

# Analiza s prijedlogom optimizacije raskrižja Selska i Horvaćanska cesta u gradu Zagrebu

---

**Matoc, Magdalena**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*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:119:544727>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Magdalena Matoc

**ANALIZA S PRIJEDLOGOM OPTIMIZACIJE RASKRIŽJA  
SELSKA I HORVAĆANSKA CESTA U GRADU ZAGREBU**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023.

Zagreb, 23. svibnja 2023.

Zavod: **Zavod za cestovni promet**  
Predmet: **Cestovne prometnice II**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 7113

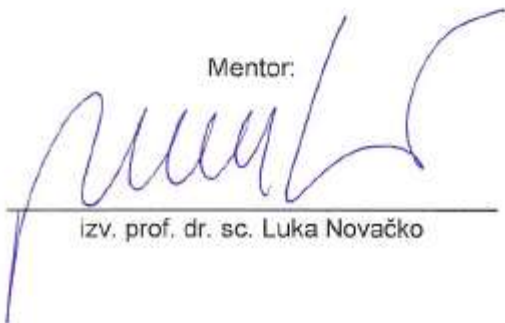
Pristupnik: **Magdalena Matoc (0135254733)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Analiza s prijedlogom optimizacije raskrižja Selska i Horvaćanska cesta u gradu Zagrebu**

### Opis zadatka:

Raskrižje Selske i Horvaćanske ceste predstavlja jednu od najbitnijih točaka u cestovnoj mreži koja povezuje južni i zapadni dio grada Zagreba zbog čega je svakodnevno opterećena velikim brojem motornih vozila, pješaka, biciklista kao i ostalih sudionika u prometu. Analizom postojećeg stanja raskrižja utvrdit će trenutno stanje kao i nedostaci vezani za prometnu infrastrukturu te odvijanje prometnih tokova. Na temelju rezultata analize postojećeg stanja predložit će se idejno prometno rješenje koje će optimizirati odvijanje prometnih tokova kroz raskrižje, a evaluacija rezultata izvršit će se korištenjem simulacijskih alata.

Mentor:



---

izv. prof. dr. sc. Luka Novačko

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**DIPLOMSKI RAD**

**ANALIZA S PRIJEDLOGOM OPTIMIZACIJE RASKRIŽJA SELSKA I  
HORVAĆANSKA CESTA U GRADU ZAGREBU**

**ANALYSIS WITH OPTIMIZATION PROPOSAL OF THE INTERSECTION  
SELSKA ROAD AND HORVAĆANSKA ROAD IN THE CITY OF ZAGREB**

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Luka Novačko      **Student:** Magdalena Matoc  
**JMBAG:** 0135254733

Zagreb, rujan 2023.

## **SAŽETAK**

Raskrižje, kao mjesto spajanja, razdvajanja, križanja i preplitanja prometnih tokova, mora omogućiti smisleno i sigurno odvijanje prometa, a predmetno raskrižje ovog diplomskog rada je raskrižje Selske ceste i Horvaćanske ceste u Gradu Zagrebu. Cilj ovog diplomskog rada je istražiti kako različiti pristupi optimizaciji predmetnog raskrižja utječu na odvijanje prometnih tokova. Osim cestovnih prometnih tokova, velik dio prometne potražnje na predmetnom raskrižju čine nemotorizirani sudionici u prometu, a jedan od razloga je postojanost linija javnog gradskog prijevoza u zoni raskrižja. Zbog takve prometne situacije istražiti će se mogućnost implementacije rješenja koje ide u korist vozilima javnog gradskog prijevoza. Istraživanje u okviru ovog diplomskog rada obuhvaća detaljnu analizu postojećeg stanja raskrižja te usporedbu izlaznih rezultata predloženih idejnih prometnih rješenja u vidu građevinskih zahvata i davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza pomoću mikrosimulacijskog alata PTV Vissim i modula PTV Epics. Također, kao treći scenarij istražuje se kako određeni postotak autonomnih vozila u prometnom toku utječe na propusnu moć i razinu usluge raskrižja.

**KLJUČNE RIJEČI:** analiza postojećeg stanja; signalni plan; građevinski zahvati; davanje prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza; autonomna vozila

## **SUMMARY**

An intersection, as a place of connecting, separating, crossing and intertwining of traffic flows, must enable meaningful and safe traffic flow, and the subject intersection of this thesis is the intersection of Selska road and Horvaćanska road in the City of Zagreb. The aim of this thesis is to investigate how different approaches to the optimization of the intersection in question affect the development of traffic flows. In addition to road traffic flows, a large part of the traffic demand at the intersection is made up of non-motorized road users, and one of the reasons is the persistence of public transport lines in the intersection area. Due to such a traffic situation, the possibility of implementing a solution that benefits public transport vehicles will be explored. The research within this thesis includes a detailed analysis of the existing state of the intersection and a comparison of the output results of the proposed conceptual traffic solutions in the form of construction interventions and giving priority to the passage of public transport vehicles using the PTV Vissim microsimulation tool and the PTV Epics module. Also, as a third scenario, it is investigated how a certain percentage of autonomous vehicles in the traffic flow affects the throughput and service level of the intersection.

**KEY WORDS:** analysis of existing condition; traffic lights; construction interventions; giving priority to the passage of public transport vehicles; autonomus vehicles

# SADRŽAJ

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | UVOD .....   | 1  |
| 2.     | ANALIZA PROSTORNE I PROMETNE DOKUMENTACIJE NA PODRUČJU OBUHVATA .....  | 3  |
| 2.1.   | Prostorni plan Grada Zagreba .....   | 3  |
| 2.2.   | Generalni urbanistički plan Grada Zagreba .....  | 5  |
| 2.3.   | Master plan prometnog sustava Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko – zagorske županije .....           | 8  |
| 2.4.   | Relevantni projekti za područje obuhvata .....   | 9  |
| 2.4.1. | Produžena Vrapčanska ulica .....   | 10 |
| 2.4.2. | Produžena Ulica Črnomerec .....  | 11 |
| 2.4.3. | Most Jarun .....   | 12 |
| 2.4.4. | Produžena ulica Prisavlje .....  | 12 |
| 2.4.5. | Robotaksi .....  | 12 |
| 3.     | ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA RASKRIŽJA .....  | 14 |
| 3.1.   | Analiza postojeće cestovne infrastrukture raskrižja .....  | 16 |
| 3.2.   | Analiza signalnog plana raskrižja .....  | 23 |
| 3.3.   | Analiza odvijanja prometnih tokova .....   | 29 |
| 3.4.   | Analiza pješačkog i biciklističkog prometa .....   | 38 |
| 3.5.   | Analiza javnog gradskog prijevoza .....  | 42 |
| 3.6.   | Analiza sigurnosti odvijanja prometa .....   | 47 |
| 4.     | IDEJNO PROMETNO RJEŠENJE RASKRIŽJA .....   | 50 |
| 4.1.   | Građevinski zahvati .....  | 51 |
| 4.2.   | Davanje prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza .....  | 52 |
| 5.     | SIMULACIJA I EVALUACIJA PREDLOŽENOG RJEŠENJA .....   | 56 |
| 5.1.   | Evaluacija postojećeg stanja raskrižja .....   | 61 |
| 5.2.   | Evaluacija idejnog prometnog rješenja u vidu građevinskih zahvata .....  | 63 |
| 5.3.   | Evaluacija idejnog prometnog rješenja u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza ..... | 66 |
| 6.     | UTJECAJ AUTONOMNIH VOZILA NA PROPUSNU MOĆ I RAZINU USLUGE RASKRIŽJA .....  | 72 |
| 6.1.   | Simulacijski parametri autonomne vožnje .....  | 73 |
| 6.2.   | Scenariji udjela autonomnih vozila u prometnom toku .....  | 75 |
| 6.2.1. | Simulacija s 25% udjela autonomnih vozila .....  | 76 |
| 6.2.2. | Simulacija s 50% udjela autonomnih vozila .....  | 76 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 6.2.3. | Simulacija s 75% udjela autonomnih vozila.....  | 77 |
| 6.2.4. | Simulacija s 100% udjela autonomnih vozila..... | 77 |
| 6.3.   | Usporedba izlaznih rezultata simulacija.....    | 78 |
| 7.     | ZAKLJUČAK.....                                  | 82 |
|        | LITERATURA.....                                 | 84 |
|        | POPIS SLIKA.....                                | 87 |
|        | POPIS TABLICA.....                              | 88 |
|        | POPIS GRAFIKONA.....                            | 88 |
|        | POPIS PRILOGA.....                              | 89 |

# 1. UVOD

Urbanizacija i povećanje stanovništva u gradovima uvjetuju konstantni porast stupnja motorizacije u gradovima diljem svijeta, pa tako i u Gradu Zagrebu. Sve više vozila na cestovnoj prometnoj mreži čini veliki pritisak na postojeće kapacitete, što rezultira nastankom prometnih zagušenja koji sa sobom nose negativne učinke kao što su nepotrebna stajanja, kašnjenje, povećanje emisije štetnih plinova i buke te ostale posljedice zbog kojih pada kvaliteta života. U svrhu rješavanja problema potrebno je sustavno provoditi modernizaciju i optimizaciju prometnog sustava radi rasterećenja prometnica, povećanja propusne moći te poboljšanja projektno – sigurnosnih elemenata.

Problemi vezani uz propusnost, sigurnost i odvijanje prometnih tokova u gradskoj prometnoj mreži, većinom se odnose na raskrižja, budući da ona predstavljaju točke u kojima se prometni tokovi spajaju, razdvajaju, križaju ili isprepliću. Jedno od značajnijih raskrižja u Gradu Zagrebu koje zbog svoje važnosti privlači veću količinu prometa je predmetno raskrižje ovog diplomskog rada, odnosno raskrižje Selske ceste i Horvaćanske ceste. Njegova važnost očituje se u tome što povezuje južni i zapadni dio grada, stoga privlači veće količine motornih vozila, pješaka, biciklista i romobilista.

Svrha ovog diplomskog rada je dobiti uvid trenutačno stanje infrastrukturnih elemenata i odvijanja prometnih tokova na predmetnom raskrižju te identificiranje eventualnih problema i nedostataka na temelju kojih će se predložiti optimalna prometna rješenja kako bi se povećala protočnost i sigurnost odvijanja prometa na raskrižju. Zbog svojevrstne specifičnosti svakog raskrižja i postojećih prostornih ograničenja, u radu se primjenjuju različiti pristupi optimizaciji raskrižja koji daju prioritet određenim skupinama vozila. Cilj je istražiti kako ti pristupi utječu na odvijanje prometnih tokova.

Kao ulazni podaci za analizu postojećeg stanja, koriste se podaci prikupljeni brojanjem prometa na predmetnom raskrižju u travnju 2023. godine te podaci dobiveni od strane Fakulteta prometnih znanosti vezani uz prometne nesreće, kao i prometni elaborati koji se odnose na signalne planove raskrižja. Tematika diplomskog rada obrađena je u sedam poglavlja, uključujući Uvod i Zaključak, a to su:

1. Uvod
2. Analiza prostorne i prometne dokumentacije na području obuhvata
3. Analiza postojećeg stanja raskrižja
4. Idejno prometno rješenje raskrižja
5. Simulacija i evaluacija predloženog rješenja
6. Utjecaj autonomnih vozila na propusnu moć i razinu usluge raskrižja
7. Zaključak



U drugom poglavlju analizirana je dostupna prostorna i planska dokumentacija na području Grada Zagreba koja utječe na mogućnosti razvoja područja obuhvata u vidu mogućnosti korištenja, organizacije i namjene zemljišta. Kao relevantni dokumenti za analizu ističu se Prostorni plan Grada Zagreba, Generalni urbanistički plan Grada Zagreba te Master plan prometnog sustava Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko - zagorske županije. Osim spomenutih dokumenata, analizirani su planirani prometni projekti kojima bi se značajno utjecalo na prometnu potražnju predmetnog raskrižja.

Trećim poglavljem prikazana je detaljna analiza postojećeg stanja raskrižja, koja predstavlja osnovu za definiranje idejnog prometnog rješenja na temelju uočenih problema i nedostataka. Osim analize infrastrukturnih elemenata na području raskrižja, detaljno se analizira odvijanje prometnih tokova na temelju podataka prikupljenih brojanjem motoriziranog i nemotoriziranog prometa. Sigurnost, kao bitan element u prometnom procesu, analizirana je prema broju i vrsti prometnih nesreća te se analizom signalnog plana prikazuje postojeće stanje propusne moći raskrižja.

U četvrtom poglavlju detaljno su opisana predložena idejna prometna rješenja. Prvo idejno prometno rješenje odnosi se na veću protočnost cestovnih prometnih tokova u vidu građevinskih zahvata na području raskrižja, dok se u drugom idejnom prometnom rješenju primjenjuje drugačiji pristup koji prioritizira javni gradski prijevoz uz adaptivno upravljanje prometom.

Peto poglavlje odnosi se na izradu simulacija i evaluaciju predloženih idejnih prometnih rješenja. Evaluacija je izvršena na temelju usporedbe izlaznih rezultata izrađenog modela postojećeg stanja s izlaznim rezultatima izrađenih modela prijedloga rješenja pomoću mikrosimulacijskog alata PTV Vissim.

U šestom poglavlju ispitano je kako povećanje udjela autonomnih vozila u prometnom toku utječe na propusnu moć i razinu usluge raskrižja. Pomoću mikrosimulacijskog alata PTV Vissim izrađeni su scenariji s 25%, 50%, 75% i 100% udjela autonomnih vozila u prometnom toku koji su uspoređeni s izlaznim rezultatima izrađenog modela postojećeg stanja.

U posljednjem poglavlju izvedena su zaključna razmatranja na temelju prethodno provedene analize.

## **2. ANALIZA PROSTORNE I PROMETNE DOKUMENTACIJE NA PODRUČJU OBUHVATA**

Grad Zagreb čini samostalnu jedinicu uprave, odnosno samostalnu županiju i kao takav dužan je svoj prostorni plan uređenja temeljiti na strategiji i programu prostornog uređenja od strane Republike Hrvatske, no za razliku od ostalih gradova, nije dužan svoj prostorni plan uređenja uskladiti na razini županije. Dokumenti kojima se definira prostorno uređenje u Gradu Zagrebu su: Strategija prostornog razvoja Republike Hrvatske, Program prostornog uređenja Republike Hrvatske, Prostorni plan Grada Zagreba i Generalni urbanistički plan. Također, kako bi se detaljnije razradio način razvoja prostora u budućnosti, na nižoj razini moguća je izrada urbanističkih planova uređenja i detaljnih planova uređenja [1].

U ovom poglavlju analizirat će se dostupna prostorna i prometna dokumentacija na području Grada Zagreba kako bi se dobio uvid u mogućnosti korištenja, organizacije i namjeni zemljišta, te o smjernicama i mjerilima za uređenje i zaštitu prostora. Osim dokumenata koji određuju prostorno uređenje Grada Zagreba, spomenut će se planirani prometni projekti koji će uvelike utjecati na prometnu potražnju raskrižja Selske i Horvaćanske ceste koje je predmetno raskrižje diplomskog rada, a dokumenti koji će se analizirati su:

- Prostorni plan Grada Zagreba,
- Generalni urbanistički plan Grada Zagreba i
- Master plan prometnog sustava Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko - zagorske županije.

### **2.1. Prostorni plan Grada Zagreba**

Prostorni plan Grada Zagreba (dalje PPGZ) jedan je od temeljnih dokumenta kojim se regulira prostorno uređenje cjelokupnog prostora Grada Zagreba te se određuje osnovna namjena, korištenje i zaštita prostora sukladno postavljenim ciljevima. PPGZ izrađen je 2001. godine te se kontinuirano prilagođavao potrebama razvoja Grada Zagreba kroz ukupno osam izmjena i dopuna, a posljednje izmjene i dopune usvojene su 2017. godine. Također, sukladno donesenim izmjenama i dopunama PPGZ-a izrađena je Strateška studija o utjecaju izmjena i dopuna PPGZ-a na okoliš od strane Instituta za primijenjenu ekologiju [1].

Trenutno su u izradi nove izmjene i dopune PPGZ-a utemeljene na odredbama članka 71., 73., 86., 113. i 198. Zakona o prostornom uređenju (Narodne novine 153/13, 65/17, 114/18, 39/19 i 98/19). Neki od razloga za pokretanje izmjena i dopuna PPGZ-a su

omogućavanje prostorno – planskih preduvjeta za izgradnju novih cestovnih i željezničkih koridora i objekata te trasa infrastrukturnih, komunalnih i energetske vodova i objekata [2].

Kvaliteta prometne infrastrukture i njezina učinkovitost da zadovolji rastuću prometnu potražnju u znatnoj mjeri utječe na razvojne ciljeve Grada Zagreba, stoga je neophodno naglasiti planirane projekte vezane za prometni sustav. Prema pročišćenom tekstu PPGZ-a koji je objavljen u Službenom glasniku Grada Zagreba (3/18) u cestovnom prometu planira se [3]:

- Izgradnja nove južne autocestovne obilaznice grada Zagreba (Luka (A2) – Gradna (A3) – Horvati (A1, A6) – Mraclin (A11) – Ivanić Grad (A3) – Sveta Helena (A4)) kao dijela integralnog infrastrukturnog koridora,
- Dovršenje sustava tranzitnih i prilaznih cesta Zagreba međunarodnog, odnosno državnog značenja,
- Poboljšanje prometne povezanosti između pojedinih gradskih četvrti izgradnjom novih poteza osnovne ulične mreže,
- Poboljšanje sustava prigradskog prometa podizanjem prometnog standarda na postojećim državnim i županijskim cestama, a povezuju gradove i druga naselja u zagrebačkoj okolici,
- Dovršenje cestovnog pristupa novom putničkom terminalu Zračne luke Zagreb,
- Zaštita okoliša od štetnih djelovanja prijevoza,
- Povećanje sigurnosti u svezi s prometom putnika, pješaka, invalida, djece i starijih,
- Poboljšanje dostupnosti sredstvima javnoga gradskog prijevoza i razvijanje novih sustava javnoga gradskoga prijevoza (mali sustavi za prostore manjih gustoća i osobe s invaliditetom i smanjene pokretljivosti).

Također, bitnu ulogu u stvaranju održivog prometnog sustava, koji ograničava mogućnost korištenja automobila čime se ponajprije utječe na očuvanje okoliša, imaju nemotorizirani oblici prometa te se u PPGZ-u navodi da će se biciklističke staze i trake graditi [3]:

- Odvojeno od prometnica,
- Kao zasebna površina unutar profila prometnice,
- Signalizacijom obilježeni dio kolnika ili pješačke staze.

Neki od ciljeva Grada Zagreba vezani za prometnu infrastrukturu su osiguravanje prostora i koridora za prometnice i njihovo održavanje kako bi se stvorili uvjeti za čvorišta međunarodnog, državnog i regionalnog značenja te poboljšanje prometne povezanosti prigradskih i drugih prostora. Kao glavni cilj ističe se eliminiranje tranzitnog prometa kroz uže područje grada kako bi se smanjila zagušenja čime se poboljšava sigurnosni aspekt, razina usluge te očuvanje okoliša smanjenjem emisije štetnih ispušnih plinova i buke. Također, naglasak se stavlja i na unaprjeđenje sustava javnog gradskog i prigradskog prometa [3].

## 2.2. Generalni urbanistički plan Grada Zagreba

Generalni urbanistički plan Grada Zagreba (dalje GUP) jedan je od osnovnih dokumenata kojim se, u skladu sa Strategijom i Programom prostornog uređenja Republike Hrvatske i Prostornim planom Grada Zagreba, utvrđuje temeljna organizacija prostora, zaštita prirodnih, kulturnih i povijesnih vrijednosti, korištenje i namjena površina s prijedlogom uvjeta i mjera njihova uređenja. GUP donosi Skupština Grada Zagreba po prethodno pribavljenoj suglasnosti ureda Grada Zagreba nadležnog za poslove prostornog uređenja. Na snazi je od 2003. godine, a tokom godina unošene su određene promjene sukladno razvitku grada te je trenutno na snazi GUP s izmjenama i dopunama u 2017. godini [4].

U članku 37. GUP-a pod nazivom *Prometni infrastrukturni sustavi* navodi se: „Dugoročni cilj je da se najmanje dvije trećine svih dnevnih putovanja odvija javnim prijevozom i nemotoriziranim oblicima putovanja.“ Također, u tom članku definirano je da se na površinama namijenjenim prometu mogu graditi i uređivati [5]:

- Ulična mreža i trgovi s mogućnošću denivelacije,
- Parkirališta i garaže s mogućnošću deniveliranog pristupa,
- Tramvajske mreže te tramvajske i autobusne stanice i terminali s pratećim sadržajima,
- Mreža biciklističkih staza i traka,
- Pješačke zone, rampe, stubišta, liftovi, putovi i sl.,
- Benzinske postaje s pratećim sadržajima,
- Autobusni kolodvori s pratećim sadržajima,
- Spremišta autobusa i tramvaja,
- Javne gradske površine – tematske zone.

Prema članku 38. u GUP-u gradnja i uređenje osnovne ulične mreže, trgova i drugih nekategoriziranih ulica predviđa se na način da se osigura usklađen razvoj javnoga, pješačkog i biciklističkog prometa, uvjeti za afirmaciju postojeće i formiranje nove mreže javnih urbanih prostora te propisane mjere zaštite okoliša. Također, predviđa se gradnja mostova kao prometnih građevina i kao građevina od iznimnog značenja kojim se formira identitet grada na rijeci. Osim rekonstrukcije postojećih, planira se izgradnja deset novih mostova od kojih je šest kolno – pješačko – biciklističkih, dva kolno – pješačka i dva pješačko – biciklistička mosta, a njihova izgradnja opisana je u tekstualnom i grafičkom dijelu GUP-a [5].

Također, u članku 38. definirano je da se osnovna ulična mreža sastoji od gradske autoceste (gradska obilaznica), gradskih avenija, glavnih gradskih ulica i gradskih ulica za koje su definirane najmanje potrebne širine koridora. Prema tome, za gradsku autocestu treba osigurati širinu koridora najmanje 80 m, za gradsku aveniju 40 m, za novu glavnu gradsku ulicu 26 m, a za gradsku ulicu 18 m [5].

Budući da Ulica grada Vukovara od Savske do Tratinske, produžena Vrapčanska i Škorpikova ulica utječu na veličinu prometne potražnje na predmetnom raskrižju ovog seminarskog rada, bitno je naglasiti da se u članku 38. navodi da su iste uvrštene u kategoriju gradske avenije čija širina prometnih traka u pravilu iznosi 3,25 m [5].

Na slici 1 prikazana je prometna mreža gradske četvrti Trešnjevka jug u sklopu kojeg se nalazi predmetno raskrižje Selske i Horvaćanske ceste. Slika je izrađena od strane Sektora za strategijske informacije i istraživanja Gradskog ureda za strategijsko planiranje i razvoj Grada korištenjem GIS tehnologija i statističkih metoda prema prikupljenim podacima, ponajprije temeljenim na GUP-u. Na slici je vidljiva gusta cestovna mreža te velik broj stajališta javnog gradskog prijevoza svakih nekoliko stotina metara zbog čega je javni gradski prijevoz vrlo pristupačan na ovom području.

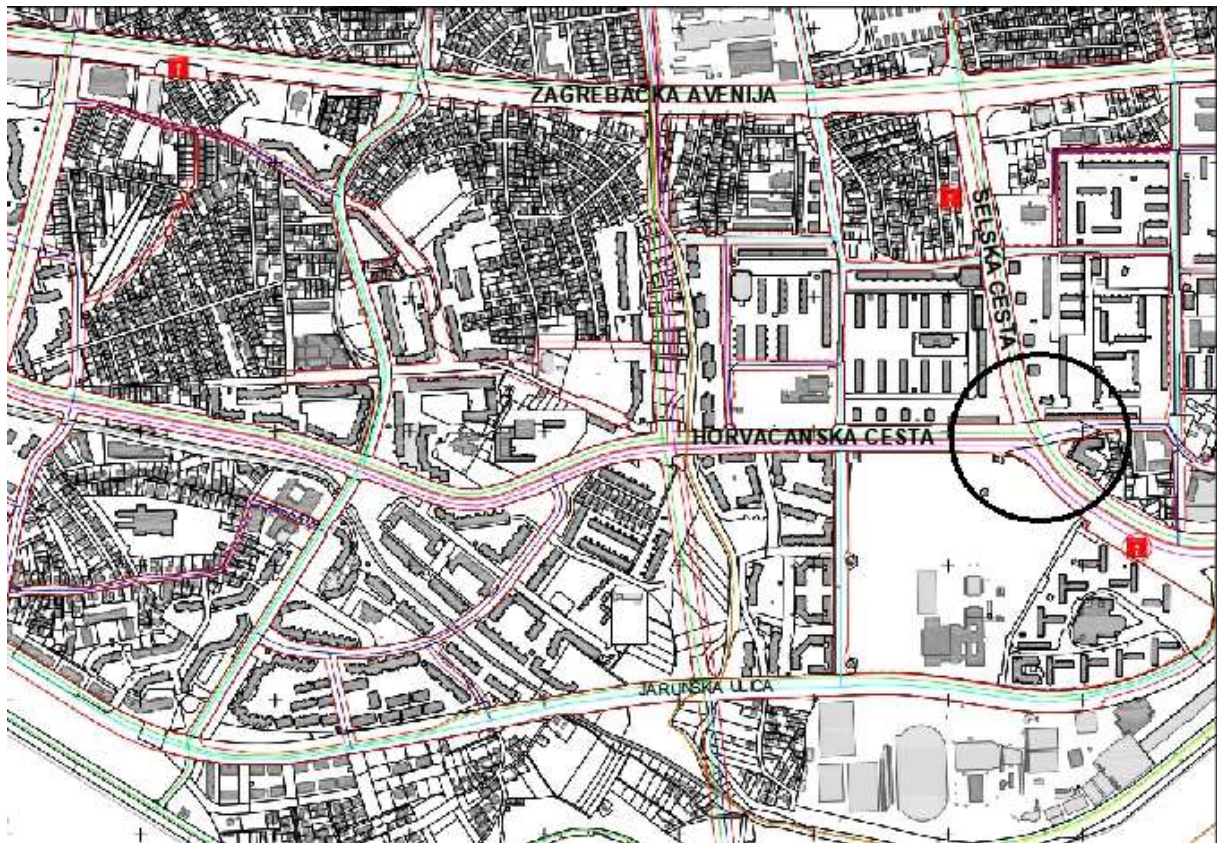


Slika 1. Prometna mreža gradske četvrti Trešnjevka jug

Izvor: [6]

Na slici 2 prikazana je prometna i ulična mreža užeg područja gradske četvrti Trešnjevka jug u sklopu kojeg je vidljivo predmetno raskrižje označeno crnim krugom, dok je slikom 3 prikazana legenda prometne i ulične mreže. Sukladno GUP-u na predmetnom raskrižju križaju se dvije gradske avenije i gradska ulica te prolaze biciklističke staze i tramvajska pruga. U neposrednoj blizini raskrižja planira se izgradnja dvije benzinske postaje.





Slika 2. Prometna mreža užeg dijela gradske četvrti trešnjevka jug sukladno GUP-u

Izvor: [4]

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | GRADSKA AUTOCESTA   |  | ŽELJEZNIČKA POSTAJA  |
|  | GRADSKA AVENIJA   |  | KOLODVOR - PUTNIČKI (MEĐUNARODNI I MEĐUMJESNI)   |
|  | GLAVNA GRADSKA ULICA  |  | KOLODVOR - PUTNIČKI (MEĐUMJESNI)   |
|  | GRADSKA ULICA   |  | OSTALI KOLODVORI (1-RASPOREDNI, 2-RANŽIRNI, 3-TERETNI, 4- KONTEJNERSKI, 5- POSLOVNI, 6- LOKOTERETNI) |
|  | KORIDORI JAVNO PROMETNIH POVRŠINA   |  | AUTOBUSNI KOLODVOR   |
|  | BICIKLISTIČKA STAZA   |  | BENZINSKA POSTAJA - POSTOJEĆA  |
|  | PRUGA TRAMVAJA I LAKOŠINSKE ŽELJEZNICE<br>PODZEMNA DIONICA (CRTKANA LINIJA) |  | BENZINSKA POSTAJA - PLANIRANA  |
|  | ŽIČARA - PLANIRANA / ALTERNATIVNA TRASA                                     |  | POVRŠINE INFRASTRUKTURNIH SUSTAVA  |
|  | PJEŠAČKE POVRŠINE   |  | HELIDROM   |
|  | ŽELJEZNIČKA PRUGA - MAGISTRALNA GLAVNA                                      |  | ROBNO TRANSPORTNO SREDIŠTE   |
|  | ŽELJEZNIČKA PRUGA - I REDA  |  | REZERVACIJA PROŠIRENJA POSTOJEĆE ULICE   |

Slika 3. Legenda prometne mreže

Izvor: [4]

Osim ulične mreže, važan dio prometnog sustava predstavljaju biciklistički i pješački promet koji su definirani u članku 41. i članku 42. Navodi se kako se biciklističke staze i trake mogu graditi i uređivati odvojeno od ulica kao zasebne površine unutar profila ceste te kao dio kolnika ili pješačke staze čija najmanja širina za jedan smjer vožnje iznosi 1 m, a za dvosmjerni promet 1,6 m uz dodavanje zaštitne širine od 0,75 m ukoliko se biciklistička staza ili traka nalazi neposredno uz kolnik. Također, definira se način uređenja pješačkih zona i putova koji moraju biti kontinuirani i dovoljne širine, u pravilu, ne uže od 1,5 m, osim u iznimnim slučajevima, ako postoje prostorna ograničenja ne smiju biti uže od 1,2 m [5].

### **2.3. Master plan prometnog sustava Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko – zagorske županije**

Master plan prometnog sustava Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko – zagorske županije (dalje Master plan) je strateški dokument dugoročnog razvoja prometnog sustava sukladno prostornim mogućnostima, zahtjevima gospodarstva i potrebama stanovništva na prostornom obuhvatu Master plana za razdoblje od 2020. do 2030. godine. Utemeljen je na politikama i strateškim dokumentima Europske unije, Republike Hrvatske te jedinica lokalne i regionalne samouprave na području obuhvata. Paralelno s izradom Master plana proveden je postupak strateške procjene utjecaja Master plana na okoliš te je izrađena Strateška studija o utjecaju Master plana prometnog sustava Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko – zagorske županije na okoliš. Njome se određuju, opisuju i procjenjuju značajni utjecaji na okoliš koji mogu nastati provedbom Master plana te se predlažu mjere zaštite okoliša i program praćenja ovisno o prepoznatim utjecajima [7], [8].

Izrada Master plana provedena je u dvije faze. U sklopu 1. faze projekta izvršeno je prikupljanje podataka o postojećem stanju prometnog sustava što je uključilo opsežna prometna istraživanja. Izvršilo se brojanje automobila, pješaka, biciklista i putnika u javnom prijevozu te su provedena brojna istraživanja i ankete kao što su ankete o kućanstvima, izvorišno odredišne ankete, ankete na prometnim koridorima, istraživanje o navikama putovanja, brzini kretanja te vremenu putovanja. Također, izrađen je scenarij razvoja prometnog sustava „ne činiti ništa“ te je provedena SWOT analiza. U 2. fazi projekta izrađen je scenarij razvoja prometnog sustava „učiniti sve“, definirani su ciljevi i mjere Master plana te ključni pokazatelji uspješnosti provedbe [8].

Ciljevi izrade Master plana su osigurati preduvjete za zadovoljavanje prometne potražnje i optimalnu integraciju cjelokupnog prometnog sustava. Master planom su predložena optimalna rješenja organizacije, operativnog funkcioniranja i upravljanja te infrastrukturne gradnje i vođenja svih modova prijevoza čime se nastoji doprinijeti povećanju razine multimodalnosti i intermodalnosti, urbane i regionalne mobilnosti te stvaranju ekološki prihvatljivog prometnog sustava [8].

Master plan ne spominje konkretne projekte, već ih opisuje i promovira kroz opće i specifične ciljeve te mjere: organizacijske, upravljačke i infrastrukturne. Specifični ciljevi odnose se na pojedine modove prijevoza, dok opći ciljevi odnose se na ukupni prometni sustav, a prema Master planu to su [8]:

- Razvoj prometnog sustava temeljiti na metodama prometnog planiranja uz integrirani pristup,
- Povećanje urbane i regionalne mobilnosti korištenjem integriranog javnog prijevoza te ostalih oblika prijevoza koji su ekološki, energetski i ekonomski prihvatljiviji te smanjenje ovisnosti o korištenju osobnog automobila,
- Unaprjeđenje podjele oblika prometa u korist javnog prijevoza i ostalih ekološki prihvatljivih oblika (pješaci i bicikli),
- Povećanje kvalitete i učinkovitosti prometne usluge korištenjem suvremenih prometnih rješenja poput inteligentnih transportnih sustava,
- Unaprjeđenje prilagođenosti prometnog sustava svim društvenim skupinama s posebnim naglaskom na ranjive korisnike,
- Unaprjeđenje prometne pristupačnosti i dostupnosti (međunarodne, nacionalne, regionalne, mikroregionalne) cijelog područja Master plana svim prometnim granama, uvažavajući načela razvoja učinkovitog, optimalnog i održivog prometnog sustava,
- Povećanje kvalitete pružanja prometno – logističkih usluga u odnosu na konkurentne države,
- Povećanje financijske održivosti prometnog sustava.

U sklopu Master plana provedena je analiza postojećeg stanja područja obuhvata te su detektirani određeni nedostaci čijim se uklanjanjem omogućava ispunjenje postavljenih ciljeva. Održivi razvoj stavlja naglasak na javni gradski prijevoz i nemotorizirane oblike prijevoza, a neki od detektiranih problema koji otežavaju razvoj ovih modova su: povećanje vremena putovanja korištenjem javnog gradskog prijevoza zbog zagušenja na cestovnoj mreži, neintegriranost i nepovezanost različitih oblika prijevoza, mali udio korištenja bicikala na području Master plana, nedovoljno razvijena i nekvalitetna biciklistička infrastruktura, neusklađenost voznih redova, smanjena udobnost putnika zbog starosti voznog parka i niska komercijalna brzina javnog prijevoza [8].

## **2.4. Relevantni projekti za područje obuhvata**

Tematika ovog poglavlja je opisati bitne infrastrukturne projekte koji se planiraju izvršiti na području Grada Zagreba, a koji (ne)izravno utječu na prometnu potražnju predmetnog raskrižja ovog diplomskog rada. Realizacijom ovih projekata uslijedilo bi veliko rasterećenje prometa na pojedinim dionicama što bi doprinijelo smanjenju zagušenja,



smanjenju onečišćenja okoliša te poboljšanju prometnih parametara na određenim dionicama. Također, ovi projekti imaju veliki značaj za bolju prometnu povezanost pojedinih dijelova grada, veću protočnost prometa te razvoj pješačkog i biciklističkog prometa što uvelike utječe i na gospodarstvo. Od značajnijih projekata ističu se:

- Produžena Vrapčanska ulica,
- Most Jarun,
- Produžena Ulica Črnomerec,
- Produžena Ulica Prisavlje i
- Robotaksi.

### 2.4.1. Produžena Vrapčanska ulica

Na slici 4 prikazan je budući prometni koridor produžene Vrapčanske ulice koji osim rekonstrukcije postojećih prometnica uključuje i izgradnju novih. U sklopu toga previđa se denivelacija Zagrebačke avenije, most preko rijeke Save, raskrižje izvan razine s budućom Priobalnom cestom te raskrižje izvan razine s postojećom Jadranskom avenijom.



Slika 4. Koridor buduće produžene Vrapčanske ulice

Izvor: [9]

Zbog duljine i složenosti zahvata trasa prometnice je podijeljena na tri dionice s mostom Jarun kao posebnom cjelinom. Trenutno su izrađena dva idejna projekta, prvi se odnosi na dionicu od Jadranske avenije do mosta Jarun, a drugi od mosta Jarun do raskrižja s Horvaćanskom cestom. Cilj izgradnje produžene Vrapčanske ulice je rasterećenje postojeće prometne mreže i preusmjerenje cestovnog motornog prometa na novo planirane prometnice [9].

#### 2.4.2. Produžena Ulica Črnomerec

Izgradnjom novog prometnog pravca produžene Ulice Črnomerec povezo bi se sjeverozapadni dio grada sa jugozapadnim dijelom, a prolazio bi gradskim četvrtima: Črnomerec, Trešnjevka sjever, Trešnjevka jug i Novi Zagreb zapad. Buduća prometnica pružala bi se pravcem produžene Ulice Črnomerec prema jugu Fallerovim šetalištem, istočno od Jarunskog jezera, te bi se spajala južno od Save na Ulicu Vice Vukova [10].



Slika 5. Koridor predviđenog produžetka Ulice Črnomerec

Izvor: [10]

Na slici 5 prikazan je koridor predviđenog produžetka Ulice Črnomerec koji prolazi neposrednom blizinom predmetnog raskrižja ovog diplomskog rada. Također, istraživanja pokazuju kako bi se realizacijom ovog projekta smanjilo opterećenje na Jadranskom mostu za čak 41% [10].

### **2.4.3. Most Jarun**

Planirani mosta Jarun prolazio bi zapadnom stranom istoimenog jezera, a povezivao bi Ilicu sa južnom obalom Save. Izgradnja mosta ubrzala bi ulazak u zapadni dio grada iz smjera juga, smanjile bi se prometne gužve, povećala propusna moć i sigurnost te bi se ubrzao promet u Novom Zagrebu i na Savskoj cesti. Također, planirana je i tramvajska pruga koja bi prolazila preko mosta čime bi se ostvarila bolja usluga javnog gradskog prijevoza i omogućilo ekonomičnije putovanje tramvaja. Planirani most imao bi tri prometne trake u svakom smjeru, a sa svake strane nalazila bi se pješačka zona. Jedan od razloga spore realizacije projekta su neriješeni imovinsko – pravni odnosi [11].

### **2.4.4. Produžena ulica Prisavlje**

Izgradnjom dionice produžene ulice Prisavlje smanjilo bi se prometno opterećenje na širem području, posebice na Slavonskoj aveniji koja je jedna od najopterećenijih dionica u gradu čime bi se omogućilo brže odvijanje prometa, posebice u vrijeme vršnih opterećenja. Dužina nove prometnice iznosila bi oko 2100 m, a dužina koridora oko 37 m. Sa svake strane prometnice nalazila bi se biciklistička staza širine 1,5 m, a između kolnika i biciklističke staze planirani su zeleni pojasevi širine 4 m koji bi služili kao prostor za budući tramvaj [11].

### **2.4.5. Robotaksi**

Projekt robotaksija, odnosno autonomnih vozila koja pomoću umjetne inteligencije zamjenjuju taksiste i prevoze putnike od točke A do točke B pomoću senzora, razvija tvrtka Project 3 Mobility čiji je jedan od osnivača Mate Rimac. Projektu je odobreno financiranje iz Nacionalnog programa oporavka i otpornosti te bi prema planu projekta Zagreb trebao među prvima u svijetu dobiti robotaksije do kraja 2024. godine. Projekt je trenutačno u fazi razvoja autonomnog vozila koju karakterizira dovršen inicijalni prototip te je započet rad na razvoju verificiranih prototipova koji će imati sve karakteristike finalnog vozila, a planirana je izrada 60 prototipova. Ovaj projekt vrlo je bitan za predmetno raskrižje ovog seminarskog rada s obzirom da će se centar za podršku i e-punjenje robotaksija nalaziti u neposrednoj

blizini raskrižja, točnije na zelenoj površini kod studentskog doma Stjepan Radić, a zvat će se „Centar za mobilnost“ [12].

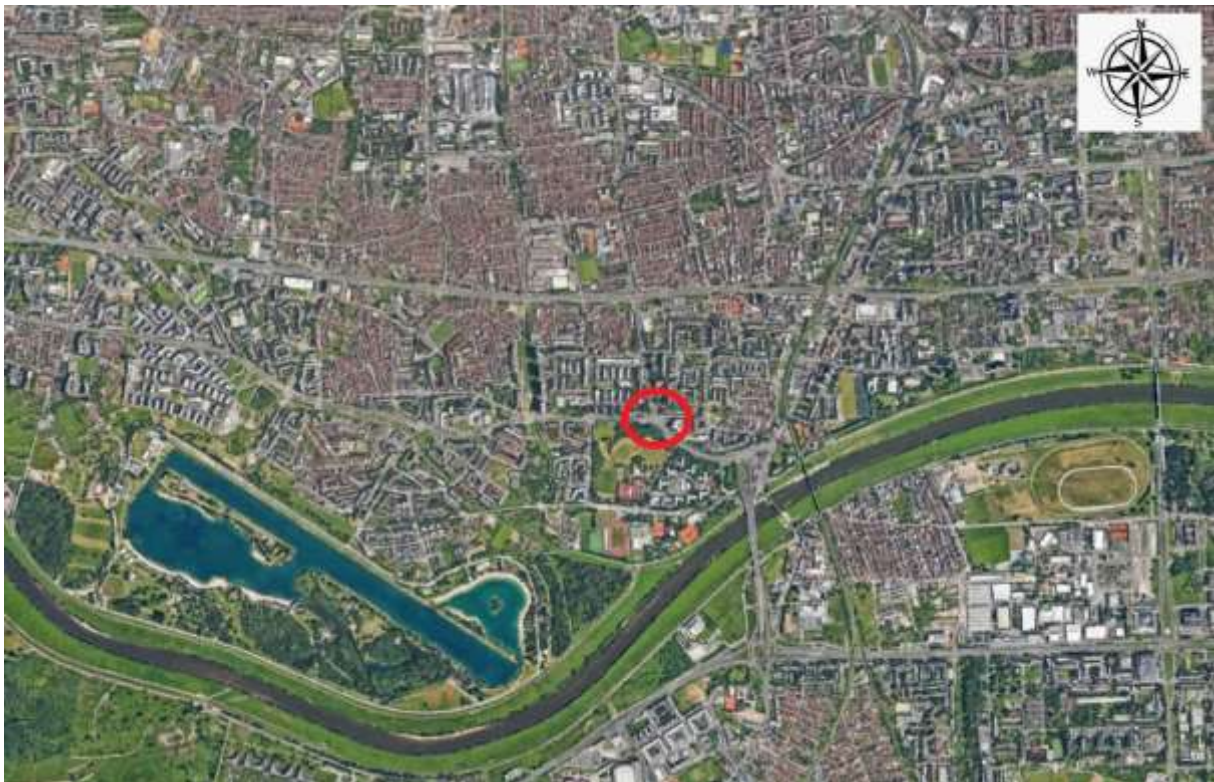
Cilj projekta je razviti i implementirati u potpunosti novi ekosustav urbane mobilnosti, tzv. Maas – mobilnost kao usluga, usko integriran s javnim gradskim prijevozom koji će se sastojati od tri ključne komponente nužne da bi potpuno autonomna vozila mogla funkcionirati i sudjelovati u prometu. Te komponente su: potpuno autonomno električno vozilo pete razine autonomije, razvoj i izgradnja specijalizirane infrastrukture za autonomna i električna vozila integrirane s javnim gradskim prijevozom te razvoj softverske platforme za upravljanje kompletnim sustavom. Ipak, prije implementacije projekta potrebno je riješiti brojna pitanja i moguće probleme, prije svega logističke i regulatorne [12].



### 3. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA RASKRIŽJA

Raskrižje Selske i Horvaćanske ceste je četverokrako raskrižje upravljano prometnim svjetlima (semaforizirano), a predstavlja jednu od bitnih točaka u cestovnoj mreži koja povezuje južni i zapadni dio Grada Zagreba zbog čega je svakodnevno opterećena velikim brojem motornih vozila, pješaka, biciklista te ostalih sudionika u prometu. Raskrižje pripada gradskog četvrti Trešnjevka jug, jednoj od sedamnaest gradskih četvrti u samoupravnom ustrojstvu Grada Zagreba. Četvrt čine administrativne samoupravne cjeline, odnosno mjesni odbori: Gajevo, Srednjaci – Horvati, Jarun, Knežija, Prečko i Vrbani, dok predmetno raskrižje pripada mjesnom odboru Knežija.

Šira zona obuhvata raskrižja predstavlja lokaciju i položaj raskrižja u globalnoj cestovnoj mreži. Prilikom regulacije i izmjene tokova na raskrižju važno je prilagoditi novonastalu situaciju već postojećem prometnom sustavu šireg područja cestovne mreže. Na slici 6 crvenim krugom označeno je predmetno raskrižje te je vidljiv položaj raskrižja u odnosu na ostatak cestovne mreže.



*Slika 6. Šira zona obuhvata raskrižja Selske i Horvaćanske ceste*

Izvor: [13]

Od značajnijih prometnica u široj zoni raskrižja ističu se Jadranski most i Jadranska avenija koji gradsku četvrt Trešnjevka jug spajaju sa zagrebačkom obilaznicom (A3) koja vodi prema istoku Republike Hrvatske i autocestama A1 i A6 koje se pružaju prema jugu

Republike Hrvatske. Također, sa sjeverne strane raskrižja nalazi se Zagrebačka avenija kao spoj Ljubljanske i Slavonske avenije, koje zajedno čine kontinuirani koridor koji izravno povezuje zapadni i istočni dio Grada Zagreba.

Uža zona obuhvata predstavlja samo uži dio prostora koji okružuje promatrano raskrižje, a obuhvaća elemente koji mogu direktno ili indirektno utjecati na prometna rješenja promatranog područja. Raskrižje u užoj zoni obuhvata prikazano je slikom 7. U neposrednoj blizini raskrižja nalazi se Športsko – rekreacijski centar Jarun s kompleksom jezera koji privlači veću količinu ljudi, no skoro svi stanovnici gradske četvrti prebivaju sjevernije od tih područja u urbanom dijelu četvrti.



*Slika 7. Uža zona obuhvata raskrižja Selske i Horvaćanske ceste*

Izvor: [13]

Područje u zoni raskrižja uključuje velik broj objekata i ustanova, a od značajnijih objekata oko kojih se koncentriraju veće količine ljudi, pa tako i veći obujam prometa, ističu se Studentski dom Stjepan Radić, Kineziološki fakultet te Sportski park Mladost.

Za utvrđivanje stvarne prometne situacije na promatranom području provedena je analiza postojećeg stanja koja uključuje bitne elemente za provođenje prometnog procesa. Analizom postojećeg stanja utvrđuje se stvarno stanje na promatranom raskrižju te

nedostaci odvijanja prometnih tokova kako bi se predložilo prometno rješenje koje umanjuje te nedostatke i optimizira odvijanje prometa.

Na temelju analize postojećeg stanja donose se zaključci koji služe kao smjernice za donošenje jasnih i logičnih prometnih rješenja, a u nastavku ovog rada provedene su sljedeće analize:

- Analiza postojeće cestovne infrastrukture raskrižja,
- Analiza signalnog plana raskrižja,
- Analiza odvijanja prometnih tokova,
- Analiza pješačkog i biciklističkog prometa,
- Analiza javnog gradskog prijevoza i
- Analiza sigurnosti odvijanja prometa.

### **3.1. Analiza postojeće cestovne infrastrukture raskrižja**

Infrastrukturu cestovnog prometa općenito čine sve vrste i kategorije cesta, cestovni objekti kao što su mostovi, vijadukti, nadvožnjaci i sl., cestovna raskrižja, prometna signalizacija i parkirališne površine. Raskrižja se mogu definirati kao točke na cestovnoj mreži u kojima se povezuju dvije ili više prometnica, a prometni tokovi se spajaju, razdvajaju, križaju ili isprepliću. Zbog mogućih konflikata uzrokovanih navedenim radnjama, na raskrižjima su posebno naglašeni problemi propusnosti i sigurnosti prometa [14], [15].

Analiza postojeće cestovne infrastrukture raskrižja obuhvaća cjelokupni vizualni pregled općeg stanja kolnika te utvrđivanje stanja, dimenzija i postojanosti svih elemenata raskrižja. Raskrižje Selske i Horvaćanske ceste spada u skupinu raskrižja u razini (RUR) što znači da su sva građevinska rješenja i prometni tokovi smješteni na istoj prometnoj plohi, a raskrižje je upravljano svjetlosnom signalizacijom te horizontalnom i vertikalnom prometnom signalizacijom.

Raskrižje Selske i Horvaćanske ceste izvedeno je kao četverokrako semaforizirano raskrižje na kojem je prometnim tokovima dozvoljeno kretanje u svim smjerovima. Selska cesta čini sjeverni i južni privoz raskrižju, a Horvaćanska cesta zapadni i istočni privoz. Svaki privoz sastoji se od dva kolnika odvojena zelenim površinama koje služe za zaštitu nemotoriziranih sudionika u prometu u slučaju nemogućnosti prolaska kroz raskrižje zbog kasnijeg stupanja na pješački prijelaz. Na zapadnom i južnom privozu između zelenih površina smještena je tramvajska pruga kojom prometuju tramvaji 5 (Prečko – Park Maksimir) i 17 (Prečko – Borongaj) u oba smjera, a tramvajske stanice za siguran ulazak i izlazak putnika iz tramvaja nalaze se na zapadnom privozu.



Slikom 8 (prilog 1) prikazan je izgled postojećeg stanja raskrižja sa pripadajućom vertikalnom i horizontalnom signalizacijom. Prikazano postojeće stanje izrađeno je u programskom alatu AutoCAD. Položaj pješačkih i biciklističkih staza koje se nalaze se na svakoj strani privoza, kao i položaj autobusnih stanica na kojima stoji autobus 109 (Črnomerec – Dugave), a koje su smještene u neposrednoj blizini raskrižja, vidljiv je u prilogu 1.



*Slika 8. Postojeće stanje raskrižja Selske i Horvačanske ceste*

Sjeverni privoz (Selska cesta) sastoji se od dva kolnika između kojih se nalazi zelena površina koja razdvaja suprotne smjerove vožnje. Položaj i širine prometnih traka na sjevernom privozu Selske ceste prikazane su na slici 9. Ukupna širina privoza bez odvojenih desnih skretanja iznosi 33 m. Ovaj privoz označen je prometnim znakom C06 koji označava cestu s prednošću prolaska. Nakon prolaska kroz raskrižje najveća dopuštena brzina vožnje iznosi 60 km/h sukladno postavljenim prometnim znakovima.

Kolnik kojim se vozila kreću u smjeru juga sastoji se od jedne trake za lijevo skretanje širine 3,5 m, tri trake za ravno širine 3,25 m te odvojeno desno skretanje širine 5,50 m. Traka za desno skretanje od ostatka raskrižja odvojena je prometnim otokom koji ujedno služi i za zadržavanje pješaka, biciklista i romobilista prilikom prolaska kroz raskrižje te za smještaj stupa na kojem se nalaze semaforne lanterne. Kretanje prometnog toka koji skreće desno nije regulirano semaforima već prometnim znakom B01 što znači približavanje cesti s



prednošću prolaska, odnosno vozila mogu slobodno nastaviti kretanje ukoliko nema vozila na glavom pravcu te znakom C45-1 koji označava obavezan smjer.

Kolnik kojim se kreću vozila u smjeru sjevera sastoji se od tri trake širine 3,25 m. Zelena površina koja razdvaja kolnike u svojem najširem dijelu ima širinu 6 m te su na njoj smješteni stupovi javne rasvjete, prometni znakovi, ploče s nazivima ulica te javni sat.

Sa svake strane privoza nalaze se pješačka i biciklistička staza koje su od kolnika odvojene zaštitnom zelenom površinom. S desne strane sjevernog privoza gledano u smjeru juga širina pješačke staze iznosi 2,5 m, a biciklističke staze 1,2 m, dok sa lijeve strane širina pješačke staze iznosi 3,5 m, a biciklističke staze 1,2 m. Na udaljenosti 65 m od raskrižja smještena je autobusna stanica za zadržavanje putnika koja je označena prometnim znakom C47 koji označava mjesto na kojem se nalazi autobusno stajalište, a ugibalište za sigurno zaustavljanje autobusa ima duljinu 60 m. Širina pješačkog prijelaza na sjevernom privozu iznosi ukupno 6 m, od kojih širina označene biciklističke trake iznosi 2 m.



*Slika 9. Selska cesta sjeverni privoz*

Izvor: [13]

Južni privoz (Selska cesta) sastoji se od dva kolnika koje razdvaja zelena površina unutar koje se nalaze dvije tramvajske pruge, jedna kojom se kreću tramvaji od juga prema zapadu, a druga za suprotni smjer. Ukupna širina prostora namijenjenog za tramvaje sa zaštitnim pojasom iznosi 8,2 m. Ukupna širina privoza bez odvojenih desnih skretanja iznosi 37 m. Položaj i širine prometnih traka na južnom privozu Selske ceste prikazane su na slici 10.

Južni privoz, kao i sjeverni, označen je prometnim znakom C06 te u slučaju prestanka rada semafora vozila na pravcu jug – sjever i sjever – jug mogu nastaviti kretanje bez

zaustavljanja. Na zelenoj površini s desne strane tramvajske pruge smješten je znak B29 koji označava zabranu polukružnog okretanja. Nakon prolaska kroz raskrižje najveća dopuštena brzina regulirana je prometnim znakom B30, a iznosi 60 km/h.

Kolnik kojim se kreću vozila u smjeru sjevera sastoji se od dvije trake za lijevo skretanje širine 3 m, dvije trake za ravno širine 3,25 m te odvojeno desno skretanje širine 5,50 m. Desno skretanje od ostatka raskrižja odvojeno je prometnim otokom na kojem se zadržavaju nemotorizirani sudionici u prometu koji žele proći raskrižje te ujedno služi za smještaj stupa na kojem se nalaze semaforne lanterne. Desno skretanje regulirano je prometnim znakom B01 i C45-1 kao i na sjevernom privozu. Kolnik kojim se kreću vozila pema jugu sastoji se od tri trake širine 3,25 m.

Sa svake strane privoza nalaze se pješačka i biciklistička staza koje su od kolnika odvojene zelenom površinom. S desne strane južnog privoza gledano u smjeru sjevera širina pješačke staze iznosi 2,2 m, a širina biciklističke staze 1 m koje su označene prometnim znakom C42. Sa suprotne strane privoza površine namijenjene nemotoriziranim sudionicima u prometu nešto su veće te širina pješačke staze iznosi 2,5 m, a širina biciklističke staze 2,2 m, odnosno biciklisti se mogu kretati po biciklističkoj stazi u oba smjera. Autobusna stanica za zadržavanje putnika smještena je 90 m od raskrižja i označena prometnim znakom C47, a ugibalište za zaustavljanje autobusa te siguran ulazak i izlazak putnika ima duljinu 55 m. Širina pješačkog prijelaza na južnom privozu iznosi 4 m od čega označena biciklistička traka zauzima širinu 1 m.



Slika 10. Selska cesta južni privoz

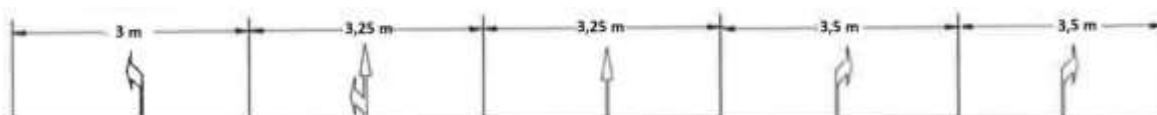
Izvor: [13]

Zapadni privoz (Horvaćanska cesta) sastoji se od dva kolnika između kojih se nalaze dvije tramvajske pruge za svaki smjer vožnje koje su od kolnika odvojene zelenom površinom. Ukupna širina privoza bez desnih skretanja iznosi 33 m. položaj i širine prometnih traka na zapadnom privozu Horvaćanske ceste prikazane su na slici 11. Ovaj privoz označen je prometnim znakom B01 koji se nalazi stupu semafora sa lijeve i desne strane.

Širina jedne tramvajske pruge iznosi 1,15 m, a ukupna širina namijenjena za tramvaje iznosi 6,5 m. Između kolnika nalaze se dvije tramvajske stanice Knežija koje služe za zadržavanje putnika koji čekaju te za siguran ulazak i izlazak putnika iz tramvaja. Na svakoj tramvajskoj stanici nalazi se nadstrešnica sa klupom, koševi za smeće te znak sa imenom tramvajske stanice i popisom tramvaja koji se zaustavljaju na stanici. Stanice su ograđene zaštitnom ogradom kojom se još više povećava sigurnost putnika. Na gornjoj stanici nalazi se prometni znak C48 koji označava mjesto na kojem se nalazi tramvajsko stajalište. Na stanicama nije postavljen ekran koji bi davao informacije o vremenu dolaska pojedinog tramvaja, a koji bi putnicima dao potrebne informacije o vremenu čekanja.

Kolnik kojim se kreću vozila u smjeru istoka sastoji se od trake za lijevo skretanje širine 3 m, zajedničke trake za lijevo i ravno širine 3,25 m, trake za ravno širine 3,25 m te dvije trake za desno skretanje širine 3,5 m koje su od ostatka raskrižja odvojene prometnim otokom koji služi za zadržavanje nemotoriziranih sudionika koji žele proći raskrižje, smještaj stupa na kojem se nalazi semafora lanterna i smještaj prometnih znakova. Obe trake za desno skretanje spajaju se u jednu traku na južnom privozu. Desno skretanje regulirano je prometnim znakom B01 i C45-1. Kolnik kojim se kreću vozila prema zapadu sastoji se od dvije trake širine 3,25 m.

S desne strane privoza gledamo u smjeru istoka nalaze se pješačka i biciklistička staza koje su od kolnika odvojene zelenom površinom. Širina pješačke staze iznosi 2 m, a širina biciklističke staze 1,2 m. Neposredno prije raskrižja između kolnika i površina namijenjenim nemotoriziranim sudionicima u prometu nalazi se ugibalište za vozila Čistoće i Vodoopskrbe. S lijeve strane kolnika nalaze se pješačka staza širine 2 m i biciklistička staza širine 1,2 m, a one su od kolnika odvojene zelenom površinom i parkiralištem. Na početku privoza nalazi se prometni znak C42 koji označava posebno izgrađenu stazu kojom se pješaci i biciklisti mogu kretati, dok je ostalim sudionicima u prometu zabranjeno kretanje. Širina pješačkog prijelaza na zapadnom privozu iznosi 6 m od čega označena biciklistička traka zauzima širinu 2 m.



*Slika 11. Horvaćanska cesta zapadni privoz*

Izvor: [13]

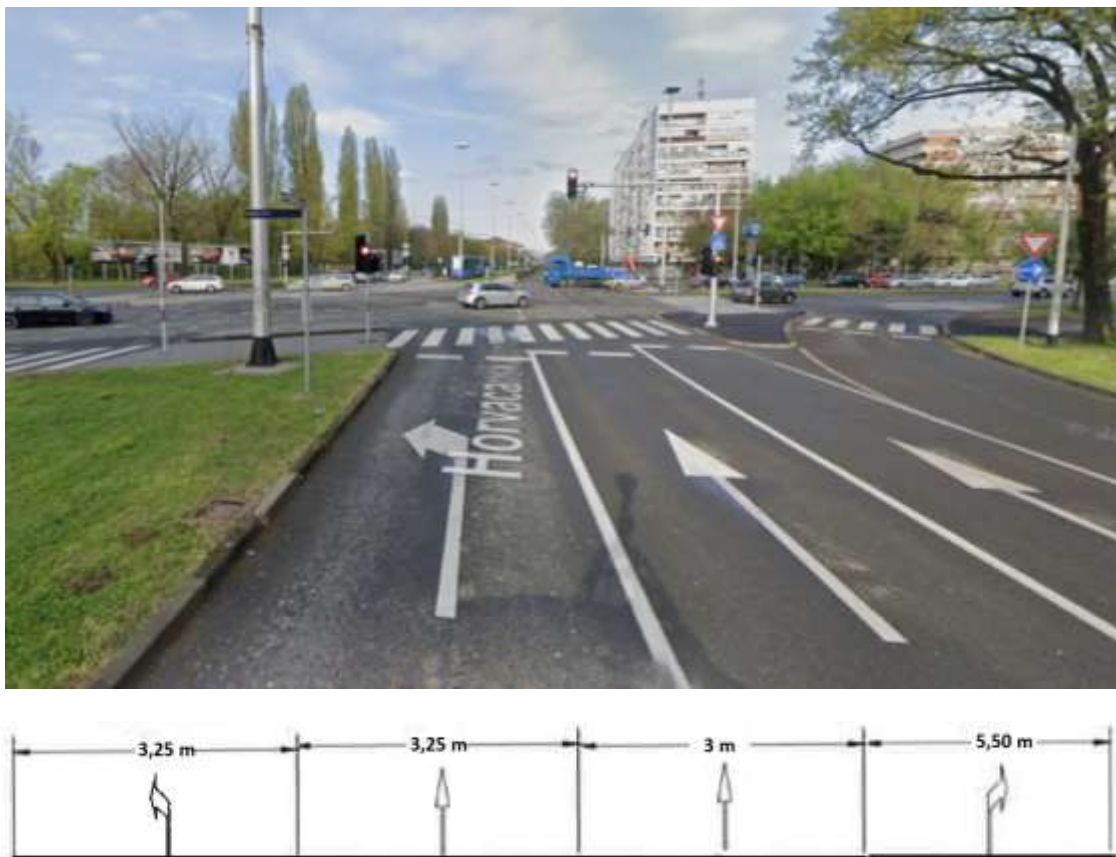
Istočni privoz (Horvaćanska cesta) sastoji se od dva kolnika koji su odvojeni zelenom površinom koja razdvaja suprotne smjerove vožnje te služi za zadržavanje nemotoriziranih sudionika u prometu i smještaj prometnih znakova. Nakon 100 metara prometne trake spajaju se u jedan kolnik s po jednom prometnom trakom za svaki smjer vožnje. Ukupna širina privoza bez odvojenih desnih skretanja iznosi 30 m. Položaj i širine prometnih traka vidljive su na slici 12.

Kolnik kojim se kreću vozila u smjeru zapada sastoji se od trake za lijevo skretanje širine 3,25 m, dvije trake za ravno od kojih je jedna širine 3,25 m, a druga 3 m i traka za desno skretanje širine 5,50 m koja je od ostatka raskrižja odvojena prometnim otokom koji služi za zadržavanje nemotoriziranih sudionika u prometu i smještaj stupa na kojem se nalazi semafora lanterna. Desno skretanje regulirano je prometnim znakom B01 i C45-1. Kolnik kojim se kreću vozila prema istoku sastoji se od dvije prometne trake od kojih se gornja sužava te se spajaju u jednu prometnu traku širine 3,25 m.

Istočni privoz označen je prometnim znakom B01 što znači da vozila koja se kreću u smjeru zapad – istok i istok – zapad moraju stati i propustiti vozila koja se kreću cestom s prednošću prolaska. Nakon prolaska kroz raskrižje najveća dopuštena brzina regulirana je prometnim znakom B30 i iznosi 40 km/h ispod kojeg se nalazi dopunska ploča koja označava mjesto izbočina na cesti. Prometni znak A21 koji označava blizinu mjesta na kojem se nalazi

obilježeni pješački prijelaz utisnut je u asfalt kako bi se dodatno upozorilo vozače na mogućnost stupanja pješaka na kolnik.

Sa svake strane privoza nalazi se pješačka staza bez označene biciklističke staze. Širina pješačke staze s desne strane privoza gledano u smjeru zapada iznosi 3,5 m te je od kolnika odvojena zelenom površinom, a s druge strane širina pješačke staze iznosi 2,5 m. Na desnoj strani privoza pored prometne trake nalazi se dio kolnika koji je namijenjen za parkiranje vozila širine 2,5 m. Sa suprotne strane je također odvojeni dio kolnika koji je namijenjen za parkiranje vozila, a širina mu iznosi 2 m. Širina pješačkog prijelaza na istočnom privozu iznosi 4 m od čega označena biciklistička traka zauzima širinu 1 m. Pješački prijelaz nalazi se i na istočnom dijelu privoza, a širina mu iznosi 3 m.



*Slika 12. Horvaćanska cesta istočni privoz*

Izvor: [13]

Stanje asfaltnog zastora na području raskrižja nije na zadovoljavajućoj razini. Kolnik je pun mrežastih pukotina i rupa koje smanjuju prijanjanje pneumatika na podlogu što povećava vjerojatnost nastanka prometne nesreće. Također, na više mjesta potrebno je obnoviti oznake na kolniku kako bi se povećala njihova reflektivna svojstva te je potrebno obnoviti oznake biciklističke staze na sjevernom privozu zbog dotrajalosti. Preglednost na raskrižju osigurana je sa svih privoza, te je sva vertikalna signalizacija postavljena na odgovarajući način.



### 3.2. Analiza signalnog plana raskrižja

Osnovna zadaća raskrižja je mogućnost sigurnog i brzog prolaska određenog broja vozila kroz raskrižje. Kako bi se odredio način organizacije i regulacije prometa kroz raskrižje koji najbolje ispunjava određene zahtjeve, osnovni korak je procjena propusne moći raskrižja. Propusna moć pokazuje koliki broj vozila, s obzirom na prostornu razdiobu prometnih trakova, može proći privozom ili cijelim raskrižjem [16].

Na semaforiziranom raskrižju prometni tokovi vremenski se razdvajaju. Semaforizacijom se može povećati propusna moć raskrižja te stupanj sigurnost ukoliko su signalni planovi izrađeni prema pravilima strukture te ako se redovito ažuriraju. Osim geometrijskih i prometnih uvjeta, ulazne veličine za analizu semaforiziranog raskrižja su: duljina trajanja ciklusa, broj i raspored odvijanja faza, zelena svjetla, zaštitna međuvremena, tip upravljanja prometom te minimalna zelena vremena za pješake [16].

Upravljanje prometnim svjetlima na raskrižjima može biti: vremenski ustaljeno upravljanje, upravljanje poluovisno i potpuno ovisno o prometu. Kod vremenski ustaljenog upravljanja svi elementi signalnog plana imaju unaprijed određenu vremensku duljinu trajanja ciklusa, slijeda faza, zelenih vremena pojedinih signalnih grupa, intervala i prijelaznih vremena. Upravljanje poluovisno o prometu upotrebljava se na raskrižjima gdje se promet na sporednom privozu pojavljuje samo povremeno te glavni pravac ima stalno zeleno, a putem detektora vozila na sporednim privozima najavljuju potrebu za zelenim svijetlom. Upravljanje potpuno ovisno o prometu omogućuje trenutnu prilagodbu signalnog programa prometnoj potražnji na način da su sva kretanja na raskrižju detektirana, te na temelju tih podataka programski algoritam upravlja prometnim svjetlima. Na raskrižju Selske i Horvaćanske ceste primjenjuje se vremenski ustaljeno upravljanje [17].

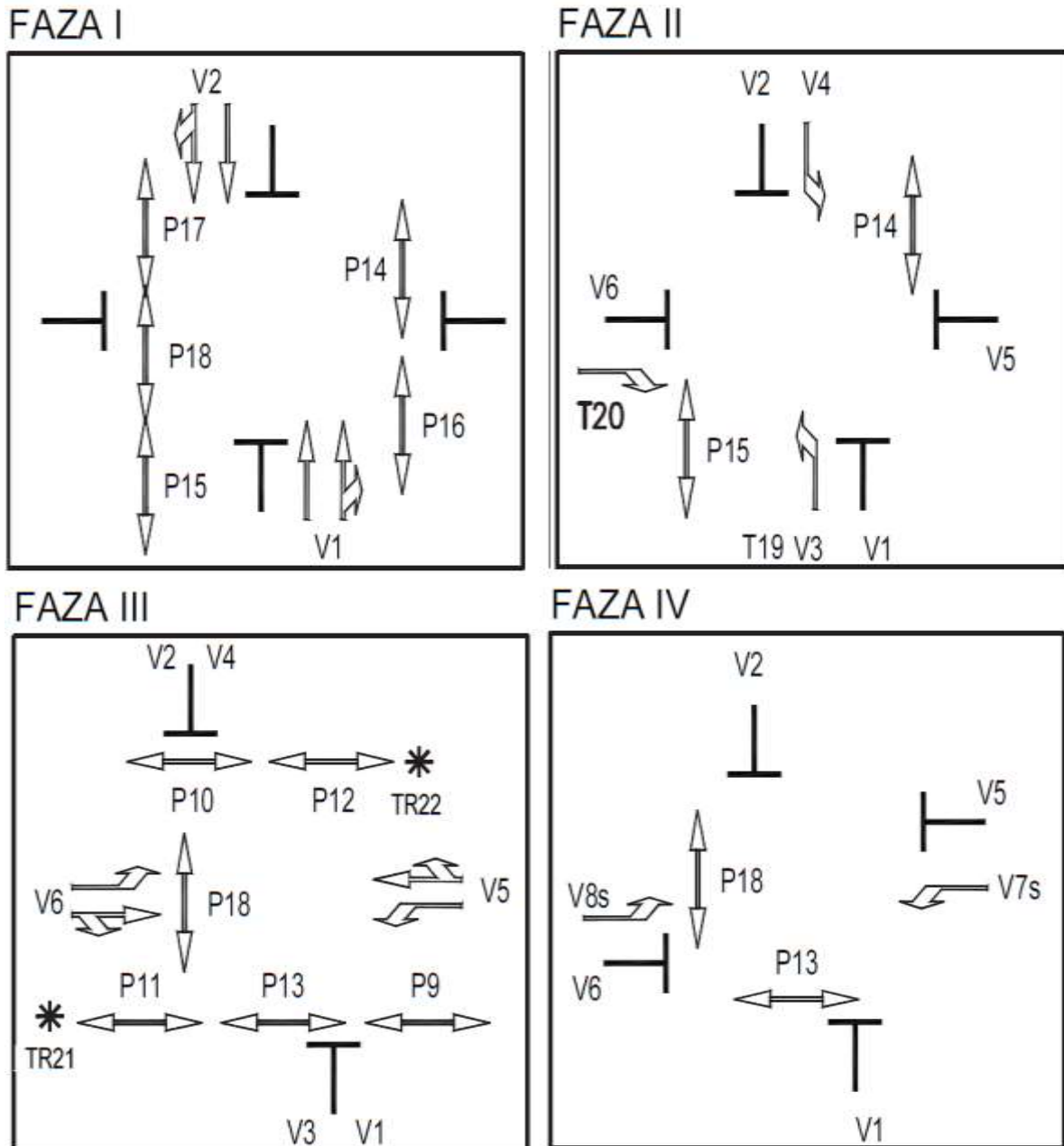
Za semaforizirano raskrižje najvažniji pojmovi su ciklus i faza. Ciklus, odnosno duljina trajanja ciklusa dijeli se na faze, a kao osnovna vremenska jedinica puno govori o procesima u raskrižju. S obzirom da se zbog složenosti prometnog procesa ne može definirati univerzalno pravilo, u tablici 1 prikazani su intervali za određivanje duljine trajanja ciklusa s obzirom na broj faza. Duljina trajanja ciklusa raskrižja Selske i Horvaćanske ceste iznosi 90 s.

Tablica 1. Duljina trajanja ciklusa za određeni broj faza

| Broj faza | Duljina ciklusa [s] | Napomena  |
|-----------|---------------------|---|
| 2         | (30) 40 - 70        | Minimalne vrijednosti su za pješačke prijelaze  |
| 3         | 70 - 90 (100)       | Maksimalne vrijednosti se rijetko koriste (maksimalno do 30-60 minuta u vršnom periodu) |
| 4         | 90 - 120            | Najčešće iznad 100 [s]  |
| 5         | ≥ 110               | 5. faza je najčešće tzv. uvjetna; ostvaruje se skraćivanjem drugih faza                 |

Izvor: [16]

Faza je dio ciklusa u kojem pojedini prometni tokovi imaju istovremeno slobodan prolaz, a svaka faza sastoji se od zelenog i zaštitnog vremena. Na predmetnom raskrižju Selske i Horvaćanske ceste promet se odvija u četiri faze kako je prikazano na slici 13 i opisano u daljnjem tekstu.



Slika 13. Raspored odvijanja faza na raskrižju Selske i Horvaćanske ceste

Izvor: [18]

1. faza prolaz:

- Vozila V1 na Selskoj cesti iz smjera juga ravno i desno,
- Vozila V2 na Selskoj cesti iz smjera sjevera rano i desno,

- Pješaci P15, P17 i P18 preko zapadnog privoza Horvaćanske ceste,
- Pješaci P14 i P16 preko istočnog privoza Horvaćanske ceste.

#### 2. faza prolaz:

- Vozila V3 na Selskoj cesti iz smjera juga lijevo,
- Vozila V4 na Selskoj cesti iz smjera sjevera lijevo,
- Tramvaj T20 na Horvaćanskoj cesti iz smjera zapada desno,
- Pješaci P15 preko zapadnog privoza Horvaćanske ceste,
- Pješaci P14 preko istočnog privoza Horvaćanske ceste.

#### 3. faza prolaz:

- Vozila V6 na Horvaćanskoj cesti iz smjera zapada ravno, desno i lijevo,
- Vozila V5 na Horvaćanskoj cesti iz smjera istoka ravno, desno i lijevo,
- Pješaci P10 i P12 preko sjevernog privoza Selske ceste,
- Pješaci P9, P11 i P13 preko južnog privoza Selske ceste.

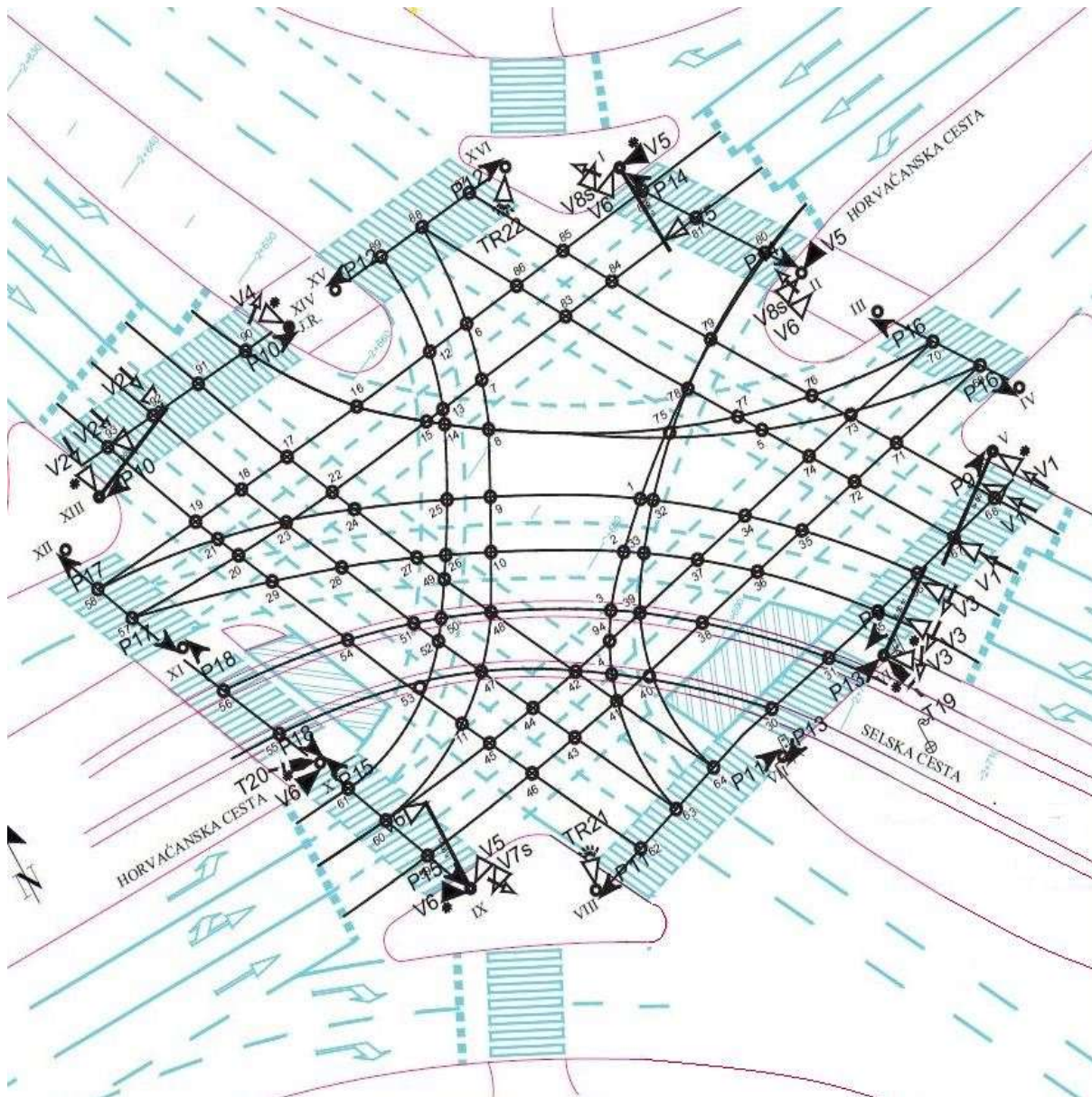
#### 4. faza prolaz:

- Vozila V8s na Horvaćanskoj cesti iz smjera zapada lijevo,
- Vozila V7s na Horvaćanskoj cesti iz smjera istoka lijevo,
- Pješaci P18 preko zapadnog privoza Horvaćanske ceste,
- Pješaci P13 preko južnog privoza Selske ceste.

Zaštitno međuvrijeme je vremensko razdoblje između završetka propuštanja jednog prometnog toka i početka vremena propuštanja drugog prometnog toka, odnosno to je vrijeme između kraja zelenog svjetla jedne signalne grupe i početka zelenog svjetla druge signalne grupe koja je u koliziji s prethodnom. Ono omogućuje sigurno napuštanje raskrižja vozila koje je ušlo u raskrižje na kraju zelenog vremena u odnosu na vozilo koje će dobiti dozvolu za prolaz. Minimalno potrebno međuvrijeme određuje se iz vremena prolaza, vremena napuštanja i vremena ulaza [17].

Kako bi se dobio bolji uvid u odvijanje prometnih tokova na raskrižju, slikom 14 prikazan je položaj svih prethodno spomenutih signalnih grupa. Rimskim brojevima označeni su položaji semaforских stupova i konzola na svakom privozu. Za utvrđivanje zaštitnih međuvremena najprije treba odrediti putove napuštanja i putove prilaza koji predstavljaju udaljenost od početka raskrižja do konfliktne točke, stoga su slikom 14 kružićima prikazane konfliktne točke svih signalnih grupa. Konfliktne točke mjerodavne za određivanje zaštitnog međuvremena su one kod kojih je put napuštanja jedne signalne grupe najdulji, a put prilaza druge signalne grupe koja se s njom u koliziji najkraći.





Slika 14. Prikaz plana i položaja signalnih grupa, semaforских stupova i konfliktnih točaka

Izvor: [18]

Zaštitna međuvremena izračunavaju se za sve konfliktne prometne tokove. Pritom sve grupe sudionika u prometu, a to su: motorna vozila, pješaci, biciklisti i JGP treba promatrati kao odvojene tokove čak i ako se eventualno signaliziraju zajednički. Mjerodavna međuvremena za određene signalne grupe ujedinjuju se u matricu međuvremena. Slika 15 prikazuje postojeću matricu zaštitnih međuvremena raskrižja Selske i Horvaćanske ceste. Najveću zaštitu imaju pješačke i tramvajske signalne grupe.

| NAPUŠTANJE VOZILA/PJEŠAKA | NALET VOZILA / PJEŠAKA |    |    |    |    |    |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------|------------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                           | V1                     | V2 | V3 | V4 | V5 | V6 | V7s | V8s | P9 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | T19 | T20 |
| V1                        |                        |    |    | 7  | 7  | 7  | 7   | 6   | 6  |     |     | 9   |     |     |     |     |     |     |     |     |
| V2                        |                        |    | 7  |    | 6  | 7  | 6   | 7   |    | 6   | 10  |     |     |     |     |     |     |     | 6   | 6   |
| V3                        |                        | 10 |    |    | 8  | 7  | 6   | 7   | 6  |     |     |     |     |     |     |     | 12  |     |     |     |
| V4                        | 9                      |    |    |    | 7  | 6  | 7   | 6   |    | 6   |     |     |     |     |     | 11  |     |     |     |     |
| V5                        | 6                      | 8  | 6  | 7  |    |    |     |     | 5  |     |     |     |     | 6   |     |     | 9   |     | 6   | 6   |
| V6                        | 8                      | 6  | 7  | 6  |    |    | 5   |     |    |     |     |     |     |     | 6   | 10  |     |     | 6   | 6   |
| V7s                       | 6                      | 6  | 6  | 6  |    | 7  |     |     |    |     | 10  |     |     | 6   |     |     |     |     | 6   | 6   |
| V8s                       | 6                      | 6  | 6  | 6  | 7  |    |     |     |    |     |     | 10  |     |     | 6   |     |     |     | 6   | 6   |
| P9                        | 13                     |    | 13 |    |    |    |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| P10                       |                        | 13 |    | 13 |    |    |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| P11                       |                        | 7  |    |    |    |    | 8   |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| P12                       | 7                      |    |    |    |    |    |     | 8   |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| P13                       |                        |    |    |    |    |    |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 10  | 6   |
| P14                       |                        |    |    |    | 11 |    | 11  |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| P15                       |                        |    |    |    |    | 10 |     | 10  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| P16                       |                        |    |    | 6  |    | 6  |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| P17                       |                        |    | 6  |    | 6  |    |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| P18                       |                        |    |    |    |    |    |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 6   | 10  |
| T19                       |                        | 20 |    |    | 13 | 19 | 13  | 19  |    |     |     |     | 10  |     |     |     |     | 26  |     |     |
| T20                       |                        | 14 |    |    | 17 | 17 | 17  | 14  |    |     |     |     | 23  |     |     |     |     | 10  |     |     |

Slika 15. Matrica zaštitnih međuvremena

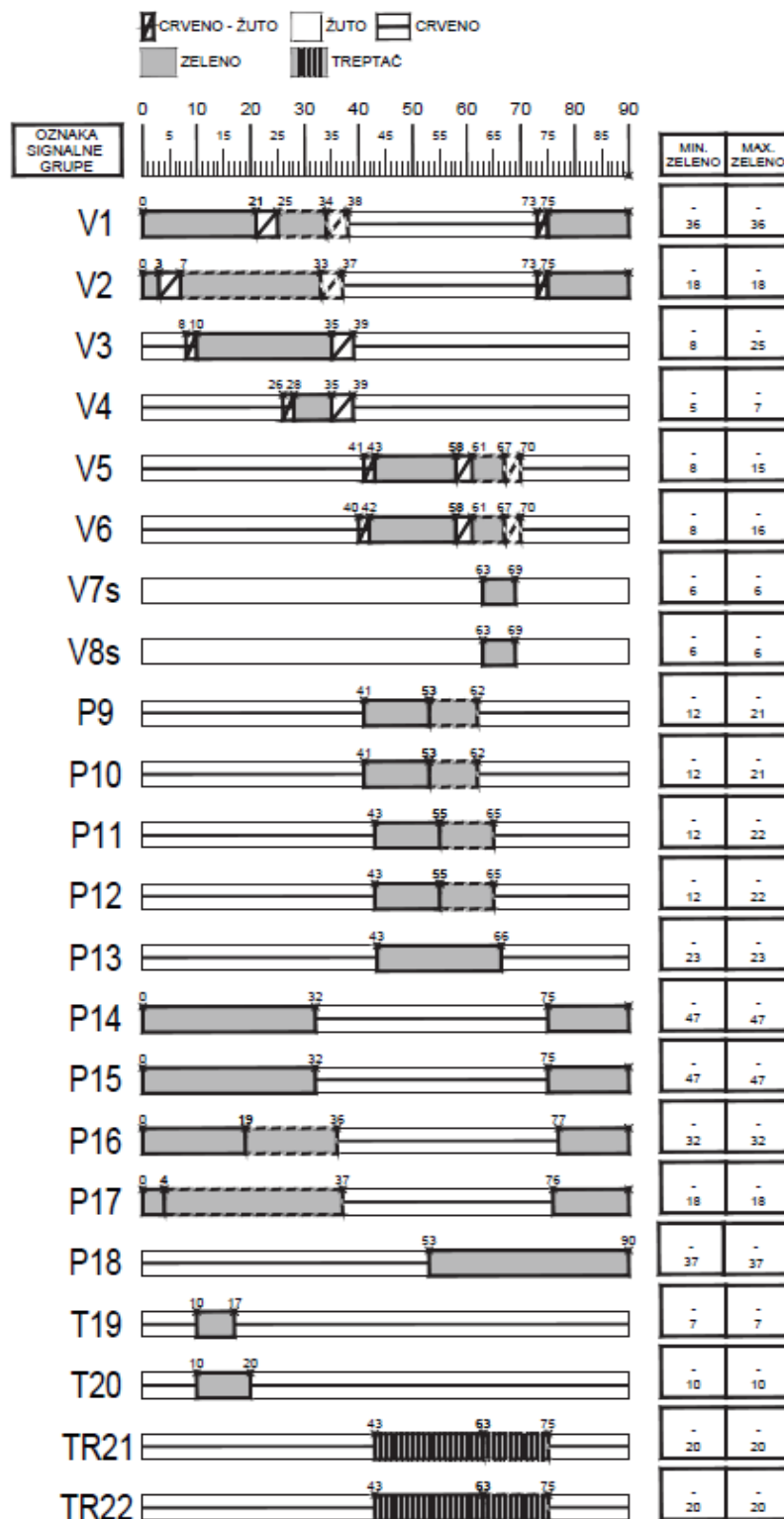
Izvor: [18]

Prema Zakonu o sigurnosti prometa na cestama, signalni pojam može imati šest stanja, a to su: zeleno, žuto, crveno, žuto –crveno, treptajuće žuto i treptajuće zeleno. Zeleno svjetlo označava slobodan prolaz, crveno svjetlo definira zabranu prolaska, dok samostalno žuto svjetlo znači da vozilo ne smije prijeći crtu zaustavljanja niti smije ući u raskrižje ukoliko se vozilo nalazi na takvoj udaljenosti da se može sigurno zaustaviti u trenutku paljenja žutog svjetla. Žuto svjetlo, upaljeno istodobno s crvenim svjetlom označava skorbu promjenu svjetla i pojavu zelenog svjetla, ali ne mijenja zabranu prolaska koja je dana crvenim svjetlom. Žuto treptavo svjetlo obvezuje sve sudionike u prometu da se kreću uz povećan oprez. Zeleno treptavo svjetlo služi za upozorenje sudionika u prometu na skorbi prestanak slobodnog prolaska i na pojavu žutog, odnosno crvenog svjetla [19].

Signalni plan je grafički prikaz trajanja svjetlosnih signalnih pojmova koji se još naziva i plan izmjene signala. Prema signalnom planu može se vidjeti redoslijed odvijanja faza u ciklusu, smjer kretanja vozila za koje se odnosi pojedina faza, trajanje žutog i crvenog svjetla za pojedinu skupinu vozila, i sl. [20].

Na raskrižju Selske i Horvaćanske ceste primjenjuje se signalni plan s tri programa koja se izmjenjuju tokom dana, a programi 2 i 3 imaju duljinu trajanja ciklusa od 90 s, dok program 1 ima duljinu trajanja ciklusa od 75 s. Program 1 primjenjuje se u vremenu od 22:00

h do 6:00 h, program 2 primjenjuje se u vremenu od 6:00 h do 14:00 h, dok se program 3 primjenjuje u vremenu od 14:00 h do 22:00 h. Na slici 16 prikazan je program 3 signalnog plana predmetnog raskrižja koji će se primjenjivati u izradi simulacija u daljnjem tekstu.



Slika 16. Program 3 signalnog plana raskrižja Selske i Horvaćanske ceste

Izvor: [18]

Signalni plan predmetnog raskrižja sastoji se od 22 signalne grupe, od čega je 8 vozačkih grupa, 10 pješačkih grupa, 2 tramvajske grupe te dva treptača. Trajanje crveno – žutog za sve signalne grupe iznosi 2 s. Trajanje žutog svijetla određuje se prema dopuštenoj maksimalnoj brzini na prilaznom putu te za vozačke signalne grupe V1, V2, V3 i V4 iznosi 4 s, a za signalne grupe V5 i V6 iznosi 3 s.

Svaka faza sastoji se od zelenog i zaštitnog vremena, no ako promatramo odnos vremena tijekom kojeg vozila imaju mogućnost prolaska kroz raskrižje, može se reći da se svaka faza sastoji od efektivnog zelenog vremena i izgubljenog vremena. Efektivno zeleno vrijeme (g) je vrijeme u fazi tijekom kojeg sudionici u prometu imaju slobodan prolaz. Za vozačke, biciklističke i tramvajske signalne grupe i zelene strelice, efektivno zeleno vrijeme izračunava se na način da se duljina trajanja zelenog signalnog pojma za pojedinu signalnu grupu uveća za 1 s. Za pješačke signalne grupe efektivno zeleno vrijeme jednako je zelenom vremenu. Izgubljeno vrijeme je vrijeme koje nastaje uslijed svih oblika zapreke kretanja, odnosno vrijeme u fazi tijekom kojeg sudionicima nije dozvoljen prolaz. Izgubljeno vrijeme u pojedinoj fazi izračunava se na način da se trajanje zaštitnog međuvremena umanji za 1 s [20].

Iz slike 27 vidljivo je da vozačka grupa V1 iz smjera juga ima najviše zelenog svijetla (g = 37 s), dok dopunske strelice V7s i V8s imaju najmanje zelenog svijetla (g = 7 s). Ostale vozačke grupe imaju efektivno zeleno: vozačka grupa V2 ima efektivno zeleno vrijeme u trajanju 19 s, vozačka grupa V3 ima efektivno zeleno u trajanju 26 s, vozačka grupa V4 ima efektivno zeleno u trajanju 8 s, vozačka grupa V5 ima efektivno zeleno u trajanju 16 s te vozačka grupa V6 ima efektivno zeleno vrijeme u trajanju 17 s.

Pješačka grupa P14 koja prolazi preko istočnog privoza i P15 koja prolazi preko zapadnog privoza imaju najviše zelenog svijetla u trajanju od 47 s, dok najmanje zelenog svijetla ima pješačka grupa P17 koja prolazi preko zapadnog privoza u trajanju 18 s. Ostale pješačke grupe imaju zeleno svijetlo: pješačke grupe P9 i P10 imaju zeleno svijetlo u trajanju 21 s, pješačke grupe P11 i P12 imaju zeleno svijetlo u trajanju 22 s, pješačka grupa P13 ima zeleno svijetlo u trajanju 23 s, pješačka grupa P16 ima zeleno svijetlo u trajanju 32 s te pješačka grupa P18 ima zeleno svijetlo u trajanju 37 s. Tramvajska grupa T19 ima efektivno zeleno u trajanju 8 s, dok tramvajska grupa T20 ima efektivno zeleno u trajanju 11 s.

### **3.3. Analiza odvijanja prometnih tokova**

Za detaljan uvid o kretanju prometnih tokova potrebno je analizirati prometno opterećenje na predmetnom raskrižju. Prometno opterećenje može se definirati kao broj vozila koja prođu promatranim presjekom ceste u određenom vremenskom periodu. Utvrđivanje prometnog opterećenja postiže se brojanjem prometa koje predstavlja glavni ulazni podatak pri prometnom planiranju i projektiranju. Brojanje prometa potrebno je

obaviti radi prometnog i urbanističkog planiranja, planiranja perspektive prometne mreže većeg ili manjeg područja, reorganizacije prometnih tokova, izgradnje novih pravaca ili eventualne rekonstrukcije postojeće prometne mreže [21].

Podaci dobiveni brojanjem prometa nakon njihove obrade i analize predstavljaju stvarnu trenutnu sliku dinamike prometnih tokova. Na temelju tih podataka dobiva se točna slika o prometnim zahtjevima unutar zone obrade. Ti podaci sadrže informacije kao što su [14]:

- Prometna opterećenja na cestovnim prometnicama,
- Strukturu prometnog toka,
- Brzinu kretanja vozila u prometnom toku,
- Razmak između vozila u prometnom toku,
- Smjerovi kretanja vozila u cestovnoj mreži,
- Vršna opterećenja u određenim vremenskim intervalima i sl.

Za potrebe brojanja prometa potrebno je odrediti nekoliko parametara, a prvi je zona obuhvata brojanja. Nakon toga se metodom sondiranja određuju lokacije na kojima će se izvršiti brojanje prometa kako bi se kasnije mogao analizirati cijeli sustav unutar zadane zone. Za prometne tokove koji nisu direktno sondirani, podaci se dobivaju metodom interpolacije i aproksimacije. Zatim je potrebno odrediti vremenske periode unutar kojih će se provoditi brojanje, a to može biti jedan ili više dana, kontinuirano ili periodično. Za kraj potrebno je odrediti hoće li se brojanje provoditi tokom nekoliko specifičnih sati ili kontinuirano cijeli dan [14].

Brojanje prometa u praksi dijeli se na statičko i dinamičko. Kod statičkog brojanja prometa broje se vozila koja u određenom vremenskom intervalu prođu kroz određeni presjek. Statičko brojanje koristi se za dimenzioniranje kolnika i raskrižja, može biti ručno ili automatski, a glavna prednost je što se ne ometa promet. Dinamičko brojanje podrazumijeva brojanje entiteta prometnog toka kojim se utvrđuje smjer strujanja prometa, a glavna zadaća je utvrđivanje izvora i cilja pojedinih prometnih tokova [15].

Za potrebe diplomskog rada vozila su svrstana u 5 kategorija. Razlog tome je što različite kategorije vozila imaju različite vozno – prometne karakteristike, te shodno tome zauzimaju različite prometne površine. Ako se uspoređuje osobno vozilo s teretnim vozilom, teretno vozilo zauzima veću površinu, potreban mu je veći luk pri skretanju, ima ograničene manevarske sposobnosti, razvija manju brzinu i sl. Zbog spomenutih neravnomjernosti uvedeni su koeficijenti kojima se ponderira svaka kategorija vozila kako bi se dobili jedinstveni podaci pri određivanju strukture prometa. Svaka skupina vozila svedena je na jedinstvenu mjernu jedinicu tzv. EJA (ekvivalentna jedinica automobila). U tablici 2 prikazane su vrijednosti EJA koeficijenta za pojedine kategorije vozila zajedno s oznakama kategorija koje će se koristiti u daljnjoj analizi.

Tablica 2. Vrijednost EJA koeficijenta za određene kategorije vozila

| KATEGORIJA           | OZNAKA | EJA KOEFICIJENT |
|----------------------|--------|-----------------|
| Osobni automobil     | OA     | 1               |
| Teško teretno vozilo | TT     | 2               |
| Lako teretno vozilo  | LT     | 1,5             |
| Autobus              | BUS    | 2               |
| Motocikl             | MO     | 0,7             |

Izvor [15]

Za potrebe ovog diplomskog rada izvršeno je statičko ručno brojanje prometa na način da su kamerom snimljeni svi privozi te je promet izbrojan iz tih videozapisa. Brojanje je izvršeno u karakterističnom danu u četvrtak 20. travnja 2023. godine tijekom jutarnjeg vršnog razdoblja od 7:00 h do 9:00 h te tijekom popodnevnog vršnog razdoblja od 15:00 h do 17:00 h u 15 minutnim vremenskim intervalima.

Na slici 17 prikazani su rezultati brojanja prometa za jutarnje vršno opterećenje od 7:00 h do 8:00 h, dok slika 18 prikazuje rezultate jutarnjeg vršnog opterećenja od 8:00 h do 9:00 h. Na slikama je vidljiv broj vozila podijeljen u kategorije koji sa svakog privoza skreće lijevo, ravno i desno, a privozi i smjerovi kretanja označeni su početnim slovom strane svijeta na koji se odnose.

Kako bi se prometno opterećenje vjernije prikazalo, izrađen je grafički prikaz u programskom alatu AutoCAD za cijeli jutarnji vršni period od 7:00 h do 9:00 h. Grafički prikaz na slici 19 prikazuje svaki prometni tok s pripadajućim brojem EJA jedinica za cijeli period na temelju čega je moguće donijeti zaključak koji su dominantni tokovi te o eventualnim problemima na raskrižju.



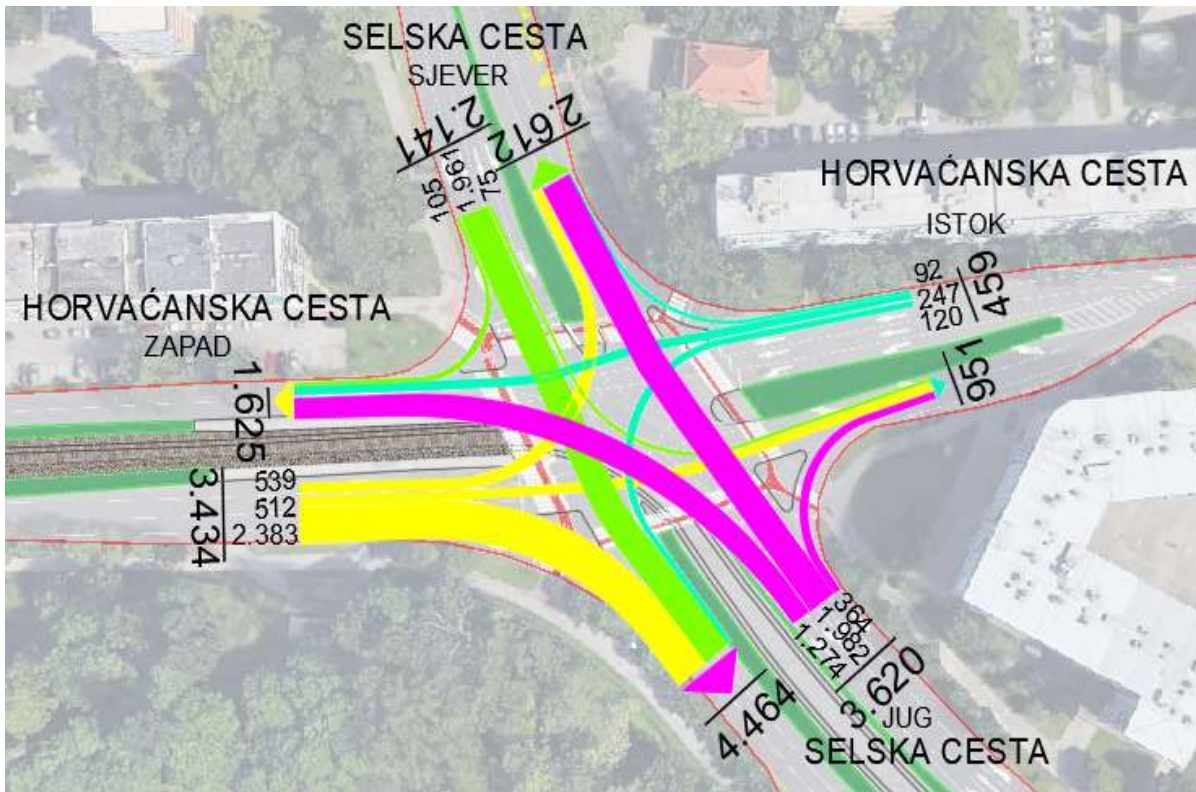
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
|---------------|-----------|-----------|-------|----|----|-----|----|
| 7:00-8:00     | S-Z       | 0-15 min  | 7     | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 9     | 0  | 0  | 0   | 1  |
|               |           | 31-45 min | 7     | 2  | 2  | 0   | 0  |
|               |           | 46-60 min | 18    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | Ukupno    | 41    | 2  | 2  | 0   | 1  |
|               | Sveukupno | 46        |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno |           | 49        |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 7:00-8:00     | S-J       | 0-15 min  | 225   | 0  | 1  | 4   | 3  |
|               |           | 16-30 min | 255   | 0  | 2  | 1   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 258   | 0  | 2  | 2   | 4  |
|               |           | 46-60 min | 280   | 1  | 0  | 2   | 0  |
|               |           | Ukupno    | 1.018 | 1  | 5  | 9   | 7  |
|               | Sveukupno | 1.040     |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno |           | 1.050     |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 7:00-8:00     | S-I       | 0-15 min  | 1     | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 5     | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 12    | 0  | 1  | 0   | 0  |
|               |           | 46-60 min | 11    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | Ukupno    | 29    | 0  | 1  | 0   | 0  |
|               | Sveukupno | 30        |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno |           | 31        |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 7:00-8:00     | I-S       | 0-15 min  | 12    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 6     | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 8     | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 46-60 min | 8     | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | Ukupno    | 34    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               | Sveukupno | 34        |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno |           | 34        |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 7:00-8:00     | I-Z       | 0-15 min  | 8     | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 21    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 34    | 0  | 0  | 0   | 1  |
|               |           | 46-60 min | 46    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | Ukupno    | 109   | 0  | 0  | 0   | 1  |
|               | Sveukupno | 110       |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno |           | 110       |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 7:00-8:00     | I-J       | 0-15 min  | 19    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 9     | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 11    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 46-60 min | 9     | 0  | 1  | 0   | 0  |
|               |           | Ukupno    | 48    | 0  | 1  | 0   | 0  |
|               | Sveukupno | 49        |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno |           | 50        |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 7:00-8:00     | J-I       | 0-15 min  | 32    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 31    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 61    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 46-60 min | 57    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | Ukupno    | 181   | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               | Sveukupno | 181       |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno |           | 181       |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 7:00-8:00     | J-S       | 0-15 min  | 241   | 3  | 0  | 2   | 1  |
|               |           | 16-30 min | 249   | 2  | 1  | 3   | 3  |
|               |           | 31-45 min | 252   | 0  | 2  | 1   | 0  |
|               |           | 46-60 min | 236   | 2  | 1  | 3   | 7  |
|               |           | Ukupno    | 978   | 7  | 4  | 9   | 11 |
|               | Sveukupno | 1.009     |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno |           | 1.024     |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 7:00-8:00     | J-Z       | 0-15 min  | 111   | 0  | 0  | 0   | 1  |
|               |           | 16-30 min | 151   | 2  | 1  | 0   | 2  |
|               |           | 31-45 min | 175   | 0  | 1  | 0   | 0  |
|               |           | 46-60 min | 176   | 0  | 5  | 0   | 1  |
|               |           | Ukupno    | 613   | 2  | 7  | 0   | 4  |
|               | Sveukupno | 626       |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno |           | 630       |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 7:00-8:00     | Z-J       | 0-15 min  | 306   | 0  | 3  | 2   | 2  |
|               |           | 16-30 min | 324   | 0  | 1  | 1   | 2  |
|               |           | 31-45 min | 347   | 1  | 4  | 0   | 3  |
|               |           | 46-60 min | 337   | 2  | 3  | 0   | 1  |
|               |           | Ukupno    | 1.314 | 3  | 11 | 3   | 8  |
|               | Sveukupno | 1.339     |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno |           | 1.348     |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 7:00-8:00     | Z-I       | 0-15 min  | 55    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 60    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 81    | 0  | 1  | 0   | 0  |
|               |           | 46-60 min | 84    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | Ukupno    | 280   | 0  | 1  | 0   | 0  |
|               | Sveukupno | 281       |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno |           | 282       |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 7:00-8:00     | Z-S       | 0-15 min  | 93    | 0  | 0  | 1   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 77    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 67    | 0  | 1  | 0   | 1  |
|               |           | 46-60 min | 64    | 0  | 0  | 0   | 1  |
|               |           | Ukupno    | 301   | 0  | 1  | 1   | 2  |
|               | Sveukupno | 305       |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno |           | 306       |       |    |    |     |    |

Slika 17. Ukupan broj vozila tijekom jutarnjeg vršnog perioda u razdoblju od 7:00 h do 8:00 h

| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA  | TT | LT | BUS | MO |               | SAT         | SMJER | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
|---------------|-----------|-----------|-----|----|----|-----|----|---------------|-------------|-------|-----------|-------|----|----|-----|----|
| 8:00 - 9:00   | S-Z       | 0-15 min  | 16  | 0  | 0  | 0   | 0  |               | 8:00 - 9:00 | J-I   | 0-15 min  | 42    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 8   | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |       | 16-30 min | 49    | 0  | 1  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 18  | 0  | 1  | 0   | 1  |               |             |       | 31-45 min | 43    | 0  | 2  | 0   | 0  |
|               |           | 46-60 min | 12  | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |       | 46-60 min | 44    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | Ukupno    | 54  | 0  | 1  | 0   | 1  |               |             |       | Ukupno    | 178   | 0  | 3  | 0   | 0  |
|               | Sveukupno | 56        |     |    |    |     |    |               | Sveukupno   | 181   |           |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno | 56        |           |     |    |    |     |    | EJA sveukupno | 183         |       |           |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA  | TT | LT | BUS | MO |               | SAT         | SMJER | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 8:00 - 9:00   | S-J       | 0-15 min  | 213 | 1  | 3  | 1   | 1  |               | 8:00 - 9:00 | J-S   | 0-15 min  | 229   | 1  | 1  | 1   | 4  |
|               |           | 16-30 min | 223 | 3  | 5  | 1   | 2  |               |             |       | 16-30 min | 227   | 0  | 1  | 3   | 2  |
|               |           | 31-45 min | 219 | 1  | 2  | 1   | 1  |               |             |       | 31-45 min | 240   | 1  | 0  | 3   | 4  |
|               |           | 46-60 min | 213 | 2  | 2  | 1   | 0  |               |             |       | 46-60 min | 223   | 3  | 0  | 2   | 2  |
|               |           | Ukupno    | 868 | 7  | 12 | 4   | 4  |               |             |       | Ukupno    | 919   | 5  | 2  | 9   | 12 |
|               | Sveukupno | 895       |     |    |    |     |    |               | Sveukupno   | 947   |           |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno | 911       |           |     |    |    |     |    | EJA sveukupno | 958         |       |           |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA  | TT | LT | BUS | MO |               | SAT         | SMJER | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 8:00 - 9:00   | S-I       | 0-15 min  | 16  | 0  | 0  | 0   | 1  |               | 8:00 - 9:00 | J-Z   | 0-15 min  | 170   | 1  | 1  | 2   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 9   | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |       | 16-30 min | 172   | 0  | 4  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 7   | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |       | 31-45 min | 150   | 1  | 1  | 0   | 0  |
|               |           | 46-60 min | 12  | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |       | 46-60 min | 128   | 0  | 2  | 0   | 5  |
|               |           | Ukupno    | 44  | 0  | 0  | 0   | 1  |               |             |       | Ukupno    | 620   | 2  | 8  | 2   | 5  |
|               | Sveukupno | 45        |     |    |    |     |    |               | Sveukupno   | 637   |           |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno | 45        |           |     |    |    |     |    | EJA sveukupno | 644         |       |           |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA  | TT | LT | BUS | MO |               | SAT         | SMJER | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 8:00 - 9:00   | I-S       | 0-15 min  | 11  | 0  | 0  | 0   | 0  |               | 8:00 - 9:00 | Z-J   | 0-15 min  | 280   | 2  | 0  | 0   | 1  |
|               |           | 16-30 min | 14  | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |       | 16-30 min | 280   | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 18  | 0  | 1  | 0   | 0  |               |             |       | 31-45 min | 210   | 1  | 1  | 3   | 4  |
|               |           | 46-60 min | 13  | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |       | 46-60 min | 242   | 1  | 2  | 0   | 1  |
|               |           | Ukupno    | 56  | 0  | 1  | 0   | 0  |               |             |       | Ukupno    | 1.012 | 4  | 3  | 3   | 6  |
|               | Sveukupno | 57        |     |    |    |     |    |               | Sveukupno   | 1.028 |           |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno | 58        |           |     |    |    |     |    | EJA sveukupno | 1.035       |       |           |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA  | TT | LT | BUS | MO |               | SAT         | SMJER | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 8:00 - 9:00   | I-Z       | 0-15 min  | 35  | 0  | 0  | 0   | 0  |               | 8:00 - 9:00 | Z-I   | 0-15 min  | 72    | 0  | 1  | 0   | 1  |
|               |           | 16-30 min | 38  | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |       | 16-30 min | 46    | 0  | 1  | 0   | 1  |
|               |           | 31-45 min | 38  | 0  | 1  | 0   | 0  |               |             |       | 31-45 min | 54    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 46-60 min | 23  | 0  | 0  | 0   | 2  |               |             |       | 46-60 min | 53    | 0  | 1  | 0   | 0  |
|               |           | Ukupno    | 134 | 0  | 1  | 0   | 2  |               |             |       | Ukupno    | 225   | 0  | 3  | 0   | 2  |
|               | Sveukupno | 137       |     |    |    |     |    |               | Sveukupno   | 230   |           |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno | 137       |           |     |    |    |     |    | EJA sveukupno | 231         |       |           |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA  | TT | LT | BUS | MO |               | SAT         | SMJER | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 8:00 - 9:00   | I-J       | 0-15 min  | 12  | 0  | 1  | 0   | 0  |               | 8:00 - 9:00 | Z-S   | 0-15 min  | 62    | 0  | 1  | 0   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 22  | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |       | 16-30 min | 64    | 1  | 3  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 12  | 0  | 1  | 0   | 0  |               |             |       | 31-45 min | 44    | 0  | 0  | 0   | 1  |
|               |           | 46-60 min | 21  | 0  | 0  | 0   | 1  |               |             |       | 46-60 min | 54    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | Ukupno    | 67  | 0  | 2  | 0   | 1  |               |             |       | Ukupno    | 224   | 1  | 4  | 0   | 1  |
|               | Sveukupno | 70        |     |    |    |     |    |               | Sveukupno   | 230   |           |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno | 71        |           |     |    |    |     |    | EJA sveukupno | 233         |       |           |       |    |    |     |    |

Slika 18. Ukupan broj vozila tijekom jutarnjeg vršnog perioda u razdoblju od 8:00 h do 9:00 h





Slika 19. Grafički prikaz prometnog opterećenja tijekom jutarnjeg vršnog perioda od 7:00 h do 9:00 h

Iz priloženih slika vidljivo je kako je u jutarnjem vršnom periodu najopterećeniji južni privoz sa 3.620 EJA jedinica od kojih najviše vozila ide ravno i skreće lijevo. Slično opterećenje ima i zapadni privoz sa ukupno 3.434 EJA jedinica od kojih najviše vozila skreće desno u smjeru juga. Opterećenje na južnom i zapadnom privozu čini preko 70% ukupnog opterećenja koje prolazi raskrižjem. Prema slici može se zaključiti da su dominantni pravci kretanja na relaciji zapad – jug te sjever – jug. Najmanje opterećen privoz je istočni sa 459 EJA jedinica, dok sjeverni privoz ima opterećenje od 2.141 EJA jedinica od kojih 92% vozila zadržava smjer kretanja prema jugu. Ako se uspoređuju vršni sati, raskrižjem prolazi više vozila u periodu od 7:00 h do 8:00 h i to za 11% nego u periodu od 8:00 h do 9:00 h.

Na slici 20 prikazani su rezultati brojanja prometa za popodnevno vršno opterećenje u periodu od 15:00 h do 16:00 h, dok slika 21 prikazuje rezultate popodnevnog vršnog opterećenja od 16:00 h do 17:00 h. Kao i kod jutarnjeg vršnog opterećenja, slike prikazuju broj vozila podijeljen u kategorije koji sa svakog privoza skreće desno, ravno i lijevo. Slikom 22 grafički je prikazan svaki prometni tok s pripadajućim brojem EJA jedinica za cijeli period popodnevnog vršnog opterećenja od 15:00 h do 17:00 h kako bi se što bolje prikazalo odvijanje prometnih tokova na raskrižju.

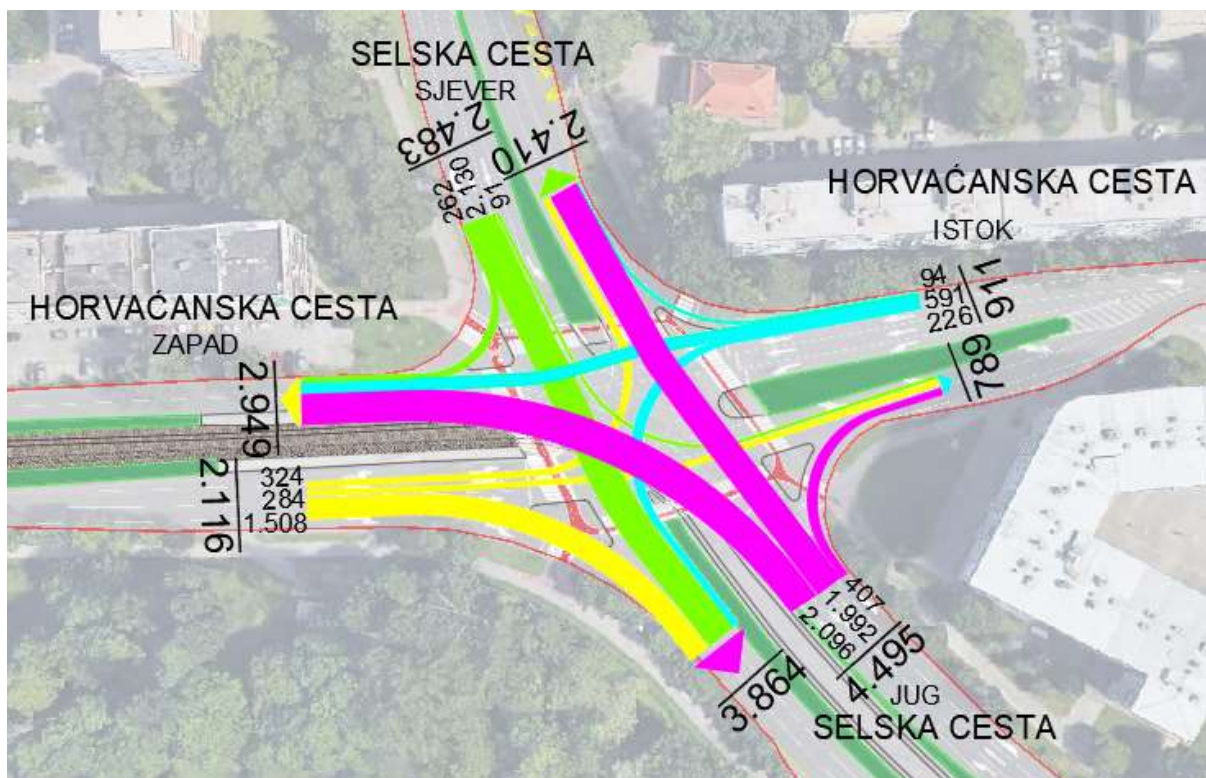
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS   | MO    |               | SAT         | SMJER | INTERVAL  | OA  | TT | LT | BUS | MO    |
|---------------|-----------|-----------|-------|----|----|-------|-------|---------------|-------------|-------|-----------|-----|----|----|-----|-------|
| 15:00-16:00   | S-Z       | 0-15 min  | 31    | 0  | 0  | 0     | 0     |               | 15:00-16:00 | J-I   | 0-15 min  | 47  | 0  | 0  | 0   | 2     |
|               |           | 16-30 min | 35    | 0  | 0  | 1     | 0     |               |             |       | 16-30 min | 56  | 0  | 0  | 0   | 1     |
|               |           | 31-45 min | 24    | 0  | 0  | 1     | 0     |               |             |       | 31-45 min | 47  | 0  | 0  | 0   | 0     |
|               |           | 46-60 min | 29    | 0  | 0  | 0     | 1     |               |             |       | 46-60 min | 56  | 0  | 0  | 0   | 0     |
|               |           | Ukupno    | 119   | 0  | 0  | 2     | 1     |               |             |       | Ukupno    | 206 | 0  | 0  | 0   | 3     |
|               | Sveukupno |           |       |    |    |       | 122   |               | Sveukupno   |       |           |     |    |    |     | 209   |
| EJA sveukupno |           |           |       |    |    | 124   |       | EJA sveukupno |             |       |           |     |    |    |     | 208   |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS   | MO    |               | SAT         | SMJER | INTERVAL  | OA  | TT | LT | BUS | MO    |
| 15:00-16:00   | S-J       | 0-15 min  | 246   | 2  | 0  | 1     | 3     |               | 15:00-16:00 | J-S   | 0-15 min  | 224 | 1  | 0  | 2   | 6     |
|               |           | 16-30 min | 275   | 0  | 0  | 2     | 5     |               |             |       | 16-30 min | 226 | 3  | 1  | 1   | 6     |
|               |           | 31-45 min | 260   | 3  | 1  | 3     | 2     |               |             |       | 31-45 min | 234 | 1  | 1  | 2   | 3     |
|               |           | 46-60 min | 240   | 0  | 1  | 4     | 3     |               |             |       | 46-60 min | 229 | 1  | 0  | 0   | 6     |
|               |           | Ukupno    | 1.021 | 5  | 2  | 10    | 13    |               |             |       | Ukupno    | 913 | 6  | 2  | 5   | 21    |
|               | Sveukupno |           |       |    |    |       | 1.051 |               | Sveukupno   |       |           |     |    |    |     | 947   |
| EJA sveukupno |           |           |       |    |    | 1.063 |       | EJA sveukupno |             |       |           |     |    |    |     | 953   |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS   | MO    |               | SAT         | SMJER | INTERVAL  | OA  | TT | LT | BUS | MO    |
| 15:00-16:00   | S-I       | 0-15 min  | 8     | 0  | 0  | 0     | 0     |               | 15:00-16:00 | J-Z   | 0-15 min  | 241 | 1  | 0  | 0   | 4     |
|               |           | 16-30 min | 15    | 0  | 0  | 0     | 0     |               |             |       | 16-30 min | 252 | 1  | 0  | 0   | 0     |
|               |           | 31-45 min | 12    | 0  | 0  | 0     | 0     |               |             |       | 31-45 min | 236 | 0  | 0  | 0   | 3     |
|               |           | 46-60 min | 10    | 0  | 0  | 0     | 0     |               |             |       | 46-60 min | 263 | 0  | 0  | 0   | 5     |
|               |           | Ukupno    | 45    | 0  | 0  | 0     | 0     |               |             |       | Ukupno    | 992 | 2  | 0  | 0   | 12    |
|               | Sveukupno |           |       |    |    |       | 45    |               | Sveukupno   |       |           |     |    |    |     | 1.006 |
| EJA sveukupno |           |           |       |    |    | 45    |       | EJA sveukupno |             |       |           |     |    |    |     | 1.004 |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS   | MO    |               | SAT         | SMJER | INTERVAL  | OA  | TT | LT | BUS | MO    |
| 15:00-16:00   | I-S       | 0-15 min  | 16    | 0  | 0  | 0     | 0     |               | 15:00-16:00 | Z-J   | 0-15 min  | 193 | 1  | 0  | 0   | 2     |
|               |           | 16-30 min | 15    | 0  | 0  | 0     | 0     |               |             |       | 16-30 min | 168 | 0  | 0  | 1   | 3     |
|               |           | 31-45 min | 14    | 0  | 0  | 0     | 1     |               |             |       | 31-45 min | 180 | 0  | 1  | 0   | 4     |
|               |           | 46-60 min | 9     | 0  | 0  | 0     | 0     |               |             |       | 46-60 min | 143 | 0  | 0  | 0   | 1     |
|               |           | Ukupno    | 54    | 0  | 0  | 0     | 1     |               |             |       | Ukupno    | 684 | 1  | 1  | 1   | 10    |
|               | Sveukupno |           |       |    |    |       | 55    |               | Sveukupno   |       |           |     |    |    |     | 697   |
| EJA sveukupno |           |           |       |    |    | 55    |       | EJA sveukupno |             |       |           |     |    |    |     | 697   |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS   | MO    |               | SAT         | SMJER | INTERVAL  | OA  | TT | LT | BUS | MO    |
| 15:00-16:00   | I-Z       | 0-15 min  | 40    | 0  | 0  | 0     | 1     |               | 15:00-16:00 | Z-I   | 0-15 min  | 29  | 0  | 0  | 0   | 1     |
|               |           | 16-30 min | 64    | 0  | 0  | 0     | 3     |               |             |       | 16-30 min | 30  | 0  | 0  | 0   | 1     |
|               |           | 31-45 min | 70    | 0  | 0  | 0     | 0     |               |             |       | 31-45 min | 47  | 0  | 0  | 0   | 1     |
|               |           | 46-60 min | 68    | 0  | 0  | 0     | 1     |               |             |       | 46-60 min | 30  | 0  | 0  | 0   | 0     |
|               |           | Ukupno    | 242   | 0  | 0  | 0     | 5     |               |             |       | Ukupno    | 136 | 0  | 0  | 0   | 3     |
|               | Sveukupno |           |       |    |    |       | 247   |               | Sveukupno   |       |           |     |    |    |     | 139   |
| EJA sveukupno |           |           |       |    |    | 246   |       | EJA sveukupno |             |       |           |     |    |    |     | 138   |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS   | MO    |               | SAT         | SMJER | INTERVAL  | OA  | TT | LT | BUS | MO    |
| 15:00-16:00   | I-J       | 0-15 min  | 39    | 0  | 0  | 0     | 0     |               | 15:00-16:00 | Z-S   | 0-15 min  | 35  | 0  | 0  | 0   | 0     |
|               |           | 16-30 min | 19    | 0  | 1  | 0     | 1     |               |             |       | 16-30 min | 38  | 0  | 0  | 0   | 0     |
|               |           | 31-45 min | 21    | 0  | 0  | 0     | 0     |               |             |       | 31-45 min | 37  | 0  | 0  | 0   | 1     |
|               |           | 46-60 min | 35    | 0  | 0  | 0     | 3     |               |             |       | 46-60 min | 37  | 0  | 0  | 0   | 0     |
|               |           | Ukupno    | 114   | 0  | 1  | 0     | 4     |               |             |       | Ukupno    | 147 | 0  | 0  | 0   | 1     |
|               | Sveukupno |           |       |    |    |       | 119   |               | Sveukupno   |       |           |     |    |    |     | 148   |
| EJA sveukupno |           |           |       |    |    | 118   |       | EJA sveukupno |             |       |           |     |    |    |     | 148   |

Slika 20. Ukupan broj vozila tijekom popodnevno vršnog perioda u razdoblju od 15:00 h do 16:00 h



| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |               | SAT         | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
|---------------|-----------|-----------|-------|----|----|-----|----|---------------|-------------|-----------|-----------|-------|----|----|-----|----|
| 16:00-17:00   | S-Z       | 0-15 min  | 27    | 0  | 0  | 0   | 0  |               | 16:00-17:00 | J-I       | 0-15 min  | 46    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 45    | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |           | 16-30 min | 47    | 0  | 1  | 0   | 2  |
|               |           | 31-45 min | 38    | 0  | 0  | 0   | 1  |               |             |           | 31-45 min | 53    | 0  | 0  | 0   | 3  |
|               |           | 46-60 min | 26    | 0  | 1  | 0   | 0  |               |             |           | 46-60 min | 48    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | Ukupno    | 136   | 0  | 1  | 0   | 1  |               |             |           | Ukupno    | 194   | 0  | 1  | 0   | 5  |
|               | Sveukupno | 138       |       |    |    |     |    |               |             | Sveukupno | 200       |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno | 138       |           |       |    |    |     |    | EJA sveukupno | 199         |           |           |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |               | SAT         | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 16:00-17:00   | S-J       | 0-15 min  | 251   | 2  | 0  | 1   | 4  |               | 16:00-17:00 | J-S       | 0-15 min  | 234   | 1  | 0  | 2   | 6  |
|               |           | 16-30 min | 224   | 0  | 0  | 2   | 3  |               |             |           | 16-30 min | 259   | 0  | 2  | 1   | 6  |
|               |           | 31-45 min | 284   | 0  | 1  | 3   | 4  |               |             |           | 31-45 min | 262   | 1  | 0  | 2   | 7  |
|               |           | 46-60 min | 273   | 1  | 0  | 2   | 5  |               |             |           | 46-60 min | 248   | 0  | 0  | 1   | 5  |
|               |           | Ukupno    | 1.032 | 3  | 1  | 8   | 16 |               |             |           | Ukupno    | 1.003 | 2  | 2  | 6   | 24 |
|               | Sveukupno | 1.060     |       |    |    |     |    |               |             | Sveukupno | 1.037     |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno | 1.067     |           |       |    |    |     |    | EJA sveukupno | 1.039       |           |           |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |               | SAT         | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 16:00-17:00   | S-I       | 0-15 min  | 9     | 0  | 0  | 0   | 1  |               | 16:00-17:00 | J-Z       | 0-15 min  | 262   | 0  | 0  | 1   | 4  |
|               |           | 16-30 min | 17    | 0  | 0  | 0   | 1  |               |             |           | 16-30 min | 265   | 0  | 0  | 0   | 7  |
|               |           | 31-45 min | 14    | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |           | 31-45 min | 279   | 0  | 1  | 0   | 6  |
|               |           | 46-60 min | 11    | 0  | 0  | 0   | 1  |               |             |           | 46-60 min | 266   | 1  | 0  | 0   | 3  |
|               |           | Ukupno    | 51    | 0  | 0  | 0   | 3  |               |             |           | Ukupno    | 1.072 | 1  | 1  | 1   | 20 |
|               | Sveukupno | 54        |       |    |    |     |    |               |             | Sveukupno | 1.095     |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno | 53        |           |       |    |    |     |    | EJA sveukupno | 1.092       |           |           |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |               | SAT         | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 16:00-17:00   | I-S       | 0-15 min  | 9     | 0  | 0  | 0   | 0  |               | 16:00-17:00 | Z-J       | 0-15 min  | 238   | 0  | 0  | 0   | 4  |
|               |           | 16-30 min | 9     | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |           | 16-30 min | 197   | 0  | 0  | 0   | 2  |
|               |           | 31-45 min | 11    | 0  | 0  | 0   | 1  |               |             |           | 31-45 min | 187   | 1  | 1  | 0   | 3  |
|               |           | 46-60 min | 10    | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |           | 46-60 min | 175   | 0  | 0  | 1   | 4  |
|               |           | Ukupno    | 39    | 0  | 0  | 0   | 1  |               |             |           | Ukupno    | 797   | 1  | 1  | 1   | 13 |
|               | Sveukupno | 40        |       |    |    |     |    |               |             | Sveukupno | 813       |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno | 40        |           |       |    |    |     |    | EJA sveukupno | 812         |           |           |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |               | SAT         | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 16:00-17:00   | I-Z       | 0-15 min  | 86    | 0  | 0  | 0   | 2  |               | 16:00-17:00 | Z-I       | 0-15 min  | 36    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 83    | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |           | 16-30 min | 32    | 0  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 89    | 0  | 1  | 0   | 3  |               |             |           | 31-45 min | 41    | 0  | 1  | 0   | 1  |
|               |           | 46-60 min | 82    | 0  | 0  | 0   | 1  |               |             |           | 46-60 min | 33    | 0  | 0  | 0   | 2  |
|               |           | Ukupno    | 340   | 0  | 1  | 0   | 6  |               |             |           | Ukupno    | 142   | 0  | 1  | 0   | 3  |
|               | Sveukupno | 347       |       |    |    |     |    |               |             | Sveukupno | 146       |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno | 346       |           |       |    |    |     |    | EJA sveukupno | 146         |           |           |       |    |    |     |    |
| SAT           | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |               | SAT         | SMJER     | INTERVAL  | OA    | TT | LT | BUS | MO |
| 16:00-17:00   | I-J       | 0-15 min  | 27    | 0  | 0  | 0   | 0  |               | 16:00-17:00 | Z-S       | 0-15 min  | 41    | 1  | 0  | 0   | 0  |
|               |           | 16-30 min | 20    | 0  | 0  | 0   | 2  |               |             |           | 16-30 min | 43    | 0  | 1  | 0   | 0  |
|               |           | 31-45 min | 34    | 0  | 0  | 0   | 0  |               |             |           | 31-45 min | 47    | 0  | 1  | 0   | 1  |
|               |           | 46-60 min | 22    | 0  | 1  | 0   | 2  |               |             |           | 46-60 min | 39    | 0  | 0  | 0   | 1  |
|               |           | Ukupno    | 103   | 0  | 1  | 0   | 4  |               |             |           | Ukupno    | 170   | 1  | 2  | 0   | 2  |
|               | Sveukupno | 108       |       |    |    |     |    |               |             | Sveukupno | 175       |       |    |    |     |    |
| EJA sveukupno | 107       |           |       |    |    |     |    | EJA sveukupno | 176         |           |           |       |    |    |     |    |

Slika 21. Ukupan broj vozila tijekom popodnevno vršnog perioda u razdoblju od 16:00 h do 17:00 h



Slika 22. Grafički prikaz prometnog opterećenja tijekom popodnevno vršnog perioda od 15:00 h do 17:00 h

Iz slika je vidljivo kako je u popodnevnom vršnom periodu najopterećeniji južni privoz sa 4.495 EJA jedinica od kojih najviše vozila ide ravno i skreće lijevo, što čini 45% od ukupnog prometnog opterećenja na raskrižju. Slična opterećenja imaju zapadni i sjeverni privoz, odnosno sjeverni privoz ima opterećenje od 2.483 EJA jedinica od kojih 86% vozila ide ravno u smjeru juga, dok zapadni privoz ima opterećenje od 2.116 EJA jedinica od kojih najviše vozila skreće desno. Najmanje opterećen privoz je istočni sa 991 EJA jedinica, što čini samo 9% od ukupnog prometnog opterećenja na raskrižju. Kao i kod jutarnjeg vršnog perioda dominantni pravci kretanja vozila su na relaciji sjever – jug i zapad – jug. Ako se uspoređuju vršni sati, raskrižjem prolazi 6% više vozila u periodu od 16:00 h do 17:00 h u odnosu na period od 15:00 h do 16:00 h.

Ako se uspoređuju rezultati jutarnjeg i popodnevno vršnog perioda, ukupno prometno opterećenje raskrižja malo je veće tijekom popodnevno vršnog perioda za 359 vozila, no s obzirom da taj broj nije velik može se zaključiti da je ukupan broj vozila koji prolazi raskrižjem tijekom vršnih perioda konstantan. Tijekom jutarnjeg vršnog perioda najveći broj vozila kreće se u smjeru zapad – jug, dok se tijekom popodnevno vršnog perioda taj broj smanjuje, a povećava se broj vozila koji se kreću u smjeru jug – zapad. Također, tijekom jutarnjeg vršnog opterećenja veći postotak vozila kreće se sa zapadnog privoza prema istoku i sjeveru nego u vrijeme popodnevno vršnog opterećenja, dok je na istočnom privozu situacija obrnuta. Veći postotak vozila kreće se s istočnog privoza u svim smjerovima tijekom popodnevno vršnog razdoblja u odnosu na jutarnje vršno razdoblje.

Prilikom brojanja prometa na raskrižju je u periodu popodnevnog vršnog opterećenja uočeno stvaranje repa čekanja na sjevernom privozu za vozila koja zadržavaju smjer kretanja prema jugu i na zapadnom privozu za vozila koja skreću desno prema jugu. Razlog tome je čep koji se stvara na južnom privozu zbog semaforiziranog raskrižja Selske ceste i Jadranskog mosta gdje zbog velike prometne potražnje u smjeru Jadranskog mosta vozila ne mogu proći raskrižjem pa se stvara rep čekanja koji se proteže do predmetnog raskrižja ovog diplomskog rada i sprječava vozila na predmetnom raskrižju da napuste raskrižje. Zbog toga je u popodnevnom vršnom periodu izbrojen manji broj vozila koja prolaze raskrižjem nego što bi to bilo da nema tog čepa.

Za prometne analize i prognoze jedan od važnijih podataka je PGDP (prosječan godišnji dnevni promet). PGDP raskrižja izračunava se na način da se ukupno prometno opterećenje raskrižja u najopterećenijem satu pomnoži s koeficijentom između 9 i 14 koji ovisi o veličini grada. U ovom diplomskom radu uzet je koeficijent 10 te PDGP predmetnog raskrižja iznosi 51.200 voz/dan.

### **3.4. Analiza pješačkog i biciklističkog prometa**

U nemotorizirane oblike prometa spadaju pješaćenje i bicikliranje, a u novije vrijeme sve je više zastupljena vožnja električnim romobilima kao nemotoriziranim oblikom prijevoza. Pješaci zajedno s biciklistima i romobilistima pripadaju skupini najugroženijih sudionika u prometu. To posebno dolazi do izražaja prilikom vožnje u raskrižjima te se pri projektiranju raskrižja posebno moraju razmotriti zahtjevi o mogućem izravnom, preglednom i udobnom vođenju pješačkog i biciklističkog prometa.

Različiti zahtjevi nemotoriziranih oblika prometa mogu imati različite konflikte vezane uz oblikovanje raskrižja koji se mogu ublažiti još u fazi planiranja. Neka od temeljnih načela za projektiranje raskrižja sa stajališta sigurnosti pješačkog i biciklističkog prometa su da pješaci i biciklisti moraju biti pravovremeno i jasno uočljivi iz svih prilaza raskrižju za sve sudionike u prometu te za bicikliste i ostale sudionike u prometu mora biti pravovremeno uočljivo skretanje biciklista ulijevo, izravno ili neizravno. Najveće značenje za sigurnost nemotoriziranih oblika prijevoza treba pridavati dovoljnoj preglednosti između biciklista, pješaka i ostalih sudionika u prometu. Također, tijek i izgradnja pješačke i biciklističke infrastrukture treba pojasniti odnose prednosti za sve sudionike u prometu [15].

Na odvijanje pješačkog i biciklističkog prometa kroz raskrižje uvelike utječe izgrađenost i stanje pješačke i biciklističke infrastrukture. U zoni obuhvata predmetnog raskrižja pješačke i biciklističke staze izgrađene su sa lijeve i desne strane svakog privoza, a pobliže su opisane u poglavlju 3.2. Također, na području samog raskrižja na svakom privozu nalaze se obilježeni pješački prijelazi s označenom biciklističkom trakom koja je crvene boje sa svim potrebnim oznakama.

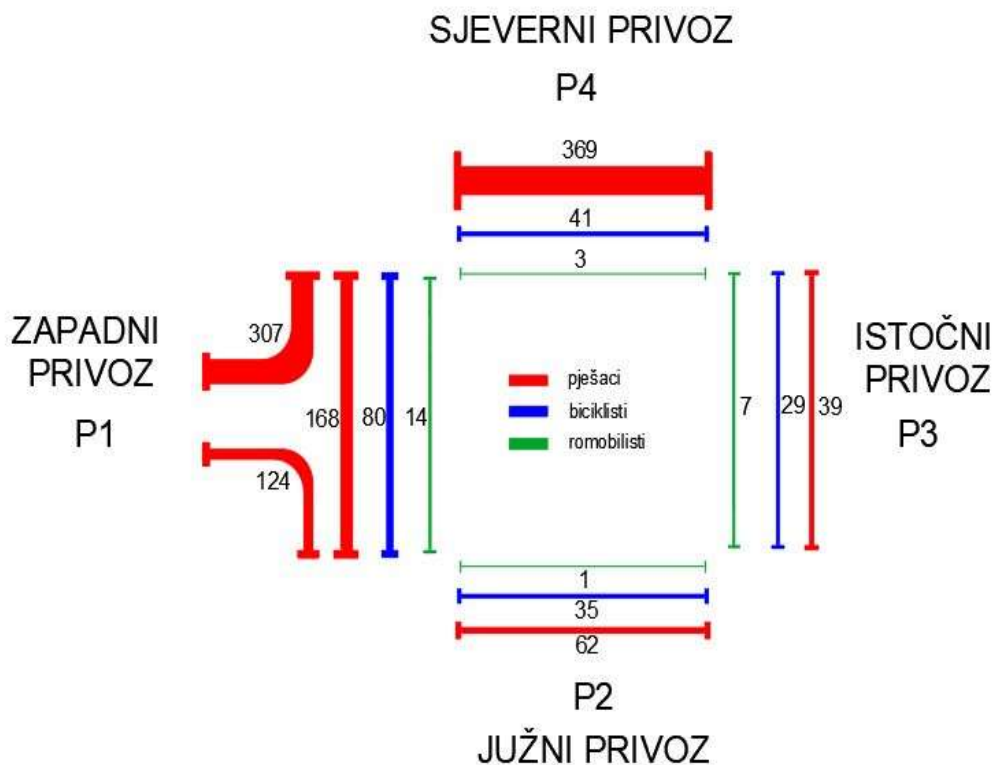
Brojanje pješačkog i biciklističkog prometa izvršeno je u istom danu kao i brojanje motornog prometa u četvrtak 20. travnja 2023. godine, u intervalima od 15 minuta tijekom vremenskih perioda jutarnjeg i popodnevnog vršnog opterećenja od 07:00 h do 9:00 h i od 15:00 h do 17:00 h.

Rezultati brojanja pješaka, biciklista i romobilista u jutarnjem vršnom periodu prikazani su na slici 23. Pješački prijelazi označeni su oznakama P1, P2, P3 i P4 te je početnim slovom strane svijeta prikazan smjer kretanja nemotoriziranih sudionika na pojedinom pješačkom prijelazu. Za bolje prikazivanje opterećenja pojedinog pješačkog prijelaza, u programskom alatu AutoCAD izrađen je grafički prikaz vidljiv na slici 24 za cijeli jutarnji vršni period od 7:00 h do 9:00 h s pripadajućim brojem pješaka, biciklista i romobilista na svakom pješačkom prijelazu. Na zapadnom privozu između kolnika nalaze se tramvajske stanice koje su izvorište ili odredište velike količine pješaka koji prolaze raskrižjem, stoga je pješački prijelaz P1 podijeljen na dva djela, sjeverni i južni, te su prikazani rezultati broja pješaka koji prolaze cijelim pješačkim prijelazom te je posebno prikazano opterećenje sjevernog i južnog dijela.

| PJEŠAČKI PRIJELAZ | SMJER       | SAT           | INTERVAL      | PJEŠACI    | BICIKLISTI | ROMOBILISTI | PJEŠAČKI PRIJELAZ | SMJER         | SAT         | INTERVAL      | PJEŠACI    | BICIKLISTI | ROMOBILISTI |
|-------------------|-------------|---------------|---------------|------------|------------|-------------|-------------------|---------------|-------------|---------------|------------|------------|-------------|
| P1                | S-J         | 7:00 - 8:00   | 0-15 min      | 27         | 4          | 0           | P2                | Z-I           | 7:00 - 8:00 | 0-15 min      | 3          | 2          | 0           |
|                   |             |               | 16-30 min     | 60         | 6          | 0           |                   |               |             | 16-30 min     | 1          | 7          | 0           |
|                   |             |               | 31-45 min     | 43         | 7          | 4           |                   |               |             | 31-45 min     | 5          | 2          | 0           |
|                   |             |               | 46-60 min     | 60         | 10         | 1           |                   |               |             | 46-60 min     | 4          | 5          | 0           |
|                   |             |               | <b>ukupno</b> | <b>190</b> | <b>27</b>  | <b>5</b>    |                   |               |             | <b>ukupno</b> | <b>13</b>  | <b>16</b>  | <b>0</b>    |
|                   | 8:00 - 9:00 | 0-15 min      | 44            | 5          | 0          | 8:00 - 9:00 |                   | 0-15 min      | 2           | 3             | 1          |            |             |
|                   |             | 16-30 min     | 36            | 5          | 0          |             |                   | 16-30 min     | 1           | 2             | 0          |            |             |
|                   |             | 31-45 min     | 24            | 4          | 0          |             |                   | 31-45 min     | 1           | 4             | 0          |            |             |
|                   |             | 46-60 min     | 41            | 5          | 0          |             |                   | 46-60 min     | 1           | 1             | 0          |            |             |
|                   |             | <b>ukupno</b> | <b>145</b>    | <b>19</b>  | <b>0</b>   |             |                   | <b>ukupno</b> | <b>5</b>    | <b>10</b>     | <b>1</b>   |            |             |
| P1                | J-S         | 7:00 - 8:00   | 0-15 min      | 20         | 2          | 0           | P2                | I-Z           | 7:00 - 8:00 | 0-15 min      | 7          | 3          | 0           |
|                   |             |               | 16-30 min     | 37         | 2          | 3           |                   |               |             | 16-30 min     | 5          | 0          | 0           |
|                   |             |               | 31-45 min     | 43         | 7          | 2           |                   |               |             | 31-45 min     | 7          | 1          | 0           |
|                   |             |               | 46-60 min     | 33         | 5          | 3           |                   |               |             | 46-60 min     | 4          | 1          | 0           |
|                   |             |               | <b>ukupno</b> | <b>133</b> | <b>16</b>  | <b>8</b>    |                   |               |             | <b>ukupno</b> | <b>23</b>  | <b>5</b>   | <b>0</b>    |
|                   | 8:00 - 9:00 | 0-15 min      | 28            | 9          | 0          | 8:00 - 9:00 |                   | 0-15 min      | 9           | 0             | 0          |            |             |
|                   |             | 16-30 min     | 45            | 4          | 1          |             |                   | 16-30 min     | 1           | 2             | 0          |            |             |
|                   |             | 31-45 min     | 29            | 1          | 0          |             |                   | 31-45 min     | 2           | 1             | 0          |            |             |
|                   |             | 46-60 min     | 29            | 4          | 0          |             |                   | 46-60 min     | 9           | 1             | 0          |            |             |
|                   |             | <b>ukupno</b> | <b>131</b>    | <b>18</b>  | <b>1</b>   |             |                   | <b>ukupno</b> | <b>21</b>   | <b>4</b>      | <b>0</b>   |            |             |
| P3                | S-J         | 7:00 - 8:00   | 0-15 min      | 1          | 1          | 0           | P4                | Z-I           | 7:00 - 8:00 | 0-15 min      | 26         | 3          | 0           |
|                   |             |               | 16-30 min     | 1          | 0          | 0           |                   |               |             | 16-30 min     | 25         | 7          | 0           |
|                   |             |               | 31-45 min     | 5          | 2          | 0           |                   |               |             | 31-45 min     | 33         | 3          | 0           |
|                   |             |               | 46-60 min     | 3          | 0          | 0           |                   |               |             | 46-60 min     | 18         | 4          | 0           |
|                   |             |               | <b>ukupno</b> | <b>10</b>  | <b>3</b>   | <b>0</b>    |                   |               |             | <b>ukupno</b> | <b>102</b> | <b>17</b>  | <b>0</b>    |
|                   | 8:00 - 9:00 | 0-15 min      | 2             | 1          | 0          | 8:00 - 9:00 |                   | 0-15 min      | 33          | 3             | 1          |            |             |
|                   |             | 16-30 min     | 1             | 2          | 0          |             |                   | 16-30 min     | 24          | 4             | 1          |            |             |
|                   |             | 31-45 min     | 0             | 2          | 0          |             |                   | 31-45 min     | 32          | 3             | 0          |            |             |
|                   |             | 46-60 min     | 3             | 1          | 1          |             |                   | 46-60 min     | 16          | 4             | 0          |            |             |
|                   |             | <b>ukupno</b> | <b>6</b>      | <b>6</b>   | <b>1</b>   |             |                   | <b>ukupno</b> | <b>105</b>  | <b>14</b>     | <b>2</b>   |            |             |
| P3                | J-S         | 7:00 - 8:00   | 0-15 min      | 4          | 1          | 0           | P4                | I-Z           | 7:00 - 8:00 | 0-15 min      | 10         | 0          | 0           |
|                   |             |               | 16-30 min     | 2          | 0          | 0           |                   |               |             | 16-30 min     | 26         | 3          | 0           |
|                   |             |               | 31-45 min     | 1          | 4          | 1           |                   |               |             | 31-45 min     | 22         | 3          | 0           |
|                   |             |               | 46-60 min     | 7          | 5          | 1           |                   |               |             | 46-60 min     | 26         | 0          | 0           |
|                   |             |               | <b>ukupno</b> | <b>14</b>  | <b>10</b>  | <b>2</b>    |                   |               |             | <b>ukupno</b> | <b>84</b>  | <b>6</b>   | <b>0</b>    |
|                   | 8:00 - 9:00 | 0-15 min      | 3             | 1          | 4          | 8:00 - 9:00 |                   | 0-15 min      | 24          | 0             | 0          |            |             |
|                   |             | 16-30 min     | 3             | 0          | 0          |             |                   | 16-30 min     | 23          | 2             | 1          |            |             |
|                   |             | 31-45 min     | 1             | 4          | 0          |             |                   | 31-45 min     | 17          | 1             | 0          |            |             |
|                   |             | 46-60 min     | 2             | 5          | 0          |             |                   | 46-60 min     | 14          | 1             | 0          |            |             |
|                   |             | <b>ukupno</b> | <b>9</b>      | <b>10</b>  | <b>4</b>   |             |                   | <b>ukupno</b> | <b>78</b>   | <b>4</b>      | <b>1</b>   |            |             |

Slika 23. Ukupan broj pješaka, biciklista i romobilista tijekom jutarnjeg vršnog perioda od 7:00 h do 9:00 h





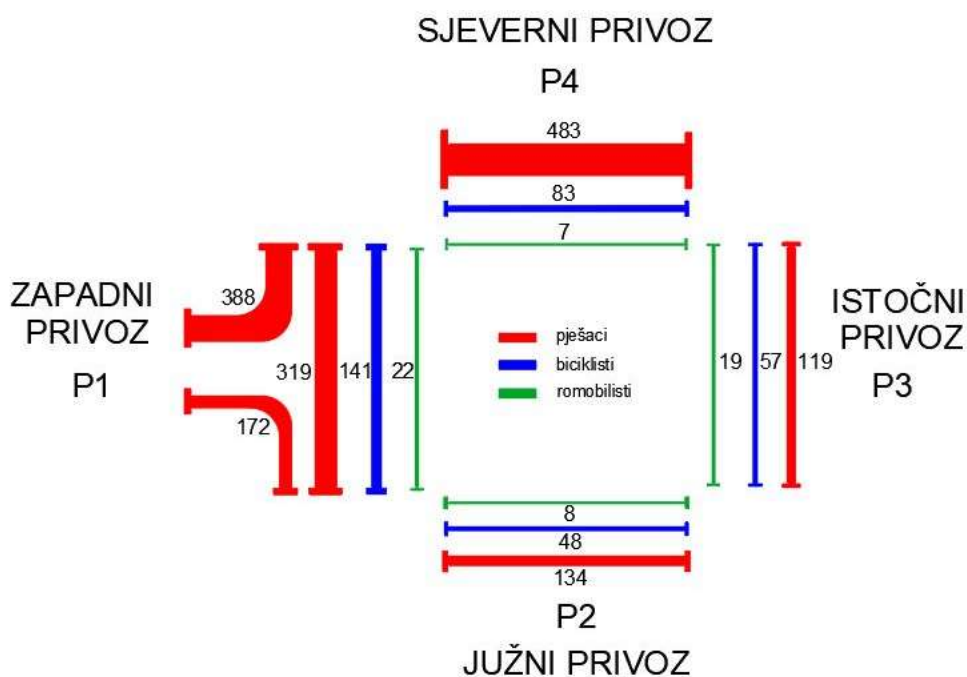
Slika 24. Grafički prikaz prometnog opterećenja nemotoriziranih sudionika u prometu tijekom jutarnjeg vršnog perioda od 7:00 h do 9:00 h

U jutarnjem vršnom periodu najopterećeniji je pješački prijelaz P1 i to njegov sjeverni dio na kojem se od ukupnog broja pješaka koji se kreće po pješačkom prijelazu P1 njih 51% kreće prema ili od tramvajske stanice. Također, P1 opterećen je najvećim brojem biciklista u iznosu 43% od ukupnog broja biciklista koji prolaze raskrižjem te romobilista u iznosu 56% od ukupnog broja romobilista koji prolaze raskrižjem. Najmanje opterećen pješački prijelaz je P3 sa 4% pješaka i 16% biciklista od ukupnog broja pješaka i biciklista koji prolaze raskrižjem, dok se najmanje romobilista, točnije samo jedan, kreće po pješačkom prijelazu P2.

Rezultati brojanja pješaka, biciklista i romobilista u popodnevnom vršnom periodu prikazani su na slici 25. Na isti način kao i za jutarnji vršni period, izrađen je grafički prikaz s ukupnim brojem pješaka, biciklista i romobilista koji prolaze raskrižjem tijekom popodnevno vršnog perioda od 15:00 h do 17:00 h. Grafički prikaz vidljiv je na slici 26.

| PJEŠAČKI PRIJELAZ | SMJER     | SAT       | INTERVAL  | PJEŠAČI | BICIKLISTI | ROMOBILISTI | PJEŠAČKI PRIJELAZ | SMJER     | SAT       | INTERVAL  | PJEŠAČI | BICIKLISTI | ROMOBILISTI |    |   |   |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|---------|------------|-------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|---------|------------|-------------|----|---|---|
| P1                | S-J       | 15:00     | 0-15 min  | 53      | 5          | 3           | P2                | Z-I       | 15:00     | 0-15 min  | 8       | 3          | 0           |    |   |   |
|                   |           |           | 16-30 min | 52      | 12         | 1           |                   |           |           | 16-30 min | 7       | 1          | 0           |    |   |   |
|                   |           | -         | 31-45 min | 73      | 5          | 0           |                   |           | 16:00     | 31-45 min | 5       | 0          | 0           |    |   |   |
|                   |           | 16:00     | 46-60 min | 50      | 12         | 3           |                   |           | 16:00     | 46-60 min | 10      | 1          | 0           |    |   |   |
|                   |           | ukupno    | 228       | 34      | 7          | ukupno      |                   |           | 30        | 5         | 0       |            |             |    |   |   |
|                   |           | 16:00     | 0-15 min  | 79      | 12         | 0           |                   |           | 17:00     | 0-15 min  | 10      | 2          | 1           |    |   |   |
|                   | 16:00     | 16-30 min | 61        | 8       | 0          | 16:00       |                   | 16-30 min | 7         | 2         | 0       |            |             |    |   |   |
|                   |           |           | 31-45 min | 54      | 13         | 3           |                   | 16:00     | 31-45 min | 8         | 4       | 1          |             |    |   |   |
|                   |           | -         | 46-60 min | 67      | 7          | 2           |                   | 17:00     | 46-60 min | 11        | 2       | 0          |             |    |   |   |
|                   |           | ukupno    | 261       | 40      | 5          | ukupno      |                   | 36        | 10        | 2         |         |            |             |    |   |   |
|                   |           | P1        | J-S       | 15:00   | 0-15 min   | 43          |                   | 2         | 2         | P2        | I-Z     | 15:00      | 0-15 min    | 5  | 4 | 1 |
|                   |           |           |           |         | 16-30 min  | 56          |                   | 8         | 2         |           |         |            | 16-30 min   | 8  | 5 | 2 |
| -                 | 31-45 min |           |           | 43      | 6          | 2           | 16:00             | 31-45 min | 13        |           |         | 2          | 0           |    |   |   |
| 16:00             | 46-60 min |           |           | 57      | 5          | 0           | 16:00             | 46-60 min | 7         |           |         | 4          | 0           |    |   |   |
| ukupno            | 199       |           |           | 21      | 6          | ukupno      | 33                | 15        | 3         |           |         |            |             |    |   |   |
| 16:00             | 0-15 min  |           |           | 46      | 17         | 0           | 17:00             | 0-15 min  | 9         |           |         | 3          | 0           |    |   |   |
| 16:00             | 16-30 min |           | 47        | 10      | 2          | 16:00       | 16-30 min         | 10        | 5         |           | 0       |            |             |    |   |   |
|                   |           |           | 31-45 min | 56      | 12         | 2           | 16:00             | 31-45 min | 7         |           | 6       | 2          |             |    |   |   |
|                   | -         |           | 46-60 min | 42      | 7          | 0           | 17:00             | 46-60 min | 9         |           | 4       | 1          |             |    |   |   |
|                   | ukupno    |           | 191       | 46      | 4          | ukupno      | 35                | 18        | 3         |           |         |            |             |    |   |   |
|                   | P3        |           | S-J       | 15:00   | 0-15 min   | 4           | 1                 | 3         | P4        |           | Z-I     | 15:00      | 0-15 min    | 25 | 1 | 0 |
|                   |           |           |           |         | 16-30 min  | 5           | 4                 | 0         |           |           |         |            | 16-30 min   | 23 | 3 | 1 |
| -                 |           | 31-45 min |           | 1       | 4          | 1           | 16:00             | 31-45 min |           | 33        |         | 4          | 0           |    |   |   |
| 16:00             |           | 46-60 min |           | 3       | 2          | 1           | 16:00             | 46-60 min |           | 31        |         | 0          | 0           |    |   |   |
| ukupno            |           | 13        |           | 11      | 5          | ukupno      | 112               | 8         |           | 1         |         |            |             |    |   |   |
| 16:00             |           | 0-15 min  |           | 8       | 6          | 1           | 17:00             | 0-15 min  |           | 33        |         | 5          | 0           |    |   |   |
| 16:00             |           | 16-30 min | 4         | 4       | 0          | 16:00       | 16-30 min         | 35        |           | 8         | 0       |            |             |    |   |   |
|                   |           |           | 31-45 min | 6       | 3          | 2           | 16:00             | 31-45 min |           | 38        | 4       | 1          |             |    |   |   |
|                   |           | -         | 46-60 min | 9       | 5          | 2           | 17:00             | 46-60 min |           | 31        | 3       | 0          |             |    |   |   |
|                   |           | ukupno    | 27        | 18      | 5          | ukupno      | 137               | 20        |           | 1         |         |            |             |    |   |   |
|                   |           | P3        | J-S       | 15:00   | 0-15 min   | 4           | 1                 | 2         |           | P4        | I-Z     | 15:00      | 0-15 min    | 31 | 7 | 0 |
|                   |           |           |           |         | 16-30 min  | 14          | 3                 | 0         |           |           |         |            | 16-30 min   | 19 | 5 | 1 |
| -                 | 31-45 min |           |           | 10      | 7          | 0           | 16:00             | 31-45 min | 29        |           |         | 2          | 0           |    |   |   |
| 16:00             | 46-60 min |           |           | 12      | 2          | 1           | 16:00             | 46-60 min | 21        |           |         | 13         | 1           |    |   |   |
| ukupno            | 40        |           |           | 13      | 3          | ukupno      | 100               | 27        | 2         |           |         |            |             |    |   |   |
| 16:00             | 0-15 min  |           |           | 7       | 0          | 2           | 17:00             | 0-15 min  | 37        |           |         | 6          | 1           |    |   |   |
| 16:00             | 16-30 min |           | 10        | 5       | 3          | 16:00       | 16-30 min         | 32        | 7         |           | 0       |            |             |    |   |   |
|                   |           |           | 31-45 min | 13      | 4          | 1           | 16:00             | 31-45 min | 29        |           | 9       | 2          |             |    |   |   |
|                   | -         |           | 46-60 min | 9       | 6          | 0           | 17:00             | 46-60 min | 36        |           | 6       | 0          |             |    |   |   |
|                   | ukupno    |           | 39        | 15      | 6          | ukupno      | 134               | 28        | 3         |           |         |            |             |    |   |   |

Slika 25. Ukupan broj pješaka, biciklista i romobilista tijekom popodnevog vršnog perioda od 15:00 h do 17:00 h



Slika 26. Grafički prikaz prometnog opterećenja nemotoriziranih sudionika u prometu tijekom popodnevog vršnog perioda od 15:00 h do 17:00 h



Distribucija nemotoriziranih sudionika po pješačkim prijelazima tijekom popodnevnog vršnog perioda slična je kao i kod jutarnjeg vršnog perioda. Najopterećeniji je pješački prijelaz P1 i to njegov sjeverni dio na kojem se od ukupnog broja pješaka koji se kreće po pješačkom prijelazu P1 njih 44% kreće u smjeru ili od smjera tramvajske stanice. Najveći broj biciklista u iznosu 43% od ukupnog broja biciklista te najveći broj romobilista u iznosu od 39% od ukupnog broja romobilista, opterećuje pješački prijelaz P1. Za razliku od jutarnjeg vršnog perioda, najmanje opterećen pješački prijelaz je P2 s najmanjim brojem biciklista u iznosu 15% od ukupnog broja biciklista, dok je najmanje romobilista na pješačkom prijelazu P4 u iznosu 13% od ukupnog broja romobilista, a najmanje pješaka opterećuje P3 u iznosu 7% od ukupnog broja pješaka koji prolaze raskrižjem. Popodnevni vršni period opterećeniji je u odnosu na jutarnji vršni period. Tijekom popodnevnog vršnog perioda raskrižjem prođe 36% više nemotoriziranih sudionika nego u jutarnjem vršnom periodu.

### **3.5. Analiza javnog gradskog prijevoza**

Javni gradski prijevoz jedna je od najvažnijih funkcija gradova jer omogućava mobilnost gradskog stanovništva. Za razliku od privatnog prijevoza, javni prijevoz podrazumijeva zajednički prijevoz putnika i usluga koji je u svakom trenutku dostupan za korištenje. Zadatak javnog gradskog prijevoza je povezivanje udaljenih prostora i raznih sadržaja prevozeći putnike prema zadanom voznom redu.

Javni gradski prijevoz Grada Zagreba sastoji se od mreže autobusnih i tramvajskih linija, taksija i prigradskih vlakova koji je u nadležnosti Zagrebačkog holdinga, odnosno podružnice Zagrebački elektronički tramvaj (ZET), koja upravlja tramvajskim i autobusnim prometom. Tijekom godine uglavnom se primjenjuju dva vozna reda, redovan i ljetni. Red vožnje također se razlikuje prema tome je li radni dan, subota ili nedjelja i blagdan [22].

U zoni obuhvata predmetnog raskrižja Selske i Horvaćanske ceste prometuju dvije tramvajske linije i jedna autobusna linija, a to su:

- Tramvajska linija 5 Prečko – Park Maksimir,
- Tramvajska linija 17 Prečko – Borongaj i
- Autobusna linija 109 Črnomerec – Dugave.

U Gradu Zagrebu trenutno prometuje 6 tipova tramvaja na cijeloj tramvajskoj mreži grada. Na liniji 17 prometuje tip tramvaja TMK 2200 kao predstavnik modernog trenda tramvajskog vozila u gradu Zagrebu koji uvelike poboljšava promet zbog svoje brzine i niskopodne konstrukcije koja olakšava brzi ulazak i izlazak putnika iz vozila. Njihova duljina iznosi 32 m, a širina 2,3 m. Imaju šestora vrata te kapacitet od 41 sjedećih mjesta i 161 stajaćih mjesta. Na liniji 5 osim tipa TMK 2200 prometuje i stariji tip tramvaja TMK 2100. Njihova duljina iznosi 27,3 m, a širina 2,2 m. Imaju petora vrata te kapacitet od 45 sjedećih

mjesta i 119 stajaćih mjesta. Vozni park gradskih autobusa u Gradu Zagrebu sastoji se od marki vozila MAN, Mercedes Benz i Irisbus Iveco. Na liniji 109 prometuje zglobni autobus koji ima četvora vrata duljine 18 m i širine 2,55 m. kapacitet mu iznosi oko 140 mjesta od kojih je 41 sjedećih.

U daljnjem tekstu prikazana je detaljna analiza linija javnog gradskog prijevoza u zoni obuhvata raskrižja koja je izvršena na temelju prikupljenih podataka. Prikupljanje podataka izvršeno je u karakterističnom danu u četvrtak 27. travnja 2023. godine u vrijeme jutarnjeg vršnog perioda od 7:00 h do 9:00 h te u vrijeme popodnevnog vršnog perioda od 15:00 h do 17:00 h. Podaci su prikupljeni na način da je na svim stanicama javnog gradskog prijevoza u području obuhvata zabilježeno vrijeme dolaska pojedinog vozila na stanicu, broj putnika koji je izašao i ušao u vozilo te na temelju vizualnog opažanja zabilježen je ukupan broj putnika koji se nalazi u vozilu, odnosno njegov kapacitet.

Na slici 27 prikazani su prikupljeni podaci za tramvajski promet, odnosno linije 5 i 17 u oba smjera tijekom jutarnjeg i popodnevnog vršnog perioda. Tijekom jutarnjeg vršnog perioda iz smjera jug – zapad prošlo je 19% manje vozila nego iz smjeru zapad – jug, dok je tijekom popodnevnog vršnog perioda u oba smjera prošao jednak broj vozila. Frekvencija dolazaka vozila na pojedinu stanicu iznosi 10 do 14 vozila u sat vremena. Vozila na pojedinu stanicu dolaze u intervalu od 1 do 10 min, no taj interval često je veći, posebice u smjeru jug – zapad zbog prometnih zagušenja u gradu kroz koje prolaze linije.

| Smjer zapad - jug |        |      |       |           | Smjer jug - zapad |        |      |       |           |
|-------------------|--------|------|-------|-----------|-------------------|--------|------|-------|-----------|
| VRIJEME           | LINIJA | ULAZ | IZLAZ | KAPACITET | VRIJEME           | LINIJA | ULAZ | IZLAZ | KAPACITET |
| 7:02              | 5      | 10   | 6     | 120       | 7:00              | 5      | 2    | 0     | 20        |
| 7:04              | 17     | 6    | 0     | 70        | 7:04              | 17     | 3    | 2     | 30        |
| 7:09              | 17     | 6    | 8     | 115       | 7:11              | 5      | 2    | 0     | 30        |
| 7:13              | 17     | 2    | 3     | 100       | 7:14              | 17     | 1    | 1     | 15        |
| 7:15              | 5      | 8    | 2     | 90        | 7:16              | 5      | 3    | 1     | 11        |
| 7:23              | 5      | 15   | 11    | 190       | 7:22              | 17     | 2    | 0     | 35        |
| 7:25              | 17     | 10   | 4     | 120       | 7:32              | 17     | 9    | 3     | 60        |
| 7:33              | 5      | 11   | 12    | 130       | 7:34              | 5      | 1    | 1     | 20        |
| 7:41              | 5      | 9    | 12    | 130       | 7:37              | 17     | 4    | 7     | 25        |
| 7:42              | 17     | 5    | 7     | 110       | 7:42              | 17     | 3    | 18    | 30        |
| 7:48              | 5      | 5    | 2     | 18        | 7:52              | 17     | 3    | 1     | 30        |
| 7:51              | 17     | 12   | 9     | 125       | 7:58              | 5      | 12   | 1     | 25        |
| 7:53              | 5      | 8    | 2     | 70        | 8:02              | 17     | 5    | 2     | 20        |
| 7:54              | 17     | 2    | 5     | 80        | 8:09              | 5      | 14   | 1     | 40        |
| 8:01              | 5      | 8    | 11    | 115       | 8:14              | 17     | 1    | 2     | 19        |
| 8:02              | 17     | 4    | 3     | 100       | 8:21              | 17     | 18   | 0     | 40        |
| 8:12              | 17     | 10   | 7     | 145       | 8:25              | 5      | 5    | 0     | 15        |
| 8:14              | 5      | 8    | 6     | 70        | 8:25              | 17     | 0    | 0     | 20        |
| 8:17              | 17     | 4    | 2     | 60        | 8:33              | 17     | 8    | 0     | 30        |
| 8:24              | 17     | 7    | 7     | 100       | 8:37              | 17     | 6    | 0     | 20        |
| 8:33              | 5      | 13   | 6     | 110       | 8:42              | 5      | 7    | 1     | 25        |
| 8:34              | 17     | 2    | 1     | 50        | 8:52              | 5      | 8    | 2     | 50        |
| 8:41              | 5      | 9    | 6     | 70        |                   |        |      |       |           |
| 8:43              | 17     | 4    | 1     | 50        |                   |        |      |       |           |
| 8:50              | 17     | 2    | 7     | 80        |                   |        |      |       |           |
| 8:51              | 5      | 11   | 3     | 60        |                   |        |      |       |           |
| 8:55              | 17     | 4    | 4     | 60        |                   |        |      |       |           |
|                   |        |      |       |           |                   |        |      |       |           |
|                   |        |      |       |           |                   |        |      |       |           |
|                   |        |      |       |           |                   |        |      |       |           |
| 15:01             | 5      | 4    | 15    | 40        | 15:00             | 5      | 1    | 9     | 15        |
| 15:07             | 17     | 7    | 7     | 50        | 15:06             | 17     | 20   | 2     | 70        |
| 15:11             | 17     | 8    | 6     | 70        | 15:15             | 17     | 17   | 14    | 75        |
| 15:13             | 5      | 5    | 1     | 35        | 15:17             | 5      | 1    | 4     | 50        |
| 15:18             | 17     | 6    | 9     | 50        | 15:23             | 5      | 14   | 9     | 65        |
| 15:25             | 5      | 3    | 2     | 35        | 15:24             | 17     | 0    | 9     | 45        |
| 15:32             | 5      | 4    | 10    | 65        | 15:34             | 17     | 18   | 9     | 100       |
| 15:35             | 17     | 0    | 6     | 45        | 15:40             | 17     | 16   | 9     | 110       |
| 15:42             | 5      | 4    | 9     | 35        | 15:41             | 17     | 2    | 9     | 50        |
| 15:43             | 17     | 1    | 1     | 30        | 15:50             | 5      | 15   | 12    | 130       |
| 15:52             | 17     | 7    | 9     | 70        | 15:52             | 17     | 6    | 5     | 90        |
| 15:55             | 5      | 2    | 1     | 15        | 15:56             | 5      | 3    | 5     | 60        |
| 16:03             | 17     | 4    | 4     | 50        | 15:58             | 17     | 4    | 9     | 40        |
| 16:09             | 5      | 2    | 3     | 30        | 16:04             | 5      | 13   | 6     | 105       |
| 16:10             | 17     | 2    | 2     | 35        | 16:11             | 17     | 21   | 14    | 135       |
| 16:13             | 17     | 2    | 3     | 20        | 16:21             | 17     | 27   | 15    | 135       |
| 16:22             | 17     | 7    | 6     | 60        | 16:28             | 5      | 11   | 2     | 55        |
| 16:24             | 5      | 5    | 2     | 45        | 16:28             | 17     | 0    | 5     | 70        |
| 16:35             | 17     | 6    | 9     | 70        | 16:31             | 5      | 3    | 17    | 75        |
| 16:37             | 5      | 3    | 6     | 50        | 16:44             | 5      | 25   | 6     | 85        |
| 16:38             | 17     | 0    | 4     | 35        | 16:46             | 17     | 17   | 4     | 100       |
| 16:44             | 17     | 3    | 6     | 60        | 16:47             | 17     | 10   | 7     | 55        |
| 16:50             | 5      | 14   | 10    | 85        | 16:49             | 17     | 7    | 8     | 95        |
| 16:55             | 17     | 3    | 3     | 35        | 16:52             | 5      | 14   | 10    | 85        |

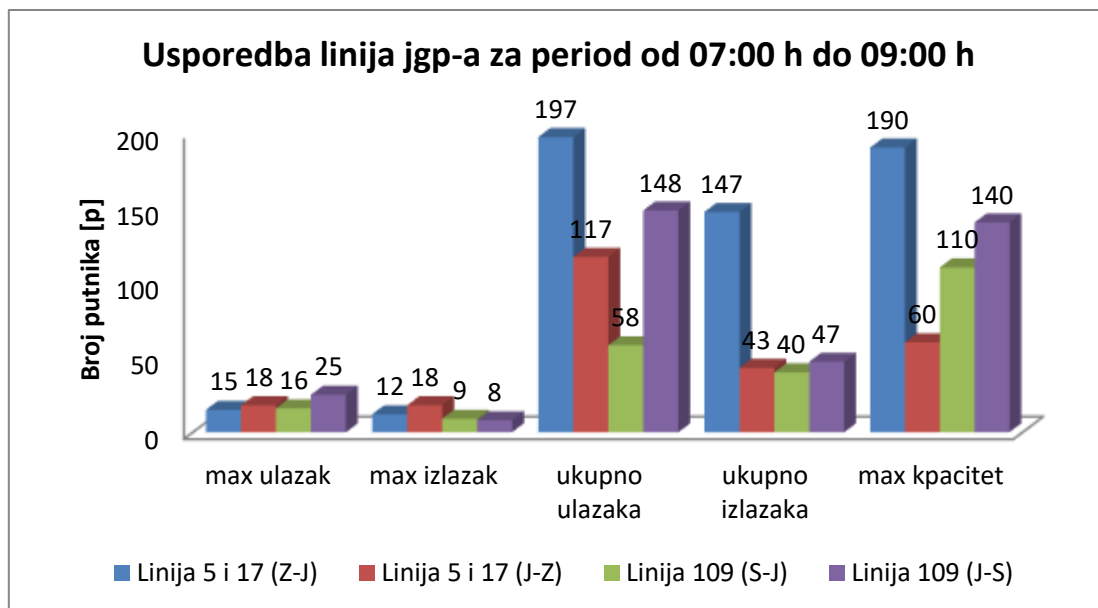
Slika 27. Prikupljeni podaci na tramvajskim stanicama

Na slici 28 prikazani su prikupljeni podaci za autobusni promet, odnosno liniju 109 u oba smjera. Broj vozila koji dolazi na stanice tokom jutarnjeg i popodnevnog vršnog perioda podjednak je u oba smjera. Frekvencija dolazaka vozila na pojedinu stanicu iznosi 6 do 7 vozila u sat vremena. U javnom gradskom autobusnom prijevozu posebice je izraženo odstupanje od voznog reda zbog čestih prometnih zagušenja pa vozila kasne i dolaze na stanicu jedan iza drugoga.

| linija 109 smjer sjever - jug |      |       |           | linija 109 smjer jug - sjever |      |       |           |
|-------------------------------|------|-------|-----------|-------------------------------|------|-------|-----------|
| VRIJEME                       | ULAZ | IZLAZ | KAPACITET | VRIJEME                       | ULAZ | IZLAZ | KAPACITET |
| 7:00                          | 7    | 3     | 110       | 7:00                          | 10   | 2     | 60        |
| 7:03                          | 0    | 0     | 60        | 7:08                          | 13   | 1     | 105       |
| 7:14                          | 9    | 2     | 100       | 7:14                          | 6    | 2     | 60        |
| 7:22                          | 6    | 3     | 50        | 7:19                          | 7    | 1     | 70        |
| 7:34                          | 16   | 3     | 75        | 7:27                          | 11   | 7     | 120       |
| 7:40                          | 3    | 9     | 45        | 7:51                          | 25   | 6     | 140       |
| 7:51                          | 2    | 6     | 40        | 7:53                          | 9    | 1     | 110       |
| 8:00                          | 2    | 0     | 30        | 8:03                          | 22   | 8     | 105       |
| 8:07                          | 3    | 4     | 20        | 8:15                          | 10   | 6     | 75        |
| 8:17                          | 2    | 1     | 20        | 8:23                          | 6    | 2     | 70        |
| 8:35                          | 6    | 5     | 60        | 8:24                          | 0    | 0     | 15        |
| 8:47                          | 1    | 2     | 40        | 8:37                          | 14   | 3     | 110       |
| 8:59                          | 1    | 2     | 30        | 8:52                          | 7    | 7     | 60        |
|                               |      |       |           | 8:57                          | 8    | 1     | 40        |
|                               |      |       |           |                               |      |       |           |
| 15:04                         | 3    | 15    | 45        | 15:04                         | 9    | 5     | 45        |
| 15:13                         | 4    | 6     | 80        | 15:12                         | 7    | 8     | 50        |
| 15:27                         | 5    | 8     | 105       | 15:20                         | 8    | 11    | 80        |
| 15:44                         | 8    | 4     | 60        | 15:33                         | 7    | 9     | 120       |
| 16:00                         | 0    | 13    | 20        | 15:37                         | 6    | 5     | 40        |
| 16:00                         | 0    | 0     | 25        | 15:46                         | 5    | 4     | 45        |
| 16:07                         | 0    | 4     | 40        | 16:04                         | 6    | 7     | 140       |
| 16:18                         | 1    | 4     | 35        | 16:05                         | 0    | 2     | 80        |
| 16:24                         | 2    | 2     | 15        | 16:17                         | 5    | 15    | 140       |
| 16:29                         | 1    | 3     | 20        | 16:41                         | 16   | 30    | 140       |
| 16:37                         | 1    | 7     | 35        | 16:47                         | 10   | 20    | 90        |
| 16:47                         | 3    | 12    | 40        | 16:51                         | 5    | 7     | 70        |

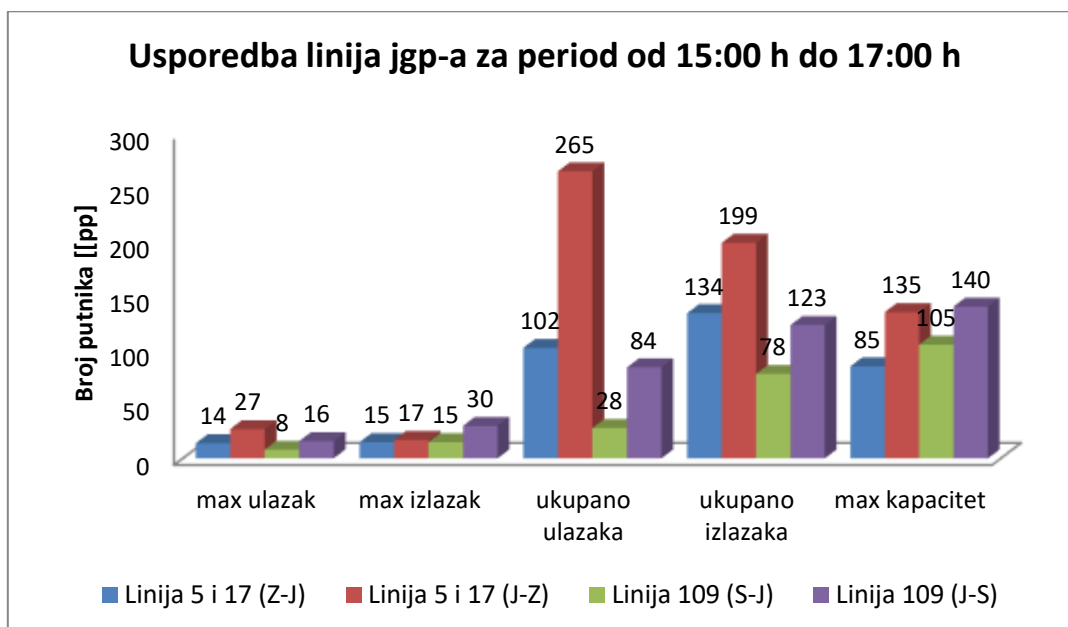
Slika 28. Prikupljeni podaci na autobusnim stanicama

Grafikonom 1 prikazana je usporedba linija javnog gradskog prijevoza tijekom jutarnjeg vršnog perioda. Za svaku liniju prikazan je najveći broj putnika koji je ušao i izašao u vozilo na pojedinoj stanici, ukupan broj ulazaka i izlazaka tijekom jutarnjeg vršnog perioda te najveći broj putnika koji se nalazio u vozilu na pojedinoj liniji. Najviše putnika prevezeno je na tramvajskoj liniji 5 i 17 u smjeru zapad – jug što pokazuje podatak da je ukupan broj ulazaka, ukupan broj izlazaka i maksimalni kapacitet najveći na toj liniji. Najmanje putnika izmijenilo se na liniji 109 u smjeru sjever – jug, dok je na liniji 109 u smjeru Črnomerca najviše putnika ušlo u vozilo te je popunjenost svih vozila na liniji najveća.



Grafikon 1. Usporedba linija javnog gradskog prijevoza tijekom jutarnjeg vršnog perioda

Grafikonom 2 prikazana je usporedba linija javnog gradskog prijevoza tijekom popodnevno vršnog perioda na isti način kao kod jutarnjeg vršnog perioda. Za razliku od jutarnjeg vršnog perioda, tijekom popodnevno vršnog perioda najviše putnika prevezeno je na tramvajskoj liniji 5 i 17 u smjeru jug – zapad, a najmanje na liniji 109 u smjeru sjever – jug. Popunjenost vozila najveća je kao i kod jutarnjeg vršnog perioda na liniji 109 u smjeru jug – sjever što potvrđuje podatak da je u tri vozila koja su stala na stanici kapacitet bio maksimalan te svi putnici koji su čekali na stanici nisu mogli ući u vozilo.



Grafikon 2. Usporedba linija javnog gradskog prijevoza tijekom popodnevno vršnog perioda

### 3.6. Analiza sigurnosti odvijanja prometa

Tehnološki napredak u prometnom sustavu, koji se očituje povećanjem stupnja motorizacije, brojem registriranih vozila te brojem vozača, nedvojbeno za sobom nosi i štetne učinke koji imaju negativne posljedice na sigurnost prometa. Te negativne posljedice su prometna zagušenja i povećanje broja prometnih nesreća.

Prometna nesreća može se definirati kao događaj na cesti, izazvan kršenjem prometnih propisa, u kojem je sudjelovalo najmanje jedno vozilo u pokretu i u kojem je najmanje jedna osoba ozlijeđena ili poginula ili u roku od 30 dana nakon prometne nesreće preminula od posljedica te prometne nesreće ili je izazvana materijalna šteta. Nije prometna nesreća kada je radno vozilo, radni stroj, motokultivator, traktor ili zaprežno vozilo krećući se po nerazvrstanoj cesti ili pri obavljanju radova u pokretu sletjelo s nerazvrstane ceste ili se prevrnulo ili udarilo u neku prirodnu prepreku, a pritom ne sudjeluje drugo vozilo ili pješak i kada tim događajem drugoj osobi nije prouzročena šteta [19].

Cestovni promet vrlo je složen i dinamički sustav koji se sa stajališta sigurnosti sastoji od niza čimbenika sigurnosti, a najznačajniji podsustavi su čovjek, vozilo i cesta. Čovjek u prometu svojim osjetilima prima razne informacije i obavijesti te na temelju toga donosi određene odluke, usmjerava i određuje način upravljanja vozilom. Vozilo utječe na sigurnost prometa svojom konstrukcijskom i eksploatacijskim značajkama, stoga se suvremena vozila dizajniraju tako da se u što većoj mjeri smanji vjerojatnost nastanka prometne nesreće. Čimbenici sigurnosti prometa u podsustavu cesta su: trasa ceste, tehnički elementi ceste, stanje kolnika, oprema ceste, rasvjeta ceste, križanja, utjecaj bočne zapreke i održavanje ceste. Uzrok nesreća najčešće je ljudski čimbenik, ali vrlo često tome doprinosi i kvaliteta prometnica. Kako bi se mogla dati trajna rješenja za povećanje sigurnosti prometa potrebno je sveobuhvatno sagledavanje svih navedenih čimbenika [15].

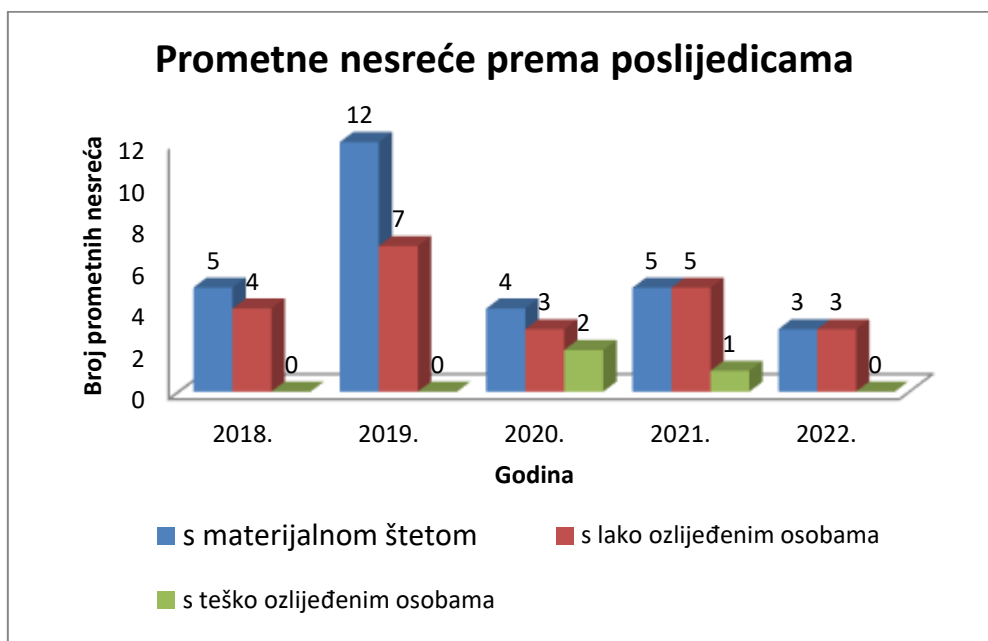
Predmetno raskrižje Selske i Horaćanske ceste spada pod upravu VII. policijske postaje Zagreb koji u svojem djelokrugu rada pokrivaju područje gradskih četvrti Trešnjevka jug i Trešnjevka sjever te oni provode očevide u slučaju prometnih nesreća. Podatke o prometnim nesrećama koji će se analizirati u daljnjem tekstu ustupio je Zavod za prometno – tehnička vještačenja Fakulteta prometnih znanosti.

U tablici 3 prikazani su podaci o broju prometnih nesreća prema posljedicama u razdoblju od 2018. do 2022. godine koje su se dogodile na području predmetnog raskrižja. Prometne nesreće prema posljedicama dijele se na: prometne nesreće s materijalnom štetom, prometne nesreće s lakše ozlijeđenim osobama, prometne nesreće s teže ozlijeđenim osobama te prometne nesreće s poginulim osobama. Na predmetnom raskrižju u analiziranom razdoblju nije se dogodila ni jedna prometna nesreća s poginulim osobama, stoga u tablici nije upisana navedena posljedica. Ukupno se na predmetnom raskrižju dogodilo 54 prometne nesreće u proteklih 5 godina.

Tablica 3. Broj prometnih nesreća prema posljedicama u razdoblju od 2018. do 2022. godine

| BROJ PROMETNIH NESREĆA      | 2018.    | 2019.     | 2020.    | 2021.     | 2022.    | UKUPNO    |
|-----------------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| s materijalnom štetom       | 5        | 12        | 4        | 5         | 3        | 29        |
| s lako ozlijeđenim osobama  | 4        | 7         | 3        | 5         | 3        | 22        |
| s teško ozlijeđenim osobama | 0        | 0         | 2        | 1         | 0        | 3         |
| <b>UKUPNO</b>               | <b>9</b> | <b>19</b> | <b>9</b> | <b>11</b> | <b>6</b> | <b>54</b> |

Izvor: [23]



Grafikon 3. Prikaz prometnih nesreća prema posljedicama u razdoblju od 2018. do 2022. godine

Izvor: [23]

Na grafikonu 3 grafički su prikazani podaci dani tablicom 3. Broj prometnih nesreća u analiziranom razdoblju tokom godina varira. Najveći broj prometnih nesreća dogodio se 2019. godine, a najmanji 2022. godine. Od ukupnog broja prometnih nesreća, najviše njih (54%) imalo je za posljedicu materijalnu štetu, a najmanje njih (5%) imalo je za posljedicu teško ozlijeđene osobe. 41% prometnih nesreća za posljedicu je imalo lako ozlijeđene osobe.

Osim prema posljedicama, prometne nesreće mogu se podijeliti i prema vrsti. Tablicom 4 prikazana je raspodjela 54 prometne nesreće koje su se dogodile na području predmetnog raskrižja u razdoblju od 2018. do 2022. godine.

Tablica 4. Broj prometnih nesreća prema vrsti u razdoblju od 2018. do 2022. godine

| VRSTE PROMETNIH NESREĆA        | BROJ PROMETNIH NESREĆA |
|--------------------------------|------------------------|
| Sudari vozila u pokretu:       |                        |
| iz suprotnih smjerova          | 16                     |
| bočni                          | 15                     |
| pri usporednoj vožnji          | 3                      |
| pri vožnji u slijedu           | 9                      |
| pri vožnji unazad              | 0                      |
| Udar vozila u parkirano vozilo | 1                      |
| Udar vozila u objekt           | 0                      |
| Slijetanje vozila s ceste      | 0                      |
| Nalet na biciklistu            | 6                      |
| Nalet na pješaka               | 3                      |
| Nalet na motociklistu          | 0                      |
| Sudar s vlakom                 | 0                      |
| Nalet na životinju             | 0                      |
| Ostalo                         | 1                      |

Izvor: [23]

Najveći broj prometnih nesreća (80%) dogodio se između vozila koja su bila u pokretu. Sudari vozila u pokretu dijele se na: sudare iz suprotnih smjerova, bočne sudare, sudare pri usporednoj vožnji, sudare pri vožnji u slijedu te sudare pri vožnji unazad. Od ukupnog broja sudara između vozila koja su bila u pokretu, najveći broj pripada sudarima iz suprotnih smjerova (37%) i bočnim sudarima (35%). Udar vozila u parkirano vozilo dogodilo se jednom u proteklih pet godina, dok se udar vozila u objekt, slijetanje vozila s ceste, nalet na motociklistu, sudar s vlakom i nalet na životinju nije dogodio ni jednom.

Pješaci i biciklisti, kao najranjiviji sudionici u prometu, trpe najveće posljedice prilikom nastanka prometnih nesreća što potvrđuje podatak da su u svim prometnim nesrećama s teško ozlijeđenim osobama na području predmetnog raskrižja sudjelovali pješaci ili biciklisti. Vozila prilikom prolaska kroz raskrižje posebnu pažnju moraju posvetiti nemotoriziranim sudionicima u prometu, no zbog velike količine pješaka i biciklista koji svakodnevno prolaze kroz raskrižje, u proteklih pet godina dogodilo se 6 prometnih nesreća (11%) u kojima je vozilo naletjelo na biciklistu i 3 prometne nesreće (6%) u kojima je vozilo naletjelo na pješaka.

Svaka prometna nesreća nastala je kombinacijom različitih čimbenika te je specifična, stoga uzroci nastanka mogu biti različiti. Najčešći uzrok nastanka prometne nesreće je greška vozača. Na području predmetnog raskrižja najveći postotak prometnih nesreća (41%) nastao je zbog nepoštivanja prednosti prolaska. Ostali uzroci nastanka prometnih nesreća na području predmetnog raskrižja su: vožnja na nedovoljnoj udaljenosti, nepropisno prestrojavanje, nepropisno uključivanje u promet, nepoštivanje svjetlosnog znaka, brzina neprimjerena uvjetima, nepropisno skretanje i zakašnjelo uočavanje opasnosti [23].



## 4. IDEJNO PROMETNO RJEŠENJE RASKRIŽJA

Na temelju analize postojećeg stanja koja je provedena u prethodnom poglavlju, dobiven je uvid u trenutačno stanje na području obuhvata predmetnog raskrižja Selske i Horvaćanske ceste. Podaci prikupljeni brojanjem prometa pokazuju da su najopterećeniji smjerovi kretanja vozila na relaciji jug – zapad i jug – sjever što se treba uzeti u obzir kako bi se omogućio što bolji protok vozila na tim relacijama. Na sjevernom privozu u periodu popodnevnog vršnog opterećenja primijećeno je stvaranje duljeg repa čekanja. Na području raskrižja nalazi se sva potrebna vertikalna signalizacija, ali problem stvara stanje kolnika koje je puno mrežastih pukotina i rupa koje mogu oštetiti vozila i smanjiti mogućnost prijanjanja površine gume i kolnika.

Na području cijele Selske ceste i cijele Horvaćanske ceste presijeca se velik broj prometnih tokova, odnosno postoji puno raskrižja u nizu koja utječu jedno na drugo, a predmetno raskrižje Selske i Horvaćanske ceste dio je te mreže raskrižja, stoga se ono ne može promatrati potpuno izolirano. Zbog toga je prilikom definiranja prijedloga rješenja potrebno uzeti u obzir šire područje, odnosno utjecaj susjednih raskrižja te odvijanje prometnih tokova na tim raskrižjima.

Spomenuti rep čekanja na sjevernom privozu nastaje zbog utjecaja semaforiziranog raskrižja Selske ceste i Jadranskog mosta koje se nalazi sa južne strane predmetnog raskrižja. Zbog velike količine vozila koja skreću desno prema Jadranskom mostu stvara se rep čekanja koji se proteže duž cijelog južnog privoza pa vozila na sjevernog privozu koja zadržavaju smjer kretanja prema jugu tokom trajanja zelenog svijetla ne mogu proći raskrižjem.

Velik dio prometne potražnje na području raskrižja čine nemotorizirani sudionici u prometu. Jedan od glavnih razloga povećanog broja pješaka u zoni obuhvata raskrižja je postojanost javnog gradskog prijevoza te tramvajskih stanica koje se nalaze na samom raskrižju. Javni gradski prijevoz osnova je održivog razvitka grada te pruža brojne prednosti u vidu smanjenja broja motornih vozila, a samim time i zagušenja, smanjenja onečišćenja okoliša, podizanje kvalitete ljudskog života i sl. Poticanje korištenja i razvoj javnog gradskog prijevoza jedan od glavnih ciljeva prometnog sustava.

Zbog navedenih razloga, u nastavku poglavlja primijenit će se dva pristupa problematici rješavanja problema u vidu idejnog prometnog rješenja koje će se detaljno opisati u nastavku. Prvo rješenje nastoji prilagoditi postojeće okruženje prometnom opterećenju u vidu građevinskih zahvata na području raskrižja koji će smanjiti repove čekanja. Drugo rješenje nastoji upravljati prometnim tokovima u svrhu očuvanja prostora, odnosno odnosi se na adaptivno upravljanje prometom uz davanje prednosti prolaska javnom gradskom prijevozu kako bi se potaknulo ljude na korištenje takvih oblika prijevoza čime bi se u budućnosti smanjio broj motornih vozila. Također, ovaj pristup uključuje analizu utjecaja prednosti prolaska javnog gradskog prijevoza na cestovne prometne tokove u

raskrižju kako bi se došlo do saznanja u kolikoj mjeri ovakav pristup problematici smanjuje repove čekanja u odnosu na građevinske zahvate.

#### **4.1. Građevinski zahvati**

Veliki broj vozila na području raskrižja Selske i Horvaćanske ceste kreće se sa zapadnog privoza u smjeru juga te sa sjevernog privoza u smjeru juga prema Jadranskom mostu. Na susjednom raskrižju Selske ceste i Jadranskog mosta zbog velike prometne potražnje iz smjera predmetnog raskrižja i uključivanja vozila s Jarunske ulice na Selsku cestu stvara se rep čekanja koji se proteže sve do predmetnog raskrižja te ometa prolaz vozila sa sjevernog privoza na kojem se zatim počinje stvarati dulji rep čekanja.

Kao idejno prometno rješenje u vidu građevinskih zahvata predlaže se dodavanje trake na južnom privozu Selske ceste koja se proteže do susjednog raskrižja u smjeru Jadranskog mosta te po cijeloj duljini mosta. Širina prometne trake iznosi 3,25 m. Dodatna traka omogućila bi uspostavu odgovarajuće propusne moći i razine usluge raskrižja te bi se smanjilo vrijeme kašnjenja.

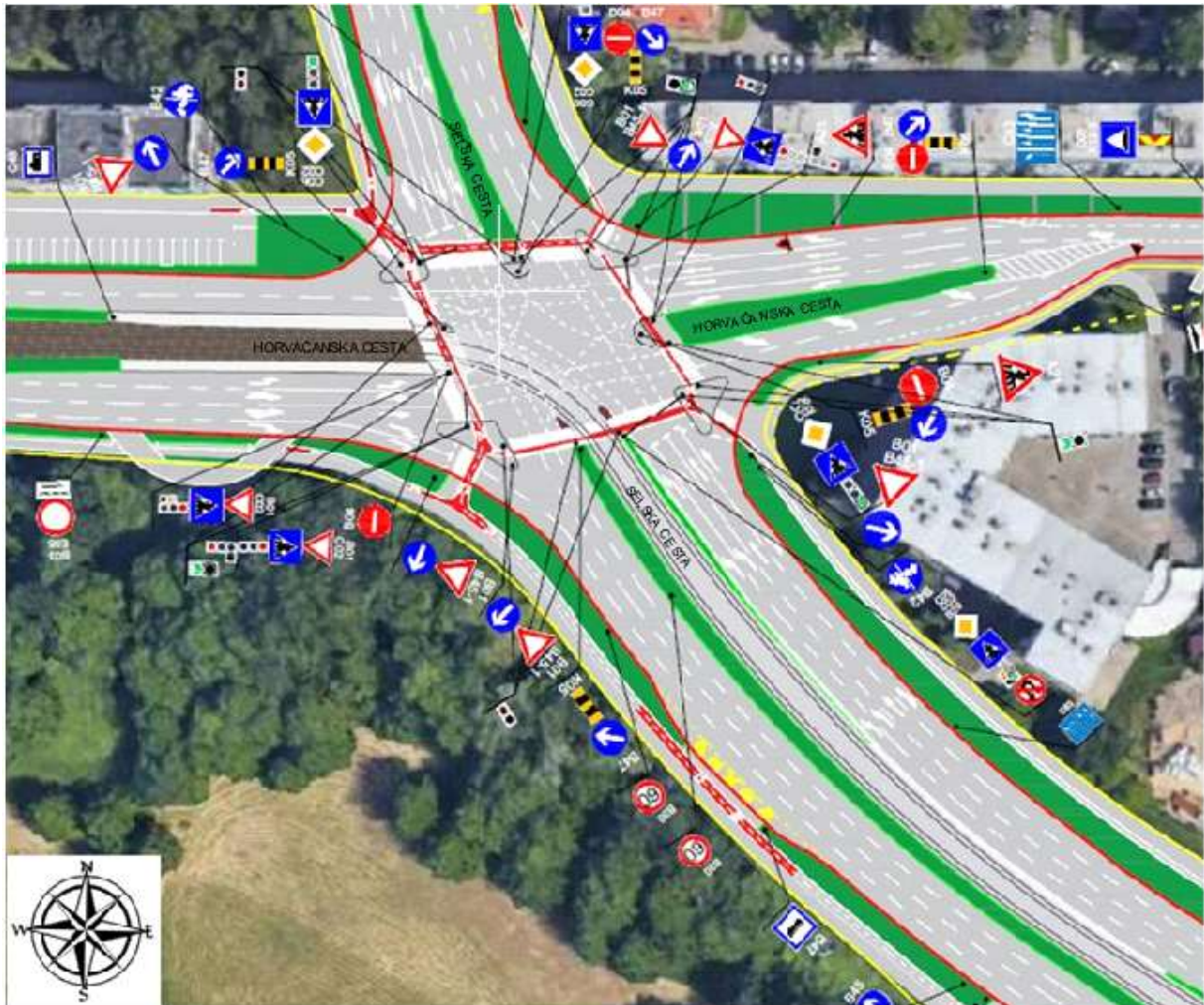
Desno skretanje sa zapadnog privoza ima dvije prometne trake koje se spajaju u jednu zbog čega je smanjena sigurnost na tom dijelu raskrižja. Zbog velike količine vozila koja skreću desno, a koja moraju propustiti sva vozila koja se kreću cestom s prednosti prolaska, povremeno se stvaraju repovi čekanja na tom dijelu raskrižja. Dodavanjem spomenute trake na južnom privozu omogućilo bi se vozilima koja skreću desno s krajnje desne trake neometano uključivanje u glavni pravac te bi se smanjili konflikti između desnih skretača i vozila koja sa sjevera zadržavaju smjer kretanja.

Također, na južnom privozu predlaže se produljenje trake za lijevo skretanje za 100 m zbog velike količine vozila koja skreću lijevo u smjeru zapada prema Jarunu. Traka za lijevo skretanje u postojećem stanju otvara se 80 m prije zaustavne linije, a nakon implementacije rješenja traka bi se otvarala 180 m prije zastavne linije. Time bi se smanjio rep čekanja koji se stvara u krajnjoj lijevoj traci te bi veća količina vozila mogla proći raskrižjem tokom trajanja zelenog svjetla i smanjio bi se konflikt sa vozilima koja zadržavaju smjer kretanja.

Kao najvažniji strateški dokument na području grada Zagreba ističe se GUP Grada Zagreba putem kojeg su definirani planovi i načini razvoja grada. U kontekstu prometa definirane su granice unutar kojih se namjena prostora može koristiti u svrhu izgradnje infrastrukturnih građevina, a za sva područja izvan granica potrebno je pokrenuti postupak izmjene GUP-a. Idejno prometno rješenje izrađeno je sukladno granicama GUP-a.

Idejno prometno rješenje izrađeno je u programskom alatu AutoCAD i prikazano slikom 29 (prilog 2). Punom žutom linijom označene su Granice GUP-a, odnosno koridor

javno prometnih površina, dok isprekidana žuta linija označava rezervaciju proširenja postojeće ulice.



Slika 29. Idejno prometno rješenje raskrižja Selske i Horvačanske ceste sukladno GUP-u

## 4.2. Davanje prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza

S povećanjem broja urbanog stanovništva i širenjem gradova, javila se potreba za organizacijom javnog gradskog prijevoza, a s ciljem pružanja što bolje kvalitete usluge javnog prijevoza. U početku se potreba za javnim gradskim prijevozom svodila na omogućavanje mobilnosti stanovništva, a u posljednjih desetak i više godina ona je posljedica različitih čimbenika do kojih je dovelo masovno korištenje automobila.

Broj motornih vozila u Gradu Zagrebu na početku stoljeća rastao je velikom brzinom. U prvih deset godina od 2000. do 2011. godine prema podacima Statističkog ljetopisa Grada Zagreba iz 2022. godine vidljiv je porast broja registriranih motornih vozila za 40%. U

posljednjih desetak godina (od 2011. do 2021.) broj registriranih motornih vozila povećao se za 8% (sa 395.391 u 2011. na 427.381 u 2021.), a to znači da taj porast u navedenom razdoblju godišnje iznosi oko 3 tisuće vozila, odnosno 0,8% [24].

Ovakav porast broja motornih vozila u gradu Zagrebu dugoročno je neodrživ te zbog toga dolazi do znatnih poteškoća u odvijanju prometnog sustava na području cijelog grada, a to se posebno odnosi na središnje dijelove grada. Zagreb je specifičan po tome što je prostorno i prometno već izgrađen i definiran pa je teško uklopiti veće infrastrukturne projekte koji bi rasteretili središte grada. Zbog toga je smanjenje broja motornih vozila ključna stvar kako bi se optimizirao prometni sustav u cjelini, a jedan od pristupa povećanja kvalitete prometnog sustava jest značajnija upotreba javnoga gradskoga prijevoza koji bi trebao biti brži, ekonomičniji i pouzdaniji kako bi što veći broj ljudi koristio ovakav način prijevoza.

Veliki problem u središnjem dijelu Grada Zagreba su niske brzine putovanja tramvaja i autobusa, a to javni prijevoz u Zagrebu čini nekonkurentnim ako se uspoređi s korištenjem osobnog automobila. Problematiku potvrđuje činjenica da su na pojedinim dionicama brzine putovanja manje od 10 km/h. Kako bi javni gradski prijevoz u Gradu Zagrebu bio konkurentniji potrebno je implementirati određene mjere kojima bi se djelovalo na smanjenje broja motornih vozila u središtu grada.

Jedan od čimbenika koji može utjecati na potražnju za javnim prijevozom jest i raspoloživost parkirnih mjesta koje treba optimizirati. Razlog je što preveliki broj parkirnih mjesta uzrokuje probleme u normalnom odvijanju prometnog toka, odnosno veća raspoloživost parkirnih mjesta može pogodovati većim korištenjem automobila u središtu grada i manjom potražnjom za javnim prijevozom. Prema podacima udruge Zelena akcija, ako se uspoređuju europski gradovi, u odnosu na broj stanovnika, Zagreb ima 14% više parkirnih mjesta u garažama u centru grada od Beča te čak 170% više u odnosu na Stockholm. To upućuje na činjenicu kako su u ovim gradovima razvijene alternativne mogućnosti prijevoza dok je u Zagrebu još uvijek naglasak na korištenju osobnih automobila u centru grada [25].

Kao jedan od najjednostavnijih načina za smanjenja broja vozila koja dolaze u središte grada ističe se Park & Ride (P&R) sustav. Provodi se tako da se uz terminale javnog prijevoza, kao i uz njihova glavna stajališta izgradi parkiralište na kojem vozači parkiraju svoje automobile te javnim prijevozom nastavljaju put do destinacije. Time se direktno utječe na smanjenje broja automobila u središtu grada te se samim time rješava i problem uvjetnog nedostatka parkirnih mjesta u gradskim jezgrama. No, da bi navedeni sustav funkcionirao na zadovoljavajući način, potrebno je unaprijediti kvalitetu javnog prijevoza, a što se najviše odnosi na povećanje prosječne brzine vožnje i učestalost prometovanja. U tom kontekstu najefikasnije je onemogućavanje osobnim automobilima da voze unutar žute trake, jer time usporavaju javni prijevoz [25].

Također, kao jedan od načina za smanjenje broja vozila u središtu grada je pristup naplate zagušenja. Naplata zagušenja, odnosno naplata korištenja prometne infrastrukture dijeli se na dva modela, a to su izravni i neizravni. Karakteristika izravnih modela naplate zagušenja je da se proces identifikacije i obračuna naknade odvija neposredno prije ili odmah po završetku korištenja dionice infrastrukture ili zone naplate za koju je naknada uvedena, a takav pristup uključuje postojanje tehnologija kao što su: automatsko prepoznavanje broja registarskih tablica, namjenske kratkodometne komunikacije i sustavi globalne satelitske navigacije. Neizravna naplata zagušenja odnosi se na korištenje vinjeta. U 2011. godini proveden je projekt CiViTAS te je u Studiji naplate zagušenja provedeno istraživanje koje je pokazalo da je neizravna naplata cestarine putem vinjeta ocijenjena kao prihvatljivo rješenje za naplatu zagušenja u Gradu Zagrebu. Projektom je predložena "Eko Zona" u centru Grada Zagreba gdje bi vlasnici vozila morali kupiti jednu od pet vrsta vinjeta ovisno o vrsti motora, sukladno EURO normama [26].

Na sustav javnoga gradskoga prijevoza potrebno je sustavno djelovati određenim mjerama koje utječu na poboljšanje kvalitete samog sustava kako bi se povećao broj korisnika javnoga gradskoga prijevoza. Mjere poboljšanja kvalitete javnoga gradskoga prijevoza mogu se podijeliti u četiri osnovne skupine, a to su: zahvati na prometnoj infrastrukturi (manji zahvati na prometnicama, razmještaj stajališta, regulaciju prometa, itd.), unaprjeđenja sustava javnoga gradskoga prijevoza (unaprjeđenje upravljačkog centra, poboljšani dizajn vozila javnoga gradskoga prijevoza), administrativne mjere (preinake naplate usluga, dostave robe i odvoza otpada, zabrane parkiranja) te upravljanje semaforiziranim raskrižjima (dodjela prioriteta vozilima javnoga gradskoga prijevoza kad god je to moguće) [20].

Kao idejno prometno rješenje na raskrižju Selske i Horvaćanske ceste predlaže se primjena mjera adaptivnog upravljanja semaforiziranim raskrižjem na način da se dodjeli prioritet prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza kroz raskrižje, prvenstveno tramvajima. Adaptivnim upravljanjem izravno se djeluje na signalni ciklus, odnosno na trajanje pojedinih faza ciklusa te se dosadašnje ustaljeno (fiksno) upravljanje prometnim tokovima zamjenjuje adaptivnim upravljanjem temeljenim na stvarnovremenskim podacima dobivenih putem različitih detektora i senzora od prometne mreže.

Prioritizacijom javnog gradskog prijevoza postižu se brojne prednosti kao što su: povećanje atraktivnosti javnog prijevoza, povećanje udobnosti vožnje, ujednačavanje popunjenosti vozila, smanjenje zagušenja prometa u gradskim područjima – povećanje prijevozne moći putnika u odnosu na korištenje osobnih vozila te smanjenje vremena putovanja vozila javnoga gradskoga prijevoza kroz prometnu mrežu. Također, moguće je poboljšati određene evaluacijske parametre, kvalitetu sustava javnoga gradskoga prijevoza, održati zadovoljavajuću razinu kvalitete gradskog cestovnog prometnog sustava te se postiže cijeli niz sekundarnih prednosti (smanjenje emisije štetnih plinova, smanjenje razine buke, smanjenje potrošnje energije itd.).



Pouzdanost javnog gradskog prijevoza vrlo je bitan faktor u vidu zadovoljavanja potreba korisnika, a u Gradu Zagrebu pouzdanost je na vrlo niskoj razini zbog toga što se linije javnog gradskog prijevoza često isprepliću sa ostalim prometom. Tomu u prilog ide i činjenica da kašnjenja vozila javnoga gradskoga prijevoza na raskrižjima gradskih prometnica čine oko 50% ukupnog kašnjenja uzrokovanog međudjelovanjem ostalog prometa i prometa javnoga gradskoga prijevoza [20].

Adaptivno upravljanje semaforiziranim raskrižjima u kontekstu prioriteta javnoga gradskoga prijevoza, obuhvaća dodjelu zelenog svjetla vozilima javnoga gradskoga prijevoza kad god je to moguće, a podjela strategija dodjele prioriteta dijeli se na pasivne prioritete, aktivne prioritete i prometno ovisne (adaptivne) prioritete. Idejno prometno rješenje u ovom diplomskom radu spada u aktivne dodjele prioriteta koje zahtijevaju sustav detekcije, odnosno identifikacije vozila javnoga gradskoga prijevoza koje prilazi raskrižju i obavlja određene izmjene signalnog programa u svrhu što manjeg čekanja vozila javnoga gradskoga prijevoza na prolazak raskrižjem. Definirane su četiri glavne tehnike aktivne dodjele prioriteta a to su: produljenje trajanja zelenog svjetla (engl. *green extension*), skraćenje crvenog svjetla/raniji početak zelenog svjetla (engl. *red truncation/early green*), dodatna faza za vozila javnoga gradskoga prijevoza te selektivne strategije. Na taj način skraćuje se vrijeme putovanja vozilima javnog gradskog prijevoza te se podiže razina pouzdanosti [20].

## 5. SIMULACIJA I EVALUACIJA PREDLOŽENOG RJEŠENJA

Kako bi se utvrdili određeni parametri prometnog toka (razina usluge, repovi čekanja i drugo), izrađeni su prometni modeli postojećeg stanja i prijedloga rješenja pomoću mikrosimulacijskog alata PTV Vissim. Prometno modeliranje je sastavni dio prometnog inženjerstva koji omogućuje izradu modela na kojem se mogu ispitivati razne varijante rješenja i provoditi evaluacija određenih parametara. Simulacijski modeli se izrađuju s ciljem ispitivanja novih rješenja te načina na koji će nova rješenja ili izmjena organizacije prometa utjecati na odvijanje prometnih tokova na analiziranom području.

Mikrosimulacijski modeli predstavljaju modeliranje kretanja pojedinačnih vozila unutar nekog manjeg područja kao što je raskrižje, a najčešće korišteni mikrosimulacijski alat u svijetu je PTV Vissim. PTV Vissim (njem. *Planung Transport Verkehr Verkehr In Stadten – SIMulationsmodell*) koristi se za modeliranje gradske prometne mreže i operacija javnoga gradskoga prijevoza te tokova nemotoriziranih sudionika u prometu. PTV Vissim vrši simulaciju prometnog toka pomicanjem jedinica "čovjek-vozilo" kroz definiranu prometnu mrežu. Svaki vozač u mreži sa svojim specifičnim karakteristikama ponašanja dodijeljen je određenom vozilu, a cijeli programski alat koristi psihofizički model ponašanja vozača kojeg je razvio Rainer Wiedemann 1974. godine na Sveučilištu u Karlsruheu u Njemačkoj. Prikaz 3D simulacije korištenjem spomenutog programa prikazan je na slici 30 [27].

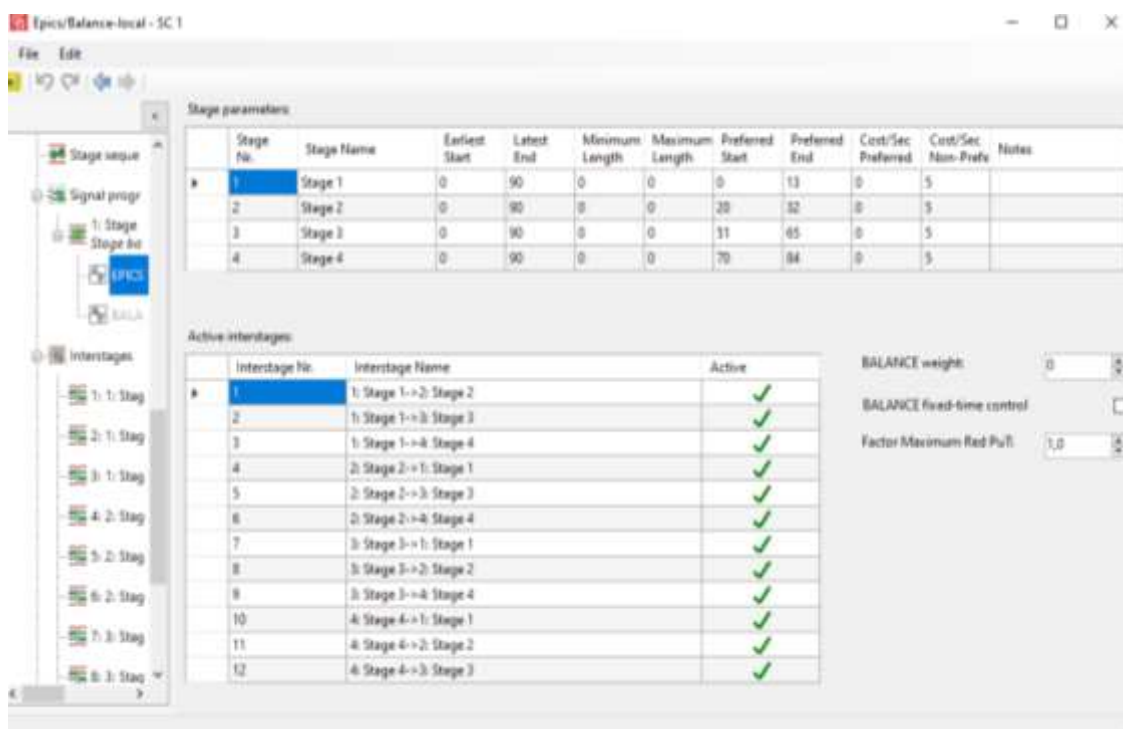


Slika 30. 3D simulacija u programskom alatu PTV Vissim

Za izradu modela dodjele prioriteta prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza, korišten je programski modul PTV Epics koji je integriran u PTV Vissim. PTV Epics je napredan simulacijski alat koji analizira prometne uvjete na lokalnoj razini te na temelju trenutne situacije određuje najbolju opciju kontrole za pojedinačno raskrižje. Upravljački

sustav u sekundama odlučuje treba li se faza izostaviti, skratiti, produljiti ili mijenjati ovisno o danom prioritetu. U izradi modela potrebno je definirati osnovni program fiksnog vremenskog signala i njegovo ponderiranje za PTV Epics, zajedno s nizom drugih parametara kao što su minimalna i maksimalna faza trajanja te zeleno vrijeme za različite signalne grupe. Tijekom rada PTV Epics pristupa podacima detektora za čvor, koristi ga za prepoznavanje dolaznih tokova vozila i prilagođava svoj simulacijski model za izračunavanje učinaka različitih opcija kontrole na temelju toga. U manje od jedne sekunde, PTV Epics optimizira fazni slijed i njegovo vrijeme optimiziranjem ukupnog indeksa učinkovitosti [28].

Na slici 31 prikazano je sučelje PTV Epicsa s postavljenim parametrima za svaku fazu predmetnog raskrižja. PTV Epics ima parametre koji se odnose na vremenska i trajna ograničenja faza, kao i dopuštene intervale između faza. Važno je napomenuti da su ovi parametri uvjetovani signalnim programom koji se koristi, što znači da se njihove vrijednosti mijenjaju sukladno tome. Kako program provodi proces automatskog stvaranja, ovi se parametri inicijalno kombiniraju s unaprijed definiranim zadanim vrijednostima. Nekoliko tih zadanih vrijednosti određuje se referiranjem na signalni program s fiksnim vremenom, poput željenog početka ili završetka faze.



Slika 31. Prikaz sučelja PTV Epics parametara

U ovom diplomskom radu simulacija je provedena za postojeće stanje te dva prijedloga idejnog prometnog rješenja u vidu građevinskih zahvata i dodjele prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza. Trajanje svake simulacije iznosi sat vremena te je dodano 15 minuta za zagrijavanje simulacije kako bi rezultati simulacije bili što sličniji realnom stanju. Kao referentni podaci za izradu simulacije primjenjuju se podaci dobiveni brojanjem prometa za popodnevno vršno opterećenje u periodu od 16:00 h do 17:00 h.

Sama simulacija definirana je kroz 5 ponavljanja (iteracija) kako bi se dobili što kvalitetniji rezultati simulacije te se u daljnjoj analizi uzima prosječna vrijednost parametara iz svih 5 iteracija.

Kao što je prethodno spomenuto, raskrižje Selske i Horvaćanske ceste ne može se promatrati izolirano, stoga se simulacija u ovom diplomskom radu sastoji od predmetnog raskrižja Selske i Horvaćanske ceste te raskrižja Selske ceste i Ulice Knežija koje se nalazi sa sjeverne strane predmetnog raskrižja i raskrižja Selske ceste i Jadranskog mosta koje se nalazi sa južne strane predmetnog raskrižja. Bez susjednih raskrižja ne može se dobiti slika stvarnog stanja na predmetnom raskrižju jer dolazak vozila na raskrižje ovisi o signalnim planovima susjednih raskrižja. Također, u simulaciju je dodano i prometno opterećenje koje se uključuje s Jarunske ulice na Selsku cestu zbog toga što vozila na Selskoj cesti često propuštaju vozila s Jarunske ulice iako se ona ne nalaze na cesti s prednošću prolaska, jer im je u protivnom uključivanje u promet vrlo otežano, a sve to utječe na stvaranje repa čekanja na predmetnom raskrižju.

Izrada prometnog modela pomoću simulacijskog alata PTV Vissim sastoji se od niza koraka kako bi se postigli željeni rezultati. Za početak je potrebno odrediti i postaviti pozadinu područja na koju se odnosi simulacija, a u ovom diplomskom radu korištena je karta koja je ugrađena u programski alat. Zatim se izrađuje željena distribucija brzine koja se dodjeljuje vozilima, kao i željene kategorije vozila. Prometna mreža na koju se kasnije implementiraju svi podaci kao što su rute putovanja, broj vozila u mreži, raspodjela broja vozila prema rutama putovanja te struktura prometnog toka, sastoji se od linkova i konektora. Nakon unosa potrebnih podataka o prometnom toku, slijedi određivanje prednosti prolaska na konfliktnim točkama i izrada signalnog plana ukoliko se radi o semaforiziranom raskrižju. Za uključivanje javnog gradskog prijevoza u simulaciju potrebno je dodati željene tipove vozila, postaviti stanice na kojima će vozila javnog gradskog prijevoza zaustavljati, odrediti rutu svake linije te unijeti parametre vezane za broj izmjene putnika, vrijeme izmjene putnika i sl. Da bi simulacijski alat pružio određene rezultate, zbog čega se uopće i koristi simulacijski alat, potrebno je prije puštanja simulacije odrediti što od podataka se želi iščitati i kako. Kada se svi prethodni podaci definiraju unutar simulacijskog alata, prometni model je spreman za simulaciju.

Točnost prikupljenih i simuliranih izlaznih rezultata testira se usporedbom prometnih opterećenja dobivenih simulacijom s podacima prikupljenim na terenu. Vjerodostojnost podataka za cestovna vozila dobiva se pomoću GEH statistike. Tablicom 5 prikazane su smjernice GEH statistike, a formula (1) kojom se izračunava glasi:

$$GEH = \sqrt{\frac{2*(M-C)^2}{M+C}} \quad (1)$$

Gdje je [29] :

- M – satno opterećenje dobiveno iz prometnog modela,
- C – satno opterećenje u stvarnom svijetu.

Tablica 5. GEH statistika

| GEH statistika | Smjernice                     |
|----------------|-------------------------------|
| < 3.0          | Prihvatljivo                  |
| 3.0 - 5.0      | Prihvatljivo za lokalne ceste |
| > 5.0          | Neprihvatljivo                |

Izvor: [29]

GEH statistika je provedena za postojeće stanje u vrijeme popodnevnog vršnog opterećenja od 16:00 h do 17:00 h. Tablicom 6 prikazani su podaci dobiveni simulacijom i podaci dobiveni na terenu te je na temelju njih određena GEH statistika, odnosno prikazano je kako prometni tokovi zadovoljavaju prema GEH statistici, što znači da je model primjenjiv za ispitivanje kvalitete predloženih prometnih rješenja.

Tablica 6. Prikaz GEH statistike za postojeće stanje

| Smjer kretanja | Simulirano M | Stvarno C | GEH statistika |              |
|----------------|--------------|-----------|----------------|--------------|
| Z-J            | 896          | 813       | 2,839          | Prihvatljivo |
| Z-I            | 194          | 164       | 2,242          | Prihvatljivo |
| Z-S            | 207          | 175       | 2,315          | Prihvatljivo |
| J-I            | 182          | 200       | 1,302          | Prihvatljivo |
| J-S            | 959          | 1037      | 2,469          | Prihvatljivo |
| J-Z            | 1023         | 1095      | 2,212          | Prihvatljivo |
| I-S            | 52           | 40        | 1,769          | Prihvatljivo |
| I-Z            | 361          | 347       | 0,744          | Prihvatljivo |
| I-J            | 135          | 108       | 2,449          | Prihvatljivo |
| S-Z            | 166          | 138       | 2,270          | Prihvatljivo |
| S-J            | 1002         | 1060      | 1,806          | Prihvatljivo |
| S-I            | 52           | 54        | 0,274          | Prihvatljivo |

Najčešće korišten alat za evaluaciju i prikupljanje izlaznih podataka raskrižja u simulacijskom programu PTV Vissim je „node evaluation“ koji je korišten i u ovom diplomskom radu. Node predstavlja definirano područje koje se nalazi oko promatranog raskrižja. Node evaluation se posebno koristi za prikupljanje specifičnih izlaznih podataka raskrižja bez prethodno „ručnog“ definiranja elemenata za prikupljanje podataka. Prema zadanim postavkama, podaci za sve vrste vozila su zajedno prikazani, ali se mogu prikazati i



podaci za svaku vrstu vozila posebno, što će se koristiti prilikom evaluacije javnog gradskog prijevoza [27].

U ovom diplomskom radu u obzir se uzimaju određeni izlazi podaci koji su dobiveni simulacijskim alatima, a to su:

- Prosječna duljina repa čekanja,
- Maksimalna duljina repa čekanja,
- Razina usluge,
- Prosječno vrijeme kašnjenja vozila i
- Prosječan broj zaustavljanja.

Jedan od bitnih podatak među svim dobivenim izlaznim podacima je prosječno vrijeme kašnjenja koje se izražava u sekundama po vozilu. Pomoću ovog izlaznog podatka određuje se razina usluge samog raskrižja. Razina usluge LOS (eng. *Level of Service*) je kvalitativna mjera koja opisuje operativne uvjete prometnoga toka, a mjere na temelju kojih se utvrđuje su: brzina, vrijeme putovanja, sloboda manevriranja, utjecaj drugog prometa i sl.

U ovom diplomskom radu za evaluaciju rezultata, razina usluge procjenjuje se prema HCM metodologiji (*Highway Capacity manual*). Razlikuje se šest razina usluge od A do F, gdje razina usluge A predstavlja najpovoljnije operativne uvjete, a razina usluge F najlošije. Razine usluge prema HCM-u su [17]:

- Razina usluge A - uvjeti slobodnoga prometnog toka, s velikim brzinama, malom gustoćom i punom slobodom manevriranja,
- Razina usluge B - uvjeti slobodna prometnog toka, s brzinama koje su samo djelomično ograničene gustoćom prometa,
- Razina usluge C - stanje stabilnoga prometnog toka, s ograničenim brzinama i ograničenom mogućnošću manevriranja,
- Razina usluge D - stanje prometnoga toka koje se približuje nestabilnom toku, velike gustoće s bitno ograničenim brzinama i malom mogućnošću manevriranja,
- Razina usluge E - stanje nestabilnog toka s vožnjom u nizu gdje je gustoća bliska zagušenju, a protok jednak propusnoj moći, pa su mogući povremeni zastoji,
- Razina usluge F - prisilni prometni tok s brzinama koje su manje od kritičnih brzina. Gustoća je veća od kritične, a protok je u rasponu od nule do vrijednosti koja je manja od propusne moći.

Prema HCM-u razlikuje se razina usluge za semaforizirana i nesemaforizirana raskrižja, a određuje se na temelju prosječnog vremena čekanja. PTV Vissim izračunava vrijeme čekanja svakog vozila te na temelju toga određuje razinu usluge pojedinog privoza sukladno definiranim vrijednostima za semaforizirana raskrižja. U Tablici 7 prikazane su razine usluge semaforiziranih raskrižja s obzirom na vrijeme čekanja vozila.

Tablica 7. Vrijednosti za određivanje razine usluge na semaforiziranim raskrižjima

| Razina usluge (LoS) | Prosječno vrijeme kašnjenja [s/voz] |
|---------------------|-------------------------------------|
| A                   | ≤ 10                                |
| B                   | > 10 - 20                           |
| C                   | > 20 – 35                           |
| D                   | > 35 - 55                           |
| E                   | > 55 - 80                           |
| F                   | > 80                                |

Izvor: [17]

PTV Vissim ima mogućnost određivanja i mjerenja štetnih plinova koji nastaju prilikom rada motora s unutarnjim izgaranjem. Ti plinovi koji nastaju vrlo su štetni za okoliš i za samog čovjeka, a neki od tih plinova su: ugljikov monoksid (CO), ugljikovodici (CH), dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>), sumporov dioksid (SO<sub>2</sub>) i krute čestice (PM). U ovom diplomskom radu, osim prethodno navedenih izlaznih parametara, prikazat će se i količine tih ispušnih plinova kako bi se moglo utvrditi u kojoj mjeri promet utječe na okoliš i na cjelokupno promatrano područje.

## 5.1. Evaluacija postojećeg stanja raskrižja

Evaluacija postojećeg stanja provodi se na temelju rezultata simulacije postojećeg stanja raskrižja. U Tablici 8 prikazani su izlazni rezultati simulacije. Podaci koji su prikazani u tablici su redom: smjer kretanja, prosječan rep čekanja, maksimalan rep čekanja, razina usluge, prosječno vrijeme kašnjenja, prosječan broj zaustavljanja, emisija CO, Emisija NO<sub>x</sub> i potrošnja goriva. U tablici su, osim podataka za cestovna vozila, prikazani podaci za tramvajski promet koji prolazi raskrižjem te podaci za cijelo raskrižje.

Najveći prosječni rep čekanja zabilježen je na južnom privozu i iznosi 103,11 m, a najveći izmjeren na tom privozu iznosi 297,94 m za vozila koja na južnom privozu skreću lijevo. Prosječno vrijeme kašnjenja na tom privozu za lijeve skretače iznosi 70,31 s što odgovara razini usluge E, dok vozila koja zadržavaju smjer kretanja i skreću desno imaju prosječno vrijeme kašnjenja od 20 s do 30 s što odgovara razini usluge C. Najveće prosječno vrijeme kašnjenja zabilježeno je na sjevernom privozu i iznosi 78,72 s što odgovara razini usluge E. Također je najveći maksimalni rep čekanja zabilježen na sjevernom privozu, a iznosi 368,01 m zbog čega sva vozila moraju dugo čekati za prolazak raskrižjem pa je razina usluge svih smjerova kretanja na ovom privozu E. Najmanje prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 4,9 s, a zabilježeno je na posebno odvojenoj traci za desno skretanje na istočnom privozu koja nije regulirana semaforom. Najmanje prosječno vrijeme kašnjenja na zapadnom privozu, kao i kod istočnog privoza, zabilježeno je za odvojenoj traci za desno skretanje koja nije regulirana semaforom, a iznosi 8,16 s, dok je na ostatku raskrižja prosječno vrijeme čekanja oko 30 s što

odgovara razini usluge C. Najveća razina emisije štetnih plinova zabilježena je na južnom i sjevernom privozu što je posljedica stvaranja dužih repova čekanja na tim privozima i povećana „stani – kreni“ vožnja. Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja iznosi 42,84 s, što odgovara razini usluge D.

Prosječno vrijeme čekanja tramvaja iz smjera juga iznosi 21,81 s, što odgovara razini usluge C, dok je prosječno vrijeme čekanja tramvaja iz smjera zapada 56,19 s što odgovara razini usluge E. Razlog takve razlike između vremena čekanja je što na zapadnom privozu više tramvaja dolazi jedan iza drugog te se stanica za ulazak i izlazak putnika nalazi točno ispred semafora pa tramvajsko vozilo koje dolazi kasnije mora čekati da vozilo ispred izmjeni putnike i prođe kroz semafor. Razine emisije štetnih plinova značajno su manje u odnosu na cestovna vozila.

*Tablica 8. Prikaz rezultata simulacije postojećeg stanja*

| Smjer kretanja   | Prosječan rep čekanja [m] | Maksimalan rep čekanja [m] | Razina usluge | Prosječno vrijeme kašnjenja [s] | Prosječan broj zaustavljanja | Emisija CO [gr]  | Emisija Nox [gr] | Potrošnja goriva [gallon] |
|------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| Z-J              | 17,26                     | 66,15                      | LOS_A         | 8,16                            | 0,61                         | 975,025          | 189,704          | 13,949                    |
| Z-I              | 12,67                     | 56,38                      | LOS_C         | 32,64                           | 0,91                         | 327,537          | 63,727           | 4,686                     |
| Z-S              | 12,26                     | 56,41                      | LOS_C         | 29,28                           | 1,61                         | 458,153          | 89,14            | 6,554                     |
| J-I              | 49,23                     | 212,21                     | LOS_C         | 20,22                           | 0,56                         | 155,874          | 30,327           | 2,23                      |
| J-S              | 103,11                    | 297,87                     | LOS_C         | 30,26                           | 0,77                         | 1.270,51         | 247,196          | 18,176                    |
| J-Z              | 103,14                    | 297,94                     | LOS_E         | 70,31                           | 1,9                          | 2.348,65         | 456,962          | 33,6                      |
| I-S              | 0,73                      | 39,31                      | LOS_A         | 4,9                             | 0,39                         | 33,892           | 6,594            | 0,485                     |
| I-Z              | 15,58                     | 55,08                      | LOS_D         | 39,13                           | 1,01                         | 576,148          | 112,097          | 8,242                     |
| I-J              | 14,43                     | 55,09                      | LOS_D         | 38,26                           | 1,83                         | 285,819          | 55,61            | 4,089                     |
| S-Z              | 78,62                     | 368,01                     | LOS_E         | 75,6                            | 2,45                         | 464,814          | 90,436           | 6,65                      |
| S-J              | 89,19                     | 364,81                     | LOS_E         | 78,72                           | 2,42                         | 2.678,17         | 521,074          | 38,314                    |
| S-I              | 88,73                     | 364,81                     | LOS_E         | 61,04                           | 1,87                         | 298,363          | 58,051           | 4,268                     |
| tram J-Z         | 1,6                       | 26,56                      | LOS_C         | 21,81                           | 1                            | 9,473            | 1,843            | 0,136                     |
| tram Z-J         | 6,87                      | 59,56                      | LOS_E         | 56,19                           | 0,97                         | 16,056           | 3,124            | 0,23                      |
| <b>RASKRIŽJE</b> | <b>44,67</b>              | <b>394,25</b>              | <b>LOS_D</b>  | <b>42,84</b>                    | <b>1,36</b>                  | <b>9.891,592</b> | <b>1.924,544</b> | <b>141,511</b>            |

Na slici 32 prikazana je simulacija postojećeg stanja predmetnog raskrižja Selske i Horvaćanske ceste te susjednih raskrižja koji su dodani u simulaciju za period popodnevnog vršnog opterećenja od 16:00 h do 17:00 h sukladno prikupljenim podacima.



*Slika 32. Simulacija postojećeg stanja*

## **5.2. Evaluacija idejnog prometnog rješenja u vidu građevinskih zahvata**

Evaluacija idejnog prometnog rješenja u vidu građevinskih zahvata provodi se na temelju izlaznih rezultata simulacije izrađenog prometnog modela. U tablici 9 prikazani su izlazni rezultati simulacije, a podaci koji su prikazani jednaki su kao i kod evaluacije postojećeg stanja. U ovoj varijanti rješenja ne prikazuju se vrijednosti za tramvajski promet s obzirom da se ni jedan građevinski zahvat nije odnosio na tramvajsku infrastrukturu pa su rezultati za tramvaje jednaki kao i kod postojećeg stanja.

Iz tablice 9 vidljivo je da najveći prosječni rep čekanja iznosi 60,64 m te se on nalazi na južnom privozu na kojem se također nalazi i maksimalni zabilježeni rep čekanja koji iznosi 179,83 m za vozila koja skreću lijevo prema zapadu. Prosječno vrijeme kašnjenja na južnom privozu za vozila koja skreću lijevo iznosi 54,71 s što odgovara razini usluge D, dok za vozila koja se kreću prema sjeveru razina usluge iznosi C, a za vozila koja skreću desno razina usluge iznosi B. Najmanje prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 4 s, a zabilježeno je na zapadnom privozu na odvojenom traku za desno skretanje. Najmanji prosječni rep čekanja zabilježen je na istočnom privozu, a iznosi 0,68 m. Na sjevernom privozu prosječno vrijeme kašnjenja za vozila koja skreću desno prema zapadu iznosi 17,32 s što odgovara razini usluge B, dok za vozila koja zadržavaju smjer kretanja i skreću lijevo prosječno vrijeme kašnjenja iznosi od 21 s do 26 s što odgovara razini usluge C. Najveća emisija štetnih plinova zabilježena je na južnom privozu. Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja iznosi 27,42 s, što odgovara razini usluge C.

Tablica 9. Prikaz rezultata simulacije idejnog prometnog rješenja u vidu građevinskih zahvata

| Smjer kretanja   | Prosječan rep čekanja [m] | Maksimalan rep čekanja [m] | Razina usluge | Prosječno vrijeme kašnjenja [s] | Prosječan broj zaustavljanja | Emisija CO [gr] | Emisija Nox [gr] | Potrošnja goriva [gallon] |
|------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|---------------------------|
| Z-J              | 14,7                      | 60,05                      | LOS_A         | 4                               | 0,24                         | 655,811         | 127,6            | 9,382                     |
| Z-I              | 11,16                     | 47,9                       | LOS_C         | 32,22                           | 0,88                         | 321,929         | 62,636           | 4,606                     |
| Z-S              | 10,83                     | 47,93                      | LOS_C         | 28,54                           | 1,58                         | 451,264         | 87,8             | 6,456                     |
| J-I              | 8,36                      | 96,7                       | LOS_B         | 17,15                           | 0,48                         | 144,113         | 28,039           | 2,062                     |
| J-S              | 60,64                     | 179,76                     | LOS_C         | 29,29                           | 0,71                         | 1.227,69        | 238,87           | 17,564                    |
| J-Z              | 60,6                      | 179,83                     | LOS_D         | 54,71                           | 1,57                         | 2.060,33        | 400,86           | 29,475                    |
| I-S              | 0,68                      | 38,2                       | LOS_A         | 4,78                            | 0,39                         | 33,911          | 6,598            | 0,485                     |
| I-Z              | 15,37                     | 56,7                       | LOS_D         | 39,61                           | 1,07                         | 591,287         | 115,04           | 8,459                     |
| I-J              | 14,24                     | 56,68                      | LOS_D         | 34,8                            | 1,61                         | 260,88          | 50,758           | 3,732                     |
| S-Z              | 6,79                      | 83,06                      | LOS_B         | 17,32                           | 0,86                         | 212,511         | 41,347           | 3,04                      |
| S-J              | 18,04                     | 80,65                      | LOS_C         | 21,86                           | 0,84                         | 1178,8          | 229,35           | 16,864                    |
| S-I              | 16,24                     | 79,58                      | LOS_C         | 26                              | 0,98                         | 158,073         | 30,755           | 2,261                     |
| <b>RASKRIŽJE</b> | <b>17,58</b>              | <b>181,08</b>              | <b>LOS_C</b>  | <b>27,42</b>                    | <b>0,88</b>                  | <b>7.318,32</b> | <b>1.423,9</b>   | <b>104,697</b>            |

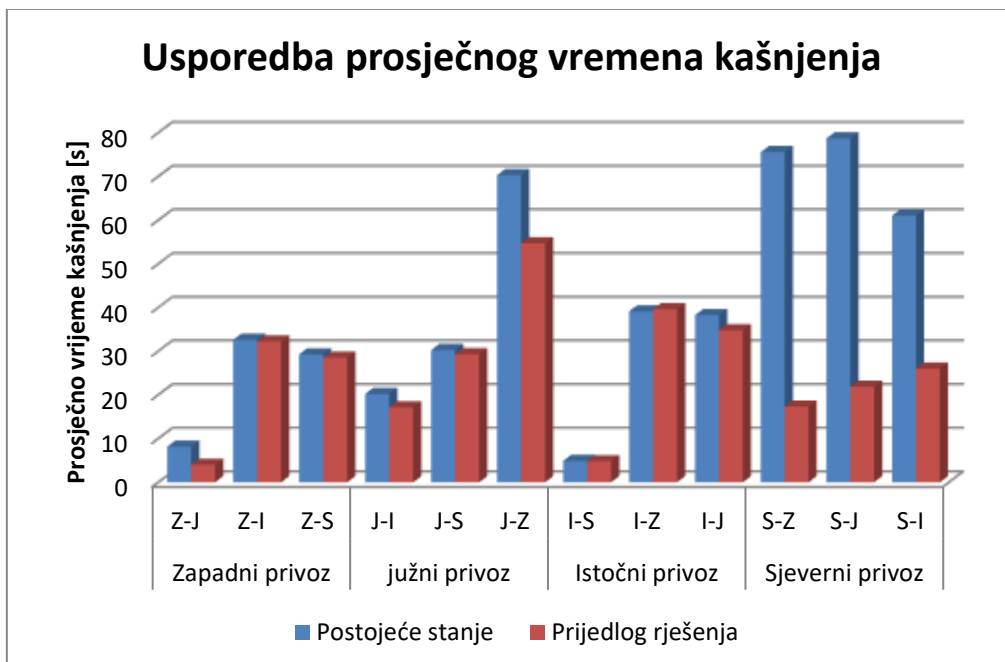
Na slici 33 prikazana je simulacija idejnog prometnog rješenja u vidu građevinskih zahvata koji su opisani u prethodnom poglavlju 4.1. Svi parametri u simulaciji jednaki su kao i kod postojećeg stanja na temelju podataka dobivenih brojanjem prometa.





Slika 33. Simulacija idejnog prometnog rješenja u vidu građevinskih zahvata

Na grafikonu 4 prikazana je usporedba prosječnog vremena kašnjenja vozila prema smjeru kretanja u postojećem stanju i idejnom prometnom rješenju u vidu građevinskih zahvata. Građevinski zahvati izvršeni su na sjevernom i južnom privozu, stoga su najveće promjene upravo na ovim privozima, dok se na istočnom i zapadnom privozu stanje nije drastično promijenilo.



Grafikon 4. Usporedba prosječnog vremena kašnjenja postojećeg stanja i idejnog prometnog rješenja u vidu građevinskih zahvata



Produživanjem trake za lijevo skretanje na južnom privozu, vrijeme kašnjenja za vozila koja skreću lijevo smanjilo se za 22%, odnosno razina usluge podigla se s E na D. Prosječno vrijeme kašnjenja za vozila koja skreću desno na južnom privozu smanjilo se za 15%, odnosno razina usluge podigla se s C na B, dok je razina usluge za vozila koja zadržavaju smjer kretanja ostala ista. Najveće promjene vidljive su na Sjevernom privozu gdje se prosječno vrijeme kašnjenja za vozila koja skreću desno i vozila koja zadržavaju smjer kretanja smanjilo za više od 70%, odnosno razina usluge podigla se s E na B za vozila koja skreću desno i C za vozila koja zadržavaju smjer kretanja. Razina usluge za vozila koja skreću lijevo podigla se s E na C, odnosno prosječno vrijeme kašnjenja smanjilo se za 57%. Na istočnom i zapadnom privozu razina usluge je ostala jednaka.

Iz prethodnih tablica vidljivo je da se nakon implementacije prijedloga rješenja prosječna duljina repa čekanja cijelog raskrižja smanjila s 44,67 m na 17,58 m što odgovara smanjenju za 60%. Također, prosječno vrijeme kašnjenja na raskrižju smanjilo se s 42,84 s na 27,42 s što odgovara smanjenju od 36%, prosječan broj zaustavljanja smanjio se s 1,36 na 0,88 te se razina usluge raskrižja podigla s D na C. Iz ovih vrijednosti može se vidjeti da se promet na raskrižju nakon implementacije rješenja odvija kontinuirano i bez duljih repova čekanja što rezultira manjom potrošnjom goriva i manjom emisijom štetnih plinova čime se pridonosi očuvanju okoliša. Na temelju analiziranih podataka može se zaključiti da predloženo idejno prometno rješenje u vidu građevinskih zahvata pozitivno utječe odvijanje prometnih tokova u raskrižju te je primjereno rješenje za postojeći problem. No, mnoga istraživanja pokazuju da dodavanje trake na raskrižju nije dugotrajno rješenje jer prometna potražnja za raskrižjem tokom vremena raste pa veći broj vozila prolazi kroz to raskrižje, stoga se ovo idejno rješenje može definirati kao kratkotrajno rješenje ukoliko se ne provede neka od politika za smanjenje broja motornih vozila u gradu.

### **5.3. Evaluacija idejnog prometnog rješenja u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza**

Idejno prometno rješenje u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza izrađeno je u programskom alatu PTV Vissim uz pomoć modula PTV Epics. PTV Epics je modul za adaptivno upravljanje prometnom koji na temelju unesenih parametara te primljenih informacija s detektora sam slaže signalni plan i raspodjeljuje zeleno vrijeme pojedinim signalnim grupama. Također, ovaj modul ima mogućnost davanja prednosti određenim signalnim grupama pa je u ovom diplomskom radu maksimalni prioritet dodijeljen tramvajima.

Da bi PTV Epics mogao dodjeljivati zeleno svjetlo za prolazak na temelju prometne potražnje, potrebno je postaviti detektore, odnosno parove detektora. Svaki par detektora sastoji se od „log-in“ i „log-off“ detektora. Log-in detektor postavlja se prije raskrižja

(preporuča se 60 m prije zaustavne linije) kako bi se signalni kontrolor mogao pripremiti za dolazak vozila. Log-off detektor postavlja se odmah nakon zaustavne linije kako bi mogao potvrditi da je vozilo uspješno prošlo raskrižje. Lokacije postavljenih detektora kao i izgled simulacije idejnog prometnog rješenja vidljivi su na slici 34. Modul PTV Epics primijenjen je i na susjednom raskrižju Selske ceste i Jadranskog mosta u svrhu veće točnosti izlaznih podataka jer bi se u protivnom počeli stvarati repovi čekanja na tom raskrižju koji bi se protezali do predmetnog raskrižja i utjecali na vrijeme kašnjenja [28].



*Slika 34. Simulacija idejnog prometnog rješenja u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza*

U tablici 10 prikazani su izlazni rezultati simulacije idejnog prometnog rješenja u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza. Podaci koji su prikazani tablicom jednaki su kao i kod evaluacije postojećeg stanja.

Iz tablice 10 može se vidjeti da najveći prosječni rep čekanja iznosi 60,97 m te se on nalazi na južnom privozu na kojem se također nalazi i maksimalni zabilježeni rep čekanja koji iznosi 231,59 m za vozila koja skreću lijevo prema zapadu. Prosječno vrijeme kašnjenja na južnom privozu za vozila koja skreću lijevo iznosi 54,96 s što odgovara razini usluge D, dok je razina usluge za vozila koja skreću desno B, a za vozila koja zadržavaju smjer kretanja C. Najveće prosječno vrijeme kašnjenja zabilježeno je na istočnom privozu te iznosi 78,86 s što odgovara razini usluge E. Razina usluge E također se pojavljuje na zapadnom privozu za vozila koja zadržavaju smjer kretanja prema istoku čije prosječno vrijeme kašnjenja vozila iznosi 65,09 s. Na sjevernom privozu najmanje prosječno vrijeme kašnjenja imaju vozila koja skreću desno prema zapadu koje iznosi 11,03 s što odgovara razini usluge B, dok je razina usluge za vozila koja zadržavaju smjer kretanja i koja skreću lijevo C. Najveća emisija štetnih

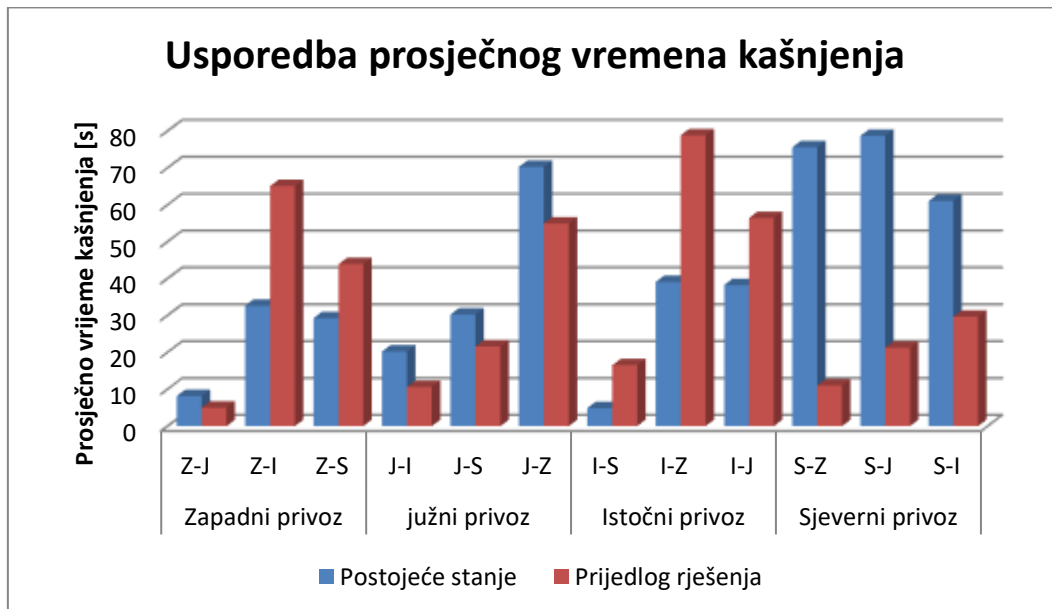
plinova zabilježena je na južnom privozu. Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja iznosi 33,88 s, što odgovara razini usluge C.

*Tablica 10. Prikaz rezultata simulacije idejnog prometnog rješenja u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza*

| Smjer kretanja   | Prosječan rep čekanja [m] | Maksimalan rep čekanja [m] | Razina usluge | Prosječno vrijeme kašnjenja [s] | Prosječan broj zaustavljanja | Emisija CO [gr] | Emisija Nox [gr] | Potrošnja goriva [gallon] |
|------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|---------------------------|
| Z-J              | 24,36                     | 67,54                      | LOS_A         | 5,04                            | 0,31                         | 668,066         | 129,981          | 9,577                     |
| Z-I              | 19,48                     | 56,77                      | LOS_E         | 65,09                           | 1,45                         | 487,451         | 94,84            | 6,974                     |
| Z-S              | 18,29                     | 56,8                       | LOS_D         | 43,93                           | 2,08                         | 568,784         | 110,655          | 8,137                     |
| J-I              | 2,3                       | 59,28                      | LOS_B         | 10,61                           | 0,47                         | 95,066          | 18,496           | 1,36                      |
| J-S              | 58,82                     | 231,52                     | LOS_C         | 21,6                            | 0,78                         | 907,79          | 176,623          | 12,987                    |
| J-Z              | 60,93                     | 231,59                     | LOS_D         | 54,96                           | 1,47                         | 1.599,392       | 311,184          | 22,881                    |
| I-S              | 16,68                     | 77,28                      | LOS_B         | 16,51                           | 0,61                         | 46,148          | 8,979            | 0,66                      |
| I-Z              | 46,75                     | 116,41                     | LOS_E         | 78,86                           | 2,03                         | 1.081,462       | 229,87           | 16,902                    |
| I-J              | 46,44                     | 116,48                     | LOS_E         | 56,43                           | 2,2                          | 379,96          | 73,92            | 5,435                     |
| S-Z              | 3,22                      | 74,07                      | LOS_B         | 11,03                           | 0,52                         | 138,288         | 26,906           | 1,978                     |
| S-J              | 17,95                     | 86,37                      | LOS_C         | 21,24                           | 0,76                         | 1,109,041       | 215,799          | 15,866                    |
| S-I              | 17,19                     | 85,93                      | LOS_C         | 29,69                           | 0,82                         | 105,431         | 20,513           | 1,508                     |
| tram J-Z         | 0,82                      | 31,24                      | LOS_B         | 11,47                           | 0,56                         | 7,271           | 1,415            | 0,104                     |
| tram Z-J         | 2,93                      | 59,56                      | LOS_A         | 9,44                            | 0,32                         | 7,079           | 1,377            | 0,101                     |
| <b>RASKRIŽJE</b> | 22,58                     | 238,5                      | LOS_C         | 33,88                           | 0,96                         | 7.287,521       | 1.417,887        | 104,256                   |

Na grafikonu 5 prikazana je usporedba prosječnog vremena kašnjenja vozila prema smjeru kretanja u postojećem stanju i idejnom prometnom rješenju u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza. Iz grafikona je vidljivo kako su se implementacijom idejnog prometnog rješenja prosječna vremena kašnjenja na južnom i sjevernom privozu smanjila, dok su se na zapadnom i istočnom privozu povećala. Najveće poboljšanje vidljivo je na sjevernom privozu gdje se prosječno vrijeme kašnjenja za vozila koja skreću desno smanjilo za 85%, a razina usluge poboljšala se s E na B. Prosječno vrijeme kašnjenja za vozila koja idu ravno prema jugu smanjilo se za 73%, odnosno razina usluge podigla se s E na C, dok se prosječno vrijeme kašnjenja za vozila koja skreću lijevo smanjilo za 49%, a razina usluge poboljšala se s E na C. Na južnom privozu najveće smanjenje vremena kašnjenja imaju vozila koja skreću desno za 48%, a razina usluge podigla se s E na B, dok se razina usluge za vozila koja zadržavaju smjer kretanja podigla s E na C, a za vozila koja skreću lijevo s E na D. Na zapadnom i istočnom privozu vrijeme kašnjenja povećalo se za sve smjerove kretanja osim za vozila koja na zapadnom privozu skreću desno. Najveće povećanje vidljivo je na istočnom privozu. Za vozila koja skreću desno, prosječno vrijeme kašnjenja

povećalo se za 70%, odnosno razina usluge smanjila se s A na B, dok se za vozila koja zadržavaju smjer kretanja i skreću lijevo razina usluge smanjila s D na E, a prosječno vrijeme kašnjenja povećalo se za 50% za vozila koja zadržavaju smjer kretanja, odnosno 32% za vozila koja skreću lijevo.



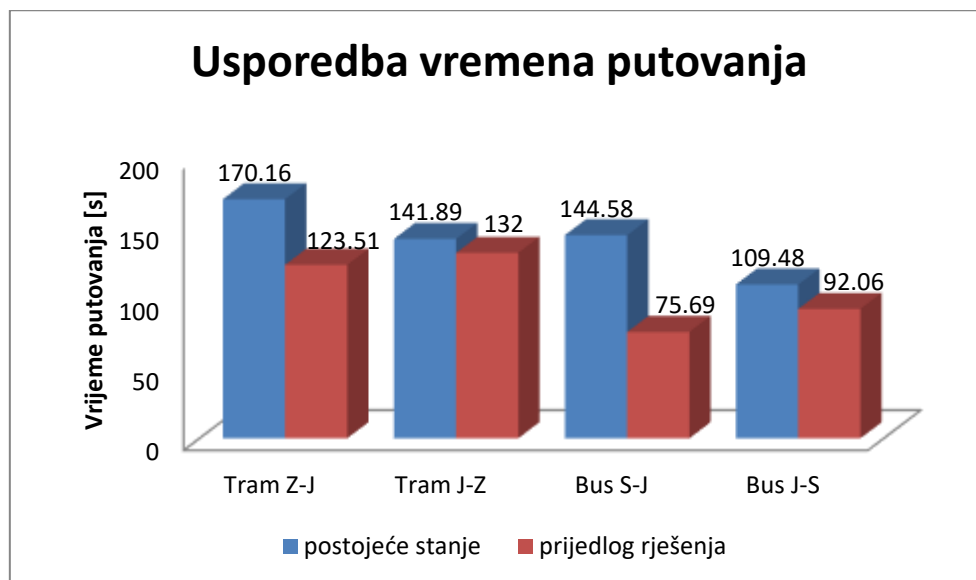
*Grafikon 5. Usporedba prosječnog vremena kašnjenja postojećeg stanja i idejnog prometnog rješenja u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza*

Prema podacima iz tablice 10 prosječno vrijeme čekanja tramvaja iz smjera juga iznosi 11,47 s, što odgovara razini usluge B, dok je prosječno vrijeme čekanja tramvaja iz smjera zapada 9,44 s što odgovara razini usluge A. Ako se uspoređuju ovi podaci sa podacima dobivenim evaluacijom postojećeg stanja, vidljivo je kako se vrijeme kašnjenja tramvaja iz smjera juga smanjilo za 47%, odnosno razina usluge poboljšala se s C na B, dok se vrijeme kašnjenja tramvaja iz smjera zapada smanjilo za čak 83%, a razina usluge drastično se poboljšala s E na A.

Kako bi se dobio bolji uvid u kretanje vozila javnog gradskog prijevoza, pomoću mikrosimulacijskog alata PTV Vissim izvršena je i evaluacija vremena putovanja vozila javnog gradskog prijevoza korištenjem alata „vehicle travel time evaluation“. Podaci su dobiveni na način da se na linku preko kojeg prolazi vozilo javnog gradskog prijevoza postavila početna pozicija od koje će se mjeriti i krajnja pozicija do koje će se mjeriti vrijeme putovanja. Parametri za evaluaciju postavljeni su tako da u evaluaciju ulaze samo tipovi vozila javnog gradskog prijevoza, a to su autobusi i tramvaji.

Na grafikonu 6 prikazana je usporedba vremena putovanja vozila javnog gradskog prijevoza postojećeg stanja i idejnog prometnog rješenja u vidu davanja prednosti vozilima javnog gradskog prijevoza. Vidljivo je da su se sva vremena putovanja implementacijom idejnog prometnog rješenja poboljšala u odnosu na postojeće stanje. Najveće poboljšanje zabilježeno je za autobuse na liniji Črnomerec – Dugave koji putuju sa sjevernog privoza u

smjeru juga gdje se vrijeme putovanja skratilo za 47% što odgovara podacima iz prethodnog grafikona, budući da su također najveće promjene vezane uz ostale cestovne prometne tokove zabilježene na sjevernom privozu. Vrijeme putovanja za autobuse na liniji Dugave – Črnomerec skratilo se za 16%. Na skraćivanje vremena putovanja tramvajskog prometa utječe jedino čekanje na semaforima, budući da tramvajski promet ima odvojene trake od ostatka prometa. Vrijeme putovanja za tramvaje sa smjera juga prema zapadu skratilo se za 7%, a vrijeme putovanja tramvaja sa smjera zapada prema jugu skratilo se za 27%.



*Grafikon 6. Usporedba vremena putovanja vozila javnog gradskog prijevoza postojećeg stanja i idejnog prometnog rješenja u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza*

Iz prethodno prikazanih podataka vidljivo je da se nakon implementacije prijedloga rješenja prosječna duljina repa čekanja cijelog raskrižja smanjila s 44,67 m na 22,58 m što odgovara smanjenju za 49%. Također, prosječno vrijeme kašnjenja na raskrižju smanjilo se s 42,84 s na 33,88 s što u postotku iznosi 21%, a razina usluge cijelog raskrižja podigla se s D na C. Prosječan broj zaustavljanja po vozilu smanjio se s 1,36 na 0,96. Također, emisije štetnih plinova i potrošnja goriva manji su u odnosu na postojeće stanje, što znači da ovo idejno prometno rješenje pozitivno djeluje na prometni sustav s ekološkog aspekta.

Na temelju analiziranih podataka može se zaključiti da predloženo idejno prometno rješenje u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza pozitivno utječe na prometne parametre raskrižja u cjelini. Adaptivnim upravljanjem prometa na raskrižju uz davanje prioriteta vozilima javnog gradskog prijevoza pozitivno se utječe na cestovne prometne tokove na sjevernom i južnom privozu, no na istočnom i zapadnom privozu počinju se stvarati repovi čekanja i vozilima je potrebno dulje vrijeme za prolazak kroz raskrižje. Razlog tome je znatno manja količina vozila koja dolazi s istočnog i zapadnog privoza u odnosu na južni i sjeverni s obzirom da je adaptivno upravljanje temeljeno na prometnoj potražnji. Kako bi predloženo idejno prometno rješenje davalo bolje rezultate

vezano za odvijanje ostalog prometa, potrebno je primijeniti adaptivno upravljanje na širem području obuhvata jer se predmetno raskrižje ne može promatrati izolirano.

Da bi se prometni sustav u cijelosti mogao optimizirati, potrebno je djelovati na prometnu potražnju u smislu smanjenja broja motornih vozila jer je današnji trend povećanja broja motornih vozila u Gradu Zagrebu dugoročno neodrživ. Potrebno je napomenuti da je jedan od bitnih faktora za optimizaciju raskrižja primjenom predloženog idejnog prometnog rješenja provođenje mjera za smanjenje broja motornih vozila kao što su: smanjenje broja parkirnih mjesta, Park & Ride sustav, naplata zagušenja, car sharing, zabrana ulaska vozila u određene dijelove grada i sl. Implementacijom predloženog rješenja dodatno se utječe na poticanje ljudi da češće koriste javni gradski prijevoz za svoja putovanja. Javni gradski prijevoz ima vrlo važnu ulogu u postizanju održivog i učinkovitog razvoja grada te veće korištenje javnog gradskog prijevoza pozitivno utječe na brojne aspekte, no javni gradski prijevoz u Gradu Zagrebu trenutno nije na zadovoljavajućoj razini, stoga se predloženo idejno prometno rješenje može definirati kao dugoročno rješenje nakon što se kvaliteta javnog gradskog prijevoza u Gradu Zagrebu poboljša primjenom raznih mjera.



## **6. UTJECAJ AUTONOMNIH VOZILA NA PROPUSNU MOĆ I RAZINU USLUGE RASKRIŽJA**

Brzo rastući tehnološki trendovi omogućili su brz razvoj cjelokupnog društva, pa tako i prometnog sustava. Jedan od značajnijih tehnoloških trendova u vidu razvoja prometnog sustava su autonomna vozila koja su u posljednjih nekoliko godina stvorila bitni iskorak u tehničkom i tehnološkom razvoju vozila. Zbog sve veće primjene takvih vozila i stalnog unaprjeđenja inteligentnih tehnologija koje su značajne za razvoj ovog trenda, potrebno je ispitati kako će se postepenom implementacijom autonomnih vozila prometni sustav ponašati kao cjelina. Također, potrebno je utvrditi postoji li korist primjene manjih postotaka autonomnih vozila, odnosno je li potrebna potpuna automatizacija prometa kako bi sama ideja imala pozitivan učinak.

Autonomna vozila su vozila koja imaju sposobnost vožnje bez ljudske intervencije. Oni sami donose odluke u prometu na temelju prikupljenih informacija s raznih senzora, kamera, GPS-a i ostalih naprednih algoritama. Daljnjim razvojem tehnologije dolazi se do novog koncepta autonomnih vozila gdje intervencija vozača nije potrebna, nego vozilo samo provodi sve potrebne radnje u vožnji, čime se običan vozač pretvara u putnika. Da bi se prometni sustav mogao razvijati u pozitivnom smjeru, potrebno je povezati prometna vozila sa prometnom infrastrukturom te omogućiti njihovu komunikaciju i razmjenu informacija u svakom trenutku. Također, osim komunikacije vozila sa infrastrukturom, potrebna je i komunikacija vozila sa drugim vozilom. Općenito se autonomna vozila mogu kategorizirati u 6 razina ovisno o razini automatizacije. Razina 0 nema niti jednu automatiziranu funkciju, dok razina 5 predstavlja potpuno autonomno vozilo gdje vozač postaje putnik u tom vozilu [30].

Autonomna vozila imaju brojne prednosti u usporedbi s konvencionalnim vozilima kojima upravlja običan čovjek. Kao najvažnija prednost ističe se sigurnost s obzirom da je ljudska pogreška vodeći je uzrok nastanka prometnih nesreća. Bitna prednost je i povećanje mobilnosti s obzirom da autonomna vozila pružaju mogućnost prijevoza za ljude koji ne mogu upravljati motornim vozilima. Povećanjem mobilnosti i učinkovitosti putovanja može se značajno utjecati na smanjenje prometnog zagušenja. Autonomna vozila također imaju pozitivan utjecaj na odvijanje prometa s ekološkog aspekta jer se njihovim uvođenjem smanjuju emisije štetnih plinova. Unatoč brojnim prednostima, uvođenjem autonomnih vozila javljaju se određeni izazovi i negativni učinci. Jedan od najvećih problema je potencijalan gubitak radnih mjesta, budući da vozač više nije potreban. Također, javlja se potreba za novom, poboljšanom infrastrukturom što iziskuje velika investicijska ulaganja te je potrebno uspostaviti nove zakone i propise koji reguliraju rad ovih vozila. Isto tako, u situacijama u kojima je prometna nesreća neizbježna, autonomno vozilo mora donijeti odluku koju radnju će dalje poduzeti, čime se dovodi u pitanje etičnost odluke [31].

## 6.1. Simulacijski parametri autonomne vožnje

Kako bi se simulirao utjecaj autonomnih vozila na postojeću prometnu situaciju, potrebno je odrediti prema kojim parametrima se autonomno vozilo razlikuje od stvarnih vozača. Za razliku od „realnih“ vozača koje karakterizira prije svega različitost i stohastičnost, autonomno vozilo može se smatrati kao „idealno“ vozač. Karakteristike koje idealan vozač, pa samim time i autonomno vozilo, mora imati su:

- Izvrsno poznavanje zakona i pravila na cestama,
- Dobre sposobnosti prosuđivanja i donošenja odluka,
- Strpljenje i učinkovitost,
- Dobra percepcija okoline,
- Tehničke vještine vožnje,
- Vještine sigurne vožnje i reagiranja na opasnosti,
- Odgovoran stav.

U svrhu preslikavanja realnog prometnog sustava u simulacijsko okruženje korišten je mikrosimulacijski alat PTV Vissim. Unutar programskog alata PTV Vissim, navedene karakteristike autonomnih vozila potrebno je definirati logikom vožnje i parametrima prema kojima se autonomno vozilo razlikuje od realnog vozača. Projektom CoEXist dani su opisi modeliranja autonomnih vozila u PTV Vissimu. Projekt CoEXist je europski projekt koji ima za cilj pripremiti prijelaznu fazu tijekom koje će automatizirana i konvencionalna vozila koegzistirati na cestama, a projektom su opisane četiri temeljne logike vožnje sa njihovim glavnim principima i sposobnostima, a to su [32]:

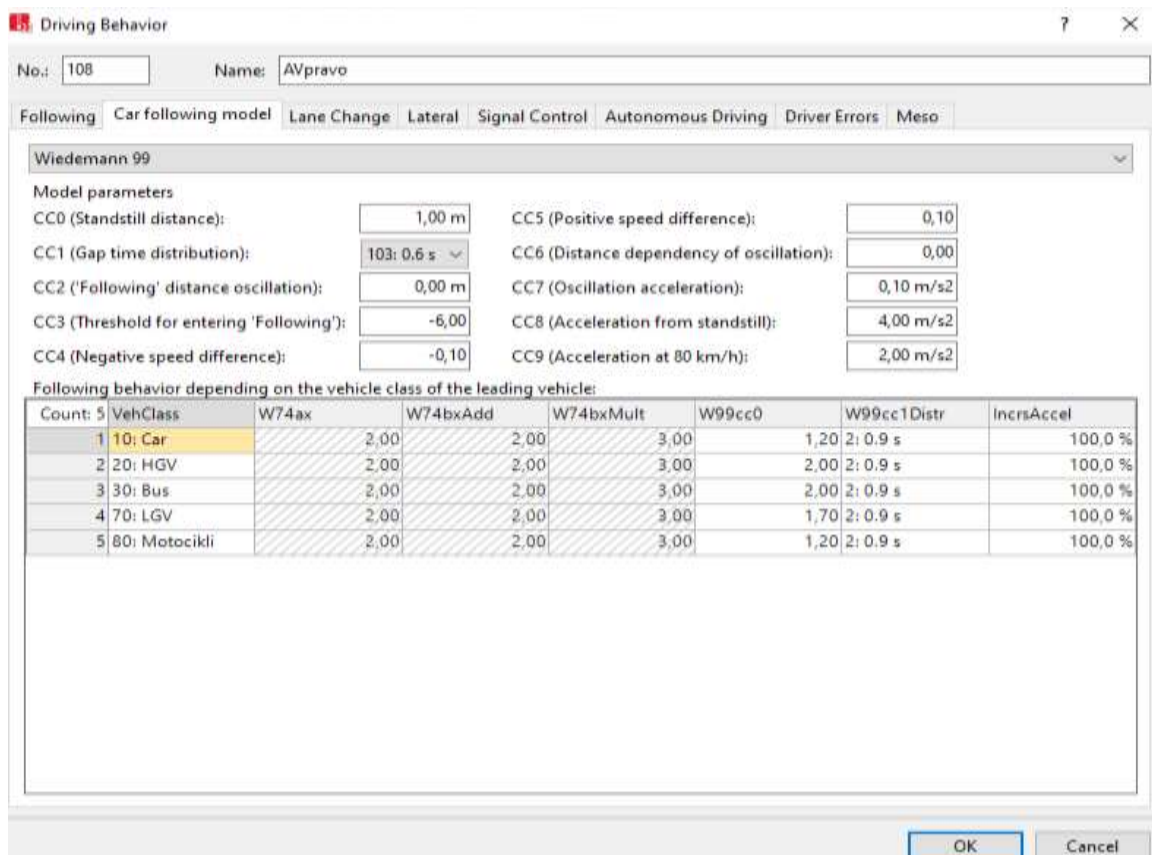
- Sigurno (eng. *Rail Safe*) – način vožnje koji opisuje determinističko ponašanje koje predstavlja zatvoreno, kontroliranje okruženje koje je moguće pronaći u tvornicama, lukama itd.,
- Oprezno (eng. *Cautious*) – način vožnje koji opisuje sigurnu vožnju,
- Normalno (eng. *Normal*) – vožnja koja opisuje način vožnje ljudskog vozača sa dodatnim kapacitetom mjerenja udaljenosti i brzine vozila u krugu senzora vozila,
- Sveznajuće (eng. *All-knowing*) – vozilo ima duboku svijest i mogućnosti predviđanja, što uglavnom dovodi do manjih praznina za sve manevre i situacije, a u komercijalnoj varijanti PTV Vissima naziva se *aggressive*.

Unutar programskog alata PTV Vissim, od navedenih logika vožnje postoje AV cautious, AV normal te AV aggressive. Također, moguće je stvoriti i novu logiku vožnje izmjenom postojećeg modela ili stvaranjem novog modela i proizvodnim definiranjem vrijednosti parametara. S obzirom da je svako raskrižje u prometnoj mreži jedinstveno, za potrebe ovog diplomskog rada kreiran je novi model logike vožnje s parametrima koji odgovaraju potrebama predmetnog raskrižja.

Skupine parametara koji služe za određivanje načina vožnje su: model slijeđenja vozila (engl. *Car following model*), promjena prometnog traka (engl. *Lane Change*), upravljanje signalnim planovima (engl. *Signal Control*) te autonomna vožnja (engl. *Autonomous Driving*) [32].

Model praćenja vozila (engl. *Car following model*), u PTV Vissimu ima dva seta parametara definiranih prema Wiedemannovom 74 i 99 modelu. U svrhu modeliranja autonomnih vozila koristi se Wiedemann 99 model jer omogućava veće izmjene ponašanja vozila, dok je Wiedemann 74 model korišten prilikom simulacije postojećeg stanja zbog parametara koji odgovaraju potrebama predmetnog raskrižja.

Kako bi se dobio bolji uvid u postojeće parametre, slikom 35 prikazano je sučelje modela praćenja vozila s parametrima koji opisuju ponašanje autonomnih vozila. Za svaku od prijašnje navedenih logika vožnje, ovi parametri su predefimirani, te su za potrebe simulacije izmijenjeni sukladno prikazanoj slici. Za svaku kategoriju vozila definiran je razmak između vozila koji za osobne automobile i motocikle iznosi 1,2 m, za laka teretna vozila iznosi 1,7 m, dok za autobuse i teška teretna vozila iznosi 2 m. Ove vrijednosti definirane su prvenstveno na temelju sigurnosnih razloga jer se simulacija sastoji od kombinacije autonomnih i konvencionalnih vozila, dok je u scenariju gdje se cijeli prometni tok sastoji samo od autonomnih vozila, primijenjena logika vožnje AV aggressive.



Slika 35. Prikaz sučelja modela praćenja vozila

Promjena trake (engl. *Lane change*) opisuje način i uvjete u kojima će vozilo promijeniti traku, a može biti nužna ili slobodna. Nužna promjena trake je u slučaju potrebe praćenja rute vožnje, dok je slobodna promjena trake iz razloga boljih uvjeta vožnje. Za ponašanje pri promjeni trake, najvažniji parametar je faktor smanjenja sigurnosne udaljenosti (eng. *Safety distance reduction factor*). Prema zadanim postavkama postavljen je na 0,6 što znači da vozila prihvaćaju manje razmake za promjenu trake kao i za praćenje, te se ovisno o potrebama modela može mijenjati. Također, moguće je uključiti „*Advanced merging*“ što omogućuje raniju promjenu trake u slučaju potreba te „*Cooperative Lane Change*“ koji omogućuje suradnju vozila prilikom promjena traka [32].

Upravljanje signalnim planovima (engl. *Signal control*), omogućuje postavljanje ponašanja vozila prilikom različitih oznaka semafora. Moguće je definirati ponašanje prilikom žutog signala semafora te ponašanje vozila prilikom crvenog/žutog signala. Također, bitno je definiranje čimbenika smanjenja sigurnosne udaljenosti na odgovarajući način [32].

Autonomna vožnja (engl. *Autonomous driving*), sastoji se od više opcija koje je moguće omogućiti ili isključiti. Jedna od opcija je EABD (*Enforce absolute breaking distance*), odnosno nametanje apsolutne udaljenosti kočenja, koja vozilu omogućava održavanje sigurne udaljenosti od vozila kako bi se isto moglo zaustaviti na vrijeme neovisno o brzini zaustavljanja vozila ispred. Sljedeća opcija je „*Use implicit stochastic*“, koja koristi implicitnu stohastičnost, što omogućuje način vožnje koji priliči ljudskoj vožnji. Posljednja opcija naziva se „*Platooning*“, a opisuje ponašanje povezanih vozila koja se zajedno kreću u koloni i imaju mogućnost bliske i sigurne vožnje pri velikim brzinama [32].

Nakon definiranja modela logike vožnje i svih parametara koji karakteriziraju autonomna vozila, izrađeni „*Driving Behavior*“ dodjeljuje se novom tipu vozila koji se dodjeljuje novoj klasi vozila. Struktura prometnog toka zamjenjuje se novom klasom vozila u određenom postotku. Kako bi se vozila na cijeloj prometnoj mreži ponašala na željeni način, potrebno je izraditi novi „*Link Behavior Type*“ koji se dodjeljuje svim linkovima.

## 6.2. Scenariji udjela autonomnih vozila u prometnom toku

U svrhu dobivanja podataka koji će dati jasnu sliku o utjecaju autonomnih vozila u prometnom toku, provedene su simulacije s 25%, 50%, 75% te 100% udjela autonomnih vozila. Postotak udjela je jednomjerno raspodijeljen po svim privozima predmetnog raskrižja. Evaluacija izlaznih podataka svih scenarija prikazana je u nastavku, te će se ti podaci uspoređivati sa izlaznim podacima evaluacije postojećeg stanja kako bi se utvrdilo koliki omjer autonomnih i konvencionalnih vozila je potreban kako bi se vidjele koristi te jesu li te koristi isplative.

### 6.2.1. Simulacija s 25% udjela autonomnih vozila

U tablici 11 prikazani su izlazni rezultati simulacije s 25% udjela autonomnih vozila u prometnom toku. Podaci koji su prikazani jednaki su kao i u evaluaciji postojećeg stanja, te će ti podaci biti prikazani u svakoj idućoj evaluaciji, a to su redom: smjer kretanja, prosječan rep čekanja, maksimalan rep čekanja, razina usluge, prosječno vrijeme kašnjenja, prosječan broj zaustavljanja, emisija CO, Emisija NOx i potrošnja goriva. Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja iznosi 35,22 s, što odgovara razini usluge D.

Tablica 11. Prikaz rezultata simulacije s 25% udjela autonomnih vozila

| Smjer kretanja   | Prosječan rep čekanja [m] | Maksimalan rep čekanja [m] | Razina usluge | Prosječno vrijeme kašnjenja [s] | Prosječan broj zaustavljanja | Emisija CO [gr]  | Emisija Nox [gr] | Potrošnja goriva [gallon] |
|------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| Z-J              | 18,78                     | 66,81                      | LOS_A         | 6,44                            | 0,43                         | 905,629          | 156,746          | 11,525                    |
| Z-I              | 13,79                     | 57,04                      | LOS_D         | 37,96                           | 1,12                         | 357              | 69,459           | 5,107                     |
| Z-S              | 13,33                     | 57,07                      | LOS_C         | 34,34                           | 4,01                         | 641,129          | 124,74           | 9,172                     |
| J-I              | 23,52                     | 159,66                     | LOS_C         | 27,52                           | 1,06                         | 189,677          | 36,904           | 2,714                     |
| J-S              | 85,02                     | 233,29                     | LOS_D         | 42,67                           | 1,4                          | 1.680,013        | 307,413          | 24,604                    |
| J-Z              | 85,02                     | 233,36                     | LOS_E         | 55,59                           | 1,94                         | 1.828,869        | 355,831          | 26,164                    |
| I-S              | 2,09                      | 65,91                      | LOS_A         | 8,4                             | 0,72                         | 35,542           | 6,915            | 2,908                     |
| I-Z              | 17,34                     | 68,11                      | LOS_D         | 45,36                           | 1,35                         | 681,494          | 218,974          | 11,748                    |
| I-J              | 16,32                     | 68,12                      | LOS_D         | 39,5                            | 1,76                         | 273,084          | 53,132           | 5,907                     |
| S-Z              | 5,86                      | 89,13                      | LOS_B         | 18,19                           | 1,14                         | 229,704          | 44,692           | 4,286                     |
| S-J              | 22,42                     | 91,93                      | LOS_C         | 29,63                           | 1,24                         | 1.690,268        | 270,496          | 23,889                    |
| S-I              | 21,89                     | 91,49                      | LOS_C         | 32,94                           | 1,34                         | 179,647          | 34,953           | 3,57                      |
| <b>RASKRIŽJE</b> | <b>28,36</b>              | <b>235,16</b>              | <b>LOS_D</b>  | <b>35,22</b>                    | <b>2,12</b>                  | <b>8.692,056</b> | <b>1.680,255</b> | <b>131,594</b>            |

### 6.2.2. Simulacija s 50% udjela autonomnih vozila

Tablicom 12 prikazani su izlazni rezultati simulacije s 50% udjela autonomnih vozila u prometnom toku. Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja iznosi 35,76 s, što odgovara razini usluge D.

Tablica 12. Prikaz rezultata simulacije s 50% udjela autonomnih vozila

| Smjer kretanja | Prosječan rep čekanja [m] | Maksimalan rep čekanja [m] | Razina usluge | Prosječno vrijeme kašnjenja [s] | Prosječan broj zaustavljanja | Emisija CO [gr] | Emisija Nox [gr] | Potrošnja goriva [gallon] |
|----------------|---------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|---------------------------|
| Z-J            | 17,5                      | 60,66                      | LOS_A         | 6,2                             | 0,43                         | 823,776         | 160,277          | 11,785                    |
| Z-I            | 13,08                     | 50,89                      | LOS_D         | 37,56                           | 1,33                         | 403,044         | 78,418           | 5,766                     |
| Z-S            | 12,64                     | 50,92                      | LOS_C         | 30,3                            | 3,76                         | 800,78          | 155,803          | 11,456                    |
| J-I            | 27,69                     | 147,74                     | LOS_C         | 29,5                            | 2,32                         | 227,472         | 41,247           | 2,9                       |

|                  |              |               |              |              |             |                |                |                |
|------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|-------------|----------------|----------------|----------------|
| J-S              | 89,32        | 276,78        | LOS_D        | 44,84        | 1,92        | 1687,41        | 343,42         | 26,475         |
| J-Z              | 89,68        | 278,5         | LOS_E        | 59,74        | 2,14        | 1954,78        | 387,589        | 29,473         |
| I-S              | 0,86         | 37,93         | LOS_A        | 4,76         | 0,34        | 32,012         | 6,228          | 0,458          |
| I-Z              | 13,46        | 52,69         | LOS_D        | 37,23        | 1,38        | 648,251        | 126,126        | 9,274          |
| I-J              | 12,28        | 52,7          | LOS_D        | 35,04        | 2,27        | 316,023        | 61,487         | 4,521          |
| S-Z              | 2,47         | 73,85         | LOS_B        | 13,69        | 1,08        | 231,648        | 45,07          | 3,314          |
| S-J              | 18,37        | 82,44         | LOS_C        | 27,01        | 1,45        | 1771,13        | 305,685        | 24,477         |
| S-I              | 17,78        | 82,01         | LOS_C        | 31,04        | 1,23        | 175,211        | 34,09          | 3,507          |
| <b>RASKRIŽJE</b> | <b>30,06</b> | <b>279,52</b> | <b>LOS_C</b> | <b>35,76</b> | <b>2,31</b> | <b>9071,54</b> | <b>1745,44</b> | <b>133,406</b> |

### 6.2.3. Simulacija s 75% udjela autonomnih vozila

Izlazni podaci simulacije s 75% udjela autonomnih vozila u prometnom toku prikazani su tablicom 13. Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja iznosi 36,96 s, što odgovara razini usluge D.

Tablica 13. Prikaz rezultata simulacije s 75% udjela autonomnih vozila

| Smjer kretanja   | Prosječan rep čekanja [m] | Maksimalan rep čekanja [m] | Razina usluge | Prosječno vrijeme kašnjenja [s] | Prosječan broj zaustavljanja | Emisija CO [gr] | Emisija Nox [gr] | Potrošnja goriva [gallon] |
|------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|---------------------------|
| Z-J              | 19,11                     | 72,13                      | LOS_A         | 6,9                             | 0,48                         | 865,824         | 168,458          | 12,387                    |
| Z-I              | 14,33                     | 62,36                      | LOS_D         | 40,66                           | 1,65                         | 460,28          | 89,554           | 6,585                     |
| Z-S              | 13,9                      | 62,39                      | LOS_C         | 27,92                           | 3,91                         | 832,086         | 161,894          | 11,904                    |
| J-I              | 30,78                     | 183,74                     | LOS_C         | 30,74                           | 2,55                         | 242,471         | 45,748           | 3,54                      |
| J-S              | 94,47                     | 296,73                     | LOS_D         | 45,74                           | 2,36                         | 1974,421        | 287,153          | 29,612                    |
| J-Z              | 94,64                     | 297,47                     | LOS_E         | 61,82                           | 2,26                         | 2136,478        | 417,94           | 31,74                     |
| I-S              | 0,26                      | 16,62                      | LOS_A         | 2,7                             | 0,27                         | 28,568          | 5,558            | 0,409                     |
| I-Z              | 12,03                     | 47,22                      | LOS_D         | 34,83                           | 1,55                         | 700,229         | 136,239          | 10,018                    |
| I-J              | 10,93                     | 47,23                      | LOS_D         | 34,3                            | 2,76                         | 375,955         | 73,147           | 5,378                     |
| S-Z              | 1,58                      | 69,4                       | LOS_B         | 13,07                           | 1,15                         | 239,616         | 46,62            | 3,428                     |
| S-J              | 18,13                     | 80,38                      | LOS_C         | 25,61                           | 1,86                         | 1833,018        | 356,639          | 26,223                    |
| S-I              | 17,46                     | 79,94                      | LOS_C         | 30,66                           | 1,32                         | 174,876         | 34,025           | 2,502                     |
| <b>RASKRIŽJE</b> | <b>32,78</b>              | <b>298,57</b>              | <b>LOS_D</b>  | <b>36,96</b>                    | <b>2,42</b>                  | <b>9863,822</b> | <b>1822,975</b>  | <b>143,726</b>            |

### 6.2.4. Simulacija s 100% udjela autonomnih vozila

U posljednjem scenariju cijeli prometni tok sastoji se od autonomnih vozila. Za ovaj scenarij, parametri u simulaciji postavljeni su za *All-knowing Car-following* model vožnje prema Wiedemannovom 99 modelu. Uz to, uključene su prethodno spomenute opcije *Cooperative Lane Change* te *Advanced merging*. Rezultati simulacije prikazani su u tablici 14. Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja iznosi 22,13 s, što odgovara razini usluge C.



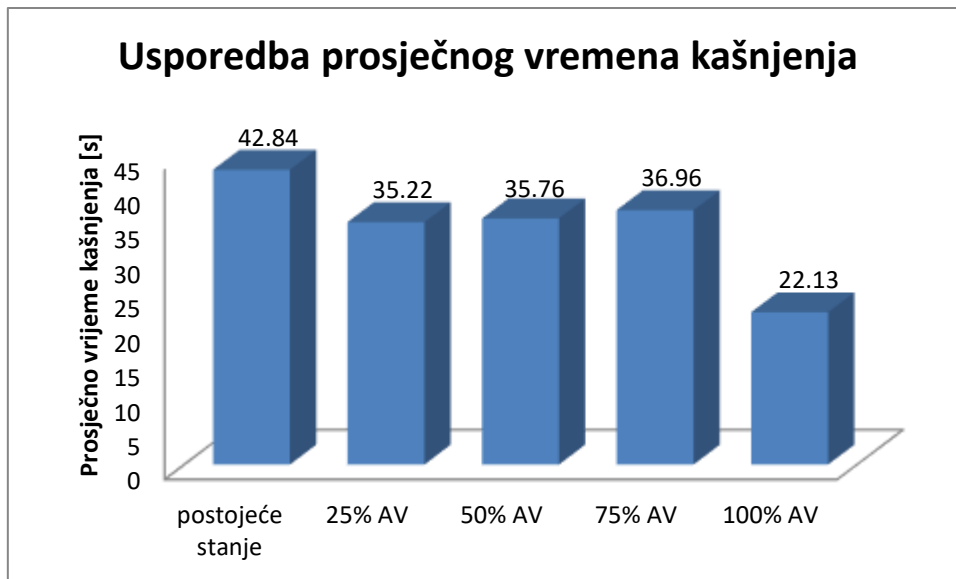
Tablica 14. Prikaz rezultata simulacije s 100% udjela autonomnih vozila

| Smjer kretanja   | Prosječan rep čekanja [m] | Maksimalan rep čekanja [m] | Razina usluge | Prosječno vrijeme kašnjenja [s] | Prosječan broj zaustavljanja | Emisija CO [gr] | Emisija Nox [gr] | Potrošnja goriva [gallon] |
|------------------|---------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------|---------------------------|
| Z-J              | 10,06                     | 48,41                      | LOS_A         | 2,33                            | 0,16                         | 547,911         | 106,604          | 7,839                     |
| Z-I              | 8,18                      | 38,64                      | LOS_C         | 29,53                           | 1,41                         | 391,826         | 76,235           | 5,606                     |
| Z-S              | 7,61                      | 38,67                      | LOS_C         | 20,79                           | 3,23                         | 817,908         | 159,135          | 11,701                    |
| J-I              | 5,76                      | 57,83                      | LOS_B         | 20,79                           | 1,07                         | 204,051         | 42,153           | 3,035                     |
| J-S              | 76,73                     | 183,57                     | LOS_C         | 29,66                           | 1,14                         | 1663,903        | 262,648          | 26,665                    |
| J-Z              | 76,62                     | 183,64                     | LOS_C         | 29,72                           | 1,55                         | 1918,679        | 372,762          | 28,88                     |
| I-S              | 0,5                       | 38,35                      | LOS_A         | 2,98                            | 0,16                         | 23,88           | 4,646            | 0,342                     |
| I-Z              | 10,77                     | 43,85                      | LOS_C         | 30,81                           | 1,47                         | 628,759         | 131,79           | 9,426                     |
| I-J              | 9,6                       | 43,86                      | LOS_C         | 28,16                           | 2,41                         | 314,743         | 61,238           | 4,503                     |
| S-Z              | 1,73                      | 66,32                      | LOS_A         | 9,95                            | 1,14                         | 229,822         | 44,715           | 3,288                     |
| S-J              | 14,98                     | 72,24                      | LOS_B         | 19,53                           | 2,23                         | 1677,943        | 346,749          | 25,158                    |
| S-I              | 14,41                     | 71,81                      | LOS_C         | 27,53                           | 0,94                         | 135,972         | 26,455           | 1,945                     |
| <b>RASKRIŽJE</b> | <b>15,89</b>              | <b>183,86</b>              | <b>LOS_C</b>  | <b>22,13</b>                    | <b>1,25</b>                  | <b>8555,397</b> | <b>1635,13</b>   | <b>128,388</b>            |

### 6.3. Usporedba izlaznih rezultata simulacija

Nakon svih provedenih simulacija te izvučenih relevantnih podataka, potrebno je provesti analizu i usporedbu podataka. Svi scenariji s određenim postotkom udjela autonomnih vozila uspoređuju se s evaluacijom postojećeg stanja kako bi se uvidjele promjene u odvijanju prometnog toka kroz predmetno raskrižje.

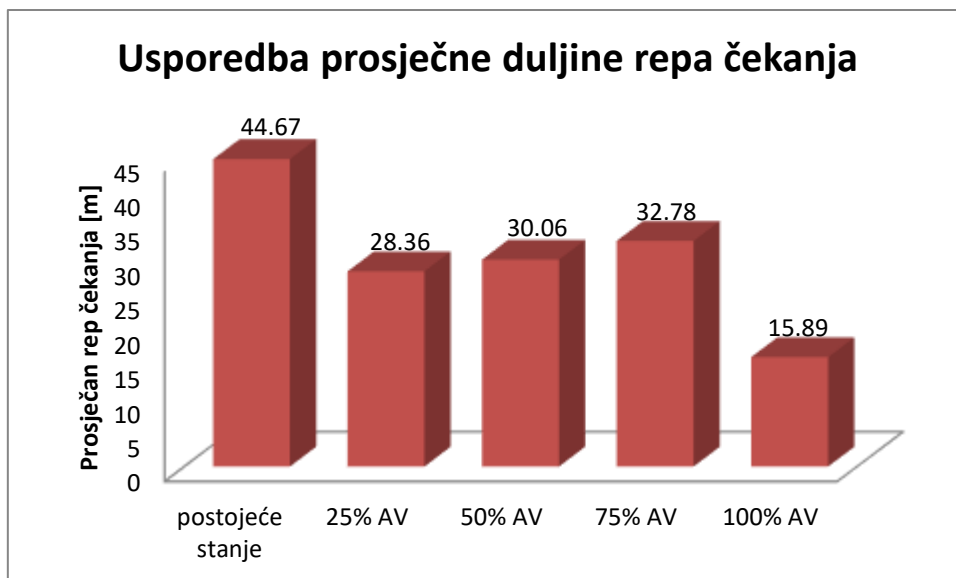
Na grafikonu 7 prikazano je prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja s različitim udjelom autonomnih vozila u prometnom toku. Vidljivo je kako prometni tok sa stopostotnim udjelom autonomnih vozila ima najmanje prosječno vrijeme kašnjenja koje iznosi 22,13 s. S prvobitnim povećanjem udjela autonomnih vozila, prosječno vrijeme kašnjenja vozila na raskrižju se smanjuje za 18%. Razlog takvog pada je smanjenje duljine repa čekanja na južnom privozu koji u velikoj mjeri utječe na mogućnost prolaska vozila kroz predmetno raskrižje sa sjevernog privoza, pa se samim time utječe na smanjenje prosječnog vremena kašnjenja cijelog raskrižja. Daljnjim povećanjem udjela autonomnih vozila prosječno vrijeme kašnjenja blago raste jer integriranjem autonomnih vozila među vozače na cesti postoje sigurnosni uvjeti koji se moraju ispuniti kako ne bi došlo do incidenta. Postizanjem stopostotne autonomnosti takvi sigurnosni uvjeti se mogu isključiti, budući da se postiže mogućnost komuniciranja i dijeljenja informacija svih vozila na cijeloj prometnoj mreži.



*Grafikon 7. Usporedba prosječnog vremena kašnjenja postojećeg stanja i scenarija s različitim udjelom autonomnih vozila*

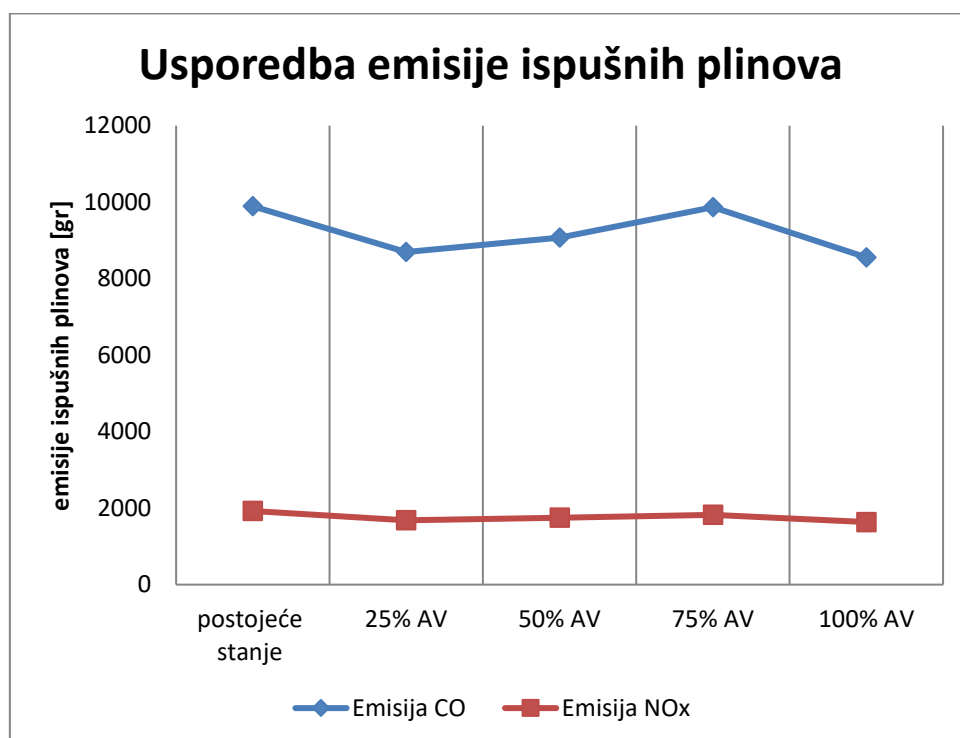
Razina usluge cijelog raskrižja u postojećem stanju iznosi D. Daljnjim povećanjem udjela autonomnih vozila, podaci za određivanje razine usluge nalaze se oko granične vrijednosti sa razinom usluge C, no razina usluge i dalje ostaje ista te iznosi D. Potpunim uvođenjem autonomnih vozila, razina usluge podiže se na C.

Grafikon 8 prikazuje usporedbu prosječne duljine repa čekanja vozila na raskrižju s različitim udjelom autonomnih vozila u prometnom toku. Razlog prvobitnog smanjenja prosječne duljine repa čekanja povećanjem udjela autonomnih vozila isti je kao i kod prosječnog vremena kašnjenja. Daljnjim povećanjem udjela autonomnih vozila, prosječan rep čekanja se povećava, a razlog je veći broj vozila na južnom privozu koji povećava tu vrijednost. Zbog manjeg razmaka slijeđenja između vozila, veća količina vozila prolazi kroz fazu zelenog svjetla na susjednom raskrižju Selske ceste i Jadranskog mosta koje dolazi na predmetno raskrižje gdje je izvršena evaluacija. Povećanjem udjela autonomnih vozila, duljina repa čekanja povećava se i na zapadnom privozu, dok se na istočnom i sjevernom smanjuje. Maksimalna duljina repa čekanja na raskrižju uvjetovana je duljinom repa čekanja na južnom privozu koji se povećava s povećanjem broja vozila koji dolazi na raskrižje. Sa stopostotnim udjelom autonomnih vozila u prometnom toku, razmak između svih vozila u prometnom toku je jednak, te jednak broj vozila može proći raskrižjem kroz trajanje zelene faze pa je i prosječna duljina repa čekanja najmanja. U usporedbi s postojećim stanjem, prosječna duljina repa čekanja sa stopostotnim udjelom autonomnih vozila smanjila se za 69%.



Grafikon 8. Usporedba prosječne duljine repa čekanja postojećeg stanja i scenarija s različitim udjelom autonomnih vozila

Isto tako, potrebno je sagledati i ekološki utjecaj autonomnih vozila, odnosno kako povećanje udjela autonomnih vozila djeluje na količinu emisije štetnih ispušnih plinova CO i NO<sub>x</sub> te potrošnju goriva. Na grafikonu 9 prikazana je količina emisije štetnih ispušnih plinova. Krivulje se kreću istom tendencijom kao i ostali izmjereni parametri jer se povećava broj vozila koji prolazi raskrižjem. Ipak, uvođenjem stopostotnog udjela autonomnih vozila u prometni tok, te vrijednosti su manje od vrijednosti trenutnog stanja za oko 14%.



Grafikon 9. Usporedba emisije ispušnih plinova postojećeg stanja i scenarija s različitim udjelom autonomnih vozila

Potrošnja goriva također se kreće istom tendencijom kao i prethodni parametri. Uvođenjem stopostotnog udjela autonomnih vozila u prometni tok, rezultati pokazuju da se potrošnja goriva smanjuje za 9%. Sukladno današnjim razvojnim trendovima, može se pretpostaviti da će autonomna vozila u velikoj mjeri biti izvedena kao električna vozila. Prema toj pretpostavci, potrošnja energije i ostali ekološki čimbenici, pozitivno će djelovati na okoliš u još većoj mjeri od prikazanih rezultata.

Analiza je pokazala da su se svi prometni parametri prvobitnim uvođenjem autonomnih vozila u prometni tok poboljšali. Daljnjim povećanjem udjela autonomnih vozila, prometni parametri se malo pogoršavaju zbog toga što su autonomna vozila opreznija s vozilima koja su upravljana od strane prosječnog vozača. Također, s povećanjem udjela autonomnih vozila propusna moć raskrižja raste zbog manjeg razmaka slijeđenja između vozila. S većinskim udjelom autonomnih vozila u prometnom toku parametri se poboljšavaju i premašuju prometne parametre izračunate kada prometni sustav nema autonomnih vozila. Prema tome, uvođenje autonomnih vozila, osim što pozitivno djeluje na razinu usluge i ostale prometne parametre raskrižja, uvelike utječe na funkcionalnost i učinkovitost prometnog sustava u cjelini te podiže sigurnost na razinu koju nije moguće postići uporabom konvencionalnih vozila. Međutim, analizirani prometni parametri u scenariju sa stopostotnim udjelom autonomnih vozila u prometnom toku smanjili su se za poprilično veliki postotak u odnosu na postojeće stanje. Razlog tome je što je simulacija izrađena tako da prikazuje idealnu situaciju gdje je uspostavljena potpuna komunikacija između vozila i infrastrukture te između vozila međusobno, te su uključene sve dodatne opcije koje program nudi za što bolje kretanje vozila na mreži. Prema tome, može se pretpostaviti da bi rezultati svih analiziranih parametara u realnom svijetu mogli biti nešto veći od prikazanih.

## 7. ZAKLJUČAK

Kontinuirana urbanizacija i porast broja gradskog stanovništva ima velik utjecaj na razvoj i promjene koje se dešavaju unutar prometnog sustava. Povećana motorizacija uvjetuje nastankom negativnih učinaka koje proizlaze odvijanjem prometa, a koji utječu na kvalitetu života. Problemi koji uzrokuju prometna zagušenja najčešće su posljedica odvijanja prometnih tokova kroz raskrižje. Optimizacijom raskrižja moguće je djelovati na cjelokupnu prometnu mrežu, stoga je u ovom diplomskom radu provedena analiza raskrižja Selske i Horvaćanske ceste, kao jednog od bitnih raskrižja u Gradu Zagrebu koje privlači veće količine prometa, a u svrhu njegove optimizacije.

Raskrižje Selska cesta i Horvaćanska cesta je četverokrako semaforizirano raskrižje, a nalazi se u širem središtu Grada Zagreba u gradskoj četvrti Trešnjevka jug, stoga je sve promjene na području raskrižja potrebno temeljiti na važećim dokumentima koji definiraju smjerove razvoja Grada, a kao najbitniji dokument ističe se Generalni urbanistički plan Grada Zagreba. Realizacijom planiranih prometnih projekata, kao što su izgradnja Jarunskog mosta, produžene Ulice Črnomerec, produžene Vrapčanske ulice, produžene Ulice Prisavlje i Centra za mobilnost kao središnje mjesto robotaksija, djelovalo bi se na prometnu potražnju predmetnog raskrižja, stoga je potrebno imati u vidu moguće promjene u odvijanju prometnih tokova na promatranom području.

Analizom postojećeg stanja utvrđeno je neadekvatno stanje kolnika i pojedinih oznaka na kolniku. Raskrižje je svakodnevno opterećeno velikom količinom motornih vozila, a najopterećeniji smjerovi kretanja su na relaciji sjever – jug i zapad – jug. Najveći broj vozila prolazi kroz raskrižje tijekom popodnevnog vršnog opterećenja od 16:00 h do 17:00 h. Na temelju prikupljenih podataka utvrđeno je stvaranje repa čekanja na sjevernom privozu koje nastaje zbog čepa na susjednom raskrižju Selske ceste i Jadranskog mosta. Osim cestovnih prometnih tokova, na raskrižju je stalno prisutna veća količina nemotoriziranih sudionika u prometu, koji sa stajališta sigurnosti predstavljaju najranjivije sudionike zbog čega je potrebno posebno obratiti pažnju na njih kako bi se vjerojatnost nastanka prometne nesreće s kobnim posljedicama svela na minimum. Tramvajske i autobusne linije koje prolaze predmetnim raskrižjem, jedan su od glavnih razloga prisutnosti spomenute količine pješaka, a vozila na linijama prolaze svakih nekoliko minuta. Propusna moć raskrižja uvjetovana je signalnim planom koji se odvija u četiri faze.

Idejnim prometnim rješenjem u vidu građevinskih zahvata predlaže se dodavanje trake na južnom privozu Selske ceste te produljenje trake na južnom privozu za lijevo skretanje za 100 m. Implementacijom idejnog prometnog rješenja smanjila bi se duljina repa čekanja na sjevernom privozu te vrijeme kašnjenja na južnom privozu za vozila koja skreću lijevo. Prosječno vrijeme kašnjenja na cijelom raskrižju smanjilo bi se za 36% te bi se razina usluge podigla s D na C.



Češće korištenje javnog gradskog prijevoza kao načina putovanja jedan je od osnovnih preduvjeta za postizanje održivog razvitka grada. Davanjem prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza, smanjila bi se potreba za korištenjem osobnog automobila, što za sobom nosi smanjenje brojnih negativnih učinaka koje motorni promet uzrokuje. Implementacijom drugog idejnog prometnog rješenja, odnosno adaptivnim upravljanjem prometom uz davanje prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza, poboljšalo bi se odvijanje prometnih tokova na sjevernom i južnom privozu, dok bi se na zapadnom i istočnom privozu svi prometni parametri pogoršali. Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja smanjilo bi se za 21%, a razina usluge podigla bi se s D na C.

Autonomna vozila, kao predstavnici najveće razine današnjeg tehničkog i tehnološkog razvoja vozila, utječu na propusnu moć i razinu usluge raskrižja. Prvobitnim uvođenjem autonomnih vozila u prometni tok, prometni parametri na sjevernom privozu se poboljšavaju što dovodi do smanjenja vremena kašnjenja cijelog raskrižja. Daljnjim povećanjem udjela autonomnih vozila, prometni parametri se malo pogoršavaju, a razlog leži u tome što se kombinacijom autonomnih i konvencionalnih vozila stvaraju dodatni sigurnosni uvjeti koje je potrebno ispuniti u svrhu izbjegavanja prometne nesreće. S druge strane, prometni tok koji se sastoji samo od autonomnih vozila pozitivno utječe na sve aspekte prometnog sustava. Prema tome, može se zaključiti kako potpuna autonomnost prometnog sustava može donijeti brojne koristi, no sam put prema tome nije lagan ni jednostavan, pa ostaje pitanje jesu li ljudi spremni proći sav taj put.

Rezultatom analiza svih prijedloga poboljšanja zaključuje se da bi optimalno rješenje bilo adaptivno upravljanje prometom uz davanje prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza. Implementacijom ovog rješenja postigle bi se brojne prednosti koje nudi korištenje javnog gradskog prijevoza umjesto osobnih automobila, no kako bi ljudi češće počeli koristiti javni gradski prijevoz potrebno je od strane nadležnih institucija poboljšati kvalitetu i pouzdanost javnog gradskog prijevoza. Također, samo rješenje predstavlja metodu kojom se može utjecati na smanjenje korištenja osobnih vozila s obzirom da se određenim vozačkim signalnim grupama smanjuje razina usluge primjenom ovog rješenja. S obzirom na veliku količinu motornih vozila koja prolaze predmetnim raskrižjem, kako bi predloženo prometno rješenje na području raskrižja bilo održivo, potrebno je provesti spomenute prometne projekte, kao što je izgradnja Jarunskog mosta, kako bi se određeni postotak vozila preusmjerio na alternativne pravce čime bi se rasteretilo predmetno raskrižje.

## LITERATURA

- [1] Prostorni plan Grada Zagreba. Preuzeto s: <https://www.zagreb.hr/prostorni-plan-grada-zagreba-ppgz/89064> [pristupljeno: travanj 2023.]
- [2] Zakon o prostornom uređenju (NN 153/13, 65/17, 114/18, 39/19 i 98/19)
- [3] Prostorni plan Grada Zagreba – pročišćeni tekst. Preuzeto s: <https://www1.zagreb.hr/sluzbeni-glasnik/#/app/akt?unid=62182BA04964A70EC125822B004D0899> [pristupljeno: travanj 2023.]
- [4] Generalni urbanistički plan Grada Zagreba. Preuzeto s: <https://www.zagreb.hr/generalni-urbanisticki-plan-grada-zagreba-gup/89066> [pristupljeno: travanj 2023.]
- [5] Generalni urbanistički plan grada Zagreba – pročišćeni tekst. Preuzeto s: <https://www1.zagreb.hr/sluzbeni-glasnik/#/app/akt?unid=26FF5A5EBD5775E2C1257FFB0051D46F> [pristupljeno: travanj 2023.]
- [6] Gradske četvrti Grada Zagreba. Trešnjevka – jug. Preuzeto s: <https://www.zagreb.hr/userdocsimages/gu%20za%20strategijsko%20planiranje/09%20Trešnjevka%20jug.pdf> [pristupljeno: travanj 2023.]
- [7] Strateška studija o utjecaju Master plana Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko – zagorske županije na okoliš. Preuzeto s: [https://www.zagreb.hr/userdocsimages/promet/projekti%20i%20studije/Sazetak\\_SPUO\\_MP\\_GZ\\_ZZ\\_KZZ\\_za\\_JR.pdf](https://www.zagreb.hr/userdocsimages/promet/projekti%20i%20studije/Sazetak_SPUO_MP_GZ_ZZ_KZZ_za_JR.pdf) [pristupljeno: travanj 2023.]
- [8] Master plan prometnog sustava Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko – zagorske županije. Preuzeto s: [https://www.zagrebacka-zupanija.hr/media/filer\\_public/13/a4/13a486f1-ef23-4542-9021-102d4af87591/master\\_plan\\_prometnog\\_sustava\\_grada\\_zagreba\\_zagrebacke\\_zupanije\\_i\\_krapinsko-zagorske\\_zupanije.pdf](https://www.zagrebacka-zupanija.hr/media/filer_public/13/a4/13a486f1-ef23-4542-9021-102d4af87591/master_plan_prometnog_sustava_grada_zagreba_zagrebacke_zupanije_i_krapinsko-zagorske_zupanije.pdf) [pristupljeno: travanj 2023.]
- [9] Josipović I. Prometna analiza produžene Vrapčanske ulice u Gradu Zagrebu. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2021. Preuzeto s: <https://zir.nsk.hr/en/islandora/object/fpz%3A2497/datastream/PDF/view> [pristupljeno: travanj 2023.]
- [10] Fakultet prometnih znanosti i Prometis d.o.o.. Analiza prometnih tokova produžene Ulice Črnomerec. Zagreb; 2019.

- [11] HAK.hr. Preuzeto s: <https://revijahak.hr/2019/08/31/prometni-planovi-u-velikim-hrvatskim-gradovima-nove-ceste-za-smanjenje-guzvi-i-kvalitetnije-gospodarstvo/> [pristupljeno: travanj 2023.]
- [12] Poslovni.hr. Preuzeto s: <https://www.poslovni.hr/tag/robotaksi> [pristupljeno: travanj 2023.]
- [13] Google Earth. Preuzeto s: <https://earth.google.com/web/@45.77917894,15.95787045,112.38917425a,6515.57921138d,35y,347.63832774h,0.59272573t,0r> [pristupljeno: svibanj 2023.]
- [14] Šćukanec A, Šošćarić M. Prometno tehnološko projektiranje – autorizirana predavanja, radna verzija. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2011.
- [15] Cerovac V. Tehnika i sigurnost prometa. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2001.
- [16] Legac I. Raskrižja javnih cesta, Cestovne prometnice II. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2008.
- [17] Novačko L, Pilko H. Cestovne prometnice II, Upute za auditorne vježbe i seminarski rad. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2017.
- [18] Fanos d.o.o.. Prometni elaborat dopune semaforne instalacije i instaliranje inoviranih signalnih semaforških programa na Selskoj cesti. Zagreb; 2016.
- [19] Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08, NN 108/17)
- [20] Vujić M. Materijali za predavanja iz kolegija Cestovna telematika. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2022./2023.
- [21] Luburić G. Sigurnost cestovnog i gradskog prometa 1 – radni materijal za predavanje. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2010.
- [22] ZET.hr – o nama. Preuzeto s: <https://www.zet.hr/o-nama/259> [pristupljeno: svibanj 2023.]
- [23] Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Podaci o broju prometnih nesreća na području raskrižja Selske i Horvaćanske ceste u Gradu Zagrebu. Zagreb; 2023.
- [24] Statistički ljetopis Grada Zagreba 2022. Preuzeto s: <https://www.zagreb.hr/UserDocsImages/01/SLJGZ2022%20web.pdf> [pristupljeno: srpanj 2023.]
- [25] Ivčić B. Usporedba zagrebačkog prometnog sustava s prometnim sustavima europskih gradova. Zagreb: Zelena akcija; 2008.

[26] Civitas Elan. Studija naplate zagušenja. Zagreb; 2011. Preuzeto s: [http://civinet-slohr.eu/wpcontent/uploads/2016/07/studija\\_naplate\\_zagusenja\\_web.pdf](http://civinet-slohr.eu/wpcontent/uploads/2016/07/studija_naplate_zagusenja_web.pdf) [pristupljeno: srpanj 2023.]

[27] PTV Vissim 9 User manual. Karlsruhe, Njemačka; 2016.

[28] PTV Epics User manual. Karlsruhe, Njemačka; 2019.

[29] Active Learning in Transportation Engineering. Preuzeto s: <https://www.activetbooks.com/calibration> [pristupljeno: srpanj 2023.]

[30] TWI. „What is an autonomous vehicle?“. Preuzeto s: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-an-autonomous-vehicle> [pristupljeno: srpanj 2023.]

[31] Martinez – Diaz M, Soriguera F. Autonomous vehicles: theoretical and practical challenges. Transportation Research Procedia. 2018;33: 275-282. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146518302606?via%3Dihub> [pristupljeno: srpanj 2023.]

[32] Sukennik P. Micro – simulation guide for automated vehicles. 2020.

## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| <i>Slika 1. Prometna mreža gradske četvrti Trešnjevka jug</i> .....   | 6  |
| <i>Slika 2. Prometna mreža užeg dijela gradske četvrti trešnjevka jug sukladno GUP-u</i> .....  | 7  |
| <i>Slika 3. Legenda prometne mreže</i> .....  | 7  |
| <i>Slika 4. Koridor buduće produžene Vrapčanske ulice</i> .....   | 10 |
| <i>Slika 5. Koridor predviđenog produžetka Ulice Črnomerec</i> .....  | 11 |
| <i>Slika 6. Šira zona obuhvata raskrižja Selske i Horvaćanske ceste</i> .....   | 14 |
| <i>Slika 7. Uža zona obuhvata raskrižja Selske i Horvaćanske ceste</i> .....  | 15 |
| <i>Slika 8. Postojeće stanje raskrižja Selske i Horvaćanske ceste</i> .....   | 17 |
| <i>Slika 9. Selska cesta sjeverni privoz</i> .....  | 18 |
| <i>Slika 10. Selska cesta južni privoz</i> .....  | 19 |
| <i>Slika 11. Horvaćanska cesta zapadni privoz</i> .....   | 21 |
| <i>Slika 12. Horvaćanska cesta istočni privoz</i> .....   | 22 |
| <i>Slika 13. Raspored odvijanja faza na raskrižju Selske i Horvaćanske ceste</i> .....  | 24 |
| <i>Slika 14. Prikaz plana i položaja signalnih grupa, semaforских stupova i konfliktnih točaka</i> .  | 26 |
| <i>Slika 15. Matrica zaštitnih međuvremena</i> .....  | 27 |
| <i>Slika 16. Program 3 signalnog plana raskrižja Selske i Horvaćanske ceste</i> .....   | 28 |
| <i>Slika 17. Ukupan broj vozila tijekom jutarnjeg vršnog perioda u razdoblju od 7:00 h do 8:00 h</i><br>.....   | 32 |
| <i>Slika 18. Ukupan broj vozila tijekom jutarnjeg vršnog perioda u razdoblju od 8:00 h do 9:00 h</i><br>.....   | 33 |
| <i>Slika 19. Grafički prikaz prometnog opterećenja tijekom jutarnjeg vršnog perioda od 7:00 h do 9:00 h</i> .....   | 34 |
| <i>Slika 20. Ukupan broj vozila tijekom popodnevnog vršnog perioda u razdoblju od 15:00 h do 16:00 h</i> .....  | 35 |
| <i>Slika 21. Ukupan broj vozila tijekom popodnevnog vršnog perioda u razdoblju od 16:00 h do 17:00 h</i> .....  | 36 |
| <i>Slika 22. Grafički prikaz prometnog opterećenja tijekom popodnevnog vršnog perioda od 15:00 h do 17:00 h</i> .....                                     | 37 |
| <i>Slika 23. Ukupan broj pješaka, biciklista i romobilista tijekom jutarnjeg vršnog perioda od 7:00 h do 9:00 h</i> .....                                 | 39 |
| <i>Slika 24. Grafički prikaz prometnog opterećenja nemotoriziranih sudionika u prometu tijekom jutarnjeg vršnog perioda od 7:00 h do 9:00 h</i> .....     | 40 |
| <i>Slika 25. Ukupan broj pješaka, biciklista i romobilista tijekom popodnevnog vršnog perioda od 15:00 h do 17:00 h</i> .....                             | 41 |
| <i>Slika 26. Grafički prikaz prometnog opterećenja nemotoriziranih sudionika u prometu tijekom popodnevnog vršnog perioda od 15:00 h do 17:00 h</i> ..... | 41 |
| <i>Slika 27. Prikupljeni podaci na tramvajskim stanicama</i> .....  | 44 |
| <i>Slika 28. Prikupljeni podaci na autobusnim stanicama</i> .....   | 45 |



|   |    |
|---|----|
| <i>Slika 29. Idejno prometno rješenje raskrižja Selske i Horvaćanske ceste sukladno GUP-u .....</i>                               | 52 |
| <i>Slika 30. 3D simulacija u programskom alatu PTV Vissim .....</i>   | 56 |
| <i>Slika 31. Prikaz sučelja PTV Epics parametara .....</i>  | 57 |
| <i>Slika 32. Simulacija postojećeg stanja.....</i>  | 63 |
| <i>Slika 33. Simulacija idejnog prometnog rješenja u vidu građevinskih zahvata .....</i>  | 65 |
| <i>Slika 34. Simulacija idejnog prometnog rješenja u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza .....</i> | 67 |
| <i>Slika 35. Prikaz sučelja modela praćenja vozila .....</i>  | 74 |

## POPIS TABLICA

|  |    |
|--|----|
| <i>Tablica 1. Duljina trajanja ciklusa za određeni broj faza .....</i>   | 23 |
| <i>Tablica 2. Vrijednost EJA koeficijenta za određene kategorije vozila .....</i>  | 31 |
| <i>Tablica 3. Broj prometnih nesreća prema posljedicama u razdoblju od 2018. do 2022. godine .....</i>   | 48 |
| <i>Tablica 4. Broj prometnih nesreća prema vrsti u razdoblju od 2018. do 2022. godine .....</i>  | 49 |
| <i>Tablica 5. GEH statistika.....</i>  | 59 |
| <i>Tablica 6. Prikaz GEH statistike za postojeće stanje .....</i>  | 59 |
| <i>Tablica 7. Vrijednosti za određivanje razine usluge na semaforiziranim raskrižjima .....</i>  | 61 |
| <i>Tablica 8. Prikaz rezultata simulacije postojećeg stanja.....</i>   | 62 |
| <i>Tablica 9. Prikaz rezultata simulacije idejnog prometnog rješenja u vidu građevinskih zahvata .....</i>   | 64 |
| <i>Tablica 10. Prikaz rezultata simulacije idejnog prometnog rješenja u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza .....</i> | 68 |
| <i>Tablica 11. Prikaz rezultata simulacije s 25% udjela autonomnih vozila .....</i>  | 76 |
| <i>Tablica 12. Prikaz rezultata simulacije s 50% udjela autonomnih vozila .....</i>  | 76 |
| <i>Tablica 13. Prikaz rezultata simulacije s 75% udjela autonomnih vozila .....</i>  | 77 |
| <i>Tablica 14. Prikaz rezultata simulacije s 100% udjela autonomnih vozila .....</i>   | 78 |

## POPIS GRAFIKONA

|   |    |
|---|----|
| <i>Grafikon 1. Usporedba linija javnog gradskog prijevoza tijekom jutarnjeg vršnog perioda ...</i>        | 46 |
| <i>Grafikon 2. Usporedba linija javnog gradskog prijevoza tijekom popodnevnog vršnog perioda .....</i>    | 46 |
| <i>Grafikon 3. Prikaz prometnih nesreća prema posljedicama u razdoblju od 2018. do 2022. godine .....</i> | 48 |

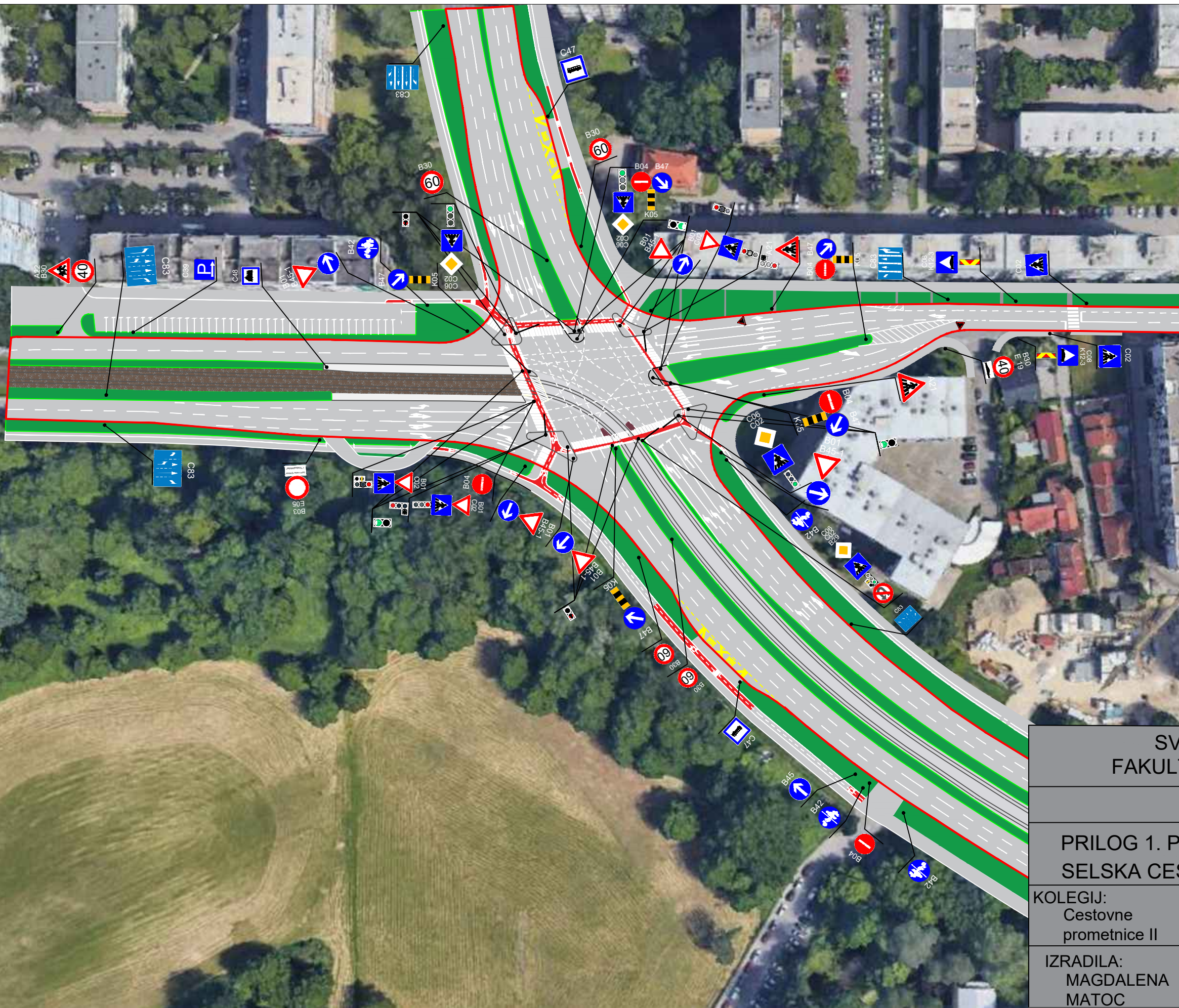
|   |           |
|---|-----------|
| <i>Grafikon 4. Usporedba prosječnog vremena kašnjenja postojećeg stanja i idejnog prometnog rješenja u vidu građevinskih zahvata .....</i>  | <i>65</i> |
| <i>Grafikon 5. Usporedba prosječnog vremena kašnjenja postojećeg stanja i idejnog prometnog rješenja u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza .....</i>                       | <i>69</i> |
| <i>Grafikon 6. Usporedba vremena putovanja vozila javnog gradskog prijevoza postojećeg stanja i idejnog prometnog rješenja u vidu davanja prednosti prolaska vozilima javnog gradskog prijevoza .....</i> | <i>70</i> |
| <i>Grafikon 7. Usporedba prosječnog vremena kašnjenja postojećeg stanja i scenarija s različitim udjelom autonomnih vozila .....</i>  | <i>79</i> |
| <i>Grafikon 8. Usporedba prosječne duljine repa čekanja postojećeg stanja i scenarija s različitim udjelom autonomnih vozila .....</i>  | <i>80</i> |
| <i>Grafikon 9. Usporedba emisije ispušnih plinova postojećeg stanja i scenarija s različitim udjelom autonomnih vozila .....</i>  | <i>80</i> |

## **POPIS PRILOGA**

*Prilog 1. Postojeće stanje raskrižja Selska cesta i Horvaćanska cesta*

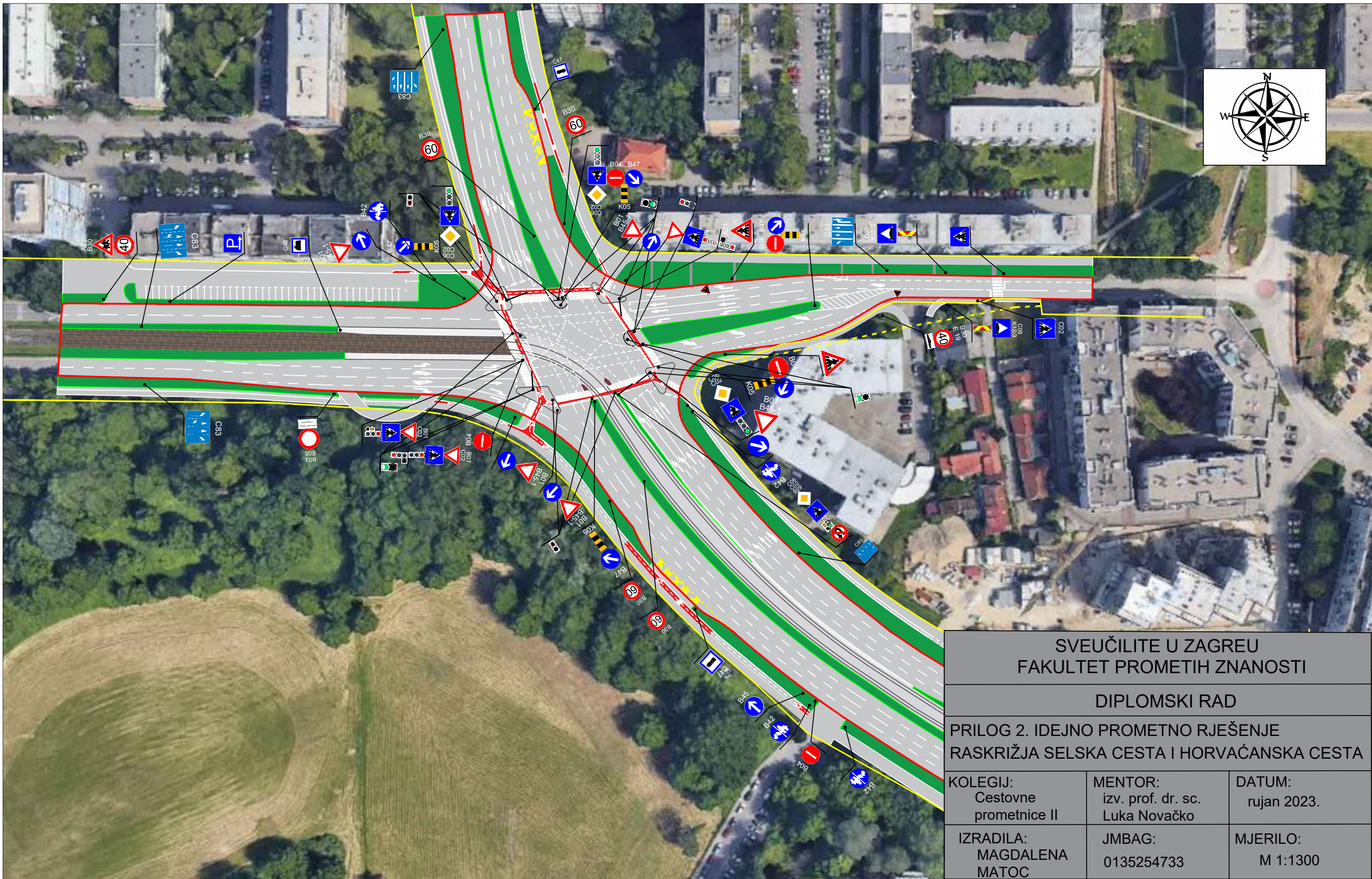
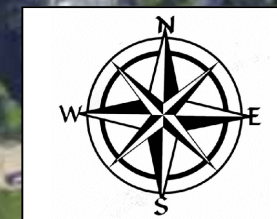
*Prilog 2. Idejno prometno rješenje raskrižja Selska cesta i Horvaćanska cesta*





|  |   |                       |
|--|---|-----------------------|
| SVEUČILITE U ZAGREU<br>FAKULTET PROMETIH ZNANOSTI                        |   |                       |
| DIPLOMSKI RAD  |   |                       |
| PRILOG 1. POSTOJEĆE STANJE RASKRIŽJA<br>SELSKA CESTA I HORVAČANSKA CESTA |   |                       |
| KOLEGIJ:<br>Cestovne<br>prometnice II                                    | MENTOR:<br>izv. prof. dr. sc.<br>Luka Novačko | DATUM:<br>rujan 2023. |
| IZRADILA:<br>MAGDALENA<br>MATOC  | JMBAG:<br>0135254733                          | MJERILO:<br>M 1:1300  |





SVEUČILITE U ZAGREU  
FAKULTET PROMETIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

PRILOG 2. IDEJNO PROMETNO RJEŠENJE  
RASKRIŽJA SELSKA CESTA I HORVAČANSKA CESTA

|                                    |   |                       |
|------------------------------------|---|-----------------------|
| KOLEGIJ:<br>Cestovne prometnice II | MENTOR:<br>izv. prof. dr. sc.<br>Luka Novačko | DATUM:<br>rujan 2023. |
| IZRADILA:<br>MAGDALENA<br>MATOC    | JMBAG:<br>0135254733                          | MJERILO:<br>M 1:1300  |



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 Analiza s prijedlogom optimizacije raskrižja Selska cesta i Horvaćanska cesta u gradu Zagrebu, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 12.9.2023.

Matoc  
(ime i prezime, potpis)