenja okoliša [5].

U svojoj definiciji, inteligentni transportni sustavi koriste postojeću prometnu infrastrukturu na nove načine. To uključuje preusmjeravanje prometa u prostoru i vremenu, kao i usklađivanje kretanja vozila s postojećim cestama i opremom. Dodatno, ovi sustavi zahtijevaju međusobnu komunikaciju između vozila i okolne infrastrukture [5].

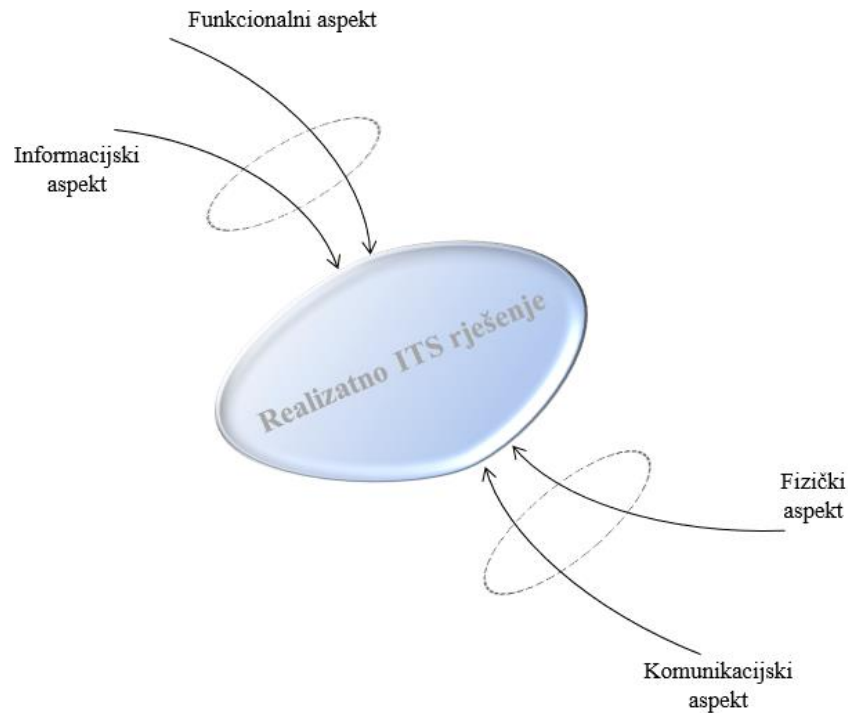
U prometnom sektoru nastaju različita rješenja glede inteligentnih transportnih sustava, navedene inovacije uvelike pripomažu odvijanju prometa, međutim potrebna je raširenija implementacija kako bi se sustavno više pridonijelo.

Neke od inovacija su [5]:

- pametna vozila i ceste;
- pametne kartice za plaćanje cestarine (ENC);
- dinamički navigacijski sustavi (GPS, GNSS);
- adaptivni sustavi za semaforizirana raskrižja;
- učinkovitiji javni prijevoz;
- brža dostava omogućena internetom;
- automatska dojava i lociranje vozila u nesreći (e-Call);
- biometrijski sustavi zaštite putnika itd.

Za uspješno funkcioniranje ITS-a trebaju se integrirati komponente (*Slika 1.*) [5]:

- funkcionalnog,
- informacijskog,
- fizičkog i
- komunikacijskog aspekta.



*Slika 1. Grafički prikaz Aspekata (arhitekture) ITS-a Izvor: [5]*

## 2.2. Arhitektura ITS-a

Arhitektura inteligentnog transportnog sustava predstavlja osnovnu organizaciju sustava s ključnim komponentama, njihovim odnosima i vezama s okolinom te njihovim principima projektiranja i razvoja, promatrajući cijeli životni ciklus sustava, prikaz na (*Slika 2.*) Arhitektura je grubi nacrt organizacije sustava, koji daje ključne komponente elemenata od kojih se mora sastojati te prikazuje kako treba funkcionirati s okolinom [5], [6].

Postoje tri vrste arhitekture u ITS-u, prikazano na slici 2. [5], [6].

- fizička arhitektura;
- logička arhitektura i
- komunikacijska arhitektura.

### **2.2.1. Fizička arhitektura**

Fizička arhitektura je struktura softvera i hardver informacijskih i telekomunikacijskih tehnologija, periferne opreme. Njime se definiraju osnovni zahtjevi za funkcioniranje, interakciju i postavljanje baze elemenata ITS-a [7].

Postoji mogućnost definiranja glavnih faza formiranja fizičke arhitekture [7]:

- određivanje potrebnih podsustava i njihovog položaja;
- odabir funkcija i podataka za podsustave;
- ako je potrebno, stvaranje modula unutar podsustava;
- definiranje funkcija i podataka za module u podsustavima;
- priprema informacija o sadržaju fizičke arhitekture.

### **2.2.2. Logička arhitektura**

Logička arhitektura definira modularnu strukturu ITS-a te predstavlja mozak sustava, odnosno, način na koji informacije putuju, od jedne točke izvorišta do točke odredišta. Određuje ciljne smjerove za uvođenje ITS-a (sigurnost, upravljanje prometom, nadzor cesta i vozila), kao i ciljne skupine zadataka, u skladu s kojima se formiraju ITS podsustavi [6],[8].

Takva arhitektura pokazuje potrebne funkcije kako bi zadovoljila zahtjeve korisnika. Izgrađena je u obliku dijagrama protoka podataka, koji sadrži funkcije, aplikacije, usluge, baze podataka, kao i podatke koji se prenose između njih. Svaka komponenta ima svoj opis, koji odražava koju funkciju obavlja. Po završetku funkcionalne arhitekture dodjeljuje se prostor za svaku funkciju i podaci pohranjeni u podsustavu ili unutar modula koji je dio podsustava [8].

### **2.2.3. Komunikacijska arhitektura**

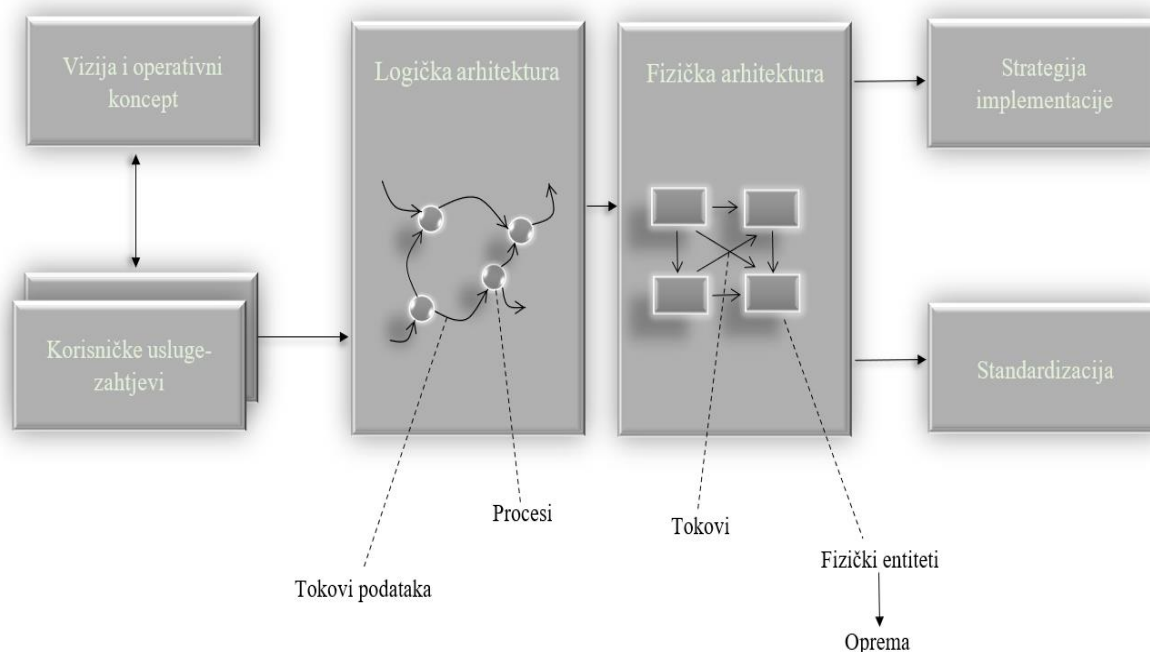
Komunikacijska arhitektura osnovni je dio sustava znanja u području ITS-a, ona definira oblike komuniciranja između entiteta, primjera, definira oblik protoka podataka. Arhitektura komunikacije čini zajednički složeni prikaz strukture objekata i ITS entiteta. Istodobno, za svaki projekt sustava, skup i funkcionalni opis objekata i entiteta može biti individualan. U principu, u arhitekturi domene registrirana su dva objekta: vozilo, infrastruktura i medij za održavanje njihove komunikacijske interakcije koji mogu biti:

- izravni (putem komunikacijskih kanala) i
- neizravni (putem utjecaja: tehnička sredstva i tehnologije usmjerene na informiranje protoka prometa).

Komunikacijska arhitektura ITS-a uključuje [9]:

- funkcije za pružanje usluge korisniku;
- fizički objekti ili podsustavi u kojima se te funkcije obavljaju;
- sučelja i protok informacija između fizičkih podsustava;
- komunikacijski zahtjevi za prijenos protoka informacija.

U nastavku je prikazana (slika 2.) logičke i fizičke arhitekture inteligentnih transportnih sustava.



Slika 2. Grafički prikaz logičke i fizičke arhitektura ITS-a. Izvor: [5]

Za bilo koju fizičku arhitekturu ITS-a može se definirati šest njegovih zajedničkih komponenti (složeni podsustavi ITS-a):

- 1) upravljanje prometom (izravno i neizravno upravljanje prometnim tokovima);
- 2) sustav naplate (npr. ceste s naplatom cestarine);
- 3) sustave za praćenje usklađenosti s prometnim pravilima i propisima;
- 4) korisničke usluge i usluge;
- 5) upravljanje uvjetima na cestama;
- 6) upravljački i dijagnostički sustav.

S druge strane, svaka takva komponenta sastoji se od niza instrumentalnih podsustava. Instrumentalni podsustav ITS-a kompleks je tehnoloških rješenja dovršenih u okviru jednog primijenjenog zadatka, realiziranog na temelju primjene ukupnosti telematskih tehničkih sredstava [9].

### 2.3. Telematika

Telematika je tehnologija koja kombinira telekomunikacijsku informatiku i bežične uređaje za slanje, primanje i pohranjivanje podataka povezanih s vozilima, dok cestovna telematika predstavlja skup tehnika u prijevoznim sredstvima i infrastrukturi koje koriste informacijske tehnologije (IT) u funkciji podrške i/ili obavljanja usluga u prometu [10].

Inteligentni transportni sustav ili ITS, definiran je kao 'sustav sustava'. To znači da uključuje tehničke, tehnološke i organizacijske aspekte. Usporedbe radi, klasična telematička rješenja koja se smatraju izoliranima su ona koja uključuju samo jedan od ovih aspekata. Primjeri uključuju sustave za elektroničku naplatu cestarine putem elektroničkih tablica, zelenih valova i SMS plaćanja parkiranja. Budući da ti sustavi nisu holistički s interoperabilnom fizičkom, logičkom i institucionalnom razinom, ne smatraju se inteligentnim transportnim sustavima. Prema tome, može se zapisati:

$$ITS \neq TT \quad (1)$$

$$ITS \cap TT \neq \emptyset$$

gdje je:

ITS - skup ITS rješenja

TT - skup telematičkih rješenja [5].

Telematički uređaji funkcioniraju tako da prikupljaju i prenose lokaciju pomoću GPS-a i drugih podataka specifičnih za vozilo putem mobilnih mreža ili satelitske komunikacije na centralizirani poslužitelj. Takvi podaci se obrađuju i pohranjuju u formatu prilagođenom korisniku, primjer, u kojemu vlasnici voznih parkova mogu pristupiti putem web-mjesta i aplikacija. Najčešća primjena telematike je u industriji logistike i prijevoza, a posebno u komercijalnim vozilima voznog parka. Podaci snimljeni pomoću telematskih uređaja mogu uključivati :

- brzinu i lokaciju,
- rad motora u praznom,
- kočenje ili ubrzanje,
- potrošnja goriva, temperatura, itd.

## 2.4. Napredna telematička rješenja

### 2.4.1. Upravljanje priljevnim tokovima - Ramp metering

Upravljanje priljevnim tokovima (*eng. Ramp metering*) je skup aplikacija koje upravljaju prometnim kontrolnim uređajima radi regulacije broja vozila koji ulaze ili izlaze sa prometnice. Cilj upravljanja priljevnim tokovima je smanjiti gužvu i harmonizirati prometni tok reduciranjem potražnje i kapaciteta prometnice. Također za cilj ima razdvojiti kolone na pojedinačna vozila, održati optimalan prometni tok minimiziranjem incidenta, smanjiti broj nezgoda prilikom uključivanja vozila na glavni prometni tok, dodijeliti prioritetan prolazak određenoj klasi vozila (teretna vozila, vozila javnog gradskog prijevoza), sekundarno smanjiti emisiju štetnih plinova i razinu buke [10].

Strategije upravljanja priljevnim tokovima:

- prometno ovisno;
- vremenski ovisno i
- ručno upravljanje.

prometno ovisno : (stvarno vremenska strategija koja se temelji na prometnim podacima s glavnog prometnog toka ulaza/izlaza)

vremenski ovisno : (temelji se na povijesnim prikupljenim podacima, pokreće se ciklički i nema odaziva na stvarno stanje na prometnici)

ručno upravljanje : (na temelju dostupnih podataka operater sam bira plan, umjesto da dopusti stroju da odabere plan umjesto njega) [10].

#### **2.4.2. Varijabilno ograničenje brzine - *Speed Limit Control***

Varijabilno ograničenje brzine (*eng. Speed Limit Control*) je ITS rješenje koje na temelju dobivenih (*real time*) podataka podešava ograničenje brzine glavnog prometnog toka. Ima za cilj uspostaviti harmonizirani prometni tok, smanjiti razliku brzine između vozila u različitim trakama (primjena pri većem prometnom opterećenju-autoceste) te provesti ograničenje brzine pred samo raskrižje [10].

SLC za harmonizaciju : omogućuje ujednačen i stabilan prometni tok u svim trakama te stvara uniforman i prihvatljiv interval slijeđenja [10].

SLC za smanjenje ograničenja brzine : postupno smanjuje ograničenje brzine prilikom loših vremenski uvjeta (vidljivost, skliski kolnik, vjetar, itd.). Pretežno se koristi automatska kontrola, uz mogućnost ručne prilagodbe operatera [10].

SLC na raskrižjima : vrši primjenu ograničenja brzine pred samo raskrižje (ponajviše nesemaforizirano), koristi se uz sustav informiranja putnika (na taj se način povećava vozačeva pažnja), detektori su postavljeni na sporednim privozima i na lijevom glavnom, ako vozila prilaze raskrižju sa sporednih privoza, brzina na glavnom privozu se postupno smanjuje te se vozači informiraju o prilasku raskrižju [10].

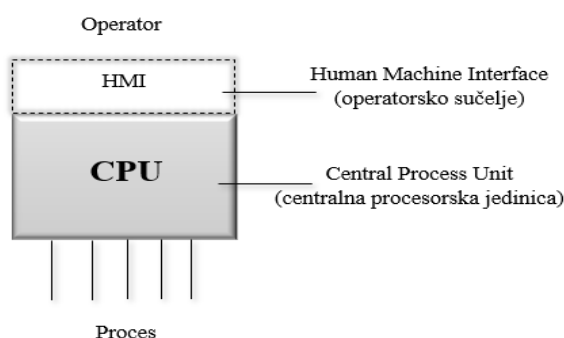
Kooperativni SLC (*Cooperative SLC*) je nadogradnja „postojećeg sustava“, omogućuje komunikaciju između vozila i infrastrukture (*Vehicle to infrastructure communication - V2I*). Ograničenje brzine „spušta se „na razinu pojedinačnog vozila i prikazuje ograničenje u svakom vozilu (putno računalo), ima mogućnost integracije s autonomnim sustavima upravljanja vozila [10]. Prednosti kooperativnog SLC-a [10]:

- individualno upravljanje vozilima
- prikaz ograničenja direktno putem putnog računala
- smanjeno vrijeme dobivanja informacija
- omogućena autonomnost rada sustava (ograničava se utjecaj i neposlušnost vozača)
- omogućena integracija drugih sustava upravljanja prometom (npr. *ramp metering*, adaptivno upravljanje, itd.).

## 2.5. Arhitektura telematike

### 2.5.1. Centralizirana arhitektura

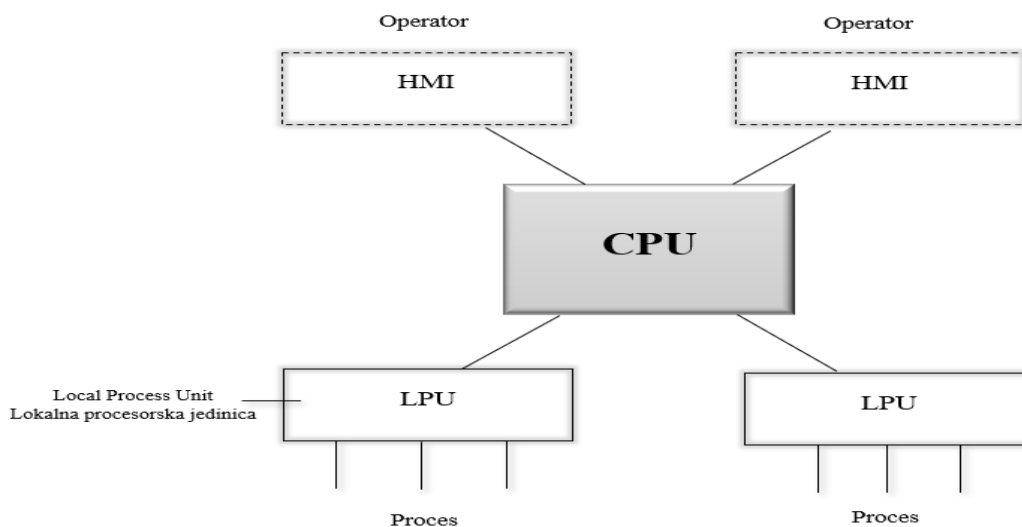
Centralizirana arhitektura je analogna tehnologija koja sadrži prikaz (Slika 3.) na samo jednu procesorsku jedinicu, a ta procesorska jedinica je izravno povezana s procesorom i operatorskim sučeljem za koje je odgovorna. Primarni prijenosni medij je bakar. Prednost je što je jeftin i jednostavan za ugradnju, ali s vremenom arhitektura zastarijeva i zamjenjuje se novijom. Prijave su još uvijek ograničene na manje podsustave sa strogim lokalnim nadzorom i upravljanjem [10], [11].



Slika 3. Grafički prikaz centraliziranog sustava. Izvor: [11]

### 2.5.2. Distribuirana arhitektura s pojedinačnim vezama

Distribuirana arhitektura s pojedinačnim vezama sadrži (Slika 4.) veći broj procesorskih jedinica fizičkih smještenih blizu nadzornih uređaja i operatorskih stanica. Procesorske jedinice komuniciraju između sebe putem hardver-a i softver-a koji su međusobno neovisnih komunikacijskih kanala. Troškovi osjetljivosti elektromagnetske smetnje su bitno smanjeni, pojednostavljeno je proširivanje i nadogradnja sistema [11].

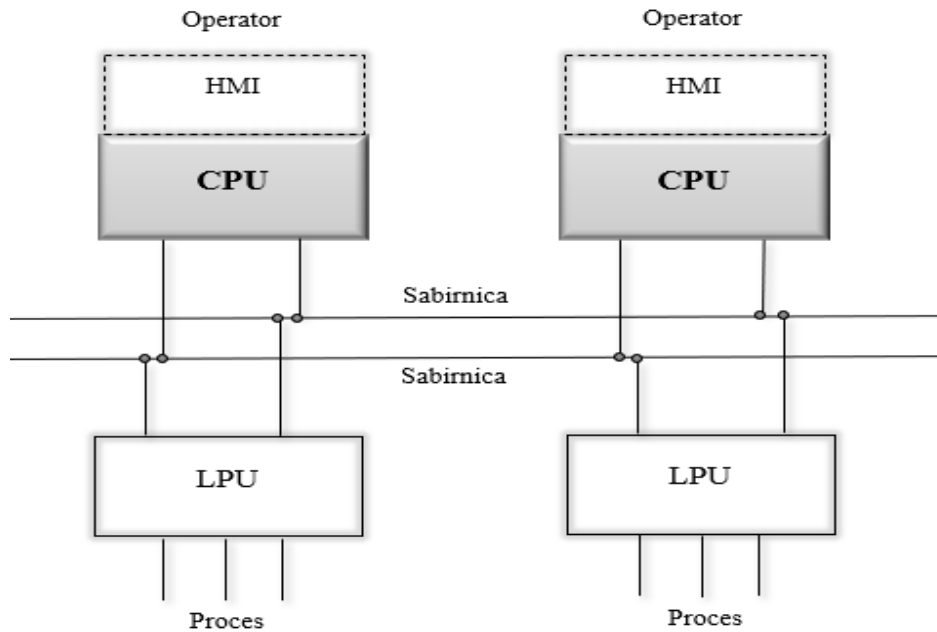


Slika 4. Grafički prikaz distribuirane arhitekture s pojedinačnim vezama. Izvor: [11]



### 2.5.3. Distribuirana mrežna arhitektura

Distribuirana mrežna arhitektura nema povezane procesorske jedinice s pojedinačnim komunikacijskim vezama, nego je spojena na zajedničku komunikacijsku mrežu, prikazano na (Slika 5.) Takvim načinom se podiže dodatna ušteda u ožičenju te prilikom postavljanja sustava pojednostavljuje proširenja i nadogradnju istog. Nedostaci su svedeni na minimum zbog već prethodno dostupnih komunikacijskih modula kako hardverskih, tako i softverskih [11].



Slika 5. Grafički prikaz distribuirane mrežne arhitekture. Izvor: [11]

### 3. Pregled strategija dodjele prioriteta na raskrižju sa semaforima

Strategije dodjele prioriteta na raskrižju sa semaforima, razvijene su i testirane na terenu ili s računalnom simulacijom u posljednjih 20 do 30 godina [12]. Davanje prednosti tranzitnim vozilima, odnosno vozilima žurne službe, javnog prijevoza, vozilima velikih gabarita (teretna vozila) i VIP vozilima na signaliziranim raskrižjima jedna je od najmoćnijih strategija za poboljšanje tranzitne usluge koja radi po razredu ili u mješovitom prometu [13]. Prilikom sudjelovanja javnog gradskog prijevoza (JGP-a) i ostalog prometa na raskrižjima gradskih prometnica, kašnjenje JGP-a iznosi oko 50% od ukupnog vremena kašnjenja [14]. Obrađene su brojne studije koje su pružile poprilično sveobuhvatan pregled vrsta strategije. Prema Furth i Muller-u, strategije se mogu kategorizirati kao tri šire dimenzije:

Prva dimenzija čini razliku između aktivnog i pasivnog prioriteta. Aktivni prioritet detektira prisutnost tranzitnih vozila u stvarnom vremenu, dok je kod pasivnog slučaj da su signalni planovi prethodno programirani te se izmjenjuju točno u određenim dnevnim intervalima [13], [14].

Druga dimenzija kategorizira se prema potpunom, djelomičnom te relativnom prioritetu. Potpuni prioritet koji je više uobičajen u Europi, nastoji tranzitnim vozilima pružiti uslugu nultog kašnjenja. Djelomični prioritet je češći slučaj korištenja u SAD-u i omogućava minimalni utjecaj na protok istog, poput, produljenja zelenog svjetla, ranijeg zelenog svjetla, strogog ograničenja duljine produljenja, itd. Relativni prioritet ima funkciju natjecanja tranzitnih vozila s drugim prometom za dobivanje zelenog svjetla, odnosno dobivanja prioriteta na raskrižju. Premda tranzitna vozila imaju veću težinu kako bi se obračunalo njihovo veliko putničko opterećenje, ali im se može uskratiti prioritet, ovisno o konkurentnim količinama prometa ili redovima čekanja, odnosno, povećanom protoku ostalog prometa na raskrižju [13], [14], [15].

Treća dimenzija dijeli se na bezuvjetni i uvjetni prioritet. Bezuvjetni prioritet znači da svako tranzitno vozilo ima prednost, ako mu se dodijeli bezuvjetni prioritet, bez obzira na kašnjenje voznog reda ili manji broj putnika u vozilu. Pojam apsolutni prioritet koristimo za upućivanje na potpuni aktivni bezuvjetni prioritet. Uvjetni prioritet, koji je proveden i u SAD-u i u Europi, znači da tranzitna vozila traže prioritet samo ako kasne [13], [14].

Strategije tranzitnih signalnih prioriteta najčešće su kategorizirane prema sljedeće tri kategorije [14],[16]:

- aktivni prioritet;
- pasivni prioritet i
- prometno ovisni (adaptivni) prioritet.

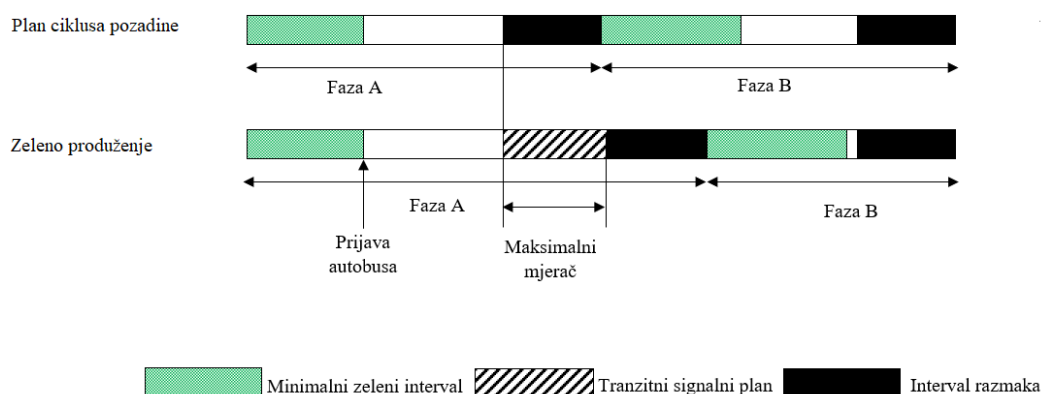
### 3.1. Aktivna strategija dodjele prioriteta

Strategija aktivnog prioriteta trenutno je najčešće korištena i testirana strategija tranzitnog signalnog plana na semaforiziranim raskrižjima. Zahtjeva sposobnost detekcije, odnosno, identifikacije tranzitnih vozila na raskrižju ili u blizini istog te uzrokuje promjenu redovitog rada signala kao odgovor na prisutnost tranzitnog vozila. Svrha rada je što manje čekanje tranzitnih vozila za prolazak raskrižjem. Tehnike aktivne dodjele prioriteta [11],[14],[16]:

- a) produljenje trajanja zelenog svjetla
- b) skraćeno trajanje crvenog svjetla/raniji početak zelenog svjetla
- c) dodatna faza za javni gradski prijevoz
- d) selektivne strategije.

#### a) produljenje trajanja zelenog svjetla

Produljenje trajanja zelenog svjetla uključuje, produljenje zelene faze nakon otkrivanja tranzitnog vozila prije isteka uobičajenog zelenog razdoblja. U većini slučajeva zeleno vrijeme za tranzitni pristup zadržava se ili produljuje dok tranzitno vozilo ne očisti raskrižje ili kada se dostigne unaprijed određeno maksimalno zeleno proširenje, tj. maksimalni mjerac vremena (*Slika 6.*).



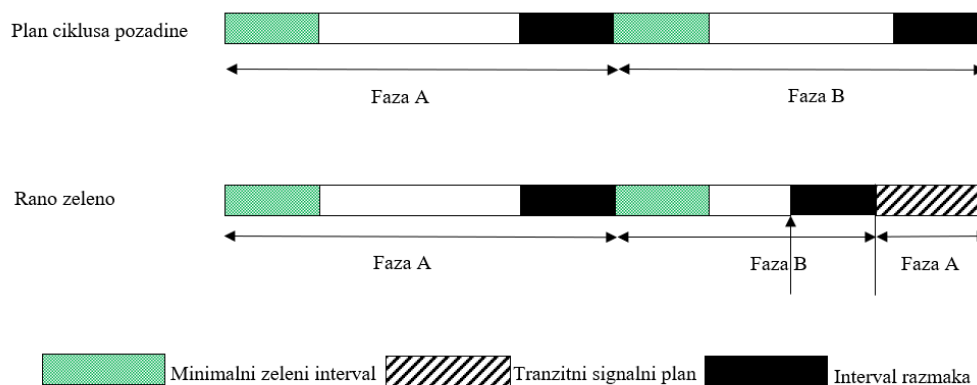
*Slika 6. Grafički prikaz produljenja trajanja zelenog svjetla. Izvor: [16]*

Maksimalni mjerac vremena obično se koristi za postavljanje maksimalne granice proširenja zelene faze, koja varira ovisno o prometnoj situaciji, npr. prometno opterećenje, broj vozila javnog gradskog prijevoza koji prolaze raskrižjem, itd. [16].

Da bi sustav mogao prepoznati izlazak tranzitnog vozila iz raskrižja, potrebno je implementirati dva detektora. Prvi detektor (*check-in detector*) koji detektira vozilo u dolasku, a drugi detektor (*check-out detector*) koji detektira je li vozilo prošlo kroz raskrižje [14].

## b) Skraćeno trajanje crvenog svjetla/raniji početak zelenog svjetla

Prilikom nailaska tranzitnog vozila na raskrižje, vrši se detekcija spomenutog. U trenutku dolaska takvih vozila na raskrižje u trajanju crvenog svjetla, faza se skraćuje u crvenoj ili preskače te dolazi do početka zelenog, odnosno rano zelenog na promatranom privozu (Slika 7.). Da bi se skratilo vrijeme čekanja tranzitnog prometa na raskrižju, potrebna je implementacija takve tehnike.

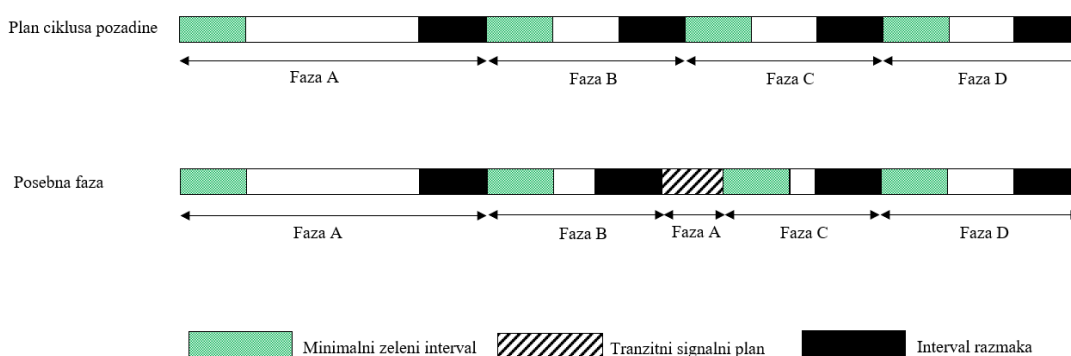


Slika 7. Grafički prikaz skraćenog trajanja crvenog svjetla/rano zeleno. Izvor: [16]

Količina skraćenog trajanja crvenog svjetla, odnosno, maksimalnog ranog zelenog svjetla, varira od specifičnosti prometne situacije. Vrijeme crvenog skraćivanja obično je kraće od vremena zelenog produljenja. A vrijeme crvenog skraćivanja ovisi o minimalnom vremenu hodanja i razmaka u pješачkoj fazi, tj. ovisi o matrici zaštitnih međuvremena. Prema autorima Chatila & Swenson (2001), postavljeno je maksimalno vrijeme skraćenog trajanja crvenog svjetla na 20% od normalne duljine trajanja crvene faze [14], [16].

## c) dodatna faza za javni gradski prijevoz

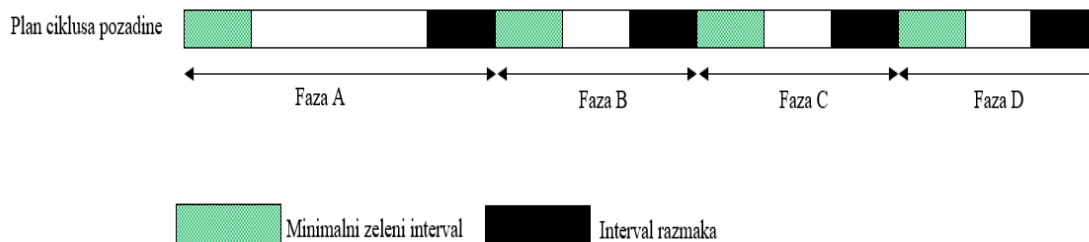
Dodatna faza za javni gradski prijevoz postavlja se isključivo za isto te samo u slučaju kada vremenski signalni plan ima više od dvije faze. Primjer slučaja s 4 faze, faza A isključivo za vozila jgp-a, a faze B, C i D za ostali promet (Slika 8.) [14], [16].



Slika 8. Grafički prikaz dodatne faze za vozila javnog gradskog prijevoza. Izvor: [16]

#### d) selektivne strategije

Selektivna strategija predstavlja najpogodniju strategiju aktivne dodjele prioriteta tranzitnim vozilima, a njihov dolazak na raskrižje je utvrđeno prema predviđenom vremenu dolaska u ciklus. Takve strategije mogu uključivati raniji početak zelenog svjetla, proširenje trajanja zelenog svjetla i posebno dodatnu fazu isključivo za promet tranzitnim vozilima. Primjer slučaja s 4 faze, faza A isključivo za tranzitna vozila, a faze B,C i D za ostali promet (*Slika 9.*) [14], [16].



*Slika 9. Grafički prikaz selektivne strategije u 4 faze. Izvor: [16]*

#### e) bezuvjetni u odnosu na uvjetni aktivni prioritet

Nakon što bezuvjetni prioritet zadovolji sigurnosne prometne parametre, dodjeljuje mu se prioritet prolaska, on se rijetko koristi za javni gradski prijevoz, dok je aplikativniji kod vozila žurnih službi [14]. Bezuvjetni prioritet u odnosu na uvjetni prioritet razlikuje se u „razmatranom poslanom zahtjevu“. Kod bezuvjetnog prioriteta, signal se daje svakom tranzitnom vozilu koje je zatražilo prioritet prolaska., međutim to radi na „slijepo“, bez da razmotri važnost zahtjeva. Takav pristup može donijeti negativnost u segmentu slučajnog zatraženog prioriteta te može nastati prekomjerno kašnjenje i redovi čekanja, što bi otežalo smještaj tranzitnih vozila koji stižu kasnije na raskrižje. Kod uvjetnog prioriteta nastoji se takav utjecaj svesti na minimum [17].

Nedostatak se može sanirati koristeći već navedene studije i prakse:

- uvjetni prioritet i
- selektivni prioritet (selektivne strategije) [16].

Uvjetni prioritet daje prioritet zahtjevu koji već unaprijed ima definirane kriterije, a dijeli se na 5 tehnika dodjele:

- pridržavanje rasporeda;
- popunjenost putnika;
- slobodno zeleno vrijeme;
- progresija autobusne linije i
- odstupanje autobusnog prolaza

Pridržavanje rasporeda: prioritet dodjele tranzitnim vozilima pruža se samo autobusima koji kasne, tj. dolaze prije ili poslije rasporeda. „Kašnjenje“ predstavlja različite varijacije, međutim, svrstava se kao negativno odstupanje bez obzira da li vozilo dolazi prije ili poslije rasporeda. Postavljen je varijabilni prozor u kojem se prioritet dodjeljuje samo ako autobus kasni više od 7 minuta [18].

Popunjenost putnika: prioritet dodjele bi se osigurao autobusima s većom frekvencijom putnika, a prazne autobuse bi se zanemarivalo [19].

Slobodno zeleno vrijeme: prioritet dodjele vrši se samo kada u signalnom ciklusu ima dovoljno slobodnog zelenog vremena, to jamči adekvatnu koordinaciju duž arterije i normalnije odvijanje faza na raskrižjima [18].

Progresija autobusne linije: prioritet dodjele bi se osigurao vozilima koji idu trasom nizbrdo, nasuprot vozila koji to obavljaju u suprotnom smjeru [18].

Odstupanje autobusnog prolaza: predložen je algoritam pod nazivom „Algoritam napretka“ za dodjelu selektivnog prioriteta na temelju omjera stvarnog napretka i planiranog napretka [20].

### **3.2. Pasivna strategija dodjele prioriteta**

Strategija pasivnog prioriteta koristi unaprijed odrađenu analizu tranzitnih pravaca te zahtjeva ulazne parametre za projektiranje rada signalnih grupa na semaforiziranom raskrižju. Takva strategija ne zahtjeva detekciju tranzitnih vozila, odnosno identifikaciju istih. Svrha rada pasivne strategije je što manje čekanje tranzitnih vozila za prolazak semaforiziranim raskrižjem smanjenjem duljine trajanja ciklusa ili s mogućnošću izmjene redosljeda faze koje daju češće zeleno svjetlo za tranzitni promet [14],[16].

Tehnike pasivne dodjele prioriteta:

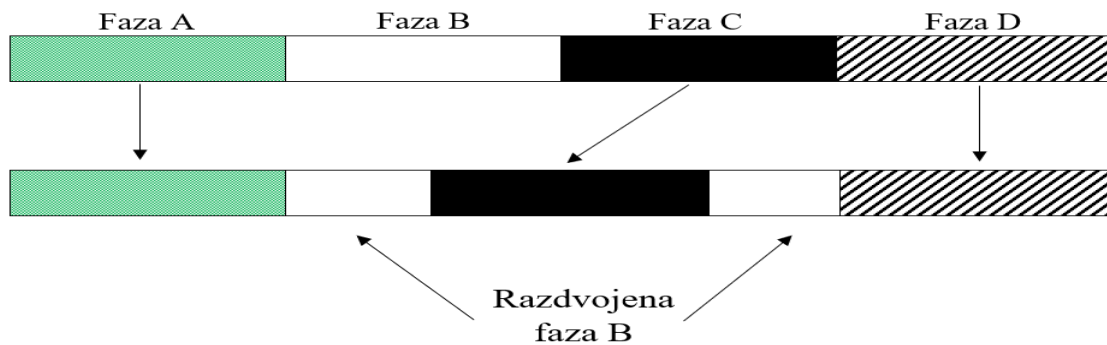
- a) korekcije zelenog svjetla
- b) podjela faza
- c) skraćeno trajanje ciklusa
- d) koordinacije voznog reda
- e) preskakanje repa čekanja

#### **a) korekcije zelenog svjetla**

Kod korekcije zelenog svjetla postoje dvije tehnike. Prva tehnika predstavlja produljenje trajanja zelenog svjetla, a druga tehnika predstavlja skraćivanje trajanja crvenog svjetla. Takva korekcijska tehnika ovisna je o predviđenom vremenu dolaska tranzitnih vozila na semaforizirano raskrižje. Da bi se omogućio prolaz tranzitnim vozilima, faze se modificiraju u svrhe dodjele zelenog svjetla [14].

## b) podjela faza

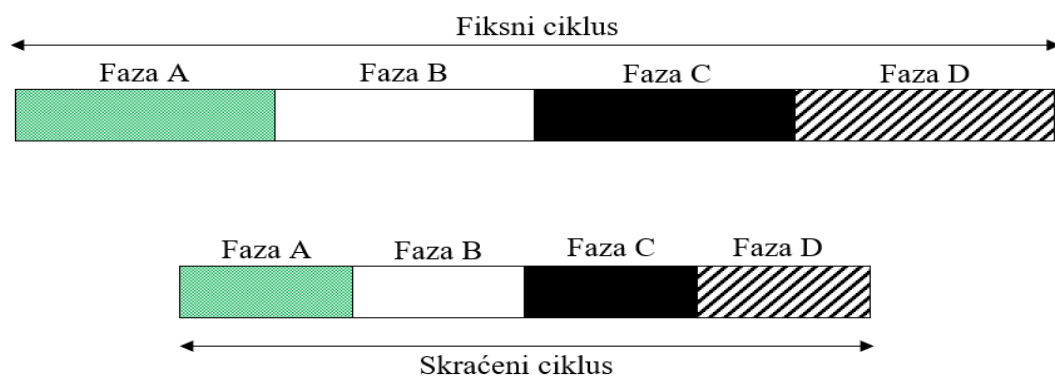
Podjela faza sadrži tehniku podjele tranzitnih signala na više faza, npr. dvije jednake faze kraćeg trajanja, tako da ukupno vrijeme bude jednako izvornom vremenu trajanja (Slika 10.) Na taj se način skraćuje ciklus za prilaz tranzitnih vozila bez da dođe do promjene ciklusa. Ova tehnika je pogodna raskrižjima koja ne smiju mijenjati trajanje istog. [12], [14], [16].



Slika 10. Grafički prikaz podjele faze. Izvor: [14]

## c) skraćeno trajanje ciklusa

Tehnika skraćenog trajanja ciklusa slična je kao i tehnika podjele faza koja ima mogućnost češćeg paljenja zelenog svjetla tranzitnim vozilima (Slika 11.). Na taj način se smanjuje vremensko kašnjenje za privatna i tranzitna vozila, tj. manje je vrijeme čekanja na raskrižju do paljenja nove faze. Ovakva tehnika učinkovita je i kada nema tranzitnih vozila na semaforiziranom raskrižju i ne kažnjava vozila duž „arterije“ kao drugi oblici strategija, odnosno tehnika [12],[14] [16].



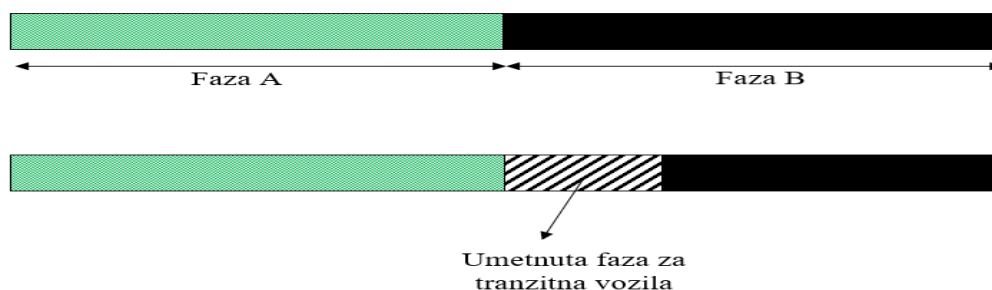
Slika 11. Grafički prikaz skraćenog trajanja ciklusa. Izvor: [14]

#### d) koordinacije voznog reda

Koordinacija voznog reda predstavlja tehniku koja sinkronizira zelena svjetla na trasi za tranzitna vozila, odnosno javni gradski prijevoz. Koordinacija može biti na više arterijalnih prometnica, ne mora isključivo biti na jednoj. Rijetko je korištenje ove tehnike zbog variranja vremena posluživanja na stajalištima mreže javnog gradskog prijevoza i zbog toga jako teško pratit „zeleni val“ [14].

#### e) preskakanje repa čekanja

Preskakanje repa čekanja predstavlja tehniku pasivne dodjele prioriteta koja funkcionira samo onda kada tranzitna vozila, odnosno vozila javnog gradskog prijevoza imaju svoju rezerviranu prometnu traku. Na principu unaprijed utvrđenog voznog reda, vozilima jgp-a omogućuje se dodjeljivanje dodatnog zelenog svjetla (*Slika 12.*) (raniji pristup zelenom svjetlu), u protivnom od ostalih vozila koji još čekaju na raskrižju.



*Slika 12. Grafički prikaz skraćenog trajanja ciklusa. Izvor: [14]*

### 3.3. Prometno ovisna (adaptivna) strategija dodjele prioriteta

Strategija prometno ovisne dodjele prioriteta pruža prednost tranzitnim vozilima, a u isto vrijeme održava razinu uslužnosti te ukupne performanse na semaforiziranom raskrižju. Strategija se temelji na stvarno vremenskim prometnim podacima jer koristi stvarne uočene dolaskе vozila, umjesto unaprijed određenih strategija prioriteta, na primjer, skraćeno crveno ili prošireno zeleno svjetlo. Zbog svoje tehnike korištenja, još se i naziva „Strategija prioriteta u stvarnom vremenu“.

Da bi se odlučio prioritet dodjeljivanja, ona se temelji na indeksu uspješnosti, odnosno na težinskim faktorima ili prethodno definiranim algoritmima za donošenje odluke [14], [21].

Tri su osnovna pristupa „Strategije prioriteta u stvarnom vremenu“ [21]:

1. model optimizacije;
2. genetski algoritam i neuronska mreža;
3. nejasni algoritam.



### 3.3.1. Model optimizacije

Takvim modelom se pokušava osigurati prioritet tranzitnih vozila uz optimizaciju kriterija performansi, npr. kašnjenje putnika, kašnjenje vozila ili kombinacija tih mjera. Postoje 4 modula koja prilagođavaju promet [14], [16]:

- a. Modul za procjenu stanja prometa
- b. Modul za procjenu stanja signala
- c. Modul za odabir signalnih planova
- d. Modul ocjenjivanja i optimizacije.

a. Modul za procjenu stanja prometa - Predviđa budući promet osobnih vozila i javnog gradskog prijevoza temeljem stvarno vremenskog protoka na mreži. Ima zadatak pokušati predvidjeti dolaske osobnih vozila na raskrižje i njihovo skretanje na istom, dolazak autobusa na stajalište, duljina repa čekanja na raskrižju ili privozima, itd. [21].

b. Modul za procjenu stanja signala - Vršiti praćenje stanja signalnog plana, izračun proteklog zelenog vremena i procjena minimalnog zelenog trajanja u stvarnom vremenu [14].

c. Modul za odabir signalnih planova - Odabire signalne planove prema unaprijed utvrđenom prometnom opterećenju i stvarno vremenskim ograničenjima. Takva ograničenja uključuju minimalno trajanje zelenog svjetla za vozila i za pješake, uključuje ograničenje svakog naknadnog zahtjeva za prioritetom od strane tranzitnih vozila, itd. [14],[16].

d. Modul ocjenjivanja i optimizacije - Ocjenjuje odluke o planu signala na temelju unaprijed definiranih kriterija uspješnosti te ocjenjuje težinski faktor pojedine odluke [14],[17].

### 3.3.2. Genetski algoritam i neuronska mreža

Genetski algoritam i neuronska mreža zajedno u funkciji koriste koncept DARVIN (*Dynamic Allocation of Right-of-Way for Transit Vehicles in Urban Network*) za poboljšanje tranzitnog prijevoza u mješovitom prometu, a u isto vrijeme zadržavaju ukupne performanse koordinirane mreže, odnosno razine uslužnosti semaforiziranog raskrižja [22].

DARVIN u prijevodu predstavlja dinamičku raspodjelu prava puta za tranzitna vozila u gradskoj mreži, a ima za cilj smanjiti vrijeme putovanja tranzitnih vozila, maksimizirati pridržavanje rasporeda autobusa te smanjiti poremećaje na ostale gradske prometne mreže [14], [16].

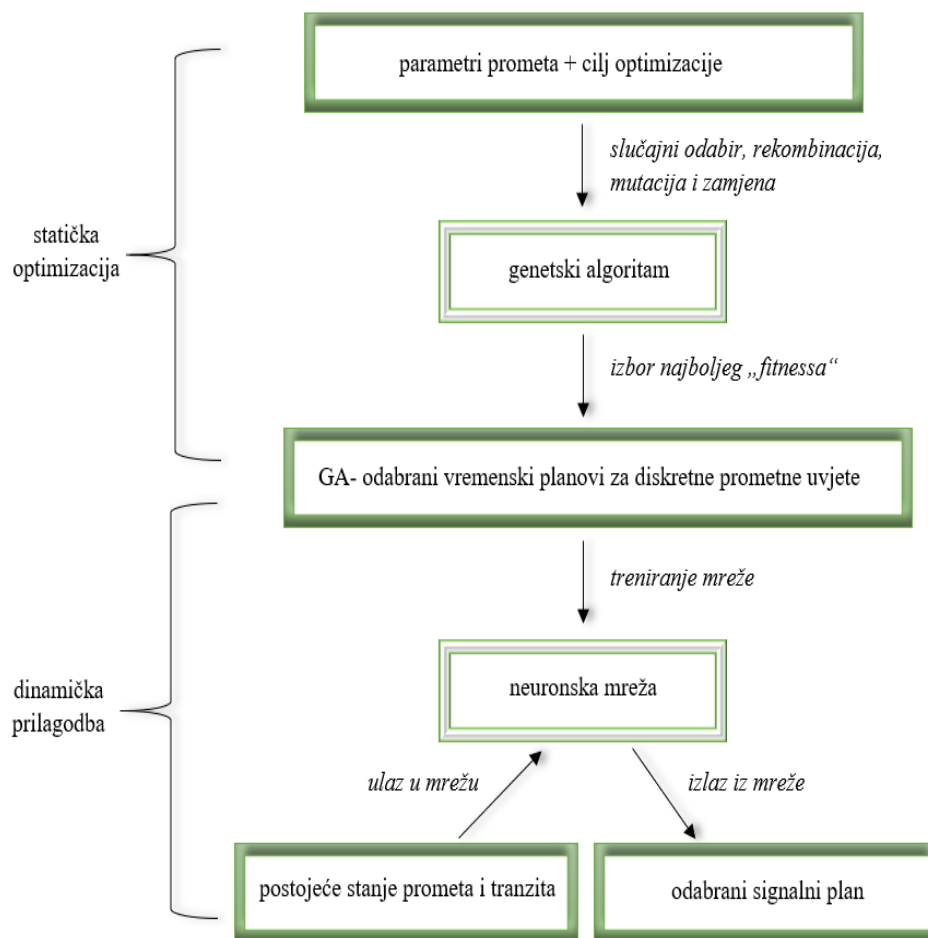
DARVIN algoritam dijeli se na dva procesa [22]:

- statička optimizacija i
- dinamička prilagodba.

Statička optimizacija sastoji se od Genetskog algoritma („Ga“) koji vrši niz iteracija i izmjena, a uzima optimalno rješenje koje ima bolju „kondiciju“ od ostalih rješenja.

Dinamička prilagodba uključuje statičke „Ga“ rješenja za online implementaciju neuronske mreže [16].

U nastavku je prikazan DARVIN algoritam (slika 13.) kao prikaz funkcioniranja dva procesa.



Slika 13. Grafički prikaz funkcioniranja genetskog algoritma i neuronske mreže kroz dva procesa. Izvor: [16]

### 3.3.3. Nejasni algoritam

Algoritam kontrole predstavljen od strane Niittymäki-a (1998.), pod nazivom „Nejasna baza pravila“, vršila je odlučivanje o pružanju prioriteta tranzitnih vozila na izoliranom raskrižju. Ideja algoritma se odnosila na modeliranje kontrole signala na temelju ljudskog stručnog znanja, a sastojala se od kontrolnih politika i ciljeva.

Nejasna baza pravila imala je prednosti u aplikacijama stvarnog vremena jer je obuhvaćala ključne čimbenike bez ikakve potrebe za detaljnom analizom matematičkih jednadžbi.

Glavni razlog zašto je teorija nejasnog skupa prikladan pristup kontroli prometne signalizacije je priroda nesigurnosti u kontroli signala, odluke se donose na temelju nepreciznih informacija, posljedice odluka nisu dobro poznate, a ciljevi nemaju jasne prioritete. Kroz razne eksperimente i primjene poznato je da je nejasna kontrola prikladna kada kontrola uključuje takve vrste nesigurnosti i ljudske percepcije, poput kontrole signala [22].

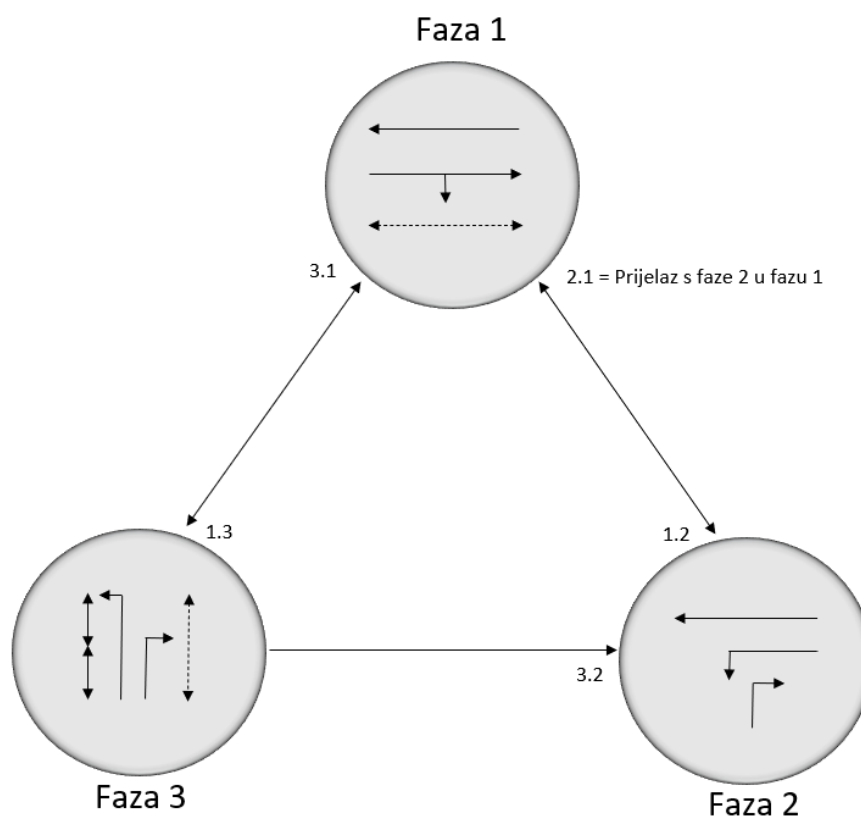
## 4. Struktura signalnih planova i algoritmi

Struktura predstavlja određenu cjelinu i složenost od svojih elemenata, dok signalni plan podrazumijeva vremensko trajanje signalne svjetlosne signalizacije. Spajanjem strukture i signalnog plana u zajedničko djelovanje, dobivaju se sljedeći elementi:

- podjela faza;
- prijelazna vremena i
- međuvremena.

Podjela faza: predstavlja dio ciklusa u kojem je dopušteno kretanje u određenim prometnim tokovima. Postoje kompatibilni i ne kompatibilni prometni tokovi. Kompatibilni obuhvaćaju jednu fazu, dok se nekompatibilni signaliziraju odvojeno.

Da bi se upravljanje, odnosno, reguliranje moglo odvijati pomoću signalnog uređaja na semaforiziranom raskrižju, potrebno je imati najmanje dvije faze, prikazano na (Slika 14.)



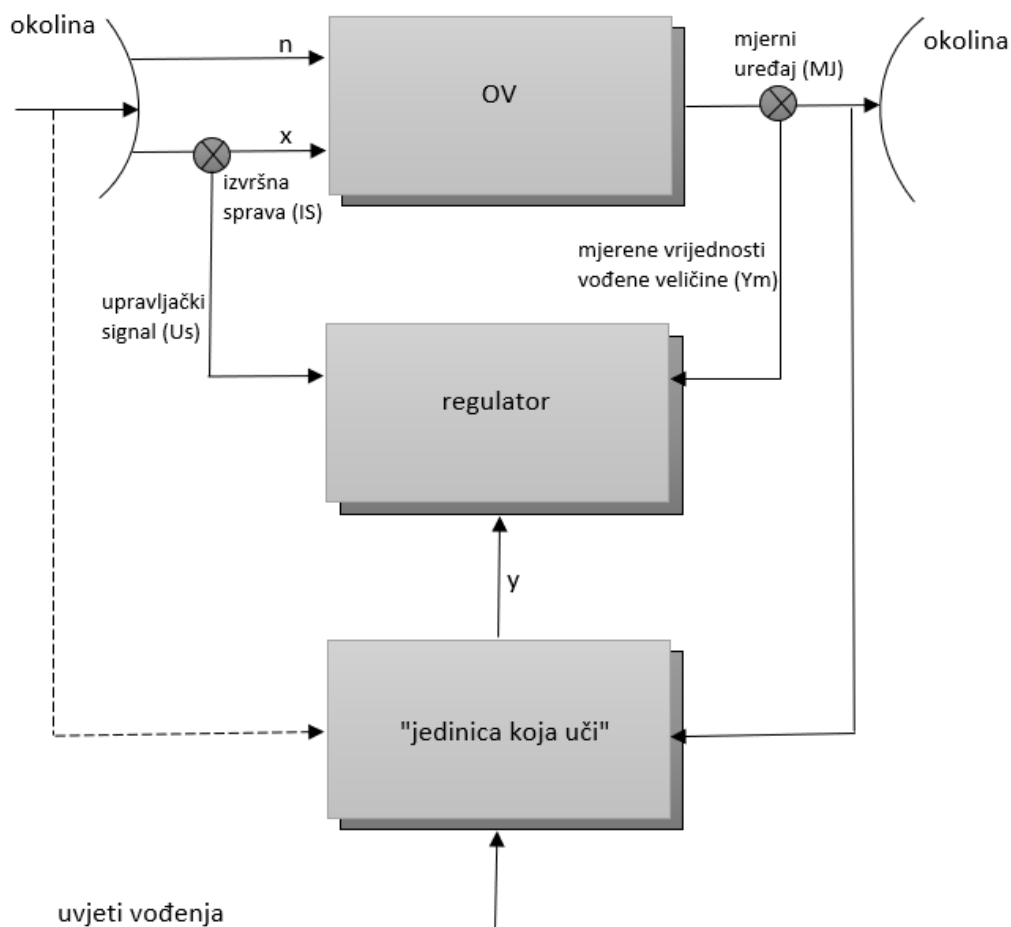
Slika 14. Grafički prikaz primjera plana redoslijeda faza. Izvor: [23]

Prijelazna vremena: dijele se na žuto vrijeme te crveno i žuto vrijeme. Trajanje žutog vremena ovisno je o maksimalnoj dopuštenoj brzini na prilaznom putu, npr. trajanje žutog [3s - 50km/h], [4s - 60km/h], [5s - 70km/h]. Trajanje crvenog i žutog vremena, tj. prijelaznog signala prije zelenog ne bi smjela biti veća od 2s.

Međuvremena: predstavljaju vremensko razdoblje između kraja propuštanja jednog prilaza, tj. završetka jedne signalne grupe, pa do početka propuštanja idućeg prilaza, tj. početka nove signalne grupe [23].

#### 4.1. Adaptivni utjecaj na semaforizirano raskrižje

Kako bi se smanjila dnevna zagušenja u urbanim sredinama, koriste se sustavi za adaptivno upravljanje prometom (*eng. Adaptive Traffic Control System*), koji se daljnjim razvijanjem usavršavaju kako bi ojačali strukturu istog. Njegova glavna karakteristika je sposobnost optimizacije strategije tempiranja signala prema postavljenoj objektivnoj funkciji. Takvi sustavi mogu povećati razinu usluge, međutim fokus je usmjeren na primjenu učenja (*Slika 15.*), kontrolora izravnom interakcijom s okolinom [24].



Slika 15. Grafički prikaz vođenja sustava „koji uči“. Izvor: [1]

U nastavku će biti navedeni neki od komercijalnih sustava, dok će nekolicina biti opisana u daljnjem tekstu. Postoji veći broj komercijalnih sustava, tj. struktura signalnih planova, koji rade po različitim principima i algoritmima.

Njihova primjena je ovisna o državi i o kontinentu. Na primjer, sustav [24], [25]:

- SCOOT (Velika Britanija),
- SCATS (Australija),
- UTOPIA (Italija),
- imFLOW (Austrija)
- PRODYN (Francuska),
- SAGE (Francuska),
- OPAC (Sjedinjenje Američke Države), itd.

#### **4.1.1. SCOOT**

SCOOT (*eng. Split Cycle Offset Optimisation Technique*), odnosno, tehnika optimizacije upravljanja i koordinacije pomaka podijeljenog ciklusa. Jedna je od prvih sustava za adaptivno upravljanje prometom, ali i vodeća u svijetu. SCOOT je potpuno prilagodljiv jer prikuplja podatke iz detektora vozila na prilazima svakog kraka kako bi predvidio ukupan broj zaustavljanja uzrokovan vremenskim ciklusom. Također, prikuplja i analizira zagušenja, kašnjenja i protok. Takav postupak funkcioniranja vrši izračunavanje postavki koje smanjuju kašnjenje i zaustavljanje vozila. Kako bi se smanjio signalni ciklus, odnosno, prilagodio potražnji prometa, postoji optimizator signala koji regulira spomenuto. Istraživanja pokazuju kako ova tehnika optimizacije smanjuje u prosjeku kašnjenje za 12% u usporedbi s fiksnom kontrolom vremena [24], [25], [26].

SCOOT ima tri procesora, svaki procesor obavlja svoju radnju optimiziranja [10], [27]:

1. Split - Smatra se odgovornim za određivanje količine zelenog svjetla za sve prilaze.
2. Cycle - Vrijeme koje je dopušteno za sve pristupe vozilima.
3. Offset - Vršiti ograničavanje vremena između susjednih signala, odnosno, vremenski pomak zelenog svjetlosnog signala u svrhu koordiniranog upravljanja, npr. zeleni val.

#### **4.1.2. SCATS**

SCATS (*Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System*), odnosno, koordinirani prilagodljivi prometni sustav u Sydneyu, zahtjeva unaprijed određenu bazu podataka, a ti podatci dobivaju se detektorom koji je postavljen na svakoj prometnoj traci i služe za podešavanje signalnog plana radi bolje harmonizacije protoka. SCATS baza podataka uključuje popis faznih podijeljenih planova i planova pomaka za svako raskrižje te pomaknute planove i parametre kontrole za svaki podsustav. Prema istraživanjima studija na urbanoj arterijskoj cesti u usporedbi s nekoordiniranim radom SCATS daje prednosti pri [24], [25], [26], [28]:

- Vremenu putovanja koje iznosi manje za 23%;
- Zaustavljanju vozila koja su smanjena za 46%;
- Nesrećama koje su smanjene za 20% i
- Potrošnji goriva koja je smanjena za 12%.

### **4.1.3. UTOPIA**

UTOPIA (*eng. Urban Traffic Optimisation by Integrated Automation*), odnosno, optimizacija gradskog prometa integriranom automatizacijom, temelji se na kontroli prometa u stvarnom vremenu. UTOPIA kao inovativni hijerarhijski decentralizirani sustav ima kontrolu nad semaforima, ali s ciljem davanja apsolutnog prioriteta biranim javnim vozilima te minimiziranja funkcije troškova [25].

Primjenjuje na sustave velikih kapaciteta zbog svog dizajna, a dijeli se u dva razreda:

- Razina raskrižja i
- Razina površine.

Razina raskrižja: je niža razina kontrole, uzima u obzir svako raskrižje ili zonu semafora koja djeluje lokalno u interakciji sa susjednim „lokalnim kontrolama“. Svaka „lokalna kontrola“ je dodatno podijeljena na dva dijela, odnosno, modula. Prvi dio je „promatrač“, a drugi dio je „kontrolor“. Promatrač ima funkciju ažuriranja najbolje procjene stanja raskrižja i koristi mikroskopski model raskrižja. Kontrolor određuje postavke signala koje će se primjenjivati na semaforu, djeluje optimizirajuće u segmentu prilagođavanja na trenutnu prometnu situaciju raskrižja. Takva optimizacija se sastoji od [120s, a ponavlja svakih 6s]. Optimalne postavke signala su zapravo u radu samo 6s.

Razina površine: je također podijeljena na dva dijela, odnosno, modula pod istim nazivima, „Promatrač“ i „Kontrolor“. Promatrač u ovom slučaju uzima u obzir prometne uvjete na cijelom području analizirajući ih, da bi na temelju stvarnih dobivenih prometnih podataka iz mreže mogao predvidjeti glavne rute kojima bi se kretao privatni promet. Promatrač ima diskretni vremenski modul od 3 min. Kontrolor vrši optimizaciju prometne mreže djelujući na prosječnu brzinu i protok zasićenja [25].

### **4.1.4. imFLOW**

ImFLOW je ATSC sustav sličan UTOPIA-i koji koristi programe signala koji se sami optimiziraju. Njegov proces optimizacije odvija se u dvije faze: strateška i lokalna optimizacija. Strateška optimizacija izvodi se na temelju korisnički definiranih težina, a lokalna optimizacija temeljena na pravilima može nadjačati odluke na strateškoj razini. ImFLOW je prilagodljiva aplikacija za kontrolu prometa. Koristi suvremene algoritme za upravljanje prometnim tokovima na prilagodljiv način. Ovi algoritmi koriste podatke u stvarnom vremenu zajedno s prediktivnim modelima za optimizaciju protoka prometa. Budući da je ImFlow decentraliziran, ne zahtijeva centar za kontrolu prometa za optimizaciju [24].

## 5. Metodologija istraživanja i prikupljanje podataka

Prije nego se obradi metodologija istraživanja i prikupljanja podataka, u kojoj će biti opisano izvođenje funkcije dodjele prioriteta vozilima pod pratnjom, potrebno je prvotno definirati određena značenja takvih vozila.

Prema članku 148. Zakona o sigurnosti prometa na cestama, „Vozila pod pratnjom“ se smatraju ona vozila koja se prate od strane policije i vojne policije te su opremljeni uređajima za davanje posebni zvučnih signala i svjetlosnih znakova crvene i plave boje. Osobe koje mogu biti pod pratnjom su (državni dužnosnici, delegacija stranih zemalja, itd.) [29].

Za „Vozila pod pratnjom“ ne važe ista pravila kao i kod ostalih sudionika u prometu, poput ograničenja brzine, zabrane pretjecanja, obilaženje kolone vozila, osim u odnosu na vozila koja se kreću raskrižjem na kojem se prometom upravlja prometnim svjetlima ili znacima ovlaštene osobe [29].

Za „Vozila pod pratnjom“ prema Hrvatskim zakonima, nije definiran minimalni broj vozila pod pratnjom, međutim ako uzmemo u obzir kolonu vozila, tada ćemo iz zakona moći iščitati da kolona vozila podrazumijeva najmanje tri vozila koja voze u istom smjeru, uzastopno i uvjetovano [29]. Kasnije u poglavlju 5.3.1.(b), korišten je Wiedemann-ov model slijeđenja vozila u simulacijskom programu. Dok bi u realnom okruženju povezanost mogla biti s V2V (*eng. Vehicle to Vehicle*) ili V2X (*eng. Vehicle to Everything*) tehnologijom komuniciranja, radi fluidnijeg prolaska vozila raskrižjem kada su u pratnji.

„Dodjela prioriteta vozilima“ je davanje prednosti jednoj vrsti vozila pred drugom na semaforiziranom raskrižju uz minimalni utjecaj na cjelokupno odvijanje prometne mreže, odnosno, ne umanjujući sigurnost raskrižja za druge sudionike u prometu (konfliktni privozi, pješaci, biciklisti).

„Dodjelu prioriteta“ mogu imati:

- VIP vozila pod pratnjom na raskrižju
- Žurne službe (hitna pomoć, vatrogasci, policija)
- Javni gradski prijevoz (tramvaj, autobus)
- Vozila koja prevoze opasne tvari, vozila velikih gabarita, vozila koja prevoze veće količine novca, itd.

U nastavku će biti obrađena metodologija istraživanja i prikupljanja podataka.

Gledajući sa znanstvenog, ali i stručnog stajališta dobro razrađena metodologija ja osnova za provedbu kvalitetnog istraživanja. Stoga se prilikom izrade prikazanog istraživanja poseban naglasak stavio na razradu metodološkog pristupa. Metodologija istraživanja prikazana ovim poglavljem sastoji se od šest koraka:

1. Odabir testnog koridora/raskrižja;
2. Prikupljanje podataka o karakteristikama testnog koridora/raskrižja;
3. Izrada vjerodostojnog mikrosimulacijskog prometnog modela trenutnog stanja testnog koridora/raskrižja;
4. Izrada algoritma upravljanja semaforiziranim raskrižjem u cilju davanja prioriteta na testnom koridoru/raskrižju;
5. Evaluacija kvalitete prometne usluge testnog koridora/raskrižja bez i s davanjem bezuvjetnog prioriteta VIP vozilima;
6. Usporedna analiza evaluacijskih parametara dobivenih na temelju mikrosimulacijskog modela.

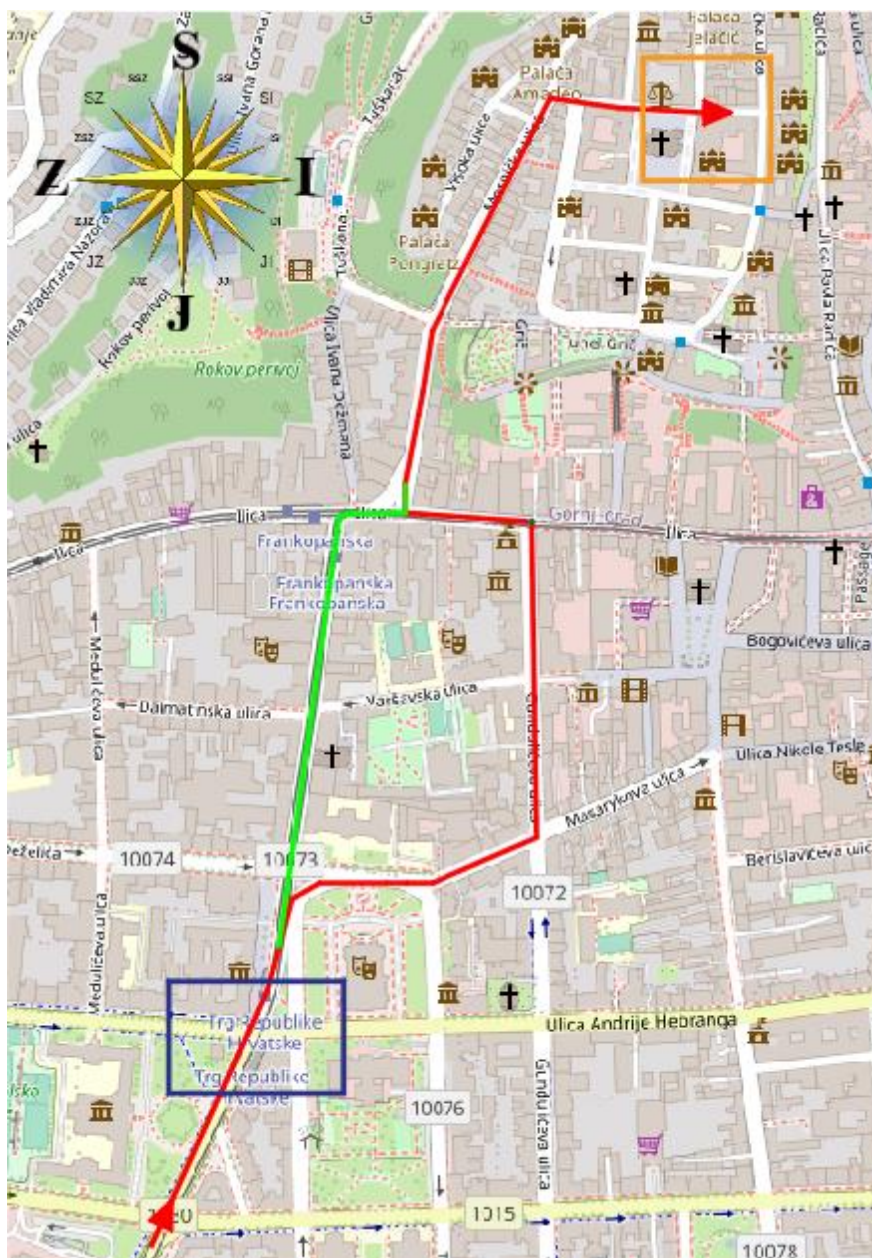
Detaljan opis svakog od koraka sažetog metodološkim pristupom opisan je u sljedećim poglavljima.

### **5.1. Odabir testnog koridora/raskrižja**

U prvom koraku naglasak se stavlja na odabiru testnog raskrižja. Prilikom odabira testnog raskrižja sagledalo se nekoliko raskrižja u užem centru Grada Zagreba. Područje užeg centra grada je analizirano zato što „VIP vozila pod pratnjom na raskrižju“ u ovom slučaju, osobe na visokim funkcijama Republike Hrvatske (npr. predsjednik RH, predsjednik strane države, premijer ili neka druga štićena osoba) najčešće prometuju sagledanim koridorima kako bi stigli na odredište, odnosno zamišljenu atrakciju. Kao zamišljena atrakcija za potrebe istraživanja je uzet „Markov trg“. Crvenom bojom je označena ruta prolaska istih, dok je zelenom bojom označena ruta kojom inače imaju tendenciju prolaska (podatak dobiven iz analize prioriternih ruta štićenih osoba).



U nastavku (Slika 16.) je prikazana makro lokacija sagledanog testnog koridora te je navedena trenutna i buduća ruta putovanja.



Slika 16. Grafički prikaz makro lokacije raskrižja zajedno s rutama i atrakcijom. Izvor: [Open Street Map]

Pošto simulirane rute dodjele prioriteta VIP vozilima u oba scenarija sadrže semaforizirano raskrižje Savska cesta - Trg Republike Hrvatske - Ulica Vjekoslava Klaića, isto je uzeto kao testno raskrižje nad kojim će se vršiti ispitivanja. Vozila pod pratnjom na raskrižju idu iz smjera juga prema sjeveru te ovisno o planu putovanja biraju „zelenu rutu“ ili „crvenu rutu“ prethodno opisanu. Zelena ruta je vremenski kraća, ali je potrebna regulacija preostalih 200-tinjak metara, dok kod crvene rute vremenski je duže putovanje, međutim implementiranjem adaptivnog upravljanja u manja raskrižja na nastavku rute može dovesti do smanjenja sudjelovanja policijskih službenika pri reguliranju prometa i zaustavljanju istog, ali i većih ekonomskih troškova.

U nastavku (Slika 17.) prikazana je mikro lokacija uzastopnog semaforiziranog raskrižja.



Slika 17. Grafički prikaz mikro lokacije raskrižja „Ulice Vjekoslava Klaića - Savska cesta - Trg Republike Hrvatske“. Izvor: [Google Earth]

## 5.2. Opis postojećeg stanja testnog raskrižja

Kako se u ovom istraživanju žele prikazati učinci dodjele prioriteta VIP vozilima u koloni na semaforiziranom raskrižju tako je i potrebno sagledati tri osnovna uvjeta od kojih se sastoji operativna analiza semaforiziranog raskrižja:

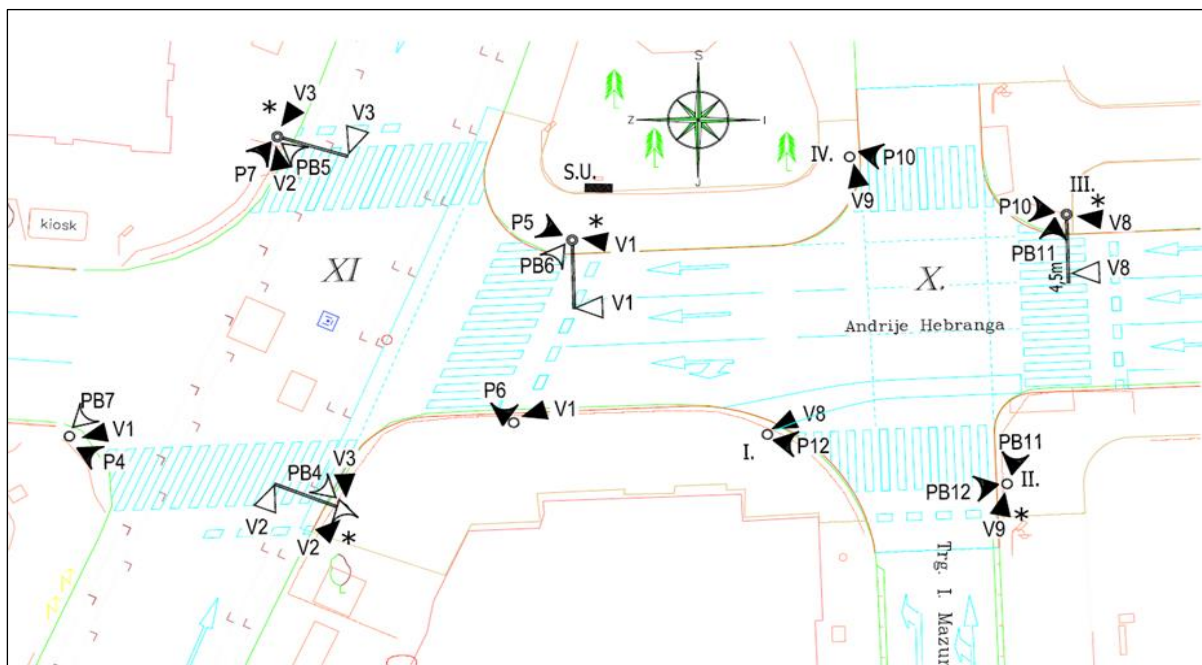
- Geometrijski uvjeti: iako postoji puno geometrijskih uvjeta, za potrebe izrade simulacijskog modela analizirani su samo oni koji utječu na vjerodostojnost prikaza stvarnog stanja u modelu (broj trakova i raspored trakova na svakom od privoza);
- Prometni uvjeti: kao i kod prethodnog uvjeta, i u ovom su se sagledali samo oni koji utječu na vjerodostojnost prikaza stvarnog stanja u modelu (brojenje prometa i dozvoljena privozna brzina);
- Uvjeti semaforizacije: prilikom prikupljanja podataka u obzir su se uzeli postojeći signalni planovi, vremenska razdioba signalnih planova i matrica zaštitnih međuvremena.

U svrhu prikupljanja podataka o navedenom, provedena su terenska istraživanja u kojima su mjerenjima utvrđena geometrija raskrižja te brojanje prometa radi utvrđivanja prometnog opterećenja motoriziranog prometa. Dokumentacija o operativnim podacima semaforiziranih raskrižja, dobivena je od strane Gradskog ureda za prostorno uređenje,

izgradnju Grada, graditeljstvo, komunalne poslove i promet, Sektora za promet [30]. Prilikom terenskog istraživanja te analize semaforijske dokumentacije, primijećeno je kako se osim na spomenutom raskrižju zapravo upravlja raskrižjem istočno od raskrižja Savska cesta - Trg Republike Hrvatske, tj. raskrižjem Trg Republike Hrvatske - Trg Ivana Mažuranića. Stoga se prilikom prikupljanja podataka i izrade prometnog modela sagledalo i to raskrižje.

### 5.2.1. Geometrijski uvjeti odabranog raskrižja

Testno raskrižje četverokrako je semaforizirano raskrižje koje je sastavni dio upravljanju svjetlosnom signalizacijom na potezu takozvanom, „zeleni val“. Zeleni val se proteže u smjeru istoka prema zapadu što ujedno i taj potez čini glavnim smjerom na odabranom testnom raskrižju. U nastavku (Slika 18.) su prikazani geometrijski uvjeti testnog raskrižja.



Slika 18. Prikaz geometrijskih uvjeta testnog raskrižja. Izvor: [30]

Na slici 18. vidljivo je se da na istočnom privozu raskrižja Trg Republike Hrvatske - Trg Ivana Mažuranića sastoji od tri trake (dvije za ravno i jedna za kombinirano kretanje ravno i lijevo). Južni privoz (P2) raskrižja sastoji se od dvije trake (jedna za lijevo te jedna za kombinirano kretanje lijevo i ravno). Sjeverni privoz raskrižja „ulazni“ je privoz raskrižja koji se sastoji od jednog traka usmjerenja jug- sjever. Zapadni privoz također je „ulazni“ privoz koji se sastoji od tri trake (dvije za ravno te jedna za kombinirano kretanje ravno i lijevo). Zapadni privoz Trg Republike Hrvatske -Trg Ivana Mažuranića ujedno je i istočni privoz raskrižja Ulice Vjekoslava Klaića - Savska cesta - Trg Republike Hrvatske. Svaki od opisanih privoza ima širinu traka 3[m]. Preko južnog, sjevernog i zapadnog privoza postoje pješački prijelazi.

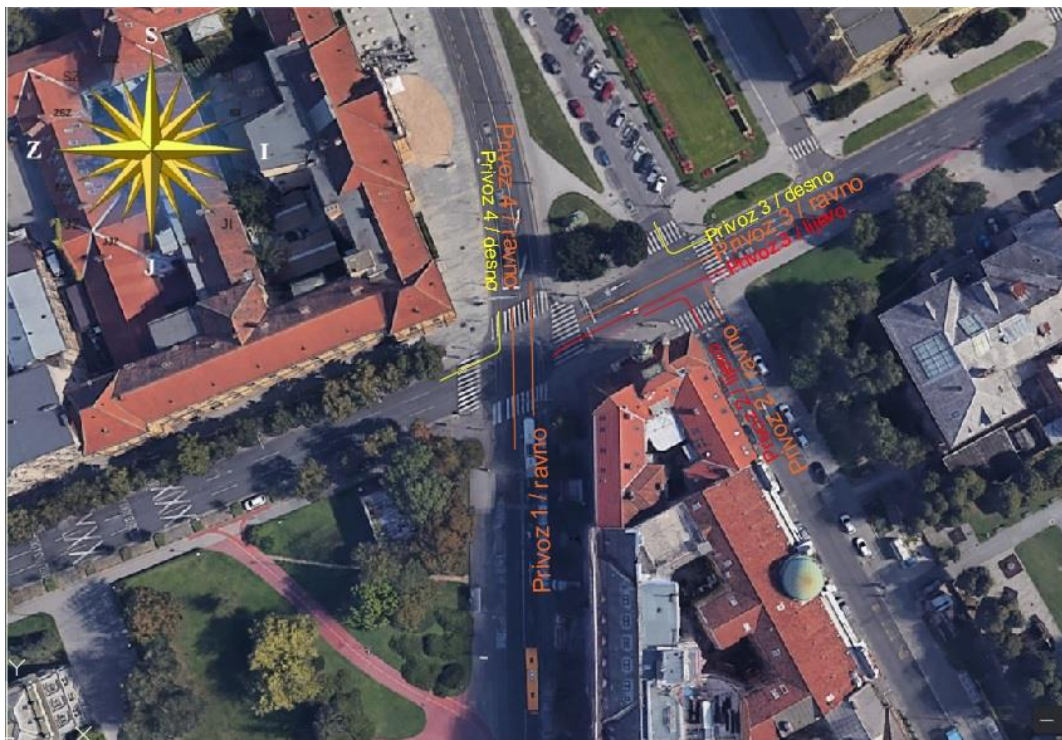
Raskrižje Ulice Vjekoslava Klaića - Savska cesta - Trg Republike Hrvatske na južnom se privozu sastoji od jedne trake usmjerenja jug-sjever te jednog traka osiguran za nesmetano

kretanje tramvajskog prometa u smjeru jug-sjever. Sjeverni se privoz sastoji od traka za ravno kretanje te traka za desno skretanje koji se nalazi na tramvajskom koridoru po kojem prometuju tramvaji u smjeru sjever- jug. Zapadni je privoz „ulazni“ privoz raskrižja koji se sastoji od tri trake usmjerena istok-zapad. Vozačke trake na zapadnom su privozu širine 3 [m], dok su na južnom i sjevernom privozu širine 3.5 [m]. Širine tramvajskih koridora su 3 [m]. Pješački prijelazi postoje preko svih privoza.

### 5.2.2. Prometni uvjeti postojećeg stanja odabranog testnog raskrižja

Prilikom sagledavanja prometnih uvjeta na testnom su se raskrižju sagledali oni parametri koji su potrebni za adekvatnu izradu prometnog modela. tj. dozvoljena privozna brzina i prometno opterećenje. Terenskim je istraživanjem utvrđeno kako je na svim privozima na oba raskrižja dozvoljena privozna brzina 40 [km/h], dok je prometno opterećenje utvrđeno brojenjem motoriziranog prometa. Brojenje motoriziranog prometa izvedeno je za oba raskrižja u referentnom danu u tjednu (srijeda) za jutarnji vršni sat od 08:00-09:00. Prilikom brojenja prometa nije se sagledavao pješački niti biciklistički promet jer je isti nevažan za sagledanu tematiku istraživanja. Odnosno, pješački i biciklistički promet ne utječu na mogućnost davanja bezuvjetnog prioriteta, a njihova je sigurnost osigurana putem uvjeta semaforizacije.

Radi lakšeg praćenja podataka o brojenju prometa prikazano je raskrižje s ucrtanim brojem privoza (Slika 19.)



Slika 19. Prikaz raskrižja s definiranim privozima. Izvor: [Google Earth]

U nastavku je prikazano prometno opterećenje (*Tablica 1.*) za prethodno navedeni vršni sat.

*Tablica 1. Prometno opterećenje u vršnom satu za testni koridor.*

[08:00-09:00]	P1- Ravno	P2- Lijevo	P2- Ravno	P3- Lijevo	P3- Ravno	P3- Desno	P4 - Desno	P4- Ravno
Promatrana vozila								
Osobna vozila	294	147	83	348	1403	76	57	185
Laka vozila	41	10	7	23	110	12	14	10
Motocikli	9	3	1	10	18	2	4	0
Teška vozila	2	3	0	0	17	0	2	0
Autobus-turistički	2	1	0	2	1	0	1	0
Taxi*	5	0	0	0	0	0	0	4
Tramvaj*	25	0	0	0	0	0	0	29
Autobus*	0	7	0	0	7	0	7	0
<b>Ukupni broj vozila na pojedinom privozu</b>	<b>378</b>	<b>171</b>	<b>91</b>	<b>383</b>	<b>1556</b>	<b>90</b>	<b>85</b>	<b>228</b>
<b>Zbroj privoza</b>	<b>378</b>		<b>262</b>			<b>2029</b>		<b>313</b>

Iz tablice 1. vidljivo je kako je prometno najopterećeniji „privoz 3“ sa svojim kretanjem ravno prema zapadu, lijevo prema istoku te desno prema sjeveru [2029 voz/h], zatim ga prati „privoz 1“ sa svojim kretanjem ravno prema sjeveru [378 voz/h], također, relativno slični brojevi, ali nešto manji kod „privoza 4“ koji se kreće ravno prema jugu i skreće desno prema zapadu [313 voz/h], i naposljetku „privoz 2“ sa svojim kretanjem lijevo prema zapadu i ravno prema sjeveru [262 voz/h]

Na prethodnoj tablici 1. promatranog opterećenja određena vozila označena sa zvjezdicom (\*) su specifičnog parametra te kao takva bit će opisana u nastavku:

Taxi, brojana su vozila samo ona koja koriste traku za tramvajski promet prilikom kretanja koridorom, a ostali broj istih je naveden pod brojanjem osobnih vozila.

Tramvaj, brojanje prometa unaprijed poznato prema rasporedu odvijanja javnog gradskog prometa grada Zagreba.

Autobus, također brojanje prometa unaprijed poznato prema rasporedu odvijanja javnog gradskog prometa grada Zagreba, međutim za tramvaje i autobuse su svejedno izvršena brojanja kako bi podatci bili relevantni stvarnom svijetu prema rasporedu dnevne linije.

### 5.2.3. Uvjeti semaforizacije testnog raskrižja

Uvjeti semaforizacije koji su se sagledali kako bi se mogao izraditi prometni model stvarnog stanja jesu:

- vremenska raspodjela signalnih planova;
- signalni planovi i
- matrica zaštitnih međuvremena.

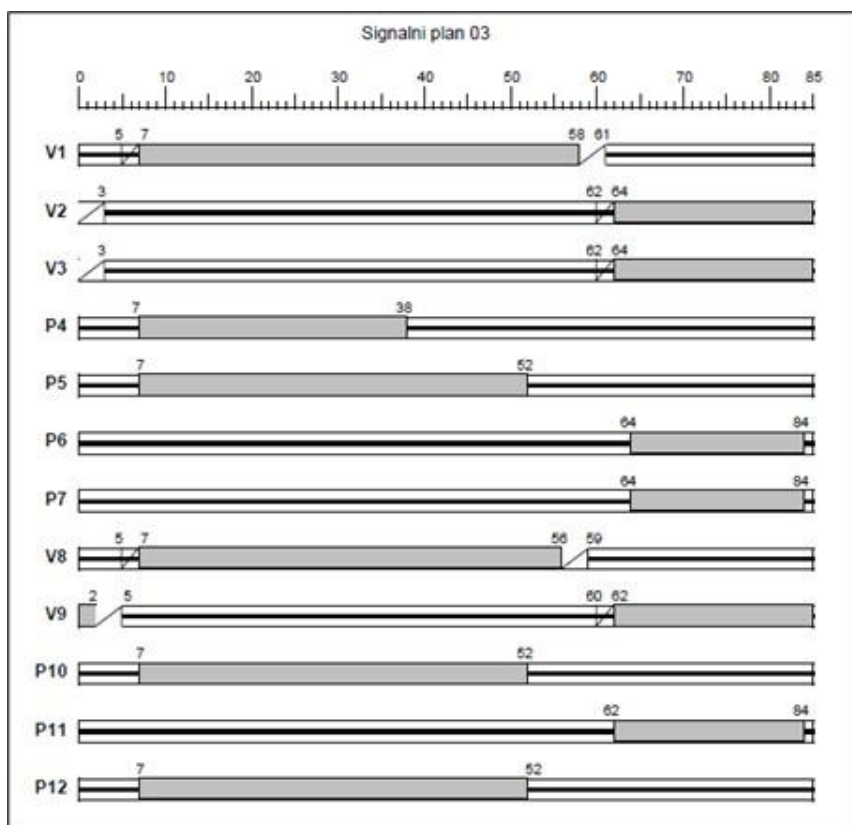
U nastavku je prikazana je vremenska raspodjela signalnih planova (*Tablica 2.*).

*Tablica 2. Prikaz vremenske raspodjele signalnih planova*

<b>PONEDJELJAK – PETAK</b>			
	<b>SP1</b>	<b>SP2</b>	<b>SP3</b>
00:00 – 05:30	X		
05:30 – 07:00		X	
07:00 – 21:00			X
21:00 – 23:00		X	
23:00 – 24:00	X		
<b>SUBOTA</b>			
	<b>SP1</b>	<b>SP2</b>	<b>SP3</b>
00:00 – 05:30	X		
05:30 – 09:00		X	
09:00 – 15:00			X
15:00 – 23:00		X	
23:00 – 24:00	X		
<b>NEDJELJA</b>			
	<b>SP1</b>	<b>SP2</b>	<b>SP3</b>
00:00 – 24:00	X		

Za izradu prometnog modela sagledao se samo signalni plan koji se može dovesti u korelaciju s prikupljenim prometnim opterećenjem, tj. sagledao se signalni plan koji pušta svjetlosne signalne pojmove srijedom od 08:00 - 09:00h. Usporedbom podataka iz tablice 2.

U nastavku su prikazani svjetlosni pojmovi u signalnom planu (Slika 20.).



Slika 20. Prikaz signalnog plana kojim se upravlja na odabranom testnom koridor

Iz signalnog plana prikazanog na slici 22. vidljivo je kako se na promatranim raskrižjima upravlja s ukupno pet vozačkih signalnih grupa (V1, V2, V3, V8, V9), te sedam pješačkih signalnih grupa (P4, P5, P6, P7, P10, P11, P12). Također, može se zamijetiti kako se signalnim pojmovima upravlja u tri faze. Usporedbom podataka iz slike 18. moguće je ustanoviti koja signalna grupa pripada kojem smjeru kretanja.

Posljednji i najbitniji uvjet semaforizacije koji se tiče sigurnosti je matrica zaštitnih međuvremena. Matrica zaštitnih međuvremena za odabrano raskrižje prikazana je u nastavku na (Slika 21.).

		NALET											
	V1	V2	V3	P4	P5	P6	P7	V8	V9	P10	P11	P12	
V1		6	6			6	6						
V2	7			7	7			7					
V3	7			7	7								
P4		10	10										
P5		11	11										
P6	8												
P7	8												
V8		1							6		6		
V9								5		5		5	
P10									10				
P11								8					
P12									10				

Slika 21. Prikaz matrice zaštitnih međuvremena

Svi prikazani uvjeti uvršteni su u mikrosimulacijski prometni model. Opis simulacijskog programa i metode izrade prometnog modela prikazan je u sljedećem poglavlju.

### 5.3. Izrada mikrosimulacijskog modela postojećeg stanja

Mikrosimulacijski prometni model izrađen je kako bi se evaluacijom dobiveni rezultati, odnosno prometni parametri, mogli usporediti nakon što se sprovede nova mikrosimulacija s uključenim VIP vozilima koji imaju bezuvjetnu dodjelu prioriteta prolaska na raskrižju.

Područje modeliranja sagledano ovim istraživanjem je relativno malo, ali zahtjeva dobro poznavanje simulacijskog alata i njegovih karakteristika, postupka izrade mikrosimulacijskog prometnog modela te postupak kalibracije istog. Stoga su u nastavku opisani spomenuti postupci.

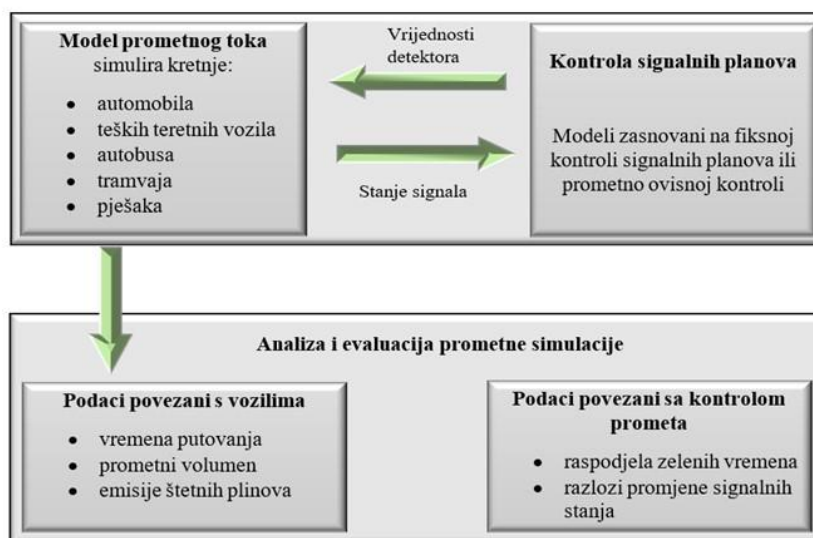
#### 5.3.1. Opis VISSIM modela

VISSIM model se može opisati pomoću karakteristike:

- a) Model prometnog toka
- b) *Wiedemann-ov* model slijedenja vozila
- c) Model evaluacije razine uslužnosti

#### a) Model prometnog toka

VISSIM je baziran na modelu prometnog toka i upravljanja signalnim planovima. Detaljno prikazuje simulacije vozila i pješaka unutar mreže te pruža mogućnosti kontrole signalnih svjetala po fiksnom režimu i prometom ovisnom režimu. Kod fiksnog režima signalni plan je ustaljen, ne ovisi o prometu, dok kod prometno ovisnog režima funkcionira pomoću detektora i na taj način komunicira sa signalnim kontrolerima da bi na temelju prethodno određenih uvjeta poduzeo potrebne korake radi mogućnosti optimiziranja raspodjele zelenih svjetala i poboljšanja prometnog toka. U nastavku (*Slika 22.*) prikazuje logičku arhitekturu rada modela prometnog toka [30].



Slika 22. Simulacija prometnog toka s PTV VISSIM-om. Izvor: [30]



## b) Wiedemann-ov model slijedenja vozila

VISSIM koristi Wiedemann-ov model slijedenja vozila koji je razvijen u dvije razine:

- Wiedemann 74 - služi za urbani promet s puno preplitanja prometnih tokova
- Wiedemann 99 - za autoceste i brze ceste s jako malim ili neznatnim brojem tokova koji se spajaju i međusobno prepliću.

Wiedemann-ov model služi za bolji prikaz stvarnog stanja promatranog područja u simulacijskom modelu tijekom trajanja simulacijskog razdoblja.

Zbog urbane sredine promatranog područja, ne koristi se model Wiedemann 99 te također neće biti razmatran u ovom diplomskom radu. Opisani model za urbani promet Wiedemann 74 prikazuje reagiranje vozača u pojedinim situacijama u simuliranoj mreži. Jednadžba navedenog modela prikazuje slijedenje vozila koja se koristi pri izradi obrađene simulacijske mreže.

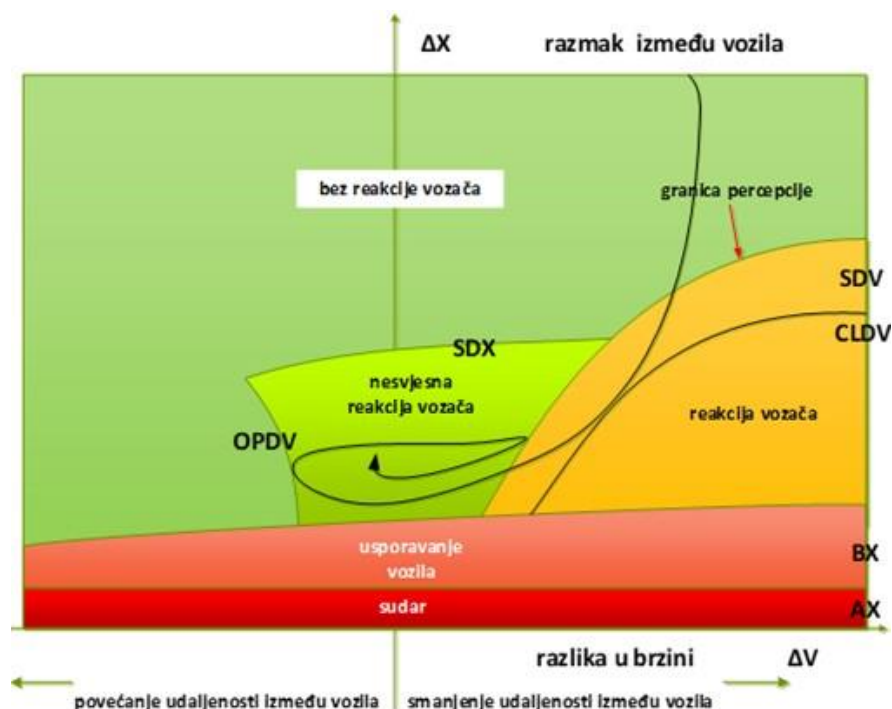
$$u_n(t + \Delta t) = \min \begin{cases} 3,6 \left( \frac{S_n(t) - S_n}{BX} \right)^2 ; u_f \\ 3,6 \left( \frac{S_n(t) - S_j}{BX * EX} \right)^2 ; u_f \end{cases} \quad (2)$$

Gdje je:

- $u_n(t + \Delta t)$  - razlika u brzini između vodećeg vozila i vozila koje ga slijedi u trenutku  $(t + \Delta t)$  (u [km/h])
- $S_n(t)$  - vrijeme potrebno da vozilo koje slijedi dođe na mjesto vozila kojeg slijedi (u [s])
- $S_j$  - prostorni razmak između dvaju vozila koja miruju
- $u_f$  - srednja prostorna brzina pri slobodnom toku (ovisi o kapacitetu prometnice)
- $BX$  - minimalna udaljenost slijedenja koja se smatra sigurnom udaljenošću za vozača
- $EX$  - kalibracijski parametar koji je usko vezan za maksimalnu udaljenost između vozila.

Jednadžba modela Wiedemann 74 prikazuje reagiranja vozača u različitim situacijama, one mogu biti uzete iz primjera kod ubrzavanja ili usporavanje, pozicija čekanja u redu (prva, treća, itd.), odnosno reagiranje u novo nastalim situacijama [30]

74. U nastavku (Slika 23.). grafički je prikazana prethodno opisana jednadžba Wiedemann



Slika 23. Wiedemann-ov model slijeđenja vozila.

Gdje je:

AX - željena udaljenost između stacionarnih vozila

BX - minimalna udaljenost slijeđenja koja se smatra sigurnom udaljenosti za vozača

CLDV - točka na kratkoj udaljenosti gdje vozač primjećuje da je njegova brzina veća od brzine automobila kojeg slijedi

SDV - točka na daljoj udaljenosti gdje vozač primjećuje da se brzina njegovog vozila razlikuje od brzine sporijeg vozila kojeg on slijedi

OPVD - točka na kratkoj udaljenosti gdje vozač primjećuje da vozi brzinom manjom od vozila koje slijedi

SDX - maksimalna udaljenost slijeđenja koja upućuje na gornju granicu procesa slijeđenja automobila.

### c) Model evaluacije razine uslужnosti

Model procjene razine usluge može se opisati kao mjera kvalitete, odnosno dobrih i loših strana prometa, a mjeri određene parametre. Parametri mogu biti brzina, vrijeme putovanja, vrijeme čekanja, udobnost vožnje, sloboda kretanja itd. Kako bi se odredila razina usluge na semaforiziranom raskrižju, prvo se mora odrediti prosječno vrijeme čekanja u sekundama. Koristi se američki priručnik HCM - (Highway Capacity Manual) koji se sastoji od šest razina uslужnosti:

A - vozila nesmetano prolaze kroz raskrižje, a vrijeme čekanja je vrlo malo ili nikakvo

B - sva vozila koja ulaze u raskrižje prolaze kroz raskrižje odmah u sljedećoj fazi uz kratko vrijeme čekanja

C - većina vozila koja dolaze na raskrižje prolaze odmah u sljedećoj fazi, mogućnost nastanka repova čekanja uz uvjet povećanog vremena čekanja

D - duga vremena čekanja zbog povećanih redova čekanja; prometni uvjeti su prihvatljivi

E - dosegnuto ograničenje propusnosti, snažna interakcija između svih sudionika u prometu; vrlo duga latencija (granično održivo stanje)

F - stanje iznad propusnosti (zagušenje), stanje neodrživog prometa.

U VISSIM-u se veze i čvorovi koriste za određivanje podataka. Podaci se prikupljaju na temelju formula iz TRANSYT 7-F, programa Nacionalnog laboratorija Oak Ridge za određivanje učinkovitosti prometne mreže. Ovaj program pruža podatke o prometu vozila, emisijama i vremenu kašnjenja [30]. Kao pokazatelji razine usluge na određenom testnom koridoru u obzir su uzeti parametri:

- Broj vozila,
- Kašnjenje vozila (vrijeme čekanja),
- Repovi čekanja,
- Maksimalni repovi čekanja,
- Razina usluge,
- Vrijeme putovanja vozila pod pratnjom,
- Brzina vozila pod pratnjom,
- Ukupno kašnjenje na raskrižju pod pratnjom i
- Emisija štetnih plinova (Co,NOx,VOc).

Parametar prosječnog kašnjenja (čekanje) koristit će se za procjenu razine usluge na određenom raskrižju. Distribucija razine usluge s obzirom na vrijeme čekanja (Tablica 3.).

Tablica 3. Razina usluge prema HCM-u. Izvor: [23]

Razina uslužnosti	Ukupno vrijeme čekanja [s/voz]
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55
E	>55-80
F	>80

Navedeni pokazatelji razine usluge uzeti kao parametri korišteni su kao mjerodavnost pri ocjenjivanju simulacijskog modela na promatranom području, tj. koridoru.

VISSIM izračunava vrijeme čekanja za svako vozilo koje prođe kroz raskrižje. To čini uspoređujući vrijeme svakog vozila sa svakim pojedinačnim manevrom koji se približava raskrižju. U usporedbi s drugim alatima za statičko programiranje, kao što je Sidra Intersection, VISSIM ne određuje razinu usluge za spoj koristeći jednadžbe iz HCM-a [30].

Važna napomena je da se koristi različita raspodjela vremena čekanja i razine usluge za ne signalizirano raskrižje. HCM ima drugačije jednadžbe od VISSIM-a pa postoji mogućnost odstupanja. VISSIM koristi prethodno navedenu tablicu za određivanje razine usluge [30]

### 5.3.2. Kalibracija modela - GEH statistika

Kalibracija predstavlja postupak određivanja te uspostavljanja odnosa između pojedinih vrijednosti određenih mjernih veličina.

Podaci potrebni za simulaciju dobiveni su iz stvarnih okolnosti korištenjem GEH statističke jednadžbe za prometno inženjerstvo, predviđanje i modeliranje. Kalibracija modela provedena je pomoću GEH statistike, a također je i model testiran pomoću GEH statistike [30].

GEH jednadžba je empirijska jednadžba koja koristi količine prometa i simulacijski model za analizu obrazaca prometa. Sličan je Hi kvadrat testu jer nije statistička, nego empirijska jednadžba. Uspoređujući dvije količine prometa, ova se jednadžba može koristiti za izračunavanje korespondencije između modela i stvarnog svijeta [30].

Na određenim dijelovima cestovne mreže postoje različite varijacije u segmentu prometnog opterećenja i izražavanja u postotnim vrijednostima. Uzmimo u obzir da jedna dionica ceste, tj. autoceste može propustiti 6500 voz/h, a druga ulazno/izlazna rampa može propustiti 200 voz/h. Prema ovim navedenim podacima nemoguće je odrediti jedinstveni postotak odstupanja kod stvarnog stanja modela. Kada bi uzeli toleranciju odstupanja od 5% na spomenutim dionicama značilo bi da prva dionice autoceste od 6500 voz/h iznosi odstupanjem  $\pm 325$  voz/h dok bi na rampi to predstavljalo 200 voz/h odstupanjem  $\pm 10$  voz/h [30].

Geoffrey Havers odredio je jednadžba na temelju empirijskih dokaza za izračun raspona prihvatljivih uvjeta.

Jednadžba za GEH statistiku izračunava se na sljedeći način:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (3)$$

Gdje je:

M - satno opterećenje dobiveno iz prometnog modela

C - satno opterećenje dobiveno iz empirijskih uzoraka

Uspoređujući svoje modele sa stvarnim svijetom, GEH statistika pruža visok stupanj sigurnosti. To je zato što je njihov model dizajniran da se mijenja tijekom vremena, za razliku od statičkog sustava. To daje kredibilitet modelu jer može bolje objasniti promjenjivi prometni sustav. Dobar prometni simulacijski model kalibriran je kada GEH koeficijent prometa simulacijskog modela odgovara prometnim podacima iz stvarnog života. Ovaj koeficijent mora biti niži od 5 za dobru kalibraciju. Ako 85% ukupnog volumena prometa ima GEH koeficijent manji od 5, tada se model može smatrati dobrim prikazom stvarnog života. Ako je GEH koeficijent veći od 10, model ne može točno odražavati stvarni život i usporedna točka je nevažna [30].

Za potrebe kalibracije mikrosimulacijskog prometnog modela stvarnog stanja korištenog za evaluaciju parametra u ovom istraživanju korišteni su podaci prikupljeni brojenjem prometa i rezultati prikupljeni od srednje vrijednosti od 10 simulacija. Svaka od simulacija sagledala se u ukupnom trajanju od 1[h] i 15 [min] odnosno 4500 [s]. Gdje se prvih 15 [min] (900 [s]) koristilo za „punjenje mreže“ a preostalih 1[h] (3600 [s]) za prikupljanje podataka. Stoga su za kalibraciju modela, a i kasnije za usporednu analizu pokazatelja kvalitete usluge korišteni samo podaci o srednjim vrijednostima posljednjih 3600 [s] simulacije. U nastavku (*Tablica 4.*) prikaz rezultata kalibracije.

*Tablica 4. Prikaz rezultata kalibracije*

Privoz/smjer	Izbrojano na raskrižju		Izbrojano u modelu		GEH
Privoz 1/ravno	378	378	360	360	0,94
Privoz 2/lijevo	171	262	166	265	0,37
Privoz 2/ravno	91		99		
Privoz 3/lijevo	383	2029	370	2189	3,44
Privoz 3/ravno	1556		1695		
Privoz 3/desno	90		124		
Privoz 4/ravno	228	321	204	284	2,13
Privoz 4/desno	93		80		
Ukupno		2990		3098	1,98

Usporedbom podataka iz prethodno navedene tablice i jednadžba za GEH statistiku može se zaključiti da je model dobro kalibriran te se smatra da predstavlja stvarno stanje terena. Rezultati GEH statistike upućuju kako su svi privozi imali koeficijent manji od 5 dok je usporedbom podataka o broju vozila na cijelom raskrižju zabilježen GEH koeficijent od 1,98. Ovdje je važno napomenuti kako se GEH koeficijent za cijelo raskrižje ne dobiva zbrojem svih GEH koeficijenta po privozima već se isti dobiva prema gore navedenoj jednadžbi.

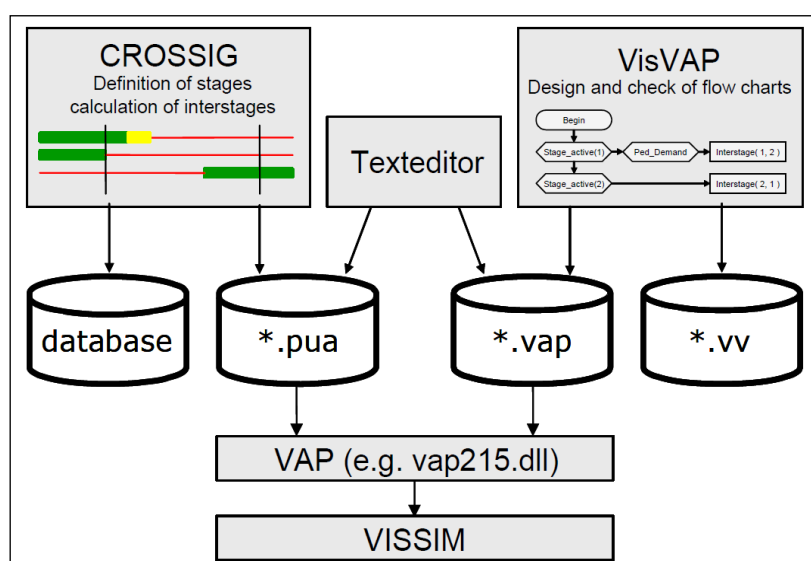
Nakon kalibracije modela pristupilo se postupku izrade algoritma davanja prioriteta opisanom u slijedećem poglavlju.

## 5.4. Izrada algoritma pružanja bezuvjetnog prioriteta

Postupak izrade algoritma sastoji se od povezivanja sučelja za izradu algoritma s upravljačkim sučeljem u mikrosimulacijskom modelu, razvojem strategije davanja bezuvjetnog prioriteta VIP vozilima te izradom algoritma davanja prioriteta. Svaki od postupaka prikazan je u ovom poglavlju.

### 5.4.1. Opis korisničkog sučelja za izradu algoritma

Algoritam davanja bezuvjetnog prioriteta napravljen je u *add-on* korisničkom sučelju–PTV *VisVap*. PTV *VisVAP* (*eng. VAP - Vehicle Actuated Programming*) pruža mogućnost izrade algoritama primjenom objektno orijentiranog programiranja te izrade programske logike putem dijagrama toka [31]. Slijed implementacije izrađenih algoritama u simulacijskom modelu prikazan je u nastavku (*Slika 24.*)



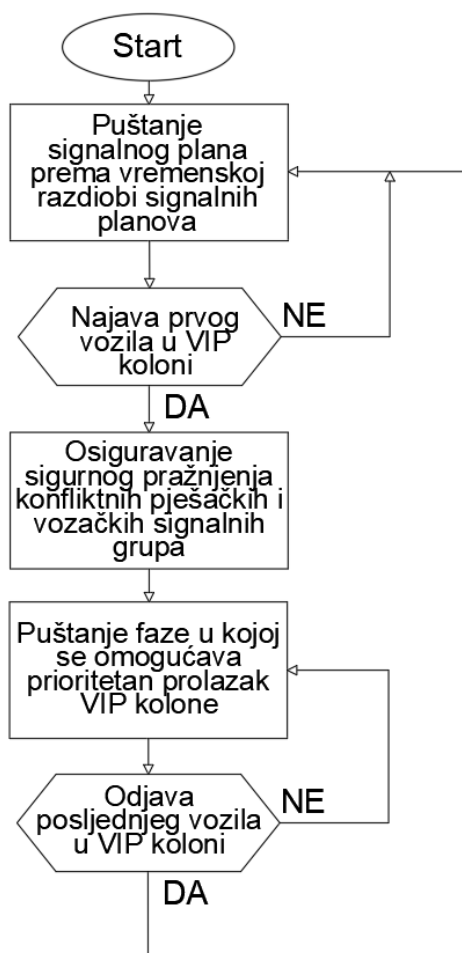
Slika 24. Prikaz koraka implementacije algoritama adaptivnog upravljanja u simulacijski model. Izvor: [31]

Logika rada pojedinog signalnog uređaja (definirana ASCII datotekom ekstenzije \*.pua) i dijagram toka algoritma adaptivnog upravljanja (datoteka koja sadrži C++ kod algoritama ekstenzije \*.vap), unose se u simulacijski model, te se pokretanjem simulacije prati definirani dijagram toka algoritma adaptivnog upravljanja [31],[32]. Svi koraci implementacije algoritama provode se na modelu postojećeg stanja, te je model u osnovi identičan postojećem stanju (broj vozila po ulazima u mrežu, statičko rutiranje entiteta kroz mrežu, itd.).

### 5.4.2. Opis strategije dodjele bezuvjetnog prioriteta

Strategija dodjele bezuvjetnog prioriteta temelji se na najavi prvog odnosno odjavi posljednjeg vozila u VIP koloni vozila. U stvarnosti bi se najava/odjava VIP kolone temeljila na tehnologiji baziranoj na identifikaciji putem radiofrekvencije RFID - (*eng. Radio Frequency IDentification*). To je tehnologija koja koristi radio frekvenciju kako bi se razmjenjivale informacije između prijenosnih uređaja/memorija i host računala. RFID sustav obično se sastoji od taga/labela koja sadrži podatke, antena koja komunicira s tagovima, i kontroler koji upravlja i nadzire komunikacijom između antene i računala [33].

Izradom strategije koja se temelji na ovakvoj vrsti najave odnosno odjave osigurava se davanje bezuvjetnog prioriteta svim VIP vozilima neovisno o tome koliko ih je u koloni. Hodogram (Slika 25.) zamišljene strategije davanja bezuvjetnog prioritete.



Slika 25. Hodogram strategije pružanja bezuvjetnog prioriteta VIP koloni vozila

Iz hodograma prikazanog na slici 25. vidljivo je kako je dodjela bezuvjetnog prioriteta VIP koloni zamišljena tako da kad se jednom prvo vozilo VIP kolone najavi, kreće u osiguravanje sigurnosnih parametara za sve konfliktnu pješake i vozačke signalne grupe. Ovaj korak je nulti uvjet za puštanje prioriteta. Ako je u trenutku najave prvog vozila VIP kolone zeleno svjetlo dodijeljeno signalnoj grupi koja je u konfliktu sa signalnom grupom kojom se dodjeljuje prioritet, ta faza se prekinula i pustila faza u kojoj se omogućuje prioritet VIP koloni potrebno je zadovoljiti sigurnosne uvjete odnosno dopustiti da istekne vrijeme između faza. To vrijeme predviđeno je matricom zaštitnih međuvremena. Jednom kad je nulti uvjet zadovoljen kreće se u ispitivanje odjave posljednjeg vozila u VIP koloni. Dok god se posljednje vozilo u koloni ne odjavi traje faza u kojoj se dodjeljuje prioritet. Nakon odjave posljednjeg vozila, pali se faza koja je sljedeća u ciklusu (kako bi se umanjili negativni učinci uzrokovani dodjeli prioriteta).

### 5.4.3. Simuliranje prolaska VIP vozila i prikaz algoritma davanja prioriteta

Prije same izrade algoritma bezuvjetne dodjele prioriteta VIP vozilima potrebno je postaviti vezu između simulacijskog programa i programa za izradu algoritma. U ovom slučaju tu vezu su činili detektori koja simuliraju najavu/odjavu na signaliziranom raskrižju. Simulacijski prikaz raskrižja opremljenog detektorima (Slika 26.)



Slika 26. Simulacijski prikaz raskrižja opremljenih detektorom

Iz slike 26. je vidljivo kako su detektori postavljeni na južnom privozu raskrižja. Detektor prikazan u blizini zaustavnih linija služi kao odjavni detektor. Prijavni detektor udaljen je od zaustavne trake južnog privoza 190 [m]. Ta udaljenost odgovara vremenskoj udaljenosti najvećeg vremena između prioritete i konfliktne faze (11[s]) ako u obzir uzmemo brzinu prometovanja vozila u koloni od 60 [km/h].



Prethodno se može provjeriti sljedećom jednadžbom:

$$s = v * t \quad (4)$$

Gdje je:

*s* - put

*v* - brzina

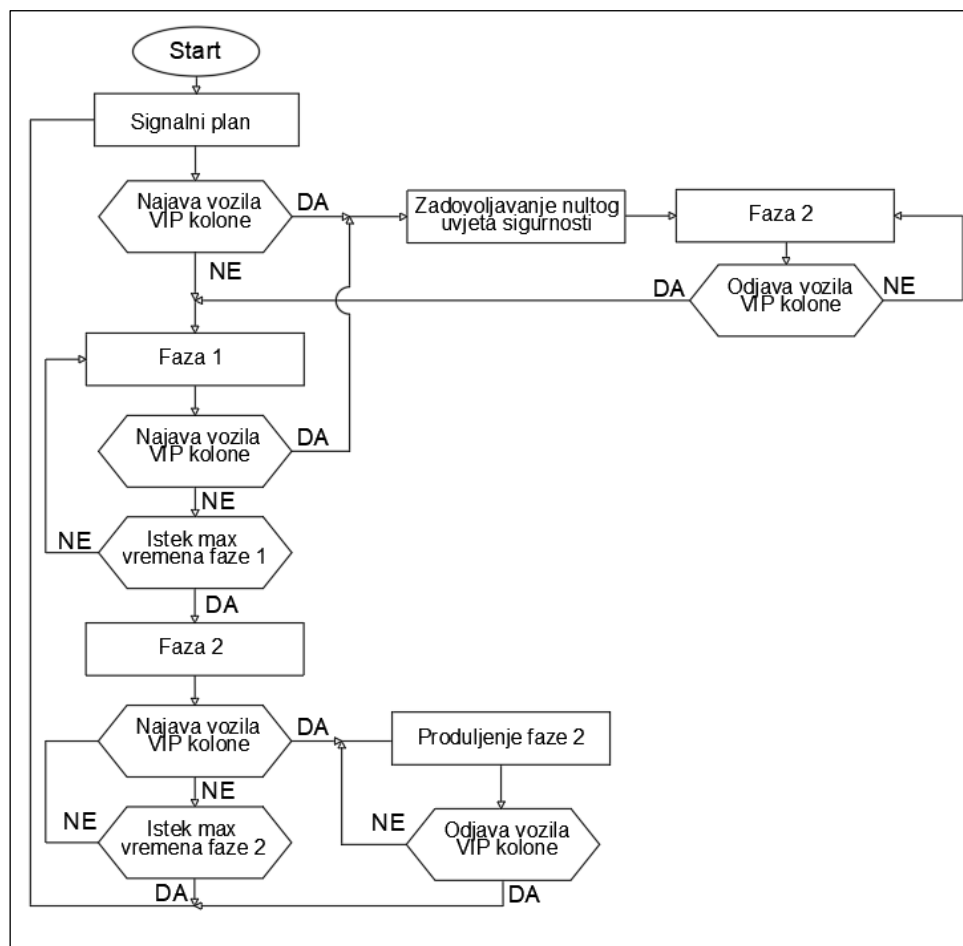
*t* - vrijeme

Prilikom simuliranja prolaska uzimala se srednja prometna brzina „VIP kolone“ od 60 [km/h] i duljine kolone od 5 automobila. Ti uvjeti su se uspjeli simulirati tako što se u simulacijskom modelu izradilo „vozilo“ koje je bilo sačinjeno od 5 vozila i razmakom od 1 do 2 [m] između svakog vozila čineći ukupnu duljinu od 29.2 [m]. U nastavku (Slika 27.) prikazano je „vozila“ napravljena u PTV VISSIM simulacijskom modelu.



Slika 27. Prikaz prolaska prioritetne kolne (slika gore) i izgled prioritetne kolone napravljene u VISSIM simulacijskom modelu (slika dolje)

Iz prikaza sa slike 30., vidljivo je kako se kolona od 5 vozila kreće bez interakcije s drugim vozilima u mreži, tj. između vozila koja čine „VIP kolonu“ nema drugih vozila već samo razmak između vozila. Također, kako bi simulacija bila vjerodostojna, pošto se simulirao samo jedan prolazak „VIP kolone“ vozila, u simulaciji je uspostavljeno da se ista najavljuje u trenutku kada je upaljena konfliktna faza. Poopćeni algoritam dodjeljivanja prioriteta VIP vozilima prikazan je u nastavku (Slika 28.)



Slika 28. Prikaz algoritma davanja prioriteta VIP koloni

Iz slike 28. vidljivi su koraci dodjele prioriteta VIP koloni vozila. Princip dodjele prioriteta funkcionira na pretpostavci da je poznata trasa i smjer kojom se kreće VIP kolona. U simuliranom primjeru, zamišljena trasa kojom se kreće VIP kolona je bila Savska-Frankopanska, što bi na analiziranom raskrižju odgovaralo usmjerenju jug-sjever, odnosno signalnoj grupi V2 koja se kreće u drugoj fazi signalnog plana. Stoga je prilikom najave VIP kolone potrebno ili skratiti fazu 1 i ranije pustiti fazu 2 (uz osiguravanje nultog uvjeta sigurnosti) ili produljiti fazu 2 do trenutka odjave VIP kolone. Algoritam prikazan na slici 31. ugrađen je u mikrosimulacijski alat putem ranije opisanog korisničkog sučelja za izradu algoritama.

Rezultati simulacija početnog stanja i stanja s dodjelom prioriteta prikazani su u sljedećem poglavlju.

## 6. Analiza istraživanja i evaluacijski rezultati

Korištenjem PTV VISSIM simulacijskog programa, učinjena je mikrosimulacija promatranog testnog raskrižja u užem dijelu grada Zagreba. Potrebno je bilo minimalno odraditi dva scenarija kako bi mogli izvršiti evaluaciju rezultata. Svaki od scenarija se simulirao 10 puta, a u radu su prikazane srednje vrijednosti tih simulacija. Prvi scenarij je početni scenarij koji pokušava simulirati trenutno, tj. postojeće stvarno stanja u realnom svijetu, a drugi je scenarij budućeg stanja s dodjelom bezuvjetnog prioriteta vozilima pod pratnjom na raskrižju.

### 6.1. Evaluacija rezultata početnog scenarija

U nastavku se može iščitati postojeće stanje promatranog testnog raskrižja (*Tablica 5.*) u jutarnjem vršnom satu od 8:00 do 9:00. Parametri koji ulaze u uspoređivanje :

- Broj vozila,
- Kašnjenje vozila (vrijeme čekanja),
- Repovi čekanja
- Maksimalni repovi čekanja
- Razina usluge

*Tablica 5. Rezultati postojećeg stanja*

Privoz/smjer	Broj vozila [voz/h]	Kašnjenje vozila [s]	Repovi čekanja [m]	Maksimalni repovi čekanja [m]	Razina usluge [A-F]
Privoz 1/ravno	360	31,57	20,88	117,68	D
Privoz 2/lijevo	166	23,43	7,17	42,69	C
Privoz 2/ravno	99	21,22	7,19	42,72	C
Privoz 3/lijevo	370	1,08	21,59	179,09	A
Privoz 3/ravno	1695	2,86	21,66	179,16	A
Privoz 3/desno	124	9,28	17,56	149,41	A
Privoz 4/ravno	204	24,29	9,15	57,37	C
Privoz 4/desno	80	24,80	9,18	57,43	C

Privoz 1/ravno [jug-sjever] broj vozila iznosi [360 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 31,57 [s] duljina repa čekanja iznosi 20,88 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 117,68 [metara]. Razina usluge je D.

Privoz 2/lijevo [jug-zapad] broj vozila iznosi [166 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 23,43 [s] duljina repa čekanja iznosi 7,17 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 42,69 [metara]. Razina usluge je C.

Privoz 2/ravno [jug-sjever] broj vozila iznosi [99 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 21,22 [s], duljina repa čekanja iznosi 7,19 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 42,72 [metara]. Razina usluge je C.

Privoz 3/lijevo [istok-jug] broj vozila iznosi [370 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 1,08 [s], duljina repa čekanja iznosi 21,59 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 179,09 [metara]. Razina usluge je A.

Privoz 3/ravno [istok-zapad] broj vozila iznosi [1695 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 2,86 [s], duljina repa čekanja iznosi 21,66 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 179,16 [metara]. Razina usluge je A.

Privoz 3/desno [istok-sjever] broj vozila iznosi [124 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 9,28 [s], duljina repa čekanja iznosi 17,56 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 149,41 [metara]. Razina usluge je A.

Privoz 4/ravno [jug-sjever] broj vozila iznosi [204 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 24,29 [s], duljina repa čekanja iznosi 9,15 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 57,37 [metara]. Razina usluge je C.

Privoz 4/desno [jug-zapad] broj vozila iznosi [80 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 24,80 [s], duljina repa čekanja iznosi 9,18 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 57,43 [metara]. Razina usluge je C.

## **6.2. Evaluacija rezultata scenarija s dodjelom prioriteta**

Iz dobivenih podataka koji su izvršeni mikrosimulacijom za buduće stanje s dodjelom prioriteta na raskrižju (*Tablica 6.*) u jutarnjem vršnom satu od 8:00 do 9:00. Očitavamo parametre:

- Broj vozila,
- Kašnjenje vozila (vrijeme čekanja),
- Repovi čekanja
- Maksimalni repovi čekanja
- Razina usluge

Te kao dodatni parametri koji predstavljaju evaluaciju budućeg stanja:

- Ukupno čekanje vozila s prioritetom pod pratnjom
- Vrijeme putovanja vozila pod pratnjom
- Brzina vozila pod pratnjom

Parametar „Emisija štetnih plinova (Co,NOx,VOc) nije naveden u tablice, međutim bit će kratko obrađena u nastavku poglavlja 6.2.

Tablica 6. Rezultati budućeg stanja s dodjelom prioriteta na raskrižju vozilima pod pratnjom

Privoz/smjer	Broj vozila [voz/h]	Kašnjenje vozila [s]	Repovi čekanja [m]	Maksimalni repovi čekanja [m]	Razina usluge [A-F]
Privoz 1/ravno	360	29,41	19,49	117,68	D
Privoz 2/lijevo	166	23,37	7,09	42,69	C
Privoz 2/ravno	99	21,19	7,11	42,72	C
Privoz 3/lijevo	370	1,28	25,71	185,71	A
Privoz 3/ravno	1693	3,06	25,80	185,78	A
Privoz 3/desno	124	10,30	21	156,03	B
Privoz 4/ravno	204	23,50	8,84	57,37	C
Privoz 4/desno	80	24,03	8,87	57,43	C

Privoz 1/ravno [jug-sjever] broj vozila iznosi [360 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 29,41 [s], duljina repa čekanja iznosi 19,49 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 117,68 [metara]. Razina usluge je D.

Privoz 2/lijevo [jug-zapad] broj vozila iznosi [166 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 23,4 [s], duljina repa čekanja iznosi 7,17 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 42,69 [metara]. Razina usluge je C.

Privoz 2/ravno [jug-sjever] broj vozila iznosi [99 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 21,19 [s], duljina repa čekanja iznosi 7,11 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 42,72 [metara]. Razina usluge je C.

Privoz 3/lijevo [istok-jug] broj vozila iznosi [370 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 1,28 [s], duljina repa čekanja iznosi 25,71 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 185,71 [metara]. Razina usluge je A.

Privoz 3/ravno [istok-zapad] broj vozila iznosi [1693 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 3,06 [s], duljina repa čekanja iznosi 25,80 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 185,78 [metara]. Razina usluge je A.

Privoz 3/desno [istok-sjever] broj vozila iznosi [124 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 10,30 [s], duljina repa čekanja iznosi 21 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 156,03 [metara]. Razina usluge je B.

Privoz 4/ravno [jug-sjever] broj vozila iznosi [204 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 23,50 [s], duljina repa čekanja iznosi 8,84 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 57,37 [metara]. Razina usluge je C.

Privoz 4/desno [jug-zapad] broj vozila iznosi [80 voz/h], vrijeme čekanja, odnosno kašnjenje vozila iznosi 24,03 [s], duljina repa čekanja iznosi 8,87 [metara], dok maksimalna duljina repa čekanja iznosi 57,43 [metara]. Razina usluge je C.

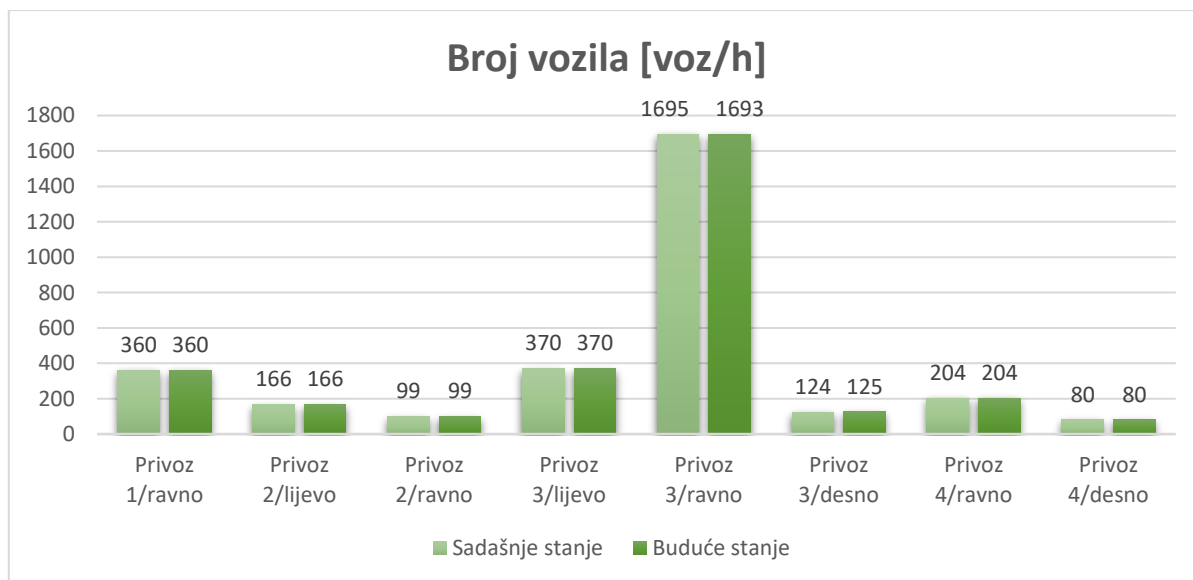
Dodatni parametri koji predstavljaju evaluaciju rezultata budućeg stanja potvrđuju ispravan rad algoritma, što se iščitava iz ukupnog čekanja vozila s prioritetom u trajanju od 1,33 [s]. Također, opravdanost se može potkrijepiti činjenicom da vozila u pratnji nisu bila prva u redu čekanja u trenutku dodjele prioriteta. Ukupno vrijeme prioriternih vozila provedeno u mreži je 32,4 [s] što zapravo odgovara putu koji trebaju vozila proći od ulaza u mrežu do izlaza iz nje, pod pretpostavkom da se voze prosječnom brzinom od 60 [km/h].

Parametar „Emisija štetnih plinova (Co,NOx,VOc)“:

- Co - (*eng. Carbon monoxide*) - Ugljični monoksid, iznosi manje u budućem stanju modela dodjele prioriteta, nasuprot sadašnjeg stanja za 5,3%.
- NOx - (*eng. Nitrogen Oxides*) - Dušikov oksid, iznosi manje u budućem stanju modela dodjele prioriteta, nasuprot sadašnjeg stanja za 2,6%.
- VOc – (*eng. Volatile Organic compounds*) – Hlapljivi organski spojevi, iznose manje u budućem stanju modela dodjele prioriteta, nasuprot sadašnjeg stanja za 2,6%.

### 6.3. Usporedna analiza podataka

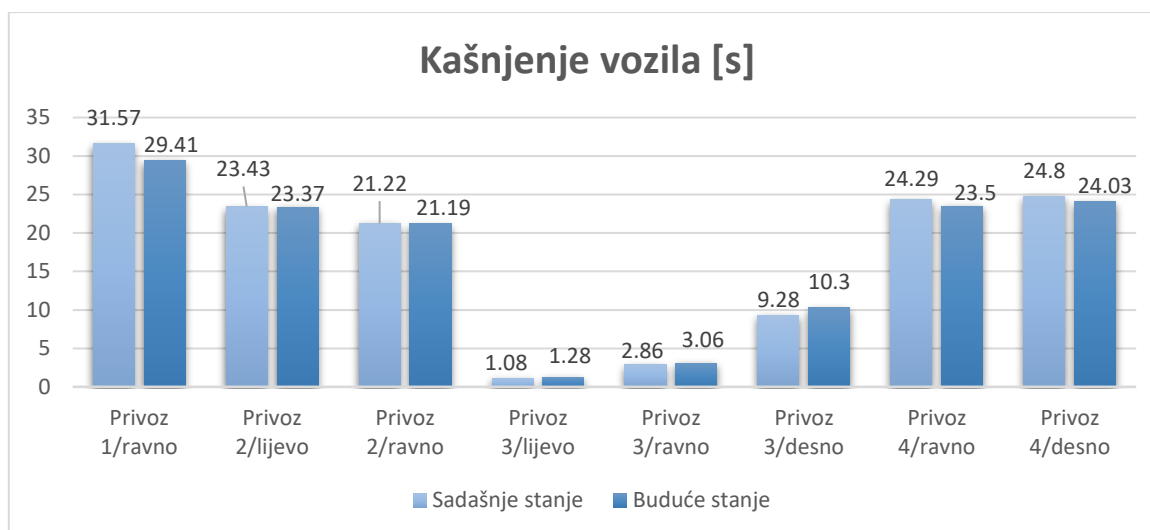
Nakon dobivenih rezultata iz dva prethodno navedena scenarija, uzimaju se potrebni parametri te se privozi uspoređuju međusobno. Obrađeno je 5 (pet) grafikona s prikazom međusobne vrijednosti. Uspoređuju se navedeni privozi sadašnjeg stanja bez dodjele prioriteta i budućeg stanja s dodjelom prioriteta. U nastavku je prikazan (*Grafikon 1.*), obrađeni su rezultati parametara „broj vozila“ na privozima izraženi u [voz/h].



Grafikon 1. Uspoređene vrijednosti parametra „Broj vozila“ na privozima

Iz grafikona 1. može se iščitati kako je broj vozila dobiven brojanjem u modelu sadašnjeg i budućeg stanja jednak po svim privozima, osim u privozu 3, smjer ravno [istok-zapad], gdje sadašnje stanje ima 2 vozila više na mreži od budućeg, što možemo uzeti u obzir da je zanemarivo.

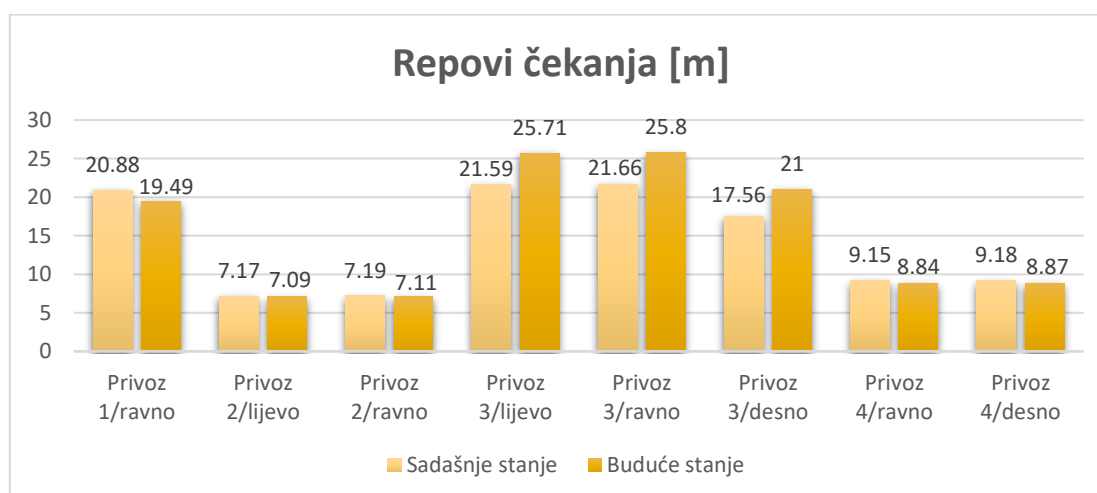
U nastavku je prikazan (*Grafikon 2.*), obrađeni su rezultati parametara „kašnjenja vozila“ na privozima izraženi u sekundama [s].



*Grafikon 2. Uspoređene vrijednosti parametra „Kašnjenje vozila“ na privozima*

Iz grafikona 2. može se iščitati razlika u kašnjenju vozila na svim privozima, tako je privoz 1 budućeg stanja manji za 2,16s, što je ujedno i važna stavka glede ovog diplomskog istraživanja. Privoz 3 ima lošije parametre zbog oduzimanja nekoliko sekundi od ciklusa kako bi propustio druga vozila, tj. konfliktni privoz. Što se tiče ostalih parametara, razlike vrijednosti nisu značajno velike, međutim prilikom sumiranja ukupnih srednjih vrijednost sadašnjeg nad budućim, dobit ćemo rezultat da, buduće stanje iznosi 30s manje od sadašnjeg u parametru kašnjenja vozila. [(B)17,02s < (S)17,32s].

U nastavku je prikazan (*Grafikon 3.*), obrađeni su rezultati parametara „repovi čekanja“ na privozima izraženi u metrima (m).

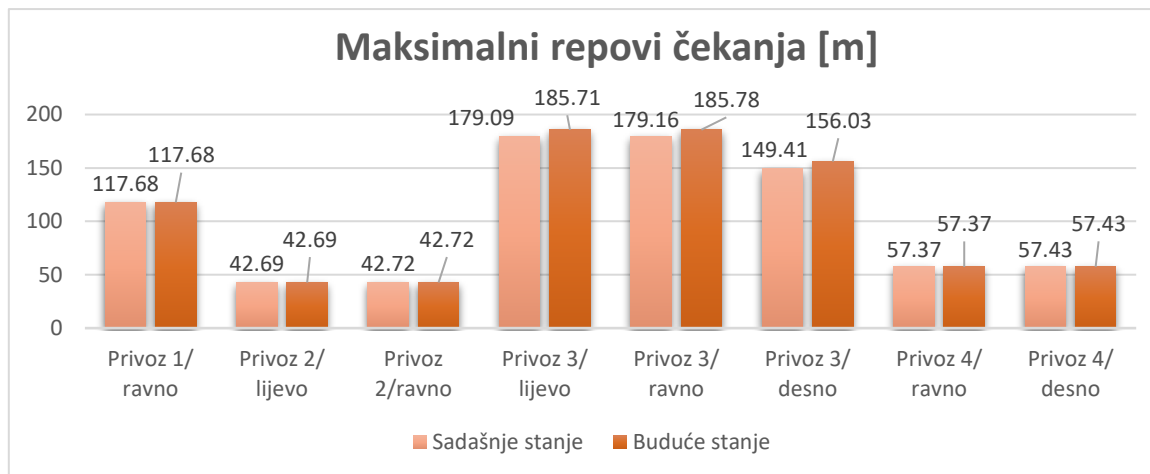


*Grafikon 3. Uspoređene vrijednosti parametra „Repova čekanja“ na privozima*

Iz grafikona 3. može se iščitati da je rep čekanja budućeg stanje modela smanjen u donosu na sadašnje stanje modela, osim u privozu 3 smjera lijevo, ravno i desno, tada buduće stanje modela ima duže repove čekanja, od 3,44 - do 4,14m ovisno o privozu. Prilikom

sumiranja ukupnih srednjih vrijednost sadašnjeg nad budućim stanjem modela, iščitavamo razliku u vrijednosti 9,8m u „korist“ budućeg stanja. [(B) 116,15m > (S)106,35 m].

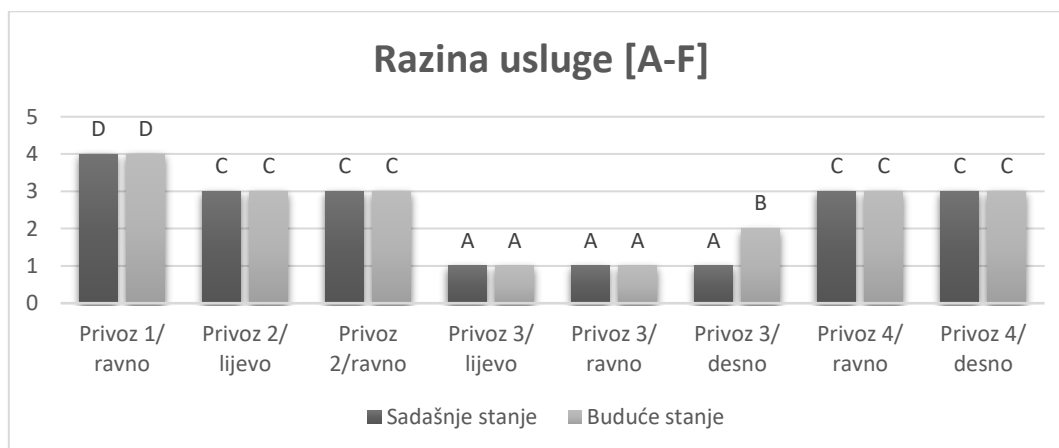
U nastavku je prikazan (Grafikon 4.) obrađeni su rezultati parametara „maksimalni repovi čekanja“ na privozima izraženi u metrima (m).



Grafikon 4. Uspoređene vrijednosti parametra „Maksimalni repovi čekanja“ na privozima

Iz grafikona 4. može se iščitati da je budućer stanje, jednako sadašnjem stanju modela na svim privozima, osim u privozu 3, smjera lijevo, ravno i desno. Tada budućer stanje modela ima duže repove čekanja, za 6,62m na sva tri smjera. Prilikom sumiranja ukupnih srednjih vrijednost sadašnjeg nad budućim stanjem modela, iščitavamo razliku u vrijednosti od 2,49m u „korist“ budućeg stanja. [(B) 105,68m > (S)103,19 m].

U nastavku je prikazan (Grafikon 5.), obrađeni su rezultati parametara „razina usluge“ na privozima izraženi u parametrima od A-F, A predstavlja najbolji, a F najlošije stanje prometne mreže (zagušenje).



Grafikon 5. Uspoređene vrijednosti parametra „Razine usluge“ na privozima

Iz grafikona 5. može se iščitati da je budućer stanje, jednako sadašnjem stanju modela na svim privozima, osim u privozu 3, smjera desno. Tada budućer stanje modela ima lošiju razinu usluge, ali samo za jednu ocjenu što i ne mijenja pretjerano odvijanje prometne mreže, odnosno privoza 3.



## 7. Zaključak

Prilikom dolaska VIP vozila pod pratnjom u urbanu sredinu nastaju zagušenja na prometnoj mreži, ponajviše zbog regulacije policijskih službenika duž promatranog koridora koji je prethodno definiran kao ruta putovanja. U scenariju gdje policijski službenici ne reguliraju promet, događa se da vozila pod pratnjom, iskorištavaju svaku priliku da prije stignu na odredište, pri tome ne poštujući prometne propise i ugrožavajući sigurnost ostalih sudionika u prometu. Način za sprječavanje događanja oba scenarija, predložen je algoritmom dodjele prioriteta vozilima pod pratnjom na semaforiziranom raskrižju.

Analizom dobivenih podataka iz vjerodostojnog mikrosimulacijskog prometnog modela sadašnjeg i budućeg stanja s dodjelom prioriteta, ustanovljeno je da je na svim privozima, osim na privozu 3 postignuto poboljšanje u promatranim parametrima, što je i ispravno zbog oduzimanja nekoliko sekundi od ciklusa spomenutom privozu. Predloženim algoritmom opravdava se ispravnost rada istog, temeljeno na dobivenim rezultatima.

Primjenom ITS-a na semaforiziranom raskrižju, odnosno, implementiranjem adaptivnog sustava dodjele prioriteta vozilima pod pratnjom, moguće je postići fluidniji i sigurniji prolazak VIP vozila u „koloni“ kroz promatrano raskrižje uz minimalan utjecaj na stvaranje repa čekanja prema konfliktnim privozima.

Napravljena je podloga za daljnja istraživanja u kojima se otvara mogućnost spoznaje funkcioniranja modela na većem području obuhvata, kako bi se VIP vozila u koloni neometano kretala duž određenog koridora uz minimalan utjecaj ili gotovo nikakav od strane policijskih službenika.

## Literatura

- [1] Bošnjak I.: Inteligentni transportni sustavi, kontribucija za PDS, Zagreb-Ljubljana; 2003. [Pristupljeno: srpanj, 2022.god.]
- [2] Miles J, Chen K.: *ITS Handbook*, 2nd edition, PIARC; 2004. [Pristupljeno: srpanj, 2022.god.]
- [3] IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/bdebcfff> [Pristupljeno: srpanj, 2022]
- [4] International Journal of General Systems (Methodology, Application, Education). Preuzeto s: <https://tinyurl.com/2kf7heh7> [Pristupljeno: srpanj, 2022.god.]
- [5] Bošnjak I.: Inteligentni transportni sustavi 1, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2006. [Pristupljeno: srpanj, 2022.god.]
- [6] Škorput P.: Nastavni materijal iz kolegija Inteligentni transportni sustavi 1, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2020/2021. [Pristupljeno: srpanj, 2022.god.]
- [7] National Intelligent Transport Systems Strategy 2010-2015, Intelligent Transport Systems Australia; July 2010. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/2p8use2w> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [8] Action plan for the deployment of intelligent transport systems in Europe. Communication from the commission, Comm. Eur. Communities (2008) 886. Brussels, 16.12.2008. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/4sdk9255> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god]
- [9] Daeibal J., Lapshin V., Elkin D., Kucherov S.A.: Features Of Designing The Architecture Of Intelligent Transport Systems. *Karbala International Journal of Modern Science*: Vol. 5 : Iss. 2 , Article 6; 2019. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/m7442fmf> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god]
- [10] Vujić M.: Nastavni materijali iz kolegija Cestovna telematika, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2021/2022. [Pristupljeno: srpanj, 2022.god.]
- [11] Velagić J.: Nastavni materijali iz kolegija Distribuirani sistemi, Elektrotehnički fakultet, Sarajevo; 2012/2013. [Pristupljeno: srpanj, 2022.god]
- [12] Garrow M., Machemehl R.: Development and Evaluation of Transit Signal Priority Strategies. *Journal of Public Transportation*, 2 (2): 65-90; 1999. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/wx887d9v> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god]
- [13] Furth P.G., Muller T.H.J.: Conditional Bus Priority at Signalized Intersections: Better Service Quality with Less Traffic Disruption, *Transportation Research Record* 1731; 2000. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/2p87en8e> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god]
- [14] Vujić M.: Sustav dinamičkih prioriteta za vozila javnoga gradskoga prijevoza u automatskom upravljanju prometom. Doktorski rad. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb; 2013. [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god]
- [15] Bowen G.T., Bretherton R.D., Landles J.R., Cook D.J.: Active bus priority in SCOOT. *Seventh International Conference on Road Traffic Monitoring and Control*, pp. 73-76; 1994. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/2s3b3x6z> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [16] Ngan V.W.K.: A comprehensive strategy for transit signal priority. Master's thesis. University of British Columbia, Vancouver, Canada; 2002. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/bdcyrem7> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]

- [17] Yagar S., Han B.: A procedure for real-time signal control that considers transit interference and priority. *Transportation Research Part B*, Volume 28, Issue 4; 1994. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/43hcdmk9> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god]
- [18] Kloos W. C., Turner K.: Implementing traffic signal priority for buses. *Compendium of Technical Papers*. Institute of Transportation Engineers; 1999. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/8mprbpx4> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [19] Skabardonis A.: Control strategies for transit priority. *Transportation research record*, Vol. 1727; 2000. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/4yht5jsz> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [20] Hounsell N., McLeod F.: Automatic Vehicle Location implementation, application and benefits in the United Kingdom. *Transportation Research Record*; 1998. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/yckttkij> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [21] Mirchandani P., Head L.: A real-time traffic signal control system: architecture, algorithms, and analysis, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 9, Issue 6, 415-432; 2001. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/yckkur3a> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [22] Duerr P.: Dynamic right-of-way for transit vehicles: integrated modeling approach for optimizing signal control on mixed traffic arterials. *Transportation Research Record*, 1731, 31-39; 2000. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/5bc68d6d> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [23] Novačko L., Pilko H.: Nastavni materijali iz kolegija Cestovne prometnice 2, Upute za auditorne vježbe i seminarski rad, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2017. [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [24] Miletić M., Ivanjko E., Gregurić M., Kušić K.: A review of reinforcement learning applications in adaptive traffic signal control. Department of Intelligent Transport Systems, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2021. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/2avh8b36> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [25] Shepherd S.P.: A Review of Traffic Signal Control. Institute of Transport Studies, University of Leeds. Working Paper 349; 1992. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/2p87hh65> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [26] Bretherton R.D.: SCOOT urban traffic control system - philosophy and evaluation. Traffic Operations Division, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berks, RG11 6AU, UK; 1989. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/yva8vfy9> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [27] Nazhon I. K., Hartley J., Mahmood M.: An Adaptive Neuro Fuzzy Inference System for Traffic Occupancy Prediction; 2021. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/2p86vpmb> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [28] Sims A. G., Finlay A.: SCATS, Splits and Offsets Simplified (SOS). *Australian road research* 12; 1984. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/yjzks9w> [Pristupljeno: kolovoz, 2022.god.]
- [29] Zakon.hr - Zakon o sigurnosti prometa na cestama; 2022. Preuzeto s <https://tinyurl.com/bdh4dwyh> [Pristupljeno: rujan, 2022.]
- [30] Gradski ured za prostorno uređenje, izgradnju Grada, graditeljstvo, komunalne poslove i promet, Sektora za promet.
- [31] PTV - Planung Transport Verkehr AG: *VisVAP 2.16 User Manual*, 2006. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/4xprkn7e> [Pristupljeno: rujan, 2022.god.]
- [32] Satiennam T.; Fukuda A.; Muroi T.; Jansuwan S.: An Enhanced Public Transportation Priority System for Two-Lane Arterials with Nearside Bus Stops, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5., pp. 1309-1321; 2005. Preuzeto s: <https://tinyurl.com/2b8jc9ep> [Pristupljeno: rujan, 2022.god.]
- [33] Tech Target - RFID (radio frequency identification). Preuzeto s: <https://tinyurl.com/4px264ej> [Pristupljeno: rujan, 2022.]

## Popis kratica

- VIP - (Very Important Person) - Vrlo važna osoba.
- ENC - (Electronic Toll Collection) - Elektronička naplata cestarine.
- GPS - (Global Positioning System) - Globalni sustav pozicioniranja.
- GNSS - (Global navigation satellite system) - Globalni navigacijski satelitski sustav.
- HMI - (Human Machine Interface) - Operatorsko sučelje.
- CPU - (Central Process Unit) - Centralna procesorska jedinica.
- LPU - (Local Process Unit) - Lokalna procesorska jedinica.
- PTV - (Planung Transport Verkehr) - Planiranje transportnog prometa.
- VISSIM - (Verkehr In Städten – SIMulationsmodell) - Promet u gradovima - simulatorski model.,,
- V2V - (Vehicle to Vehicle) – Vozilo s vozilom
- V2X - (Vehicle to Everything) – Vozilo za sve

## Popis slika

<i>Slika 1. Grafički prikaz Aspekata (arhitekture) ITS-a</i> .....	4
<i>Slika 2. Grafički prikaz logičke i fizičke arhitekture ITS-a</i> .....	6
<i>Slika 3. Grafički prikaz centraliziranog sustava.</i> .....	9
<i>Slika 4. Grafički prikaz distribuirane arhitekture s pojedinačnim vezama</i> .....	9
<i>Slika 5. Grafički prikaz distribuirane mrežne arhitekture]</i> .....	10
<i>Slika 6. Grafički prikaz produljenja trajanja zelenog svjetla</i> .....	12
<i>Slika 7. Grafički prikaz skraćenog trajanja crvenog svjetla/rano zelenog</i> .....	13
<i>Slika 8. Grafički prikaz dodatne faze za vozila javnog gradskog prijevoza</i> .....	13
<i>Slika 9. Grafički prikaz selektivne strategije u 4 faze</i> .....	14
<i>Slika 10. Grafički prikaz podjele faze</i> .....	16
<i>Slika 11. Grafički prikaz skraćenog trajanja ciklusa</i> .....	16
<i>Slika 12. Grafički prikaz skraćenog trajanja ciklusa</i> .....	17
<i>Slika 13. Grafički prikaz funkcioniranja genetskog algoritma i neuronske mreže kroz dva procesa</i> .....	19
<i>Slika 14. Grafički prikaz primjera plana redosljeda faza</i> .....	20
<i>Slika 15. Grafički prikaz vođenja sustava „koji uči“</i> .....	21
<i>Slika 16. Grafički prikaz makro lokacije raskrižja zajedno s rutama i atrakcijom</i> .....	26
<i>Slika 17. Grafički prikaz mikro lokacije raskrižja „Ulice Vjekoslava Klaića - Savska cesta - Trg Republike Hrvatske“</i> .....	27
<i>Slika 18. Prikaz geometrijskih uvjeta testnog raskrižja</i> .....	28
<i>Slika 19. Prikaz raskrižja s definiranim privozima</i> .....	29
<i>Slika 20. Prikaz signalnog plana kojim se upravlja na odabranom testnom koridor</i> .....	32
<i>Slika 21. Prikaz matrice zaštitnih međuvremena</i> .....	32
<i>Slika 22. Simulacija prometnog toka s PTV VISSIM-om</i> .....	33
<i>Slika 23. Wiedemann-ov model slijeđenja vozila.</i> .....	35
<i>Slika 24. Prikaz koraka implementacije algoritama adaptivnog upravljanja u simulacijski model</i> .....	39
<i>Slika 25. Hodogram strategije pružanja bezuvjetnog prioriteta VIP koloni vozila</i> .....	40
<i>Slika 26. Simulacijski prikaz raskrižja opremljenih detektorom</i> .....	41
<i>Slika 27. Prikaz prolaska prioritetne kolne (slika gore) i izgled prioritetne kolone napravljene u VISSIM simulacijskom modelu (slika dolje)</i> .....	42
<i>Slika 28. Prikaz algoritma davanja prioriteta VIP koloni</i> .....	43

## Popis tablica

<i>Tablica 1. Prometno opterećenje u vršnom satu za testni koridor .....</i>	<i>30</i>
<i>Tablica 2. Prikaz vremenske raspodjele signalnih planova .....</i>	<i>31</i>
<i>Tablica 3. Razina usluge prema HCM-u. Izvor: [HCM] .....</i>	<i>36</i>
<i>Tablica 4. Prikaz rezultata kalibracije .....</i>	<i>38</i>
<i>Tablica 5. Rezultati postojećeg stanja .....</i>	<i>44</i>
<i>Tablica 6. Rezultati budućeg stanja s dodjelom prioriteta na raskrižju vozilima pod pratnjom .....</i>	<i>46</i>

## Popis grafikona

<i>Grafikon 1. Uspoređene vrijednosti parametra „Broj vozila“ na privozima .....</i>	<i>47</i>
<i>Grafikon 2. Uspoređene vrijednosti parametra „Kašnjenje vozila“ na privozima .....</i>	<i>48</i>
<i>Grafikon 3. Uspoređene vrijednosti parametra „Repova čekanja“ na privozima .....</i>	<i>48</i>
<i>Grafikon 4. Uspoređene vrijednosti parametra „Maksimalni repovi čekanja“ na privozima .....</i>	<i>49</i>
<i>Grafikon 5. Uspoređene vrijednosti parametra „Razine usluge“ na privozima .....</i>	<i>49</i>



Sveučilište u Zagrebu  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb  
DIPLOMSKI STUDIJ

<b>Student: Duje Božić</b>
<b>Akademski matični broj</b> <b>(JMBAG): 1219049582</b>
<b>Studij (zaokružiti):</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Promet</b> <input type="checkbox"/> <b>ITS i logistika</b> <input type="checkbox"/> <b>Aeronautika</b>
<b>Smjer: Cestovni promet</b>

## Prilog prijavi teme diplomskog rada

### 1. Radni naslov teme

Dodjela bezuvjetnog prioriteta povezanim VIP vozilima na raskrižjima sa semaforima

### 2. Obrazloženje teme

U današnjici zbog sve većeg nataliteta i prometne potražnje, dolazi do zagušenja u urbanim sredinama. Razlog tome se pridodaje rastu broja vozila po kućanstvima, a prometna mreža i dalje stagnira sa razvijanjem i širenjem istog zbog nemogućnosti prostora. Način kako poboljšati sadašnjost i budućnost teži u inteligentnim transportnim sustavima „(ITS)“ koji mogu učiniti prometnu mrežu i raskrižja učinkovitijima, pametnijima i provoznijima. Implementiranjem takvog sustava, tj. nadogradnja sustava u postojeće semafore i u vozila, mogla bi se smanjiti opterećenja na prometnicama te izvršiti dodjela prioriteta prolaska vozila od posebne važnosti, kao i mogućnost informiranja putnika. Dodjela bezuvjetnog prioriteta povezanim vozilima u koloni, u ovom slučaju VIP vozila (sportaši u pratnji, predsjednik u pratnji, itd.) prilikom posjete gradu zbog utakmice, važnih sastanaka, uz sva zagušenja koja prethodno postoje, stvaraju se još i dodatna zbog regulacije prometa od strane policijskih službenika na semaforima duž gradske mreže. Da bi prolazak takve vrste vozila bio lakši, brži i sigurniji potrebno je implementirati određeni sustav u infrastrukturu i na vozilo.

### **3. Svrha i ciljevi istraživanja**

Svrha je ustanoviti problematiku vremena čekanja ostalih sudionika u prometu prilikom dolaska VIP vozila u urbanu sredinu, a cilj istraživanja je u skorijoj budućnosti omogućiti VIP vozilima fluidniji prolazak sa što manje zaustavljanja do odredišta, iskorijeniti policijski angažman upravljanja semaforima, izraditi simulacijski model određene dionice ceste sa sadržajnim parametrima vremena čekanja, protoka, gustoće, brzine itd., te predložiti algoritam dodjele bezuvjetnog prioriteta povezanim vozilima.

### **4. Osvrt na dosadašnja istraživanja (analiza dosadašnjeg stanja)**

Dosadašnje analize i znanstvena istraživanja u Hrvatskoj su više bila bazirana na „Dodjeli prioriteta JGP-a“ i na „Dodjeli prioriteta žurnih službi“, nego na „Dodjela bezuvjetnog prioriteta povezanim VIP vozilima“ međutim tehnologija može biti ista, problematika je u tome što nažalost posjedujemo zastarjelu infrastrukturu koju je potrebno mijenjati kako bi napravili korak naprijed, potrebni su noviteti i zamjena postojeće infrastrukture. Znanstveni stručnjaci u svojim radovima i na kongresima spominju pametne gradove, međutim to je trenutno daleko za nas i državne mogućnosti.

### **5. Očekivani rezultati istraživanja (prijedlozi rješenja)**

Očekivani rezultati istraživanja bi trebali pokazati na simulacijskom modelu smanjenje vremena čekanja ostalih sudionika na privozima prilikom prolaza VIP vozila, smanjenje zagušenja prometa i smanjenje vremena putovanja na određenoj dionici. Prethodno navedeni parametri poput brzine, gustoće, protoka i vremena čekanja bi trebali biti zadovoljavajući nasuprot trenutnih rezultata, a također će doći i do smanjenja emisije štetnih plinova.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ diplomski rad  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom \_\_\_\_\_ "Dodjela bezuvjetnog prioriteta vozilima pod pratnjom na raskrižjima" \_\_\_\_\_, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 10.09.2022.

Duđa Božić  
(ime i prezime, potpis)