

Optimizacija prometnih tokova na raskrižju Ulice kneza Branimira i Avenije Marina Držića u Gradu Zagrebu

Ferenčak, Kristijan

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:119:469180>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Kristijan Ferenčak

**OPTIMIZACIJA PROMETNIH TOKOVA NA RASKRIŽJU
ULICE KNEZA BRANIMIRA I AVENIJE MARINA DRŽIĆA U
GRADU ZAGREBU**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

Zagreb, 3. travnja 2019.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5246

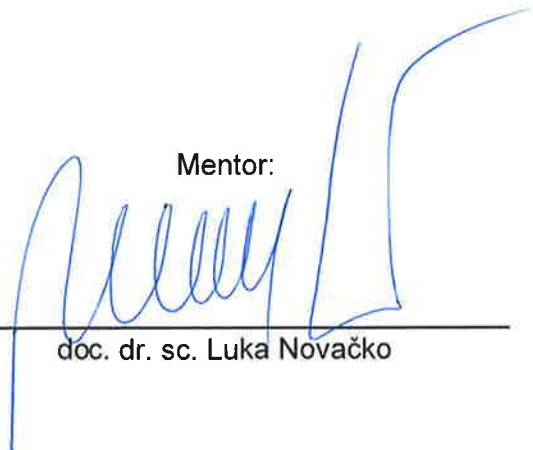
Pristupnik: **Kristijan Ferenčak (0135235269)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Optimizacija prometnih tokova na raskrižju Ulice kneza Branimira i Avenije Marina Držića u Gradu Zagrebu**

Opis zadatka:

U sklopu rada potrebno je definirati užu i širu zonu obuhvata na koju predložena poboljšanja u radu mogu imati izravan i/ili neizravan prometni utjecaj. Za definiranu zonu obuhvata potrebno je napraviti analizu postojećeg stanja. Izradu analize postojećeg stanja potrebno je temeljiti na analizi postojećeg stanja infrastrukture, analizi prometnih tokova motornih vozila te analizi pješačkog i biciklističkog prometa. Temeljem rezultata analize postojećih stanja potrebno je kreirati više varijanti idejnih prometnih rješenja te izabrati optimalno primjenom simulacijskih alata za prometno modeliranje.

Mentor:



doc. dr. sc. Luka Novačko

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

OPTIMIZACIJA PROMETNIH TOKOVA NA RASKRIŽJU ULICE
KNEZA BRANIMIRA I AVENIJE MARINA DRŽIĆA U GRADU
ZAGREBU

OPTIMIZATION OF INTERSECTION TRAFFIC FLOWS OF
KNEZ BRANIMIR STREET AND MARIN DRŽIĆ AVENUE IN
THE CITY OF ZAGREB

Mentor: doc. dr. sc. Luka Novačko

Student: Kristijan Ferenčak
JMBAG: 0135235269

Zagreb, rujan 2019.

SAŽETAK

Cjelokupni prometni sustav uvjetovan je organizacijom prometnih tokova unutar prometne mreže, a raskrižja kao najsloženiji dijelovi te mreže moraju omogućiti smisleno i sigurno odvijanje prometa. Neadekvatna regulacija i vođenje prometnih tokova, uzrokuje zagušenje prometne mreže, smanjenje propusne moći te smanjenje sigurnosti odvijanja prometa. Istraživanje u okviru ovog diplomskog rada obuhvaća detaljnu analizu postojećeg stanja raskrižja i usporedbu varijantnih rješenja primjenom mikrosimulacijskog prometnog modela za predmetno raskrižje koje ne zadovoljava uvijete za sigurno i nesmetano odvijanje prometnih tokova. Osim samog raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića, analizirane su i ostale ulice i raskrižja u zoni obuhvata. Adaptivnim upravljanjem prometom može se zadovoljiti potreba upravljanja prometnim tokovima pri velikim dnevnim varijacijama prometne potražnje. Za izradu mikrosimulacije koristi se programski alat PTV Vissim. Kao krajnji rezultat rada predlaže se optimalno prometno rješenje.

KLJUČNE RIJEČI: regulacija prometnih tokova, analiza prometnih tokova, brojanje prometa, signalni plan, mikrosimulacijski model

SUMMARY

The entire transport system is defined by organization of traffic flows within the road transport network, and intersections as one of the most complex parts of that network has to enable meaningful and safe traffic flow conditions. Inadequate regulation and management of traffic flows causes traffic congestion, reduces capacity and traffic safety. This thesis covers a detailed analysis of intersections in the observed zone and comparison of variant solutions by applying micro-simulation traffic model for observed intersection which doesn't meet the requirements for achieving the safe and uncongested traffic flow conditions. The analysis primarily focuses on the intersection of Knez Branimir Street – Marin Držić Avenue, but also covers the other streets and other adjacent streets and intersections present inside the observed zone. Adaptive management mode can provide better traffic management in huge daily variations of traffic demand. Microsimulation is created in computer software called PTV Vissim. The optimal solution for the intersection is presented as final thesis result.

KEY WORDS: traffic flow regulation, traffic flow analysis, traffic counting, traffic lights, micro-simulation traffic model

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	ANALIZA PROSTORNO – PROMETNE DOKUMENTACIJE GRADA ZAGREBA ..	3
2.1	Postupak izrade i donošenja prostornih planova	3
2.2	Analiza važećeg Generalnog urbanističkog plana Grada Zagreba.....	5
2.3	Generalni urbanistički plan, osnovna ulična mreža	5
2.4	Generalni prometni plan Grada Zagreba	6
2.5	Navedeni problemi u Master planu Grada Zagreba	7
2.6	Predložene mjere poboljšanja prometnog sustava Grada Zagreba	8
2.7	Analiza dosadašnjeg razvitka prometnog sustava Grada Zagreba	10
3.	DEFINIRANJE ZONE OBUHVATA.....	14
3.1	Šira zona obuhvata	15
3.2	Uža zona obuhvata	15
4.	ANALIZA POSTOJEĆE CESTOVNE INFRASTRUKTURE U ZONI OBUHVATA..	17
5.	ANALIZA PROMETNIH TOKOVA	23
5.1	Pojam i definicija prometnog toka	23
5.1.1	Odnosi između prometnih tokova	24
5.1.2	Vrste i struktura prometnog toka	26
5.1.3	Vremenska neravnomjernost protoka vozila	28
5.2	Brojanje prometa	33
5.2.1	Načini i metode brojanja prometa	34
5.2.2	Rezultati brojanja prometa.....	36
5.3	Analiza odvijanja prometnih tokova u zoni obuhvata	41
5.4	Analiza signalnih planova u zoni obuhvata	44
6.	PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA POSTOJEĆEG STANJA.....	55
6.1	Varijanta 1 – Adaptivno upravljanje prometom na raskrižju Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića.....	56
6.2	Varijanta 2 – Jednosmjerno vođenje prometnih tokova u zoni Tržnice Branimir	59
6.3	Varijanta 3 – Novo vođenje prometnih tokova na sjevernom privozu u zoni raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića.....	64
7.	EVALUACIJA I ODABIR OPTIMALNOG VARIJANTNOG RJEŠENJA	68
7.1	Evaluacija postojećeg stanja raskrižja	71
7.2	Evaluacija Varijante 1	72

7.3	Evaluacija Varijante 2	73
7.4	Evaluacija Varijante 3	75
7.5	Odabir optimalnog varijantnog rješenja	76
8.	ZAKLJUČAK.....	77
	LITERATURA.....	79
	POPIS SLIKA.....	81
	POPIS TABLICA.....	82
	POPIS GRAFIKONA.....	83
	POPIS PRILOGA.....	83

1. UVOD

Konstantnim rastom motorizacije u Gradu Zagrebu, uvjetovan je i ubrzani razvoj cestovnog prometa. U cestovnoj prometnoj mreži pojavljuje se sve više vozila što čini veliki pritisak na postojeće kapacitete i dimenzije cestovne infrastrukture. Postojeća infrastruktura teško može odgovoriti novonastaloj potražnji za prometnim tokovima, pa je potrebno sustavno provoditi modernizaciju radi povećanja propusne moći i rasterećenja prometnica.

S obzirom da nadogradnja postojeće prometne mreže zbog prostornih i drugih ograničenja nije uvijek moguća, prometne tokove je potrebno organizirati na način da se optimalno koriste postojeći kapaciteti sa minimalnim troškovima odvijanja prometa.

Problemi u odvijanju prometnih tokova u gradskoj prometnoj mreži, gotovo uvijek su posljedica nedovoljne propusne moći raskrižja. Raskrižja su točke u cestovnoj mreži u kojima se povezuju dva ili više prometnih tokova, koji se križaju, prepliću, ulijevaju ili izlijevaju. Izbjegavanje nepotrebnih presijecanja prometnih tokova u raskrižju, kao i na prometnicama između raskrižja, jedan je od mogućih značajnih faktora za povećanje propusne moći.

Postupak organizacije prometnih tokova u mreži temelji se na detaljnoj analizi postojećeg stanja i razmatranju mogućih rješenja. S obzirom da vozači odabiru putanju kretanja ovisno o usmjerenju prometne mreže, potrebno ih je pravilno usmjeriti. Situacija u kojoj usmjerenja nisu pravilno postavljena dovodi do nejednolikog opterećenja prometne mreže.

Tema ovog diplomskog rada je regulacija prometnih tokova u zoni raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića kojim prometuje 50000 voz/dan, jedno od najopterećenijih raskrižja u Gradu Zagrebu. Cilj ovog diplomskog rada je minimalnim građevinskim zahvatima te postavljenjem nove horizontalne i vertikalne signalizacije, reprogramiranjem semaforских uređaja postići veću propusnu moć predmetnog raskrižja.

U cestovnoj mreži promatrane zone, postoje raskrižja sa nedovoljnom propusnom moći i lošom organizacijom prometnih tokova koja dovodi do preplitanja prometnih tokova i zagušenja prometne mreže. U cilju povećanja propusne moći, sigurnosti vožnje i općenito poboljšanja organizacije prometnih tokova u zoni obuhvata, predstavljena su tri varijantna rješenja promatranog problema. Rad je podijeljen u osam cjelina:

1. Uvod;
2. Analiza prostorno – prometne dokumentacije Grada Zagreba
3. Definiranje zone obuhvata;
4. Analiza postojeće cestovne infrastrukture u zoni obuhvata;
5. Analiza prometnih tokova;
6. Prijedlozi poboljšanja postojećeg stanja;
7. Evaluacija i izbor optimalnog varijantnog rješenja;
8. Zaključak.

U drugom poglavlju definiran je postupak izrade i donošenja prostornih planova, analiza važećeg Generalnog urbanističkog plana Grada Zagreba, navedeni su problemi u Master planu Grada Zagreba, te predložene mjere poboljšanja i analiza dosadašnjeg razvitka prometnog sustava Grada Zagreba.

U trećem poglavlju definirana je zona obuhvata. Prikazana je i opisana šira zona obuhvata i uža zona obuhvata.

Analiza postojeće cestovne infrastrukture u zoni obuhvata prikazana je u četvrtom poglavlju. Analizirana su i opisana raskrižja koja znatno utječu na odvijanje prometnih tokova u zoni raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića.

Analiza prometnih tokova, brojanje prometa i analiza signalnih planova opisani su i prikazani u petom poglavlju. Definiran je pojam prometnog toka, odnosi između prometnih tokova, vrste i strukture te vremenska neravnomjernost prometnog toka. Također su prikazani načini i metode brojanja prometa, a analizom signalnih planova prikazano je postojeće stanje propusne moći raskrižja u zoni obuhvata.

U šestom poglavlju detaljno se opisuju tri moguća varijantna rješenja regulacije prometnih tokova u promatranoj zoni. Prvo varijantno rješenje je adaptivno upravljanje prometom na predmetnom raskrižju. Druga dva rješenja, uz odgovarajuću izmjenu vertikalne i horizontalne signalizacije, te signalnih planova, obuhvaćaju izmjenu regulacije prometnica u zoni obuhvata. Varijantna rješenja izrađena su i prikazana programskim alatom AutoCAD.

Sedmo poglavlje odnosi se na analizu varijantnih rješenja te odabir optimalne varijante. Svaka varijanta analizirana je u mikrosimulacijskom programu PTV Vissim, izlazni podatci varijanata prikazani su Excel tablicom, što dovodi do evaluacije navedenih rješenja i odabira optimalnog rješenja za analizirano raskrižje.

2. ANALIZA PROSTORNO – PROMETNE DOKUMENTACIJE GRADA ZAGREBA

Cjelokupno područje Grada Zagreba uređeno je Prostornim planom Grada Zagreba (PPGZ) na razini županijskog prostornog plana. Grad Zagreb ima status županije zbog svoje važnosti i broja stanovnika. Za određena vrijedna područja, PPGZ propisuje obvezu izrade prostornih planova područja s posebnim značajkama [10].

2.1 Postupak izrade i donošenja prostornih planova

Planovi za uređenje prostora mogu se ovako svrstati [11]:

1. Prostorni planovi

- a) Državni prostorni plan
- b) Regionalni prostorni plan (Grad Zagreb)
- c) Lokalni ili mikroregionalni prostorni plan
 - Prostorni plan urbane regije
 - Prostorni plan općine
- d) Prostorni plan za područje posebnih obilježja

2. Urbanistički planovi

- a) Generalni urbanistički plan
- b) Detaljni urbanistički plan
- c) Urbanistički projekt

Sustav prostornog uređenja sastoji se od tri osnovna segmenta i to [12]:

- prostornog i urbanističkog planiranja (praćenja stanje u prostoru te izrada i donošenje dokumenata prostornog uređenja)
- uređenje naselja i prostora izvan naselja
- provođenja dokumenata prostornog uređenja (lokacijska dozvola, izvod iz detaljnog plana uređenja, rješenje o utvrđivanju građevne čestice i potvrda parcelacijskog elaborata).

Ovi su segmenti međusobno čvrsto povezani i ovisni jedni o drugome.

Dokumentima prostornog uređenja određuje se svrhovita organizacija, korištenje i namjena prostora te mjerila i smjernice za uređenje i zaštitu prostora države, županije, Grada Zagreba, općina i gradova (čl.12. st. 1. ZPU-a). Drugim riječima, u kontekstu ovoga razmatranja, najkraće rečeno, dokumentima prostornog uređenja određuje se mogućnost gradnje na određenom zemljištu, te namjena i drugi osnovni uvjeti gradnje građevine koja se može graditi na tom zemljištu, te su u njima u tom smislu sadržana materijalna pravila na temelju kojih se izdaje lokacijska dozvola.

Za međusobni odnos dokumenata prostornog uređenja važe sljedeća osnovna pravila:

- prostorni planovi iste razine moraju biti međusobno usklađeni
- prostorni plan užeg područja mora biti usklađen s prostornim planom šireg područja
- dokumenti prostornog uređenja sadrže odredbe bitne za svoju provedbu i smjernice (zadaje i pitanja) za izradu planova užih područja unutar svog obuhvata.

Izrada i donošenje svih dokumenata prostornog uređenja mora se temeljiti na načelima propisanim Zakonom o prostornom uređenju (ZPU), a uz rijetke iznimke važe i sljedeća pravila:

- prostorni planovi obavezno sadrže tekstualni dio (obrazloženje i odredbe za provođenje plana) i grafički dio koji se sastoji od različitih kartografskih prikaza
- program prostornog uređenja države te Odluke o donošenju prostornih planova i njihove odredbe za provođenje obavezno se objavljuju u "Narodnim novinama" odnosno glasilu jedinice lokalne ili područne samouprave.
- tijela državne uprave i pravne osobe s javnim ovlastima dužne su osigurati podatke i dokumente iz svog djelokruga potrebne za izradu dokumenata prostornog uređenja.
- sredstva za izradu dokumenata prostornog uređenja osiguravaju se u državnom proračunu odnosno proračunima jedinice lokalne ili područne samouprave, a mogu se osiguravati i iz drugih izvora.
- naselja se mogu planirati samo na građevinskom području, a izvan građevinskog područja, uz ostalo se može planirati i izgradnja objekata infrastrukture (prometne, energetske, komunalne, itd.).

Donošenju dokumenata prostornog uređenja, te njihove izmjene i dopune i stavljanje izvan snage prethodi:

- utvrđivanje takve potrebe u programu mjera za unaprjeđenje stanja u prostoru
- javna rasprava (samo za županijsku i lokalnu razinu)
- pribavljanje raznih suglasnosti i mišljenja propisanih Zakonom o prostornom uređenju i posebnim zakonima [12].

U Gradu Zagrebu, od 29. ožujka 2016. Ured za strategijsko planiranje i razvoj Grada preuzima poslove što se odnose na postupak izrade i donošenja prostornih planova. Sektor za prostorno i urbanističko planiranje obavlja poslove nositelja izrade Prostornog plana Grada Zagreba, generalnih urbanističkih planova i urbanističkih planova uređenja koji se odnose na: stručne poslove u vezi s izradom nacrtu prijedloga i nacrtu konačnog prijedloga prostornih planova osim same izrade tih nacrtu, administrativne poslove u vezi s izradom i donošenjem prostornih planova, stručne i analitičke poslove za utvrđivanje osnovanosti pokretanja postupka za izradu i donošenje prostornog plana, osiguravanje primjene načela prostornog uređenja i stručne utemeljenosti prostornih planova i drugih dokumenata potrebnih za njihovu izradu ili provedbu (stručnih podloga, sektorskih strategija, planova, studija, programa i sl.), provođenje mjera provedbe plana koje su mu stavljene u nadležnost, omogućavanje dostupnosti prostornih planova na uvid javnosti u tijeku njihove izrade, donošenja i važenja putem informacijskog sustava i u analognom obliku, izradu prostornih podataka za potrebe informacijskog sustava prostornog uređenja, davanje uputa, informacija i obavijesti [25].

2.2 Analiza važećeg Generalnog urbanističkog plana Grada Zagreba

Grad Zagreb ima Generalni urbanistički plan (u nastavku GUP), koji je na snazi od 2003.godine. Generalnim urbanističkim planom „određuju se dugoročne osnove organiziranja i uređenja prostora Grada Zagreba“. Generalni urbanistički plan donosi općinsko odnosno gradsko vijeće za područje naselja u kojima je sjedište županije, te za druga naselja na svom području koja imaju više od 15.000 stanovnika. Ovaj plan obavezno donosi za svoje područje Skupština Grada Zagreba. GUP se donosi po prethodno pribavljenoj suglasnosti ureda Grada Zagreba nadležnog za poslove prostornog uređenja. GUP sadrži način i oblike zaštite i korištenja, uvjete i smjernice za uređenje i zaštitu prostora, mjere za unapređenje i zaštitu okoliša, područja s posebnim prostornim i drugim obilježjima, te druge elemente važne za područje za koje se donosi. GUP-om se, također, mogu utvrđivati granice područja za koja je obavezna izrada detaljnijih planova [12].

2.3 Generalni urbanistički plan, osnovna ulična mreža

Po GUP-u u poglavlju o prometnim infrastrukturnim sustavima, članak 37. navodi: „Dugoročni cilj je da se najmanje dvije trećine svih dnevnih putovanja odvija javnim gradskim prijevozom i nemotoriziranim oblicima putovanja.“¹ Na površinama infrastrukturnih sustava namijenjenih prometu mogu se graditi i uređivati:

- Ulična mreža i trgovi s mogućnošću denivelacije
- Parkirališta i garaže s mogućnošću deniveliranog pristupa
- Tramvajska mreža
- Tramvajske i autobusne stanice i terminali s pratećim sadržajima
- Željeznička mreža, građevine i prateći sadržaji uključivo kontejnerski kolodvor
- Mreža biciklističkih staza i traka
- Pješачke zone, rampe, stubišta, liftovi, putovi i sl.
- Benzinske postaje s pratećim sadržajima
- Autobusni kolodvori s pratećim sadržajima
- Spremišta autobusa i tramvaja
- Stanice žičare s pratećim sadržajima
- Javne gradske površine
- Tematske zone

Po članku 38. U GUP-u se predviđa gradnja i uređenje osnovne ulične mreže, trgova i drugih nekategoriziranih ulica, tako da se osigura usklađen razvoj javnoga, pješackog i biciklističkog prometa, te osiguraju uvjeti za afirmaciju postojeće i formiranje nove mreže javnih urbanih prostora. Također je predviđena gradnja i uređenje trgova kao važnih fokusa prometnih tokova, te žarišta otvorenoga javnog urbanog prostora. Predviđa se i izgradnja deset novih mostova uz rekonstrukciju postojećih, od toga šest kolno–pješačko–biciklističkih, dva kolno–pješačka i dva

¹ Prema istraživanjima provedenih u sklopu projekta SUMP, u 2011.g u Gradu Zagrebu 25 % dnevnih putovanja obavljao se osobnim vozilima

pješačko–biciklistička mosta. Izgradnja mostova predviđena je i opisana u tekstualnom i grafičkom djelu GUP-a [14].

Ulična mreža sastoji se od gradske autoceste (gradske zaobilaznice), gradskih avenija, glavnih gradskih ulica, gradskih ulica, novih ulica, postojećih ulica koje ne spadaju u osnovnu uličnu mrežu i pristupne ceste. Po GUP-u za navedenu klasifikaciju ulične mreže moraju se osigurati sljedeći koridori ili rezervirati proširenje postojeće ulice minimalne širine [26]:

- Gradska autocesta: 80,0 m
- Gradska avenija: 40,0m,iznimno 35,0 m
- Nova glavna gradska ulica: 26,0 m
- Gradska ulica: 18,0 m
- Nova ulica: 9,0 m, iznimno 7,5 m
- Postojeće ulice izvan osnovne ulične mreže: 4,5 m, iznimno 3,75m
- Pristupna cesta za kolni i pješački promet: 3,5m
- Pristupna cesta za pješački promet: 1,5 m

2.4 Generalni prometni plan Grada Zagreba

Generalni prometni plan Grada Zagreba temelji se na prometnoj studiji iz 1999.g pod nazivom Master plan Grada Zagreba, napravljene od strane Britanske tvrtke MVA i ostalih suradnika. Cilj prometne studije je razrada niza mjera u svrhu poboljšanja prometnog sustava Grada Zagreba. Prema studiji je definiran Generalni prometni plan Grada za 2005., 2010. i 2020. godinu. Dizajniranje Generalnog prometnog plana zahtjeva sedam ključnih koraka:

- Viziju i projekciju budućnosti od 10-20 godina od postojećeg stanja
- Dogovor s glavnim zainteresiranim (stakeholders) što je stvarno važno u projekciji budućnosti
- Imati alate za procjenu utjecaja na varijantna rješenja u smislu već definiranih ključnih indikatora (prometni model)
- Metode za procjenu alternativnih rješenja temeljena na ključnim indikatorima (CBA metoda i sl.)
- Pristup usuglašavanja stavova potencijalnih varijantnih rješenja između ključnih zainteresiranih strana
- Razvoj i implantacija plana
- Formiranje procesa kontrole i nadzora, te po potrebi korekcija

Sljedeći ciljevi su razrađeni i dogovoreni s Gradskim poglavarstvom Grada Zagreba kao odgovarajući za izradu Generalnog prometnog plana Grada:

- poboljšanje ekonomske učinkovitosti prometnog sustava;
- zaštita okoliša od štetnih djelovanja prometa;
- poboljšati kapacitet javnog prijevoza i razine usluga kroz financijski održivu modernizaciju;
- osigurati veću dostupnost prometne mreže i prijevoznih sredstava;
- smanjiti korištenje osobnih automobila u središtu Grada;

- povećati broj parkirališta za automobile;
- poboljšati uvjete za nemotorizirani promet;
- povećati sigurnost prometa; i
- smanjiti buku i onečišćenje zraka.

Bilo je važno na početku studije razraditi potpunu sliku postojećeg sustava prometa u Zagrebu i putovanja koja u okviru njega putnici obavljaju. To se postiglo nizom anketiranja i istraživanja kojima se svaka osobitost zasebno ispitala. Istraživanja i anketiranja su podijeljena u 15 skupina gdje se mjerilo stanje na terenu. Mjerene, anketirane i analizirane su brzine vozila, protok, prometne nesreće, modalne raspodjele, preferencije putnika, kvaliteta javnog gradskog prijevoza, prijevozna potražnja, itd. [27].

2.5 Navedeni problemi u Master planu Grada Zagreba

Iako su problemi prometnog sustava Grada Zagreba navedeni i prognozirani u 3 etape, za 2005., 2010 i 2020. godinu, u svrhu jednostavnijeg razumijevanja i navođenja, prikazati će se sumirano. Općeniti problemi u prometnom sustavu Grada Zagreba jesu [26]:

- niska komercijalna brzina tramvajskog prometa²
- niska komercijalna brzina autobusnog prometa³
- veliki tokovi putnika (više od 4.000 na sat u jednom smjeru u vršnom razdoblju) na Savskoj, Držićevoj, Dubravi / Maksimirskoj i preko Trga bana Jelačića;
- visoke razine emisije ispušnih plinova na najopterećenijim raskrižjima
- visoka razina buke na najopterećenijim prometnicama
- uplašenost pješaka
- nedovoljna dostupnost javnog gradskog prijevoza

Kao lokalni problemi na cestovnoj mreži Grada Zagreba navode se problemi na:

- gradskoj zaobilaznici,
- preko tri mosta na Savi,
- Slavonskoj / Ljubljanskoj avenija tijekom cijelog dana
- od Velika Gorice kroz Novi Zagreb,
- Ulici grada Vukovara između Heinzelove i Savske,
- Aveniji Dubrovnik,
- Branimirovoj između Heinzelove i Čulinečke,
- Držićevoj / Šubićevoj između Mosta mladosti i Zvonimirove,
- Hrvatske bratske zajednice,
- Ilici / Prilazu baruna Filipovića,
- u središtu Grada, posebno Palmotićevoj i paru prometnica istok-zapad.

² 1998. godine izmjerena brzina je 14 km/h, a 2014. godine iznosi 12,4 km/h

³ 1998. godine izmjerena brzina je 20km/h, a 2014. godine iznosi oko 16 km/h

2.6 Predložene mjere poboljšanja prometnog sustava Grada Zagreba

Optimizacija prometne signalizacije u Zagrebu može značajno koristiti kroz smanjivanje zastoja do kojih je dolazilo na cestovnoj mreži. Sadašnja podešenost prometne signalizacije ne bi bila odgovarajuća za prometne tokove u 2005., 2010. i 2020. godini budući da [9]:

- podešavanje prometne signalizacije nije obavljano nekoliko godina i stoga, u puno slučajeva, nije odgovarajuće za sadašnji obujam i kretanje prometa; i
- rast prometa do 2005. godine će izazivati daljnje promjene u opsegu i kretanju prometa na raskrižjima.

Obavljeno je temeljito preispitivanje cijena, upravljanja i kontrole parkiranja u središtu Grada što je navedeno u Izvješću o pregledu stanja parkiranja. Glavne preporuke su bile [9]:

- odgovornost za poštivanje propisa o parkiranju treba prenijeti s Prometne policije na jedinstveno tijelo i u sustav parkiranja uključiti postojeća označena mjesta, mjesta rezervirana za posebna odobrenja i nedozvoljeno parkiranje;
- zemljopisno područje koje bi pokrivalo tijelo za nadležno za kontrolu bi obuhvaćalo područje šire od središta Grada i sva područja na kojima postoje značajne razine javnog parkiranja;
- za ulična parkiranja u središnjem Zagrebu, do 2005. godine, postojeće naknade treba udvostručiti (u cijenama iz 1998. godine) te, nakon toga, održavati na toj razini u realnim okvirima;
- tarifna struktura za izvan ulična parkirališta i garaže mora se revidirati da se spriječe dugotrajna parkiranja, na primjer, određivanjem jednosatnog iznosa naplate od 5 kn za prvi sat koji bi rastao na recimo 50 kn za deseti sat;
- korištenje dozvola za stanare treba ograničiti na bližu okolicu stanovanja, a parkiranje na drugim mjestima u središnjem području bi podlijegalo standardnoj naplati;
- dobivanje poslovnih dozvola za parkiranja treba izmijeniti tako da su na raspolaganju firmama ali bez pristupa izvan uličnom parkiranju, s tarifama postavljenim na razinu koja obeshrabruje njihovo korištenje za putovanje na posao;
- troškovi parkiranja za tvrtke na označenim uličnim parkirališnim mjestima trebaju porasti dvostruko od sadašnje razine, po cijenama iz 1998. godine, u skladu s općim porastom cijena uličnog parkiranja;
- gdje je moguće, postojeća nedozvoljena parkirališna mjesta podvesti pod sustav naplate, na primjer kroz ponovno projektiranje uličnih parkirališta;
- broj raspoloživih mjesta mora biti povezan s potražnjom parkirališta za svrhe koje doprinose prosperitetu središta Grada, tj. kupovinu, poslovnu djelatnost, rekreaciju, zabavu ali ne za putovanja na posao (ili za potrebe obrazovanja), a broj mjesta treba povećati izgradnjom novih garaža, parkirališta itd. kad potražnja premaši ponudu;
- postupak naplaćivanja kazni treba unaprijediti korištenjem dodatnih tehnika kao što su lisice, uklanjanje vozila i veće kazne za uporne prekršitelje ili vozila;
- treba uvesti restriktivnije standarde parkiranja tako da se smanji broj vozila koja se koriste za dolazak na posao; i

- programe 'Park and Ride' treba uvesti na tramvajskim terminalima kao što su Zapruđe, Borongaj, Dubrava, Jarun i Mihaljevac i na glavnim željezničkim stanicama.

Kombinirano djelovanje ovih mjera smanjilo bi broj osobnih vozila koja parkiraju u središtu Grada u 2005. godini za oko 2.200 putovanja. Procjenjuje se da bi oko 25% tih ukinutih putovanja prešlo na 'Park and Ride', a ostatak bi se prebacio na korištenje javnog prijevoza.

Niz mjera upravljanja prometom uključuje programe prednosti autobusa, a da istodobno nastoje smanjiti na najmanju moguću mjeru kašnjenja drugog prometa smanjivanjem sukoba s autobusima. Lokacije predloženih traka za autobuse su [9]:

- Branimirova između Heinzelove i Zagrebačke ceste;
- Zagrebačka cesta između Dupca i Sesveta; i
- Aleja Bologne / Ilica između Gajnica i Črnomerca.
- Duž traka za autobuse specificirana su lokalna poboljšanja na pojedinim raskrižjima da se izbjegne smanjenje kapaciteta raskrižja za ostali promet.

Mjere prednosti tramvaja uključuju sljedeće tipove programa upravljanja prometom [9]:

- promjene u fazama semafora i vremenskoj podešenosti da se smanje zastoji tramvaja na odabranim raskrižjima; i
- premještanje tramvajskih stajališta na odabrane točke na položaj iza raskrižja da se smanje zastoji.

Mjere poboljšanja funkcioniranja tramvaja koriste i tramvajima i drugom cestovnom prometu kroz učinkovitije funkcioniranje semaforiziranih raskrižja.

Uvođenje kompjutoriziranog gradskog sustava kontrole prometa u stvarnom vremenu, kao što je SCOOT ili UTOPIA, može se koristiti za optimizaciju faza na semaforu u stvarnom vremenu na određenom području, što se može odnositi na veći dio tramvajske mreže, obuhvaćajući Aveniju Dubrovnik na jugu, Dubravu na istoku i Ljubljanicu na zapadu. Kroz sustav bi se ugradila prednost tramvaja na raskrižjima u središtu Grada s potrebnim transponderima i opremom za vozila uključenim u program. Osim toga mnogi kontrolori semafora koji se koriste u Zagrebu su stari i zastarjeli; uvođenje sustava gradske kontrole prometa također uključuje predviđenu zamjenu tih kontrolera [9].

Od kada je uveden sustav autobusa i tramvaja u ranim 1970-tim godinama, Grad se razvijao i proširio tako da sve veći broj putnika smatra potrebnim koristiti autobus za manje udaljenosti da bi dovršio putovanje. Da bi se smanjila razina presjedanja, niz mjera je ispitan uključujući produljenje autobusnih trasa dalje u središnje područje. Predloženo produljenje autobusnih trasa što bi uključivalo sljedeće [9]:

- s Britanskog trga na Mažuranićev trg;
- s Kaptola na Cesarčevu / Vlašku;
- sa Črnomerca na Zapadni kolodvor;
- iz Mandaličine na Prilaz baruna Filipovića;
- sa Svetica, Borongaja i iz Petrove na Kvaternikov trg;

- sa Savskog mosta i s Ljubljanice na Glavni kolodvor;
- iz Zapruđa na Autobusni kolodvor;

Kao alternativa produljenju postojeće tramvajske mreže, razmatra se i niz mjera lake željeznice (LRT) radi korištenja novog masovnog prijevoza za Grad. LRT sustav je odabran zbog optimalnih karakteristika koje bi služile Zagrebu. Glavne karakteristike lakog tračničkog sustava i vozila koje se razmatra za Zagreb, obuhvaća [9]:

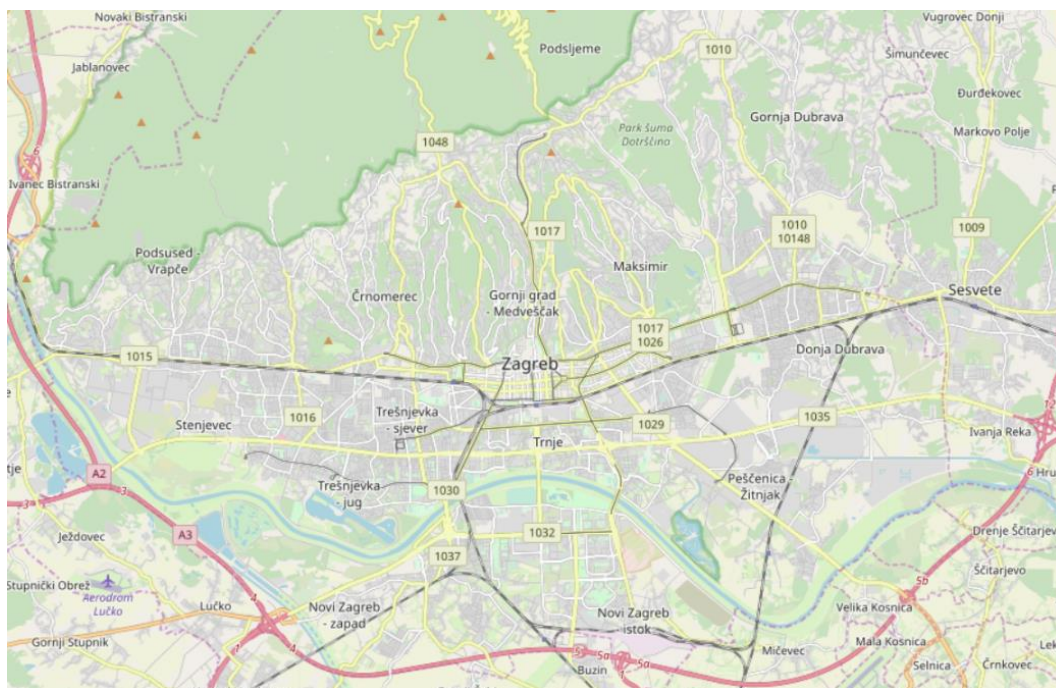
- mogućnost prometovanja na ulici kao i na odvojenim površinama;
- kontaktna mreža s napajanjem od 600 do 750 volti istosmjerne struje;
- vozila širine iznad 2,65 metara;
- mogućnost svladavanja oštih zavoja;
- dobrog ubrzanja s prosječnom komercijalnom brzinom (uključivši stajališta) od 25 do 30 km/h;
- najveće duljine od oko 60 metara;
- mogućnost svladavanja relativno velikih nagiba (do 8 i 10%);
- niskopodni ulazi, s visinom poda od samo 300 mm iznad zemlje i
- visokokvalitetna unutrašnjost s velikim udjelom putnika koji mogu sjediti.

Pri razvoju mreže LRT-a pozornost je poklonjena dostizanju visoke razine odvajanja vozila lakog tračničkog sustava od ostalog prometa. Na taj način, moguća kašnjenja uzrokovana cestovnim prometom bila bi minimizirana. Da se to postigne, dionice kroz središte Grada i na linijama sjever-jug i istok-zapad bile bi podzemne s mogućnošću presjedanja na središnjem stajalištu na Strossmayerovom trgu. U sklopu izgradnje takvog sustava trebat će novo spremište za održavanje vozila lakog tračničkog sustava; Dugave bi bile najprihvatljivija lokacija. U svrhu pristupa iz spremišta liniji istok-zapad dodatni čvor (veza) treba biti na stajalištu Strossmayerov trg gdje se i presjeda radi omogućavanja vozilima da se kreću između linija [9].

2.7 Analiza dosadašnjeg razvitka prometnog sustava Grada Zagreba

Grad Zagreb je jedno od najjačih prometnih čvorišta u Hrvatskoj. Prometni sustav na međunarodnoj i nacionalnoj razini na području Grada sastoji se od cestovnih, željezničkih i zračnih prometnih komponenti. U sklopu paneuropskih koridora, europske međunarodne cestovne i željezničke trase prolaze kroz područje Grada Zagreba: željeznički pravac Pariz - München - Istanbul i cestovna trasa E71 (La Coruña - Poti) prolaze kroz koridor X, a željeznički pravac Budimpešta - Rijeka / Split i cestovne trase E59 (Prag - Zagreb), E65 (Malmö - Rijeka - Hania) i E70 (Košice - Split) prolaze kroz koridor Vb. Tim je trasama čitav teritorij Hrvatske povezan na regionalnoj, nacionalnoj i međunarodnoj razini.

Cestovni promet se odvija na autocestama, državnim cestama i mreži nerazvrstanih cesta te glavnim željezničkim prugama, a zračni promet prvenstveno preko Zračne luke Zagreb. Zračna luka Zagreb značajna je za povezivanje šire regije sjeverne Hrvatske, prvenstveno na međunarodnoj, a manje na nacionalnoj razini. Glavni dio prometa zračne luke usmjeren je prema Zagrebu. Na području Grada Zagreba nema plovni putova [10].



Slika 1. Karta javnih cesta na području Grada Zagreba

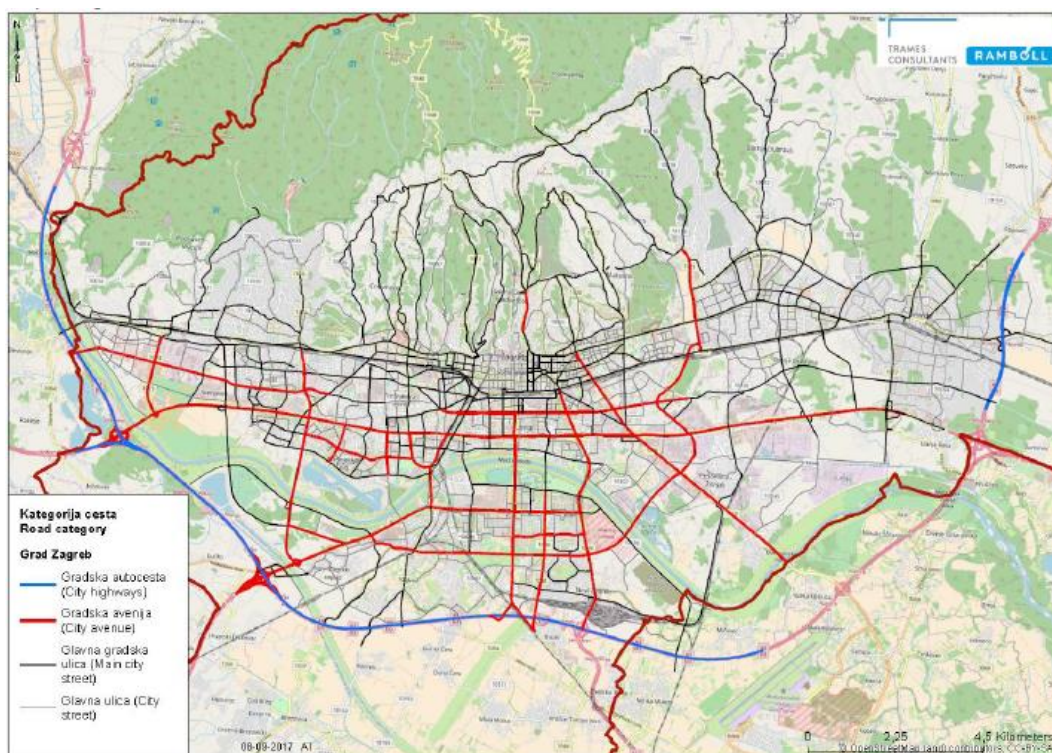
Izvor: [32]

Grad Zagreb je čvorište autocesta A1 (Zagreb - Rijeka), A2 (Zagreb - Krapina - granični prijelaz [g.p.] Macelj), A3 (g.p. Bregana - Zagreb – g.p. Lipovac), A5 (Zagreb - Varaždin – g.p. Goričan) i buduće autoceste A11 (Zagreb - Velika Gorica - Sisak). Najduža dionica autoceste koja prolazi kroz područje Grada Zagreba je dionica autoceste A3, čiji dio je i zagrebačka obilaznica [10].

U Gradu Zagrebu nalazi se 94 mostova raspona preko 10m (56 na županijskim i 38 na lokalnim cestama) te 7 velikih mostova: Podsusedski most, Jankomirski most, Jadranski most, Savski most, Jadranski most, Savski most, Most Slobode, Most mladosti i Domovinski most.

Zagrebačka županija raspolaže s 457 semaforiziranih lokacija na sveukupnoj cestovnoj mreži [24].

Cestovni promet se odvija na autocestama, državnim cestama i mreži nerazvrstanih cesta. U Gradu Zagrebu ima 44,28 km autocesta (5,6 % ukupne duljine cestovne mreže), 28,53 km državnih cesta (3,7 %) i 708,43 km nerazvrstanih cesta (90,7 %). Ukupna duljina javnih cesta je 781,19 km. Gustoća cestovne mreže definirana kao omjer duljine cestovne mreže i površine Grada Zagreba iznosi 1,22 km po km².



Slika 2. Kategorija cesta u Gradu Zagrebu

Izvor: [10]

Na području zagrebačkog željezničkog čvora presijecaju se paneuropski koridor X i ogranak paneuropskog koridora Vb (u daljnjem tekstu: koridor Vb). Hrvatski dio koridora X, koji se odvija preko glavnih željezničkih pruga M101 (državna granica sa Slovenijom - Savski Marof - Glavni kolodvor Zagreb) i M102 (Glavni kolodvor Zagreb - Dugo Selo) na području Grada Zagreba, prvenstveno se koristi za tranzitni promet. Željeznička pruga M104 (Glavni kolodvor Zagreb - Sisak - Novska), koja je također dio sustava u sklopu koridora X, prvenstveno se koristi za regionalni putnički prijevoz.

Koridor Vb za putnički promet prolazi kroz zagrebački čvor trasom iz smjera Rijeke i Karlovca preko Hrvatskog Leskovca i Glavnog kolodvora Zagreb do Dugog Sela, gdje se jedan ogranak željezničke pruge odvaja prema Koprivnici / Botovu / državnoj granici s Mađarskom (nastavak koridora Vb), a drugi prema Novskoj (koridor X).

U teretnom prometu, koridor Vb prolazi iz smjera Rijeke i Karlovca preko Hrvatskog Leskovca i Remetinca, skreće u smjeru Zagreba, prema Klari, ulazi u Ranžirni kolodvor Zagreb i nastavlja preko postaje Zagreb Žitnjak, Zagreb Resnik i Sesveta do postaje Dugo Selo i dalje u smjeru Botova. Glavne željezničke pruge na trasi koridora Vb su M102 (Glavni kolodvor Zagreb - Dugo Selo) i M202 (Zagreb - Rijeka).

Promet na zagrebačkom željezničkom čvoru organiziran je na način da svi tranzitni vlakovi prolaze kroz Glavni kolodvor Zagreb, koji je polazna i krajnja postaja za lokalne vlakove. Postoje 3 terminala za željeznički promet. Ukupna duljina željezničkog koridora na području Grada Zagreba iznosi 83,22 km. Ukupna duljina željezničkih pruga u sklopu koridora iznosi 141,13 km, od čega je 137,37 km duljina glavnih željezničkih pruga [10].

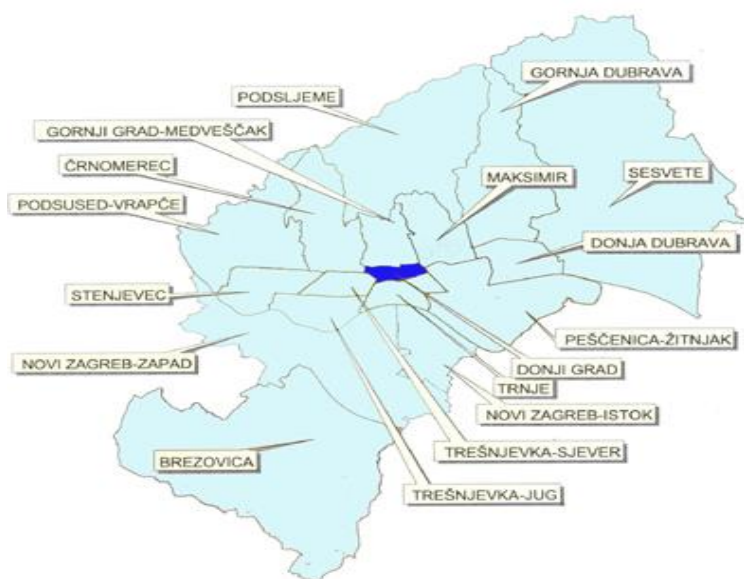
Nacionalni program željezničke infrastrukture za razdoblje od 2008. do 2012. godine²⁰ ukazao je da je u sljedećih dvadeset godina na željezničkoj mreži na području Grada Zagreba potrebno [10]:

- obnoviti postojeću željezničku prugu i izgraditi dodatni kolosijek na željezničkoj pruzi Glavni kolodvor Zagreb - Sisak,
- obnoviti postojeću željezničku prugu Glavni kolodvor Zagreb – Dugo Selo i izgraditi nove željezničke pruge, kolodvore i stajališta,
- obnoviti i proširiti postojeće željezničke pruge i kolodvore u funkciji razvoja prigradskog i teretnog prometa i odvajanja daljinskog i prigradskog prometa na zagrebačkom željezničkom čvoru.

3. DEFINIRANJE ZONE OBUHVATA

Zona obuhvata predstavlja područje unutar cestovne mreže na kojemu se planira izgradnja, rekonstrukcija, regulacija ili neki drugi poduhvat koji mijenja stanje u postojećem načinu funkcioniranja prometnog sustava. Promatrana zona raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića, nalazi se nedaleko od samog središta Grada Zagreba.

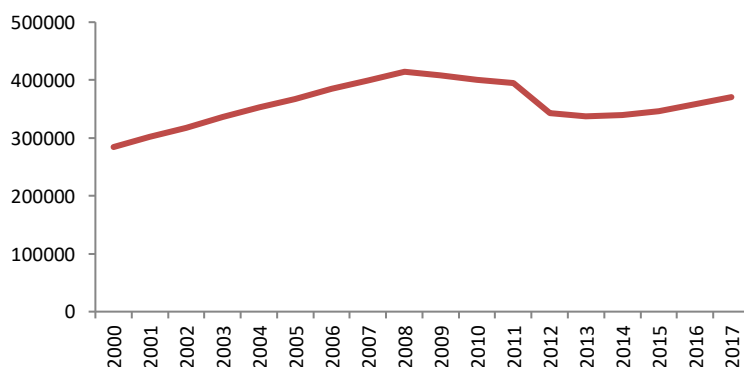
Površina Grada Zagreba iznosi 641,32 km². Grad Zagreb broji 70 naselja, 17 gradskih četvrti i 218 gradskih odbora po gradskim četvrtima. Dvije prostorno najveće gradske četvrti – Sesvete i Brezovica, koje zajedno obuhvaćaju više od 45% ukupne površine Grada Zagreba



Slika 3. Gradske četvrti Grada Zagreba

Izvor: [29]

Dostupni statistički podatci pokazuju porast trenda motornog cestovnog prometa. Polako se dostiže maksimum iz 2008. godine, razdoblja prije recesije. Od 2013. godine stopa rasta je pozitivna prosječno +1,8 % godišnje; što je uobičajen pozitivan trend rasta prometa za Grad Zagreb.



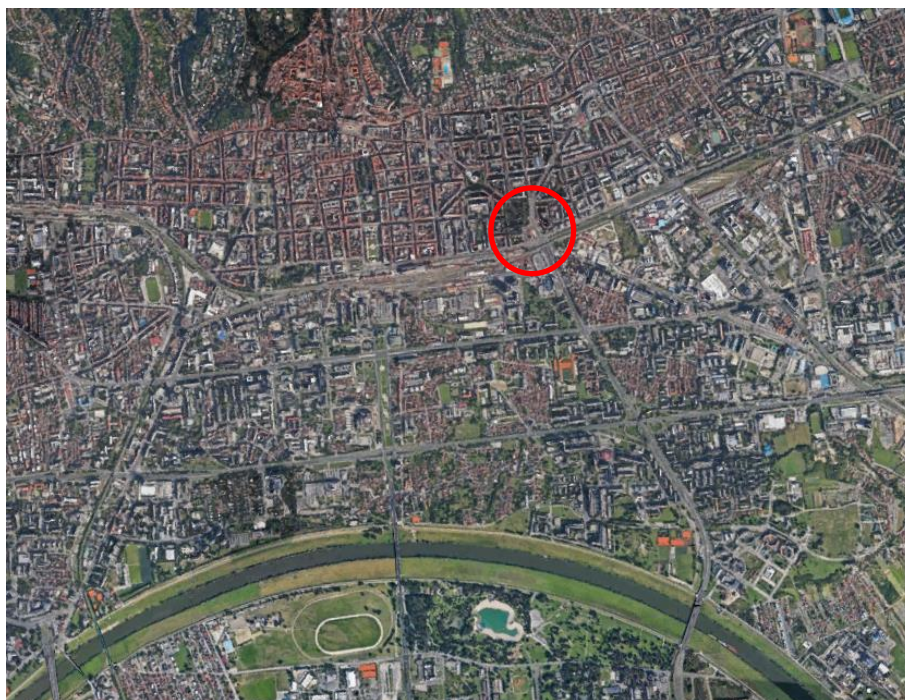
Grafikon 1. Registrirana motorna vozila u Zagrebu

Izvor: [30]

3.1 Šira zona obuhvata

Makro zona obuhvata predstavlja lokaciju i položaj promatrane zone u globalnoj cestovnoj mreži nekog područja. Kod regulacije i izmjene tokova na manjem području ili samo jednom raskrižju, važno je voditi računa da novonastala situacija bude prilagođena već postojećem prometnom sustavu šireg područja cestovne mreže [5].

Predmetna zona raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića nalazi se u četvrti Donji grad u samom središtu Zagreba. Nalazi se u jugoistočnom dijelu gradske četvrti Donji grad. Na samoj granici gradskih četvrti Peščenica i Trnje. Ova četvrt ima 37024 stanovnika prema brojanju iz 2011. g i još uvijek je najgušće naseljeni dio Zagreba. Podaci sa zadnjih popisa stanovništva pokazuju kako rezidencijalna funkcija ovoga prostora postupno slabi u korist sve bogatijem poslovnom, kulturnom i raznolikom drugom javnom životu, čime Zagreb slijedi trend već odavno zapažen u velikim gradovima širom svijeta.



Slika 4. Šira zona obuhvata
Izvor: [31]

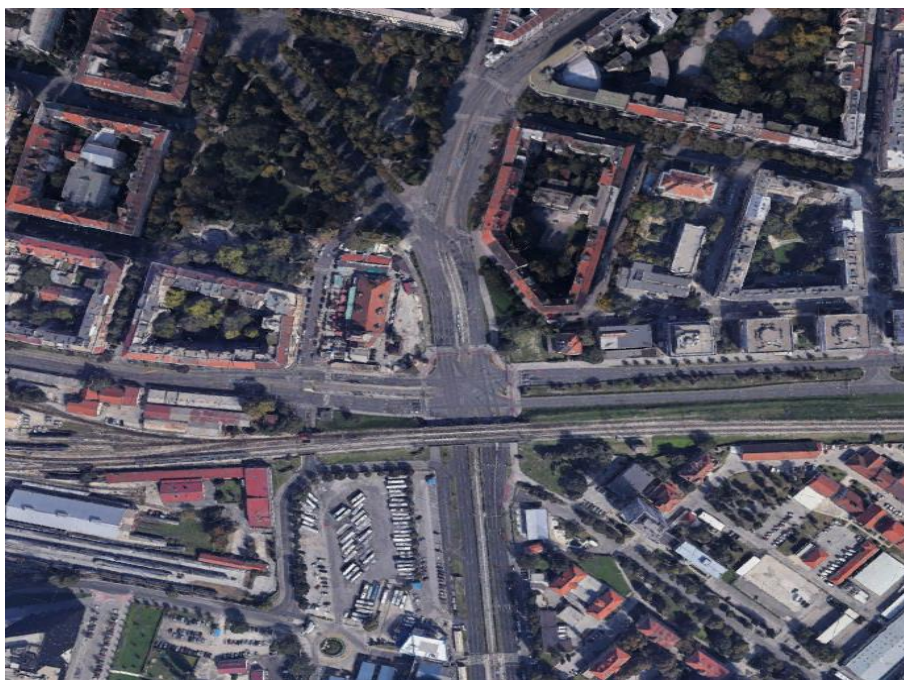
3.2 Uža zona obuhvata

Mikro zona obuhvata predstavlja prostor raspoloživ za izgradnju nove prometnice, raskrižja ili neke druge cestovne građevine. Također, kod izmjene regulacije u prometnom sustavu ili rekonstrukcije, predstavlja samo uži dio prostora koji okružuje promatranu dionicu ili objekt [5].

U zoni raskrižja nalazi se Tržnica Branimir koja je omeđena ulicama: Ulicom kneza Branimira na jugu, Kružićevom ulicom na zapadu i Avenijom Marina Držića na istoku.

Ove tri ulice formiraju tri raskrižja/priključka:

- semaforizirano raskrižje Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića na jugoistoku,
- semaforizirano raskrižje Ulica kneza Branimira – Kružićeva ulica – Strojarska ulica, na jugozapadu,
- priključak Kružićeva ulica – Ulica kneza Višeslava koji zbog organizacije prometa u naravi predstavlja dio semaforiziranog raskrižja avenije Marina Držića – kneza Višeslava – Trg kralja Petra Krešimira IV.



Slika 5. Uža zona obuhvata
Izvor: [31]

Stambene i poslovne zgrade, razni ugostiteljski objekti, autobusni kolodvor Zagreb i Tržnica Branimir predstavljaju atraktore putovanja na ovom području.

Na južnoj strani raskrižja nalazi se nadvožnjak kojim se pruža željeznička pruga u smjeru zapada prema Centru grada, a u smjeru istoka prema Sesvetama. Na zapadnoj strani raskrižja nalaze se tramvajske stanice tramvajskih linija 2, 6 i 8.

4. ANALIZA POSTOJEĆE CESTOVNE INFRASTRUKTURE U ZONI OBUHVATA

Analiza postojećeg stanja je analiza svih elemenata relevantnih za odvijanje prometnog procesa na širem području obuhvata. Analiza postojeće situacije nekog zatvorenog prometnog sustava bitna je kako bi se dobio uvid u stvarno trenutno stanje na prometnicama, neovisno o tome obavlja li se samo korekcija postojećeg sustava ili se planiraju neki veći investicijski zahvati.

Infrastrukturu cestovnog prometa grada čine sve vrste i kategorije cesta uključivši i cestovne objekte kao što su mostovi, nadvožnjaci i slično, zatim cestovna raskrižja, prometna signalizacija i parkirališne površine. Analiza u sklopu prometne studije obuhvaća vizualnu analizu općeg stanja te dimenzija svih elemenata prometnice (kolnik, bankina, nogostup, biciklističke staze, rigoli i ostalo). Poseban naglasak stavlja se na analizu prometne signalizacije i prometne opreme. Za analizu prometne signalizacije i oprema vrlo je važno dobro poznavanje i razumijevanje:

- Pravilnika o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama (NN 33/05),
- Pravilnik o turističkoj i ostaloj signalizaciji na cestama (NN 87/02),
- Hrvatske norme koje definiraju prometne znakove (HRN 1114, 1115) itd. [6]

Raskrižja se mogu opisati kao točke u cestovnoj mreži u kojima se povezuju dvije ili više prometnica, a prometni tokovi se ispliću, upliću, prepliću ili križaju. Zbog navedenih prometnih radnji i mogućih konflikata, koji se ne pojavljuju na otvorenim potezima ceste, na raskrižjima su izrazito naglašeni problemi propusnosti i sigurnosti prometa [16].

U zoni obuhvata sva raskrižja su izvedena u jednoj razini, upravljanja su horizontalnom prometnom signalizacijom i svjetlosnom signalizacijom. Spomenuta su neka važnija raskrižja za funkcioniranje prometnog sustava u zoni obuhvata.

Jedno od važnijih raskrižja je križanje dviju velikih prometnica Ulice kneza Branimira i Avenije Marina Držića. Ovo su prometnice koje u zoni raskrižja imaju četiri prometne trake u jednom smjeru. Prometnice su odvojene prometnim otocima koji su iskorišteni za zaštitnu pješaka u slučaju ne mogućnosti prelaska zbog kasnog stupanja na pješački prijelaz. Na zapadnoj strani raskrižja, tramvajska stajališta smještena su unutar prometnog otoka. Isto tako, prometni otoci na predmetnom raskrižju služe za smještaj prometnih znakova i rasvjete. Tramvajska pruga prolazi Ulicom kneza Branimira i proteže se prema zapadu, Avenijom Marina Držića prema jugu i dalje Šubićevom ulicom prema sjeveru. Tramvajska pruga u zoni obuhvata nalazi se u zasebnom tijelu, unutar prometnog otoka i razdvaja dva smjera vožnje. Pješački nogostupi smješteni su duž ulica, kao i pješački prijelazi, te biciklističke staze i biciklistički prijelazi.

Predmetno raskrižje upravljano je svjetlosnom signalizacijom i sastoji se od četiri privoza, glavni smjer vožnje je sjever – jug, a sporedni smjer vožnje je istok – zapad. Na južnoj strani zone raskrižja nalazi se željeznička pruga, uzdignuta nadvožnjakom.

Avenija Marina Držića iz smjera sjevera (privoz 1) sastoji se od četiri prometne trake u zoni raskrižja. Jedna prometna traka za lijevo skretanje u privoz 4 širine 3,25 [m], dvije prometne trake za ravno u privoz 2 širine 3,25 [m] i jedna prometna traka za desno skretanje u privoz 3 širine 3,25 [m]. Paralelno uz privoz 1 nalazi se tramvajska pruga koja se nastavlja u privoz 2.



Slika 6. Sjeverni privoz raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića
Izvor: [28]

U zoni obuhvata, iz smjera sjevera, prije predmetnog raskrižja, nalazi se semaforizirano raskrižje Avenija Marina Držića – Ulica kneza Višeslava. Raskrižje se sastoji od tri prometne trake za ravno širine 3,00 [m]. Prije samog raskrižja nalazi se prometna traka za desno skretanje u smjeru sjeverozapada, koja nakon prometnog otoka postaje prometna traka za ravno.



Slika 7. Raskrižje Avenija Marina Držića - Ulica kneza Višeslava
Izvor: [28]

Ulica kneza Višeslava iz smjera sjevera križa se s Kružićevom ulicom, te se u produžetku spaja na Aveniju Marina Držića. Na tom potezu, ulica kneza Višeslava sastoji se od dvije prometne

trake od čega je jedna prometna traka za ravno, širine 3,25 [m] i druga prometna traka za ravno i desno širine 3,25 [m].



Slika 8. Raskrižje Ulica kneza Višeslava - Kružićeva ulica
Izvor: [28]

Avenija Marina Držića iz smjera juga (privoz 2) sastoji se od pet prometnih traka u zoni raskrižja. Dvije prometne trake za lijevo skretanje u privoz 3 širine 3,00 [m] i jedna prometna traka za ravno u privoz 1 širine 3,00 [m]. Preostale dvije prometne trake odvojene su prometnim otokom u zoni raskrižja, od čega je jedna prometna traka za ravno u privoz 1 širine 3,25 [m] te druga prometna traka za desno u privoz 4 širine 3,50 [m]. Paralelno uz privoz 2 nalazi se tramvajska pruga u zasebnom tramvajskom tijelu koja se nastavlja u privoz 1 i privoz 3.



Slika 9. Južni privoz raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića
Izvor: [28]

Ulica kneza Branimira iz smjera zapada (privoz 3) sastoji se od četiri prometne trake u zoni raskrižja. Dvije prometne trake za lijevo skretanje u privoz 1 širine 3,00 [m], jedne prometne trake za desno u privoz 2 širine 3,25 [m] te jedne prometne trake za ravno i desno skretanje u privoz 4 i privoz 2 širine 3,25 [m]. Smjerovi vožnje odvojeni su prometnim otokom unutar

kojeg se nalazi tramvajska pruga u zasebnom tramvajskom tijelu koja se proteže u smjeru privoza 2. Unutar prometnih otoka nalaze se i tramvajske stanice u smjeru zapada i istoka.



Slika 10. Zapadni privoz raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića
Izvor: [28]

Nastavno na Sliku 10, a odnosi se na suprotan smjer Ulice kneza Branimira u smjeru zapada, nalazi se raskrižje Ulica kneza Branimira – Strojarska ulica – Kružićeva ulica. U smjeru zapada u zoni raskrižja nalaze se dvije prometne trake, od kojih je jedna prometna traka za ravno širine 3,25 [m], te jedna za ravno i desno za skretanje u Kružićevu ulicu u smjeru sjevera širine 3,25 [m].



Slika 11. Raskrižje Ulica kneza Branimira – Strojarska ulica – Kružićeva ulica zapadni privoz
Izvor: [28]

Sjeverni privoz raskrižja Ulica kneza Branimira – Strojarska ulica – Kružićeve ulice sastoji se od jedne prometne trake za ravno i desno, u Strojarsku ulicu odnosno Ulicu kneza Branimira širine 3,50 [m]. Druga prometna traka širine 3,50 [m] odnosi se na suprotan smjer i vodi prema sjeveru. U Kružićevoj ulici duž obje strane kolnika nalaze se uzdužna parkirna mjesta.



Slika 12. Raskrižje Ulica kneza Branimira – Strojarska ulica – Kružićeve ulice sjeverni privoz
Izvor: [28]

Južni privoz raskrižja Ulica kneza Branimira – Strojarska ulica – Kružićeve ulice sastoji se od jedne prometne trake za desno, u Ulicu kneza Branimira širine 3,50 [m]. Druga prometna traka širine 3,50 [m] odnosi se na suprotan smjer i vodi prema jugu.



Slika 13. Raskrižje Ulica kneza Branimira – Strojarska ulica – Kružićeve ulice južni privoz
Izvor: [28]

Ulica kneza Branimira iz smjera istoka (privoz 4) sastoji se od četiri prometne trake u zoni raskrižja. Dvije prometne trake za lijevo skretanje u privoz 2 širine 3,25 [m], jedne prometne trake za ravno u privoz 3 širine 3,25 [m] te jedne prometne trake za ravno i desno skretanje u privoz 3 i privoz 1 širine 3,25 [m].



Slika 14. Istočni privoz raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića
Izvor: [28]

5. ANALIZA PROMETNIH TOKOVA

Prometni tokovi međusobno utječu jedan na drugoga te je u svrhu optimalnog odvijanja prometa potrebno uočiti odnose među njima kako bi se na vrijeme izbjegle neželjene situacije. U gradovima je višestruka korist od takvog rješavanja odvijanja prometa, kao npr. [5]:

- smanjenje prometnih nesreća;
- povećanje propusne moći raskrižja odnosno mreže;
- regulacija prosječne brzine kretanja;
- smanjenje zagađenja okoliša;
- optimalno iskorištenje infrastrukture;
- smanjenje investicija u infrastrukturu i
- manji troškovi u eksploataciji individualnih vozila i javnog gradskog prometa.

Realni prometni tokovi najčešće pripadaju grupi složenih prometnih tokova. Zbog toga kada je riječ o realnom prometnom toku, pojam protoka vozila kao i pojmovi ostalih osnovnih parametara moraju biti obogaćeni objašnjenjem o kakvom se prometnom toku radi, obzirom na prednju klasifikaciju, kao i obzirom na raspodjelu protoka po smjerovima, nizovima i pravcima [3].

Budući da je u gradovima najzastupljeniji cestovni promet te su u sustavu cestovnog prometa prisutno najznačajniji prometni problemi, u prometnim studijama gradova najviše pažnje posvećuje se prometnim tokovima cestovnog prometa. Analiza postojećih prometnih tokova cestovnog prometa obuhvaća [6]:

- brojanje prometa na karakterističnim lokacijama,
- analizu neprekidnog automatskog brojanja prometa.

5.1 Pojam i definicija prometnog toka

Prometni tok je istovremeno kretanje više vozila na putu u određenom poretku. Za opisivanje prometnih tokova i zakonitosti kretanja motornih vozila u prometnim tokovima na cestovnim prometnicama neophodno je definirati pokazatelje. Ti se pokazatelji, u teoriji prometnog toka, nazivaju osnovni parametri prometnog toka ili osnovne veličine prometnog toka. Osnovna razlika u uvjetima kretanja vozila u prometnim tokovima u odnosu na uvjete kretanja pojedinačnog vozila je što u prometnom toku na kretanje vozila djeluje i međusobna interakcija vozila.

U opisivanju prometnih tokova i zakonitosti kretanja motornih vozila u prometnim tokovima na mreži cestovnih prometnica, pri korištenju osnovnih parametara prometnog toka, a prije svega protoka vozila, od značaja je znati i kakav je prometni tok sa stajališta broja nizova i smjerova. Sa tog stajališta prometni tok može biti: jednostavan i složen tok. Jednostavan prometni tok se sastoji od jednog niza vozila koja se kreću u jednom pravcu i u jednom smjeru. Najmanji broj vozila koja, s obzirom na interakcijsku međuovisnost u kretanju, mogu činiti jednostavan prometni tok, iznosi dva vozila. Jednostavan prometni tok predstavlja osnovu, tj. ima značenje baznog (mjerodavnog) toka, za definiranje fundamentalnih - teorijskih relacija

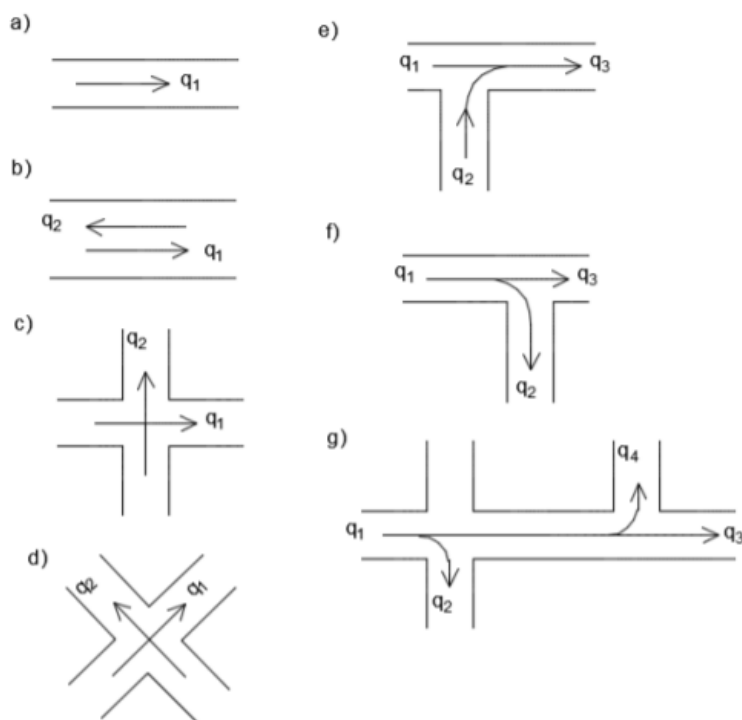
između osnovnih parametara prometnog toka. Složen prometni tok se sastoji od dvaju ili više jednostavnih prometnih tokova koji, s obzirom na međusobne odnose nizova i smjerova, može biti [3]:

- složen tok od dvaju ili više jednostavnih tokova međusobno paralelnih u istom ili suprotnom smjeru
- složen tok od dvaju ili više jednostavnih tokova koji se međusobno isprepliću
- složen tok od dvaju ili više jednostavnih tokova koji se međusobno sijeku, ulijevaju ili odlijevaju.

5.1.1 Odnosi između prometnih tokova

Odnosi među prometnim tokovima u obliku nepotrebnih sukoba (u daljnjem tekstu - presijecanja) događaju se na križanjima, a uzrok im je organiziranost i usmjerenje prometnih tokova u mreži. Zato svaki postupak u izmjeni organiziranosti prometnih tokova mora biti utemeljen na detaljno izučenom postojećem stanju i sagledavanju mogućnosti njegove izmjene. Tako se praktički može govoriti o menadžmentu prometnih tokova. Odnosi među prometnim tokovima u mreži posebice su složeni u urbanim dijelovima prometne mreže, stoga treba težiti da se sa što manje pokazatelja opišu što točnije. Svrstani su u sljedeće kategorije [3]:

- mimoilaženje
- presijecanje
- preplitanje
- ulijevanje



Slika 15. Odnosi između prometnih tokova

Izvor: [3]

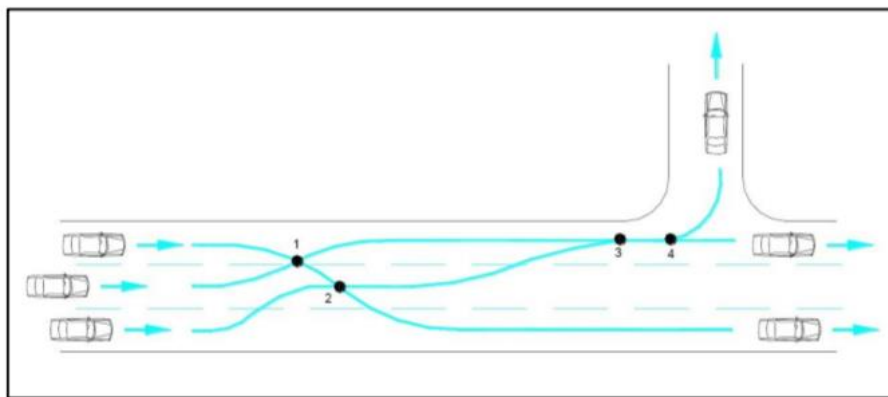
Odvijanje jednosmjernog toka (a) događa se u slučaju prolaska prometnog toka jednosmjernom ulicom ili pokraj parkiranih vozila. Mimoilaženje (b) je usporedno kretanje dvaju prometnih tokova u suprotnim smjerovima, kod kojih ne dolazi do međusobnog utjecaja, a promatra se na izoliranim dijelovima prometnica.

Prema Slika 15 do presijecanja (c i d) prometnih tokova dolazi kada se sučeljavaju dva prometna toka koji nisu usporedni u istoj razini. Ulijevanje (e) je ulijevanje jednog toka u drugi čineći tako jedan tok. Odljevanje (f) je razdvajanje jednoga prometnog toka u dva. Preplitanje (g) se događa kada se dva prometna toka spoje, teku zajedno i međusobno se isprepliću te se opet razdvoje.

Na intenzitet presijecanja, preplitanja, ulijevanja i odljevanja utječe usmjerenost ulične mreže. Ako se ulična mreža promatra kao skup elemenata, elemente bi činile dionice ulične mreže. Svaki element ulične mreže može se opisati s dva parametra: vrstom smjernosti (dvosmjerna ili jednosmjerna) i usmjerenosti (jednosmjerna i vožnja desnom ili lijevom stranom). U kompleksnoj cestovnoj mreži kombinacija elemenata uzrokuje različita rješenja.

U gradovima je često nužno uvesti jednosmjerno kretanje vozila u nekim dijelovima mreže i postavljati razne usmjerenosti. Tim postupcima se utječe na odnose među prometnim tokovima te dolazi do povećanja ili smanjenja nepotrebnog presijecanja tokova.

Presijecanje, ulijevanje i odljevanje, kao najvažniji odnosi među prometnim tokovima, događaju se na raskrižjima, dok je preplitanje izraženije na dionicama između raskrižja.



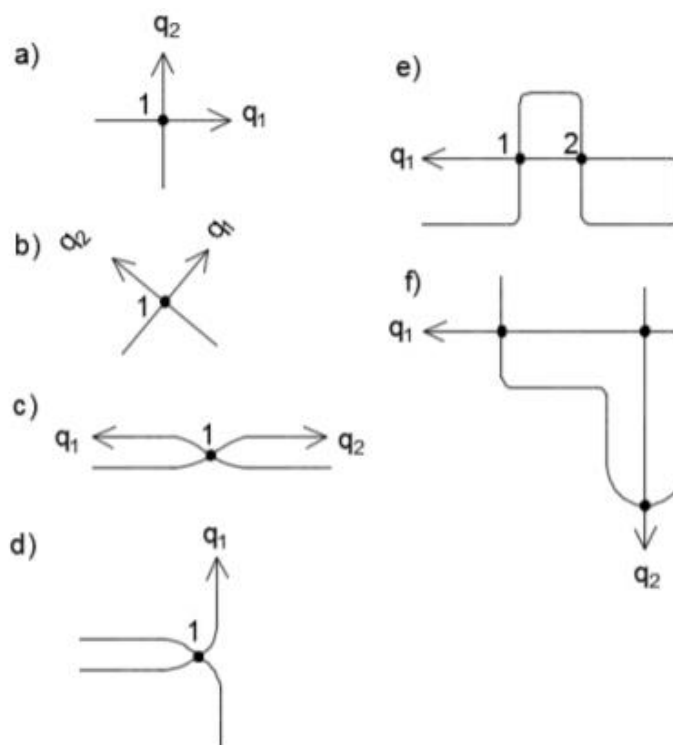
Slika 16. Preplitanje prometnih tokova na dionici ceste između raskrižja

Izvor: [3]

Na odabir putanje kretanja vozača u mreži utječe se usmjerenjem prometne mreže i obavijesnom signalizacijom. Ukoliko prometni tokovi nisu organizirani na adekvatan način, dolazi do većih oscilacija prometnog opterećenja što rezultira uskim grlom na odrađenim elementima. Preduvjet za adekvatno upravljanje i organiziranje prometnih tokova je proučavanje njihovog odnosa, primjena metoda za minimiziranje nepotrebnih presijecanja i primjena reorganiziranja prometnih tokova [5].

Nepotrebna presijecanja prometnih tokova mogu se događati u jednoj ili više točaka, a prikazana su na Slika 17:

- presijecanje prometnih tokova u jednoj točki - a) i b);
- presijecanje pri prijelazu s vožnje desnom na vožnju lijevom stranom – c);
- samopresijecanje u jednoj točki – d);
- samopresijecanje u dvije točke – e) i
- samopresijecanje u dvije točke i presijecanje - f).



Slika 17. Nepotrebna presijecanja prometnih tokova

Izvor: [3]

5.1.2 Vrste i struktura prometnog toka

S obzirom na uvjete odvijanja prometa prometni tokovi mogu biti: neprekinuti, neprekinuti ali djelomično ometani i povremeno prekinuti tokovi.

Neprekinuti tokovi su tokovi kod kojih na uvjete kretanja vozila jedino djeluje njihova međusobna interakcija, koja je u prvom redu ovisna o gustoći toka. Uvijete za neprekinute tokove pružaju prometne dionice, prije svega dionice autocesta.

Neprekinuti ali djelomično ometani tokovi su tokovi kod kojih na uvjete kretanja vozila, pored njihove međusobne interakcije, utječu i promjene prometne trake u kretanju vozila zbog ulijevanja ili izlijevanja.

Povremeno prekinuti tokovi su tokovi kod kojih na uvjete kretanja vozila, pored njihove međusobne interakcije, utječu i potrebe za vremenskom podjelom prava korištenja istih prometnih površina, od strane vozila iz raznih pravaca kretanja, koji se međusobno sijeku [5].

Postoje velike razlike u domeni vrste i stanja vozila te psihofizičkih osobina, osposobljenosti i motiviranosti vozača, zbog čega karakteristika sastava prometnog toka ima vrlo važnu ulogu sa stajališta uvjeta kretanja vozila. Prema sastavu ili strukturi, prometni tok može biti homogen ili heterogen (mješovit).

Tok sastavljen 100 posto od putničkih automobila često se naziva približno idealan tok, ili homogen tok i kao takav ima značenje baznog (mjerodavnog) toka u domeni praktičnog tretmana utjecaja sastava toka na uvjete kretanja vozila u prometnom toku.

Realan tok je u principu nehomogen ili mješovit tok, odnosno to je tok sastavljen od dva ili više različitih vrsta motornih vozila naziva se nehomogen ili mješoviti tok.

Stupanj nehomogenosti prometnog toka izražava se postotnim udjelom ostalih vozila u prometnom toku. Postotni udio ostalih vozila P_{kv} u prometnom toku računa se prema (1):

$$P_{kv} = \frac{q - q_{pA}}{q} * 100 [\%] \quad (1)$$

Gdje je:

P_{kv} – postotni udio ostalih vozila u prometnim toku;

q – ukupni broj vozila;

q_{pA} – broj putničkih automobila.

Osim postotnog udjela ostalih vozila, stupanj nehomogenosti prometnog toka, može se iskazati i karakteristikama vozača. Vozači mogu biti oni koji redovito voze i takozvani vikend vozači koji voze povremeno. Važna karakteristika prometnog toka o kojoj snažno ovise uvjeti koji vladaju u prometu na cesti je sastav prometnog toka. Uvjeti u prometnom toku pogoršavaju se sa porastom stupnja nehomogenosti, iz razloga što ostala vozila (autobusi i kamioni) imaju veće dimenzije (dužinu, širinu, visinu) i lošije vozno – dinamičke karakteristike. Ova vozila su zato sporija od putničkih automobila, te se automobili moraju prilagođavati brzinama kretanja sporijih vozila što naročito dolazi do izražaja na usponima ili kod skretanja u zoni čvorišta [3].

Stupanj homogenosti prometnog toka izražava se postotnim udjelom putničkih automobila u prometnom toku. Postotni udio putničkih automobila P_{pA} u prometnom toku računa se prema (2):

$$P_{pA} = \frac{q - q_{kv}}{q} * 100 [\%] \quad (2)$$

Gdje je:

P_{pA} – postotni udio putničkih automobila u prometnom toku;

q – ukupni broj vozila u prometnom toku;

q_{kv} – ukupan broj ostalih vozila.

Uvjetno homogen tok praktično ne postoji, tu je riječ o teorijskoj aproksimaciji. Naime, obzirom na činjenicu da su sva teorijska uopćavanja u teoriji prometnog toka bazirana na nepostojećem tzv. idealnom homogenom toku, a praktična uopćavanja na toku putničkih automobila, tj. na približno idealnom toku, to su u cilju primjene spomenutih uopćavanja na stvarne tokove, rješenja tražena u pretvaranju nehomogenog toka u tzv. uvjetno homogeni tok. Uvjetno homogeni tok se izražava u tzv. jedinicama putničkih automobila - JOA. Osnovni cilj ove transformacije je da se nehomogen tok pretvori u tok u kojemu su uvjeti prometa slični približno idealnom toku [3].

Pretvaranje nehomogenog toka u uvjetno homogen tok radi se preko određenih ekvivalenata (E_i) kojima se množe pojedine vrste vozila iz sastava toka. Veličina ekvivalenata je u funkciji vrste vozila, dužine vozila, vožno-dinamičkih karakteristika vozila, karakteristika puta i praktičnog zadatka koji se rješava. Relativne vrijednosti ekvivalenata pomoću kojih se pojedine vrste vozila transformiraju u ekvivalentne jedinice putničkih automobila su [3]:

- za motocikle ($E < 1$)
- za putničke automobile ($E = 1$)
- za sva ostala vozila ($E > 1$).

5.1.3 Vremenska neravnomjernost protoka vozila

Protok vozila je promjenjiva veličina koju možemo promatrati po jednakim vremenskim jedinicama na presjeku ili odsjeku puta u stvarnim uvjetima. Uvjetovan je brojnim faktorima koji su također promjenjivi, a ovise o prirodi nastajanja potreba za prostornim premještanjem ljudi i dobara u procesu društvenih i privrednih aktivnosti. Neki faktori imaju karakter slučajnih varijabli, kao npr. poremećaji na cestovnoj mreži, poput pojave uskog grla, vremenske i klimatske neprilike i sl., i mogu izazvati neravnomjernost protoka vozila na nekom dijelu mreže.

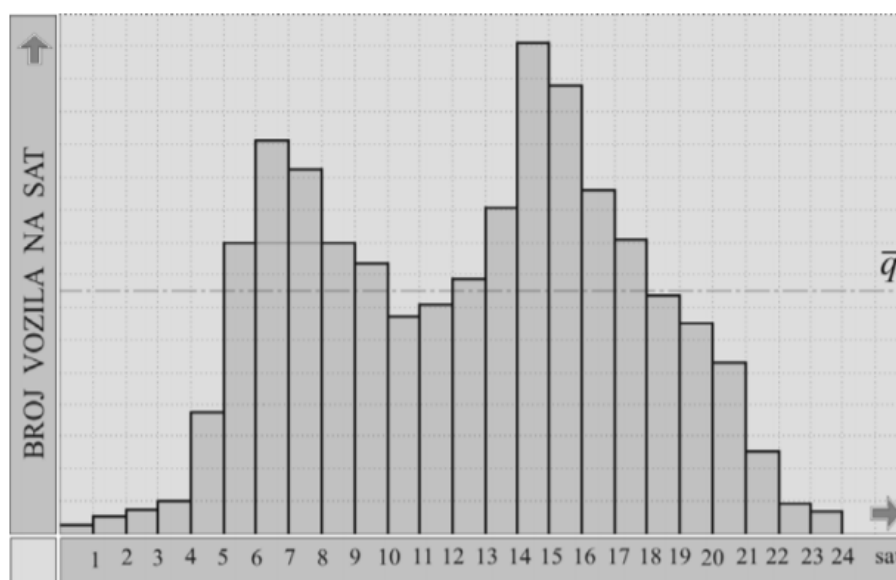
Karakteristika vremenske neravnomjernosti prometnog toka ima izuzetan značaj pri definiranju projektnih elemenata i donošenju odluka o opravdanosti izgradnje prometnica. Značaj ove karakteristike prometnog toka je naglašen i za mjere koje se poduzimaju u reguliranju i upravljanju prometom na promatranoj mreži.

Zbog velikog značaja neravnomjernosti protoka vozila, za praktične odluke u procesu planiranja cestovnih prometnica, još od ranih faza razvoja motorizacije, napori stručnjaka bili su usmjereni ka što boljem upoznavanju sa zakonitostima vremenske neravnomjernosti protoka vozila.

Zakovitosti vremenske neravnomjernosti protoka vozila sa ovog stajališta iskazuju se kroz:

1. satnu neravnomjernost u tijeku jednog dana (24 sata),
2. satnu neravnomjernost u tijeku cijele godine (8760 sati),
3. dnevnu neravnomjernost u tijeku tjedna (7 dana),
4. dnevnu neravnomjernost u tijeku mjeseca,
5. dnevnu neravnomjernost u tijeku cijele godine,
6. mjesečnu neravnomjernost u tijeku cijele godine i
7. neravnomjernost protoka po manjim vremenskim jedinicama od jednog sata u okviru vršnog sata.

Satna neravnomjernost protoka vozila u periodu jednog dana predstavlja variranje protoka po pojedinim satovima u periodu cijelog dana, tj. u periodu 24 sata. Ova neravnomjernost se iskazuje odnosom između protoka u pojedinim satima i srednjeg satnog protoka u periodu cijelog dana [3].



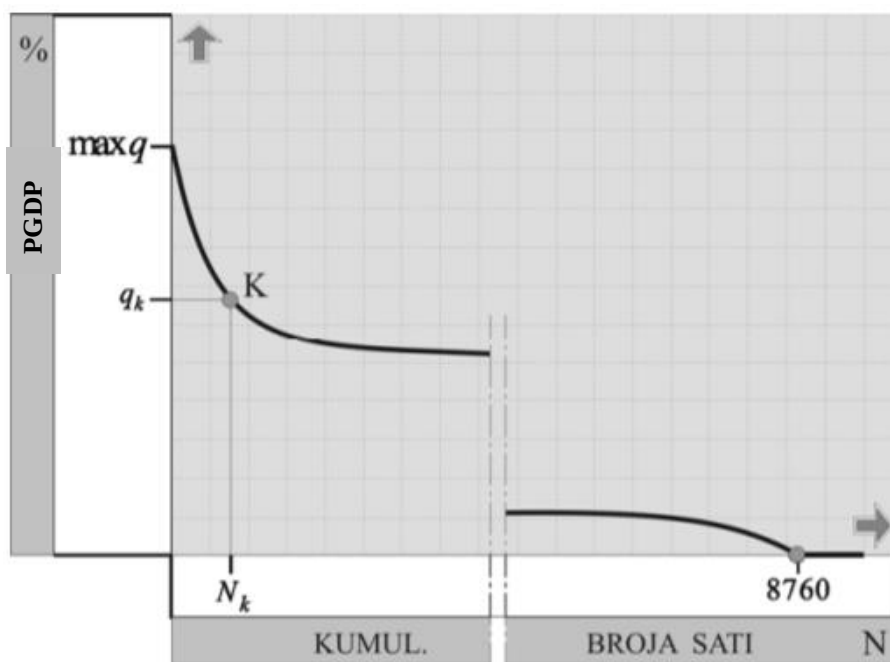
Slika 18. Raspodjela satnih protoka vozila u periodu dana

Izvor: [3]

Za praktične odluke značajne su maksimalne i minimalne vrijednosti faktora neravnomjernosti (f_{ai}) i brojna zastupljenost sati sa ovim vrijednostima faktora. Zato se po ovoj karakteristici u principu razlikuju tokovi obzirom na vrijeme promatranja (radni dan, dan vikenda, zimski dan, ljetni dan i sl.) i obzirom na prostor, tj. obzirom na funkciju puta kome pripada promatrana dionica (izvangradski put, prigradski put, gradska prometnica i sl.).

Satna neravnomjernost protoka u periodu cijele godine predstavlja variranje protoka vozila po pojedinim satovima u tijeku cijele godine, tj. u tijeku 8.760 sati.

Karakteristika vremenske neravnomjernosti satnih protoka vozila u tijeku 8760 sati u godini iskazuje se dijagramom svrstanih po veličini satnih protoka vozila u svih 8760 sati na dionici prometnice. Praktični rezultati prvih brojanja prometa u svim satima u periodu godine pokazali su da dijagrami satnih protoka vozila svrstanih po veličini na svim prometnicama imaju u osnovi isti oblik [3].



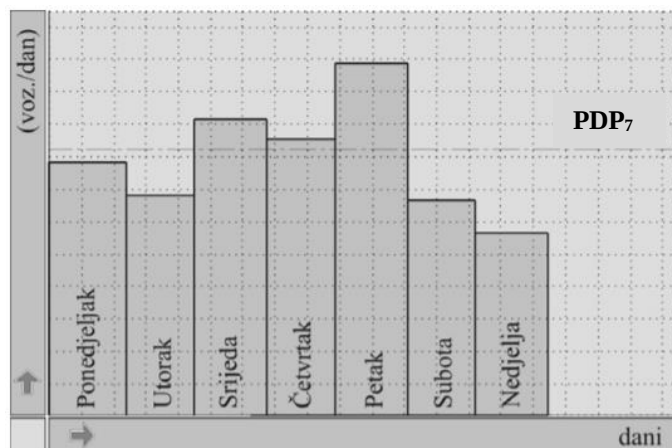
Slika 19. Satni protoka vozila u godini dana svrstanih po veličini (kumulativno)
Izvor: [3]

Veličine u dijagramu predstavljaju:

- PGDP – prosječni godišnji dnevni protok;
- K - koljeno dijagrama;
- q_k - relativni satni protok izražen u % od PGDP u kome se javlja koljeno dijagrama;
- N_k - ukupan broj satova godišnje u kojima je protok veći ili jednak s protokom (q_k) koji odgovara koljenu;
- $q_{\max}$ - relativna vrijednost najvećeg ostvarenog protoka izraženog u % od PGDP-a.

Sa porastom motorizacije i cestovnog motornog prometa, te promatranjem oblika dijagrama u dužem nizu godina uočene su određene zakonitosti u premještanju relativnog položaja koljena u dijagramu satnog protoka vozila u godini dana, što je utjecalo na promjene globalnih kriterija o mjerodavnom satnom protoku. Tako su uspostavljeni i kriteriji: “50-og sata”, “80-og sata”, “100-og sata”, “150-og sata” i “200-og sata”, koji i danas ima primjenu u mnogim razvijenim zemljama. Na osnovu izvršenih ispitivanja na današnjoj razini realna vrijednost mjerodavnog protoka nalazi se u granicama između 6,5% i 8% od PGDP-a, tj. = (0,065 do 0,08) PGDP [4].

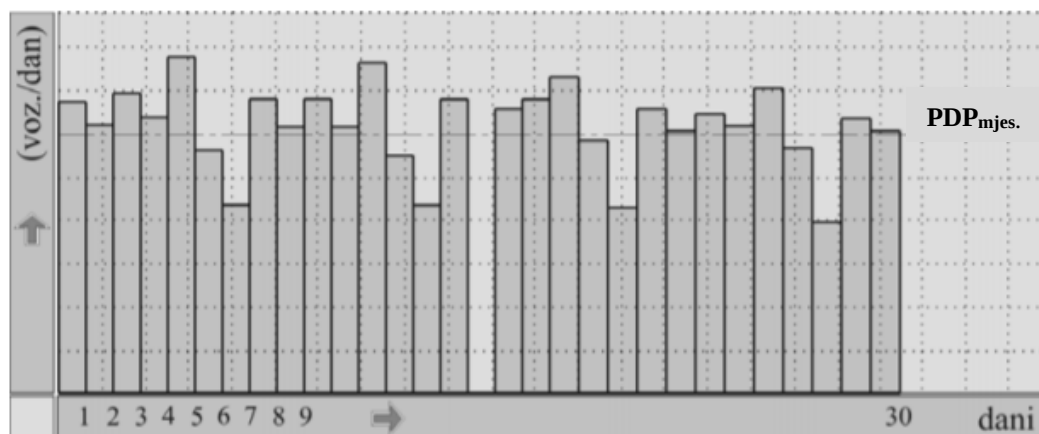
Dnevna neravnomjernost protoka u periodu sedam dana predstavlja variranje protoka vozila po pojedinim danima u razdoblju od sedam dana. Ova neravnomjernost se iskazuje odnosom između protoka vozila u pojedinim danima i srednjeg dnevnog protoka promatranog sedmodnevnog perioda [3].



Slika 20. Dnevna neravnomjernost u periodu od 7 dana

Izvor: [3]

Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu jednog mjeseca predstavlja variranje protoka vozila po pojedinim danima u tijeku promatranog mjeseca. Ona se iskazuje odnosom između protoka vozila u pojedinim danima i srednjeg dnevnog protoka u periodu promatranog mjeseca [3].



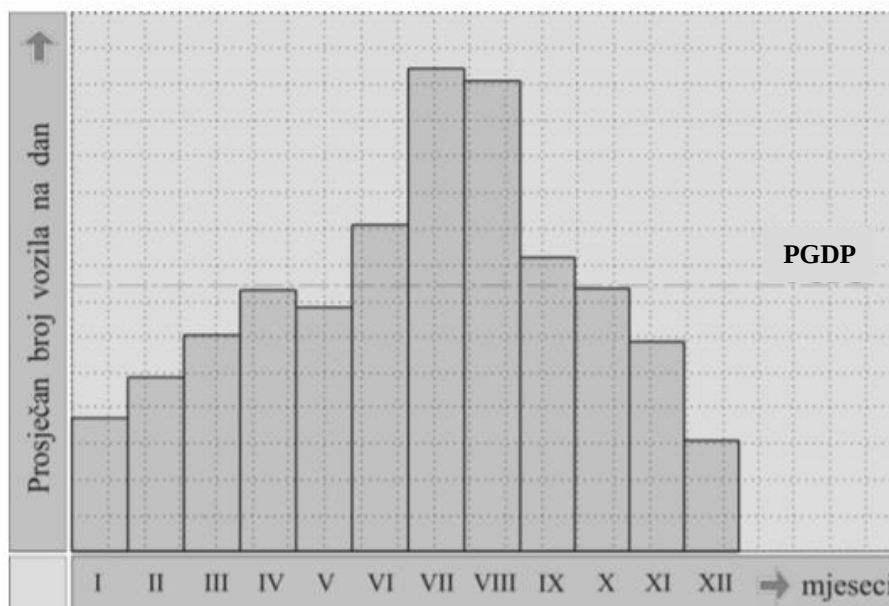
Slika 21. Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu jednog mjeseca

Izvor: [3]

Prema karakteristici dnevne neravnomjernosti protoka vozila u periodu jednog mjeseca moguće je prepoznavati pojedine mjesece kao npr. ljetne u odnosu na zimske. Također je u određenoj mreži, preko ove karakteristike neravnomjernosti protoka, moguće prepoznati i karakter tokova na promatranom pravcu.

Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu jedne godine predstavlja variranje veličine prometnog toka po pojedinim danima u periodu godine. Iskazuje se odnosom između protoka vozila u pojedinim danima i prosječnog godišnjeg dnevnog prometa.

Mjesečna neravnomjernost protoka vozila u periodu godine predstavlja variranje prosječnog dnevnog prometa po mjesecima u periodu godine, tj. u periodu od 12 mjeseci. Ona se iskazuje odnosom između prosječnog dnevnog prometnog toka po mjesecima i prosječnog godišnjeg dnevnog prometa [3].



Slika 22. Mjesečna neravnomjernost protoka vozila u periodu godine

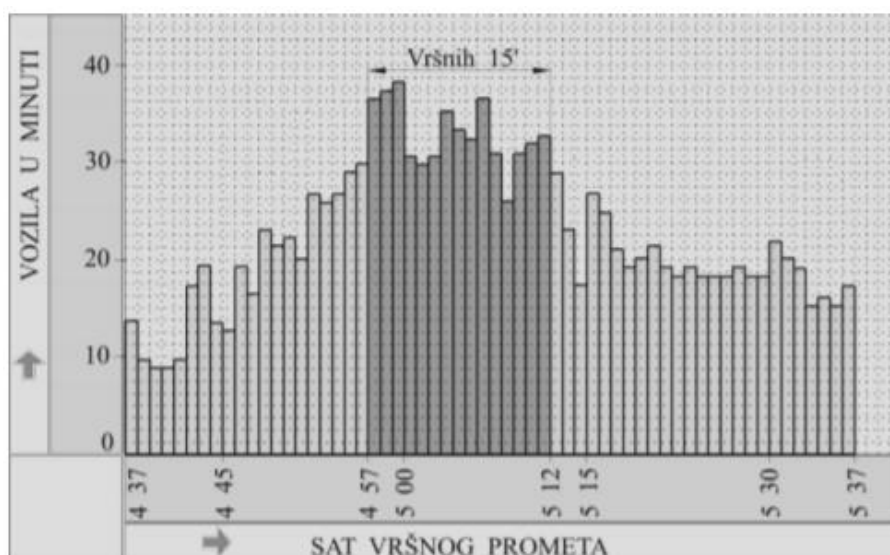
Izvor: [3]

Karakteristika mjesečne vremenske neravnomjernosti protoka vozila je značajan indikator za prepoznavanje karaktera prometnih tokova i funkcije promatrane prometnice u mreži.

U stvaranju modela neophodnih za praktičnu primjenu u planiranju, projektiranju i upravljanju prometom, nametnula se potreba za poznavanjem karakteristika neravnomjernosti protoka po manjim vremenskim jedinicama od jednog sata i to prije svega u okviru vršnog sata.

Sa stajališta praktičnog iskazivanja utjecaja ove karakteristike neravnomjernosti protoka na opisivanje uvjeta u prometnom toku, posebnu ulogu ima takozvani faktor vršnog satnog prometa. Faktor vršnog satnog (f_{VS}) prometa izražava se kao odnos protoka u vršnom satu $\sum x_i$ (voz/h) i ekspaniranog vršnog $t =$ minutnog protoka X_{max} (voz/h). Najveća vrijednost ovog faktora može biti jednaka jedinici. Ovaj faktor je uveden zbog toga što je osnovna vremenska jedinica za mjerenje protoka i kapaciteta, koja iznosi jedan sat, dosta gruba u smislu potpunog prezentiranja karakteristika toka.

Naime, tok se mijenja iz minute u minutu po veličini, gustoći, brzini i sastavu, tako da promatranje toka preko vremenske jedinice od jednog sata zapostavlja to stalno pulsiranje karakteristika prometnog toka u vremenu [3].



Slika 23. Vršni promet u tijeku promatranog sata

Izvor: [3]

Slika 23 prikazuje vršnih 15 minuta u toku vršnog sata. U američkom priručniku HCM-u, faktor vršnog prometa izražava se kao odnos protoka u vršnom satu i četverostrukog 15-to minutnog protoka, a koristi se za analizu kapaciteta i razine usluge za signalizirana raskrižja u razini [4].

5.2 Brojanje prometa

Brojanje prometa predstavlja jedan od glavnih ulaznih podataka pri prometnom planiranju i projektiranju. Podatci dobiveni brojanjem prometa predstavljaju stvarnu trenutačnu sliku dinamike prometnih tokova. Ti podatci se mogu sastojati od informacija kao što su: prometna opterećenja na cestovnim prometnicama, struktura prometnog toka, brzina kretanja vozila u prometnom toku, razmak između vozila u prometnom toku, smjerovi kretanja vozila u cestovnoj mreži, vršna opterećenja u određenim vremenskim rasponima i sl.

Iz takvih podataka dobiva se točna slika o prometnim zahtjevima unutar neke zone obrade. Na temelju toga mogu se odrediti budući prometni pravci, rekonstrukcija postojeće prometne infrastrukture i napraviti reorganizacija prometnih tokova. Pri korištenju podataka dobivenih iz brojanja prometa uputno je koristiti podatke iz prethodnih brojanja prometa, ako postoje. Na taj način vidljiv je razvoj neke sredine, s prometnog stajališta, u razdoblju nekoliko godina, desetljeća ili dulje.

Prvi parametar koji je potrebno odrediti za potrebe brojanja prometa je određivanje zone obuhvata brojanja. Nakon toga se metodom sondiranja utvrđuju lokacije na kojima će se, zbog njihovog značaja, provoditi brojanje te kasnije analizirati cijeli sustav unutar zadane zone. Podatci za prometne tokove koji nisu direktno sondirani dobivaju se metodama aproksimacije i interpolacije.

Obzirom na razlog analiziranja postojeće situacije (kontrolno brojanje, projektiranje novih prometnica, rekonstrukcija postojećih, određivanje signalnog plana za potrebe semaforiziranog raskrižja) potrebno je odrediti vremenske periode unutar kojih će se brojanje provoditi. Brojanja se mogu provoditi tokom jednog ili više dana, kontinuirano ili prekidno. Isto tako, potrebno je

odrediti vremenske intervale unutar jednog dana, tj. broji li se samo nekoliko specifičnih sati u danu ili kontinuirano svi sati.

S obzirom na gore navedene parametre odabire se način brojanja prometa. Postojeća podjela načina brojanja prometa je:

- ručno;
- automatsko;
- kamerom;
- naplatno;
- satelitsko;
- brojanje vozila prevezenih trajektima;
- brojanje na parkirališnim površinama [6].

5.2.1 Načini i metode brojanja prometa

Brojanje prometa općenito može biti izvedeno kao ručno ili automatizirano brojanje, a način brojana prometa ovisi o vrsti informacije koju želimo imati, o dužini brojanja prometa i o raspoloživim financijskim sredstvima.

Kod ručne metode brojanja potreban je određeni broj osoba, koje će brojati promet na zadanim dionicama ili zonama, a on ovisi o vremenu brojanja, veličini prometa, razini promatranja i sl.. Informacije dobivene ovakvim brojanjem upisuju se u brojačke listiće i naknadno obrađuju.

Prednosti ručnog brojanja prometa prema su:

- dobivanje informacija o broju vozila, strukturi prometnog toka, smjerovima kojima se vozila kreću;
- prilikom brojanja mogu se otkriti određeni nedostaci uređenja prometnog toka koji dovode do prometnih nesreća ili zagušenja te kvarovi semafora;
- prilikom daljnje obrade podataka, obrasci se lako koriste i
- ako se radi o kraćem vremenskom periodu brojanja, troškovi su relativno niski.

Nedostaci ručnog brojanja prometa prema su:

- osoblje koje broji promet je potrebno prethodno obučiti;
- potreban je veći broj osoblja ukoliko se u istom vremenu obrađuje više lokacija;
- nedovoljna pažnja i umor mogu utjecati na točnost podataka i
- ovisnost o vremenskim uvjetima [13].

Statičko brojanje predstavlja brojanje vozila koja prođu kroz promatrani presjek ceste u zadanom vremenskom intervalu. Podaci dobiveni ovakvim brojanjem predstavljaju opterećenje prometnice, a koriste se za dimenzioniranje prometnica i križanja. Statičko brojanje ne ometa promet, a može se provesti ručno, pomoću pogodnih obrazaca ili pomoću automatskih uređaja za brojanje [16].

Automatsko brojanje prometa na karakterističnim presjecima svih važnijih prometnica u Republici Hrvatskoj provodi poduzeće za upravljanje, građenje i održavanje državnih cesta

Hrvatske ceste d.o.o. Podatci o brojanju prometa se sustavno obrađuju i objavljuju za svaku godinu. Podatci su javno dostupni i moguće ih je u digitalnom obliku preuzeti s internetskih stranica Hrvatskih cesta [5].

Za razliku od statičkog, dinamičko brojanje se odnosi na brojanje prometnih tokova. Njime se određuje jačina, smjer i put prometnog strujanja, a vrlo važno je i utvrđivanje izvora i cilja pojedinih prometnih tokova. Ovo je složenije brojenje koje zadržava promet i stoga mjesto brojenja mora biti pažljivo odabrano.

Postoji više metoda brojenja prometa, a neke od njih su [16]:

- Metoda običnog mjerenja na čvornim točkama;
- Metoda bilježenja registarskih oznaka vozila;
- Metoda obilježavanja listićima;
- Metoda ispitivanja;
- Metoda brojačkih značaka;
- Anketiranje kućanstava i
- Elektromehanička metoda po Prädellu.

Prednosti automatskog brojanja prometa prema su [13]:

- mogućnost kontinuiranog brojanja prometa u dužem vremenskom periodu;
- dobiveni podaci su točni i precizni;
- brojila prometa nisu ovisna o vremenskim uvjetima;
- lako se mijenja lokacija prenosivih brojila i relativno ih je lako postaviti i ukloniti;
- uređaji koji su malo napredniji, osim broja vozila, bilježe i strukturu toka, vremenske uvjete, brzinu kretanja i razmak između vozila.

Nedostaci automatskog brojanja prometa su [13]:

- veliki troškovi pri nabavci brojila;
- za ugradnju stacionarnih brojila potrebni su građevinski zahvati;
- nemogućnost zapažanja smjera kretanja vozila u raskrižju zbog brojanja isključivo na poprečnim presjecima.

Tipova automatskih brojila [15]:

- Induktivna petlja,
- Magnetsko brojilo,
- Mikrovalni radar (RTMS), - Pneumatsko,
- Aktivno infracrveno,
- Pasivno infracrveno,
- Ultrazvučno,
- Akustično i
- Video image processor (VIP).

5.2.2 Rezultati brojanja prometa

Za potrebe analize raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića i zone Tržnice Branimir izvršeno je ručno brojanje prometa za cijeli tjedan u periodu 09. – 13. travnja 2018. godine. Podaci brojanja prometa dobiveni od tvrtke Elipsa S.Z. d.o.o i odnose se za mjerodavni sat, jutarnji vršni period 7:00 – 8:00.

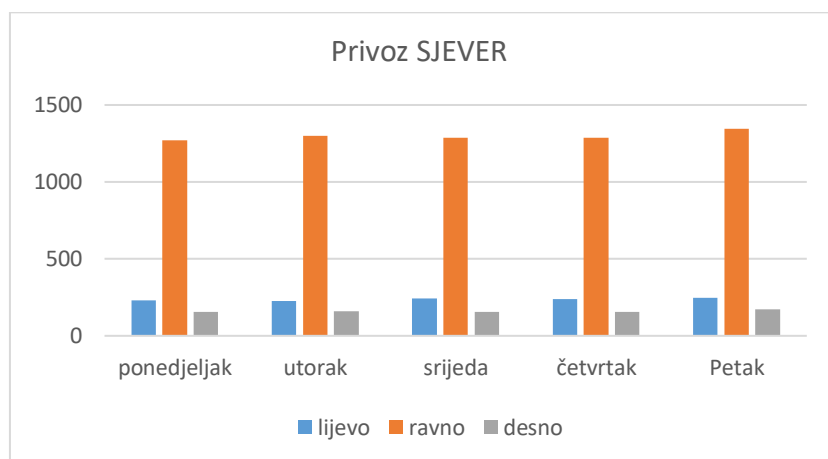
Brojanje je izvršeno izdvojeno za svaki privoz u raskrižju u intervalima od 15 minuta, a vozila su raspoređena u nekoliko kategorija. U tablicama koje slijede prikazan je broj vozila unutar jednog sata za svaki radni dan u tjednu.

Tablica 1. Rezultati brojanja prometa na sjevernom privozu raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića

dani u tjednu	Privoz SJEVER					
	lijevo	TV	ravno	TV	desno	TV
ponedjeljak	230	0	1261	4	152	1
utorak	228	0	1288	5	155	2
srijeda	238	2	1279	5	157	0
četvrtak	236	1	1276	5	152	2
Petak	246	1	1332	7	163	4

Izvor: [Elipsa – S.Z. d.o.o.]

Vozila na sjevernom privozu imaju opciju kretanja u tri smjera; lijevo u smjeru istoka prema Heinzellovoj ulici, ravno u smjeru juga prema Ulici Grada Vukovara i desno u smjeru zapada prema centru Grada.



Grafikon 2. Opterećenje poprečnog presjeka sjevernog privoza po broju vozila

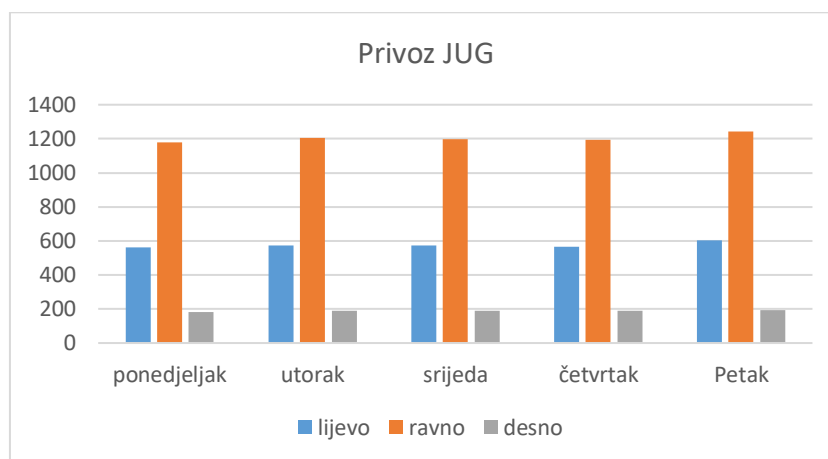
Rezultati brojanja prometa na sjevernom privozu prikazuju petak kao najopterećeniji dan u tjednu. Iz smjera sjevera na raskrižju Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića 247 vozila skreće lijevo prema istoku, 1339 vozila nastavlja vožnju ravno u smjeru juga i 167 vozila skreće desno prema zapadu. Najmanji broj vozila na promatranom raskrižju zabilježen je u ponedjeljak; 230 vozila skreće lijevo prema istoku, 1265 vozila nastavlja ravno u smjeru juga i 153 vozila skreće desno prema zapadu.

Tablica 2. Rezultati brojanja prometa na južnom privozu raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića

dani u tjednu	Privoz JUG					
	lijevo	TV	ravno	TV	desno	TV
ponedjeljak	561	0	1168	5	182	0
utorak	570	1	1192	7	190	0
srijeda	573	0	1184	7	184	2
četvrtak	567	0	1183	5	187	2
Petak	602	0	1232	5	195	0

Izvor: [Elipsa – S.Z. d.o.o.]

Vozila na južnom privozu imaju opciju kretanja u tri smjera; lijevo u smjeru zapada prema centru Grada, desno u smjeru istoka prema Heinzellovoj ulici, ravno u smjeru sjevera prema Zvonimirovoj ulici.



Grafikon 3. Opterećenje poprečnog presjeka južnog privoza po broju vozila

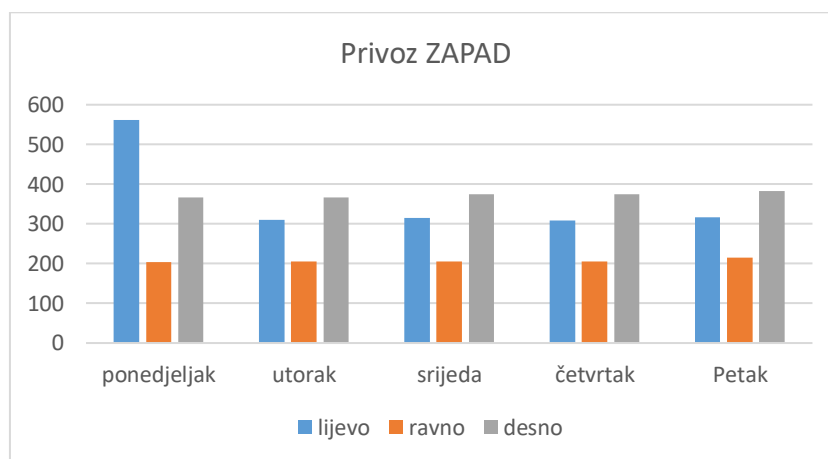
Rezultati brojanja prometa na južnom privozu prikazuju petak kao najopterećeniji dan u tjednu. Iz smjera juga na raskrižju Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića 602 vozila skreće lijevo prema zapadu, 1237 vozila nastavlja vožnju ravno prema sjeveru i 195 vozila skreće desno prema istoku. Najmanji broj vozila na promatranom raskrižju zabilježen je u ponedjeljak; 560 vozila skreće lijevo prema zapadu, 1173 vozila nastavlja ravno prema sjeveru i 182 vozila skreće desno prema istoku.

Tablica 3. Rezultati brojanja prometa na zapadnom privozu raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića

dani u tjednu	Privoz ZAPAD					
	lijevo	TV	ravno	TV	desno	TV
ponedjeljak	285	8	201	1	362	2
utorak	294	8	203	1	367	0
srijeda	295	10	206	0	369	3
četvrtak	288	10	199	3	367	4
Petak	301	8	211	2	380	1

Izvor: [Elipsa – S.Z. d.o.o.]

Vozila na zapadnom privozu imaju opciju kretanja u tri smjera; lijevo u smjeru sjevera prema Zvonimirovoj ulici, desno u smjeru juga prema Ulici Grada Vukovara i ravno u smjeru istoka prema Heinzellovoj ulici.



Grafikon 4. Opterećenje poprečnog presjeka zapadnog privoza po broju vozila

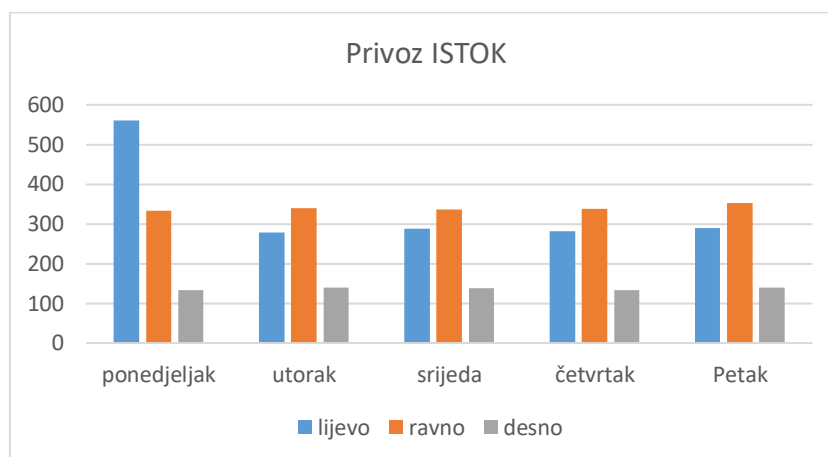
Rezultati brojanja prometa na južnom privozu prikazuju petak kao najopterećeniji dan u tjednu. Iz smjera zapada na raskrižju Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića 309 vozila skreće lijevo prema sjeveru, 213 vozila nastavlja vožnju ravno prema istoku i 381 vozila skreće desno prema jugu. Najmanji broj vozila na promatranom raskrižju zabilježen je u ponedjeljak; 293 vozila skreće lijevo prema sjeveru, 202 vozila nastavlja ravno prema istoku i 364 vozila skreće desno prema jugu.

Tablica 4. Rezultati brojanja prometa na istočnom privozu raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića

dani u tjednu	Privoz ISTOK					
	lijevo	TV	ravno	TV	desno	TV
ponedjeljak	272	2	333	0	129	2
utorak	277	1	339	0	135	2
srijeda	280	4	334	1	132	3
četvrtak	275	3	338	0	127	3
petak	282	4	352	0	135	2

Izvor: [Elipsa – S.Z. d.o.o.]

Vozila na istočnom privozu imaju opciju kretanja u tri smjera; lijevo u smjeru juga Ulici Grada Vukovara, desno u smjeru sjevera prema Zvonimirovoj ulici i ravno prema centru Grada.

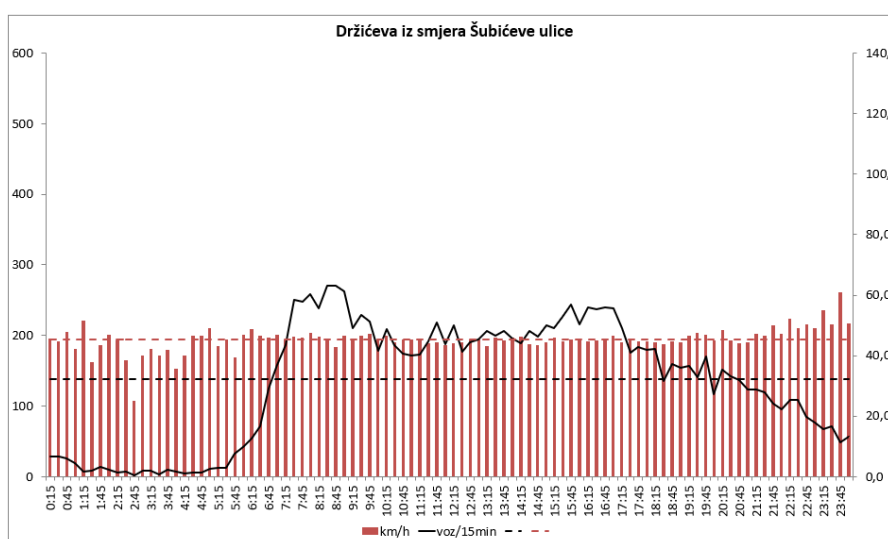


Grafikon 5. Opterećenje poprečnog presjeka istočnog privoza po broju vozila

Rezultati brojanja prometa na južnom privozu prikazuju petak kao najopterećeniji dan u tjednu. Iz smjera istoka na raskrižju Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića 286 vozila skreće lijevo prema jugu, 352 vozila nastavlja vožnju ravno prema zapadu i 137 vozila skreće desno prema sjeveru. Najmanji broj vozila na promatranom raskrižju zabilježen je u ponedjeljak; 274 vozila skreće lijevo prema jugu, 333 vozila nastavlja ravno prema zapadu i 131 vozilo skreće desno prema sjeveru.

U daljnjoj analizi brojanja prometa biti će prikazani rezultati dolaska lijevih skretača na raskrižje. Vozila do pozicije lijevih skretača na raskrižju Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića mogu doći iz smjera Šubićeve ulice i iz smjera Ulice kneza Višeslava.

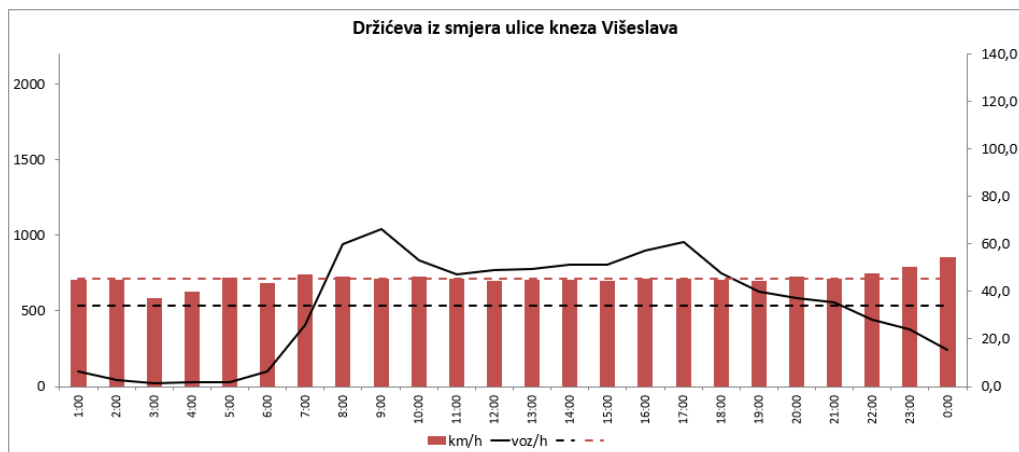
Dolazak lijevih skretača na raskrižje iz smjera Šubićeve ulice prikazuje Grafikon 6 iz kojeg se mogu očitati rezultati brojanja prometa za cijeli dan u 15-minutnim intervalima.



Grafikon 6. Rezultat brojanja prometa vozila iz smjera Šubićeve ulice
Izvor: [Elipsa – S.Z. d.o.o.]

Iz Grafikon 6 može se uočiti da je najveće opterećenje u jutarnjem vršnom periodu u razdoblju od 7:00 – 8:00 sati, te od 8:00 – 9:00 sati i iznosi 270 voz/h.

Dolazak lijevih skretača na raskrižje iz smjera Ulice kneza Višeslava prikazuje Grafikon 7 iz kojeg se mogu očitati rezultati brojanja prometa za cijeli dan u satnim intervalima.



Grafikon 7. Rezultat brojanja prometa vozila iz smjera Ulice kneza Višeslava
Izvor: [Elipsa – S.Z. d.o.o.]

Iz Grafikon 7 može se uočiti da je najveće opterećenje u jutarnjem vršnom periodu u razdoblju od 8:00 – 9:00 sati i iznosi oko 1000 voz/h.

Njihovo dnevno opterećenje je kontinuirano tijekom cijelog dana uz vršni jutarnji period s oko 330 voz/h. Izvor lijevih skretanja je prikazan na sljedećoj slici; 90 % ih dolazi ulicom kneza Višeslava, a 10 % iz Šubićeve ulice. Zbog toga dolazi do preplitanja prometnih tokova prije zone raskrižja, stvaraju se repovi čekanja, a prometna traka za lijevo se ne može ispuniti.



Slika 24. Prikaz dolaska lijevih skretača na raskrižje Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića
Izvor: [28]

Na predmetnom raskrižju i zoni obuhvata nalazi se 10 pješačkih prijelaza, dva biciklistička prijelaza i biciklističke staze. Razlog povećanog broja pješaka i biciklista je velik broj atraktora u zoni obuhvata.



Slika 25. Dnevna prometna opterećenja pješačkog i biciklističkog prometa

Izvor: [28]

Raskrižje Ulica kneza Branimira – Strojarska ulica i Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića, karakterizira i Tržnica Branimir. Slika 25 pokazuje dnevna prometna opterećenja pješačkog i biciklističkog prometa. Prijelazi na Strojarskoj su opterećeniji jer predstavljaju izravnu pješačku svezu prema tramvajskim stajalištima.

5.3 Analiza odvijanja prometnih tokova u zoni obuhvata

Organiziranje prometnih tokova definirano je kao sustavan način kretanja vozila unutar prometne mreže, kojemu je cilj optimalno korištenje mreže s minimalnim troškovima odvijanja prometa. Međusobna presijecanja tokova vozila na kritičnim točkama je potrebno svesti na što manju mjeru. S obzirom da vozači odabiru putanju kretanja ovisno o usmjerenju prometne mreže, potrebno usmjerenje pravilno postaviti. Situacija u kojoj usmjerenja nisu pravilno postavljena dovodi do nejednolikog opterećenja prometne mreže što uzrokuje uska grla u pojedinim zonama unutar mreže. Ukoliko su pravodobno i pravovaljano informirani, vozači će za pravce kretanja odabrati najpovoljnije rute odnosno putanje kretanja unutar mreže. Zbog toga je vrlo važno postaviti jasnu informativnu signalizaciju. Izbjegavanje nepotrebnih presijecanja i smanjenje lomljenja prometnih tokova, utječu na povećanje propusne moći raskrižja [3].

Svaki element ulične mreže može se opisati sa vrstom smjernosti i usmjerenosti, a kombinacija različitih elemenata u kompleksnoj cestovnoj mreži uzrokuje različita rješenja.

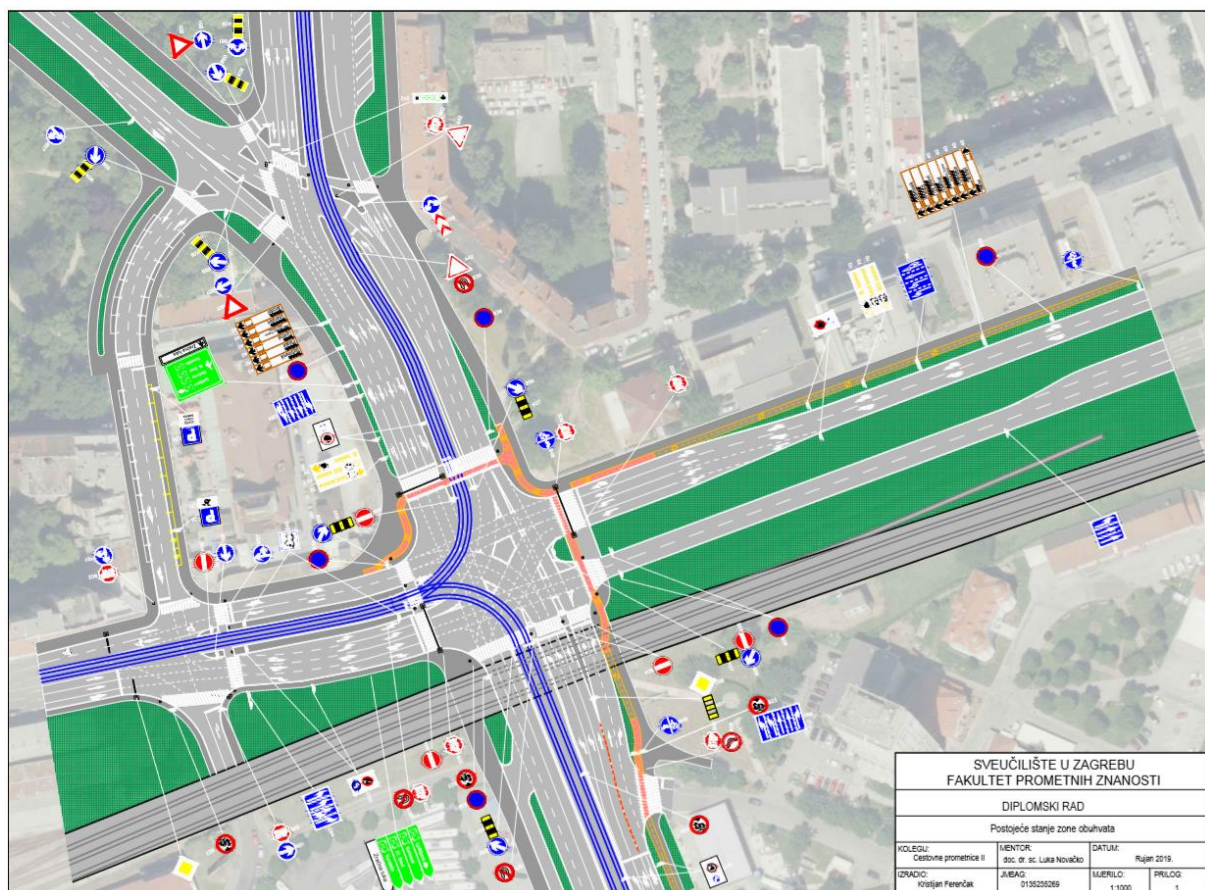
Prema [6] regulacija prometa na raskrižjima spada u regulaciju prometnih tokova, a u prometnoj studiji se analizira sljedeće:

- broj i položaj dvosmjernih prometnica;
- broj, položaj i usmjerenje jednosmjernih ulica;

- točke presijecanja prometnih tokova;
- regulacija prometa na raskrižjima i
- regulacija na semaforiziranim raskrižjima.

Kritično raskrižje je Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića. Ne može se postići adekvatna razdioba zelenih vremena zbog dugačkih pješačkih prijelaza preko sjevernog i južnog privoza. Zbog toga je raskrižje zagušeno – stvaraju se povećani repovi čekanja koji negativno utječu na blisku okolnu mrežu, poglavito prostor Tržnice Branimirova. Analiza prometnih tokova ide u cilju nalaženja rješenja prilagodbe prometne potražnje na ovom raskrižju, ako je to moguće, te nalaženja održivog rješenja zone obuhvata.

Ključno raskrižje je Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića, čvorište dvije važne gradske prometnice, zagušeno u vršnim vremenskim periodima jer u postojećoj organizaciji prometnih tokova nema dovoljnu propusnu moć, odnosno jedno je od najopterećenijih prometnih točaka na prometnoj mreži Grada. Povećani repovi čekanja nepovoljno utječu na područje Tržnice Branimir jer zagušuju dvije ulice oko Tržnice: Ulicu kneza Branimira i aveniju Marina Držića.

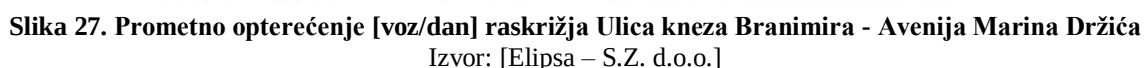


Slika 26. Prikaz postojećeg stanja zone obuhvata

Izvor: [Izradio autor]

Slika 26 prikazuje promatranu zonu koja obuhvaća pet ulica smještenih u području Tržnice Branimir. Ulice su različitih usmjerenja; ulice s dvije prometne trake ili više prometnih traka.

- Avenija Marina Držića nalazi se s istočne strane Tržnice Branimir i proteže se od raskrižja Šubićeva ulica – Ulica kneza Ljudevita Posavskog – Avenija Marina Držića. Avenija Marina Držića sjeverno od raskrižja s Ulicom kneza Branimira ima tri trake u oba smjera i veliki generator prometa; ;
- Ulica kneza Branimira nalazi se s južne strane Tržnice Branimir tik uz željezničku prugu, Ulica kneza Branimira preuzima veliko prometno opterećenje iz smjera istoka prema zapadu i obrnuto, sastoji se od dvije prometne trake u oba smjera, dok se u zoni raskrižja pojavljuju četiri prometne trake.
- Kružićeva ulica nalazi se sa zapadne strane Tržnice Branimir; na sjeveru križa se s Ulicom kneza Višeslava, a na jugu s Ulicom kneza Branimira i Strojarskom ulicom. Paralelna je s Avenijom Marina Držića s toga preuzima dio prometa.
- Strojarska ulica smještena s južne strane Ulice kneza Branimira, sastoji se od jedne trake za oba smjera i bitna je poveznica između Ulice kneza Branimira i Vukovarske ulice na jugu.
- Ulica kneza Višeslava od raskrižja sa Držićevom nastavlja sa dvije trake prema sjeveru i jednom prema jugu do raskrižja sa Ulicom kraljice Jelene i Antuna Bauera



Lijeva skretanja na sjeveru posljedica su izgradnje cjelovitog koridora Ulice kneza Branimira do Dubrave, a na južnom privozu uzrok je nedostatak transversalnih pravaca na ovom području, što pokazuje slika u uvodnom dijelu.

Smanjenje lijevih skretača na južnom, privozu moguće je postići aktiviranjem Strojarske ulice s punom dostupnošću na oba kraja; na Vukovarskoj ulici je to postignuto, a na sjeveru – Ulici kneza Branimira to će se realizirati ovim radom.

Na mikrorazini, opterećenja Ulice kneza Branimira koje je ključno za postizanje optimalnog varijantnog rješenja zbog zahtjeva kontinuiranog prelaska pješaka preko sjevernog i južnog privoza. Povećanjem opterećenja zapadnog i istočnog privoza može se dobiti bolji odnos zelenih vremena, uravnotežen sa zahtjevima pješačkog prometa – minimalnim zelenim i zaštitnim vremenima za pješake.

Analiza na mikrorazini prometnog opterećenja zapadnog i istočnog privoza; zapadno i istočno od Avenije Marina Držića, Ulica kneza Branimira klasična je gradska ulica bez razlike između vršnih i ostalih dnevnih perioda.

Na lokalnoj razini sva raskrižja imaju zadovoljavajuću propusnu moć u jutarnjem vršnom periodu, koji je najopterećeniji dio dana. To se odnosi i na ključno raskrižje Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića.

5.4 Analiza signalnih planova u zoni obuhvata

Na semaforiziranom raskrižju prometni tokovi vremenski se razdvajaju. Semaforizacijom se može povećati stupanj sigurnosti i propusna moć raskrižja ako su signalni planovi izrađeni prema pravilima strukture te ako se redovito ažuriraju. Za semaforizirano raskrižje najvažniji su pojmovi ciklus i faza. Ciklus se dijeli na faze, a svaka faza se sastoji od zelenog i zaštitnog vremena.

Osnovna zadaća raskrižja je mogućnost sigurnog i kvalitetnog (brzog) prolaska zadanog broja vozila kroz raskrižje. Osnovna veličina za tu procjenu je propusna moć raskrižja, a češće se koristi podatak o propusnoj moći pojedinog privoza. Propusna moć pokazuje koliki broj vozila, s obzirom na prostornu razdiobu prometnih trakova, može proći privozom ili cijelim raskrižjem. Dobra procjena propusne moći predstavlja osnovni korak u fazi promišljanja tipa i oblika raskrižja, kao i načina organizacije i regulacije prometa [1].

Ulazne veličine za analizu semaforiziranog raskrižja su [1]:

- Geometrijski uvjeti:
 - tip područja u kojem se raskrižje nalazi,
 - broj trakova na privozima,
 - širina trakova,
 - uzdužni nagib privoza,
 - posebni ili zajednički trakovi za lijevo i desno skretanje,
 - prostor za parkiranje u zoni raskrižja,
- Prometni uvjeti:
 - brojanje prometa,
 - osnovni zasićeni tok,
 - faktor vršnog sata,

- utjecaj teških (teretnih) vozila,
 - pješački promet,
 - biciklistički promet,
 - stajališta javnog prometa u području raskrižja,
 - broj parkiranja u području raskrižja,
 - način dolaska vozila na raskrižje,
 - broj vozila koja dolaze na početku zelene faze,
 - dozvoljena prilazna brzina,
- Semaforizacija:
- duljina ciklusa,
 - broj i raspored odvijanja faza,
 - zeleno svjetlo,
 - zaštitno vrijeme,
 - tip upravljanja prometom,
 - minimalna zelena vremena za pješake.

Ciklus (duljina trajanja ciklusa) kao osnovna vremenska jedinica puno govori o procesima u raskrižju. Obzirom na jedinstvenost prometnog procesa nemoguće je definirati univerzalno pravilo određivanja duljine ciklusa na tip/oblik, veličinu i položaj raskrižja pa se temeljem iskustva može s dostatnom pouzdanošću prihvatiti Tablica 5.

Tablica 5. Uobičajene duljine 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: [1]

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 (t_z) prema (3) određuje se iz vremena prolaza (t_u), vremena napuštanja (t_r) i vremena ulaza (t_e) [7]:

$$t_z = t_u + t_r - t_e \text{ [s]} \quad (3)$$

Za utvrđivanje međuvremena najprije treba odrediti puteve napuštanja (s_r) puteve prilaza (s_e). Kao referentne linije za utvrđivanje dužine u pravilu se koriste središnje linije vozni i pješačkih traka uključenih prometnih tokova [7].

Put napuštanja (s_r) sastoji se iz osnovnog puta napuštanja (s_o) i fiktivne dužine vozila (l_{fz}). Osnovni put napuštanja kod vozila je put između linije zaustavljanja i sjecišta s prilaznim putem započetog prometnog toka (točke konflikta). Kod pješaka put napuštanja je put između početka prijelaza i završetka površine konflikta [7].

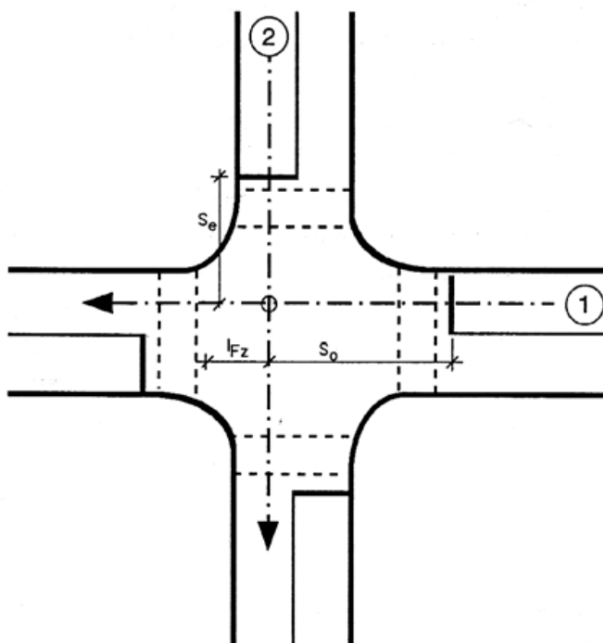
Fiktivne dužine vozila (l_{fz}) [7]:

- bicikl: $l_{fz} = 0$ [m],
- motorna vozila (uključujući kamione s prikolicom, autobuse): $l_{fz} = 6$ [m],
- tramvaj: $l_{fz} = 15$ [m].

Prilazni put (s_e) kod vozila je put od linije zaustavljanja do sjecišta s putem napuštanja toka vozila koji izlazi iz raskrižja ili do prijelaza (Slika 28). Kod pješaka to je put između početka prijelaza i početka konflikte površine. Ukoliko se konfliktna površina nalazi neposredno iza točke pokretanja, put prilaza izjednačava se s nulom.

Vrijeme prolaza (t_u) je vremensko razdoblje za izračunavanje međuvremena između završetka vremena propuštanja i početka vremena napuštanja [7]. Vrijeme napuštanja (t_r) je vremensko razdoblje za prelaženje puta napuštanja (s_r) brzinom napuštanja (v_r), a računa se prema (4).

$$t_r = \frac{s_r}{v_r} [s] \quad (4)$$



Slika 28. Primjer za slučaj konflikata: motorno vozilo koje napušta (1) i motorno vozilo koje ulazi u raskrižje (2)
Izvor: [27]

Upravljanje prometnim svjetlima na raskrižjima može biti [7]:

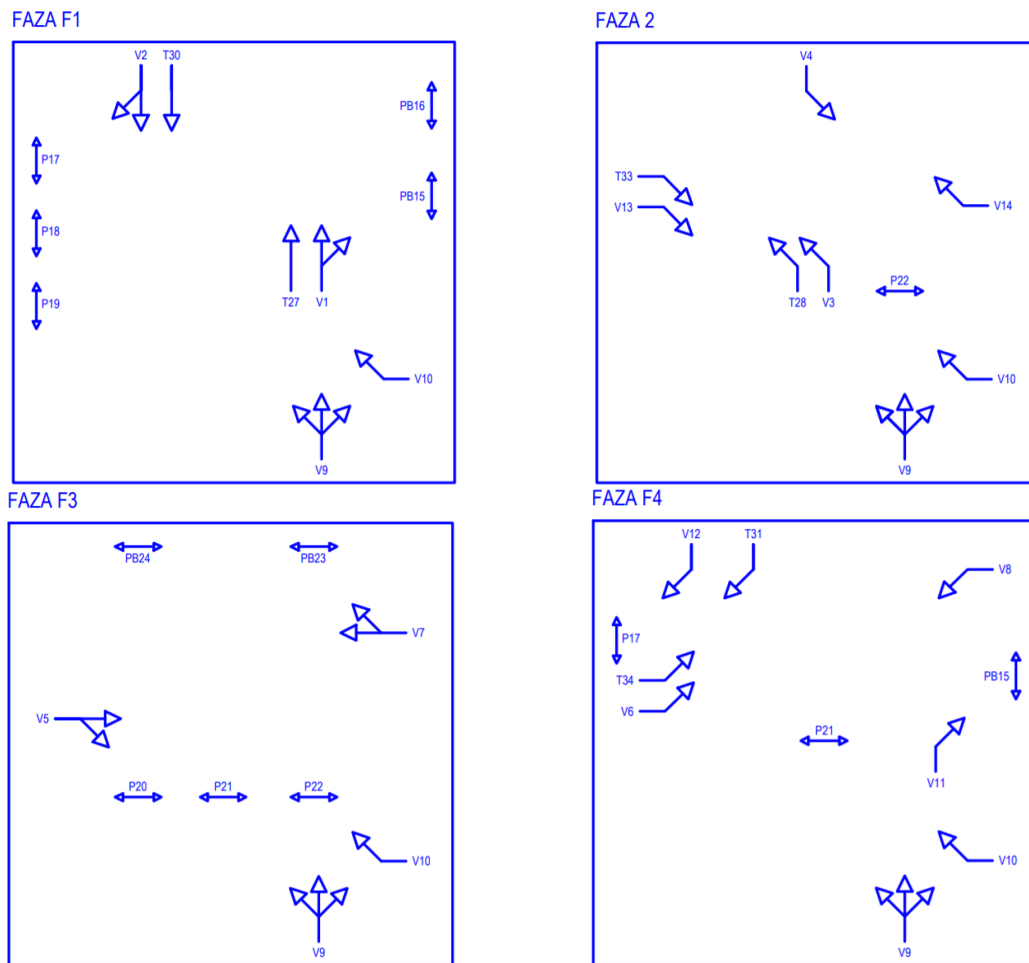
- vremenski ustaljeno upravljanje,
- upravljanje poluovisno o prometu,
- upravljanje potpuno ovisno o prometu

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. Prometna potražnja zadovoljava se na način da se tijekom dana izmjenjuje nekoliko signalnih programa. Vremenski ustaljeno upravljanje koristi se na izoliranim raskrižjima, sinkroniziranim potezima u prometnog mreži [7].

Upravljanje poluovisno o prometu upotrebljava se na raskrižjima gdje se promet na sporednom privozu pojavljuje u bitno manjem broju u odnosu na glavni pravac i samo povremeno. Glavni pravac ima stalno zeleno, a sudionici na sporednom pravcu svoju najavu za zelenim svjetlom moraju detektirati putem detektora [7].

Upravljanje potpuno ovisno o prometu omogućuje trenutnu prilagodbu signalnog programa prometnoj potražnji. Sva kretanja na raskrižju su detektirana. Sve signalne grupe imaju određena minimalna i maksimalna trajanja zelenih vremena. Nema krute podjele na faze već postoji niz skupova mogućih kretanja. Upravljanje se izvršava na temelju programiranog algoritma, koji putem detektora i pješačkih tipki analizira postojeću situaciju na raskrižju i kroz niz uvjeta upravlja prometnim svjetlima [7].

Faza je dio ciklusa u kojem pojedini prometni tokovi imaju istovremeno slobodan prolaz [22]. Ključno raskrižje Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića radi u tri programa; Program I (jutarnji program), Program II (popodnevni program) i Program III (poslijepodnevni program), te sva tri programa imaju ciklus od 110 sekundi. Raskrižje je vremenski ustaljeno i radi u četiri faze. U nastavku i cjelokupnoj analizi prikazan je signalni program za jutarnji vršni period.



Slika 29. Raspored odvijanja faza na raskrižju Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića
Izvor: [Elipsa – S.Z. d.o.o.]

Slijed faza je slijedeći (Slika 29):

1. faza prolaz

- vozila V2 iz smjera sjevera Avenije Marina Držića ravno i desno,
- tramvaj T30 iz smjera sjevera Avenije Marina Držića ravno,
- vozila V1 iz smjera juga Avenije Marina Držića ravno i desno,
- tramvaj T27 iz smjera juga Avenije Marina Držića ravno,
- pješaci P17 preko zapadnog privoza sa sjeverne strane kolnika Ulice kneza Branimira,
- pješaci P18 preko tramvajske pruge na zapadnom privozu u Ulici kneza Branimira
- pješaci P19 preko zapadnog privoza sa južne strane kolnika Ulice kneza Branimira,
- pješaci P16 preko istočnog privoza sa sjeverne strane kolnika Ulice kneza Branimira,
- pješaci P15 i P16 preko istočnog privoza sa sjeverne strane kolnika Ulice kneza Branimira.

2. faza prolaz

- vozila V4 iz smjera sjevera Avenije Marina Držića lijevo,
- vozila V3 iz smjera juga Avenije Marina Držića lijevo,
- tramvaj T28 iz smjera juga Avenije Marina Držića lijevo,
- pješaci P22 preko kužnog privoza Avenije Marina Držića,
- vozila V13 sa zapadnog privoza Ulice kneza Branimira desno,
- tramvaj T33 sa zapadnog privoza Ulice kneza Branimira desno,
- vozila V14 sa istočnog privoza Ulice kneza Branimira desno.

3. faza prolaz

- pješaci P24 preko sjevernog privoza zapadne strane kolnika Avenije Marina Držića,
- pješaci P23 preko sjevernog privoza istočne strane kolnika Avenije Marina Držića,
- pješaci P20 preko južnog privoza zapadne strane kolnika Avenije Marina Držića,
- pješaci P22 preko južnog privoza istočne strane kolnika Avenije Marina Držića,
- pješaci P21 preko tramvajske pruge južnog privoza Avenije Marina Držića,
- vozila V5 iz smjera zapada Ulice kneza Branimira ravno i desno,
- vozila V7 iz smjera istoka Ulice kneza Branimira ravno i desno.

4. faza prolaz

- vozila V12 iz smjera sjevera Avenije Marina Držića desno,
- tramvaj T31 iz smjera sjevera Avenije Marina Držića desno,
- vozila V11 iz smjera juga Avenije Marina Držića desno,
- pješaci P21 preko tramvajske pruge južnog privoza Avenije Marina Držića,
- vozila V6 iz smjera zapada Ulice kneza Branimira lijevo,
- tramvaj T34 iz smjera zapada Ulice kneza Branimira lijevo,
- pješaci P17 preko zapadnog privoza sa sjeverne strane kolnika Ulice kneza Branimira,
- pješaci P15 preko istočnog privoza sa sjeverne strane kolnika Ulice kneza Branimira
- vozila V8 iz smjera istoka Ulice kneza Branimira lijevo.

Na manjim raskrižjima (T –raskrižja), ciklus se može sastojati od dvije faze, dok je na većim, klasičnim četverokrakim raskrižjima odvijanje prometa najčešće regulirano s tri ili četiri faze. Postoje slučajevi u kojima se promet regulira u pet ili čak šest faza, ali takvi slučajevi su rijetki i ne preporučuju se zbog izgubljenog vremena koje se manifestira kod izmjene pojedinih faza [22].

Međuvremena se izračunavaju za sve konfliktne (nekompatibilne) prometne tokove. Pritom sve grupe sudionika u prometu (pješaci, biciklisti, JGP, motorna vozila) treba promatrati kao odvojene tokove čak i ako se eventualno signaliziraju zajednički.

Mjerodavna međuvremena za određene signalne grupe ujedanjuju se u matricu međuvremena. Za utvrđivanje međuvremena najprije treba odrediti puteve napuštanja i puteve prilaza. Kao referentne linije za utvrđivanje dužine u pravilu se koriste središnje linije voznih ili pješačkih traka uključenih prometnih tokova. Tablica 6 prikazuje postojeću matricu zaštitnih

Tablica 6. Matrica zaštitnih međuvremena

Izvor: [Elipsa – S.Z. d.o.o]

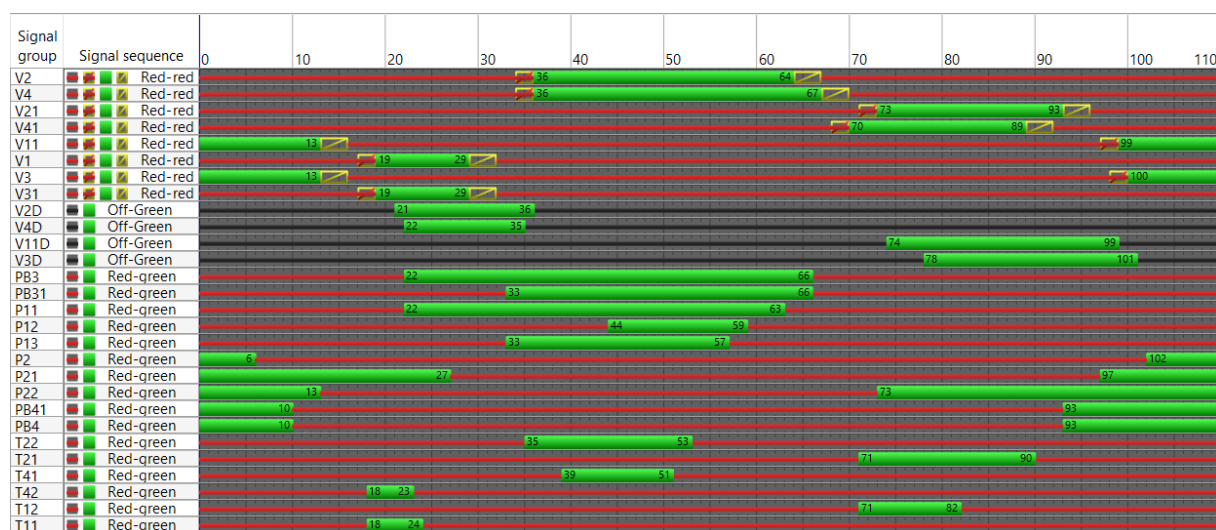
- $t_z = 3$ s pri $V = 50$ km/h,
- $t_z = 4$ s pri $V = 60$ km/h,
- $t_z = 5$ s pri $V = 70$ km/h,
- $t_z = **$ s pri $V = > 70$ km/h (odvisno o vremenu zaustavljanja pri V_{doz} kod forsiranog kočenja) [7].

Signalni plan je grafički prikaz trajanja svjetlosnih signalnih pojmova [22]. Signalni plan se još naziva i plan izmjene signala, a prema signalnom planu može se vidjeti redoslijed odvijanja faza u ciklusu, smjer kretanja vozila za koje se odnosi pojedina faza, trajanje žutog i crvenog svijetla za pojedinu skupinu vozila, i sl.

U zonu obuhvata ulaze tri raskrižja čiji će signalni planovi biti analizirani:

- Predmetno raskrižje Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića
- Raskrižje Ulica kneza Branimira – Kružićeva ulica – Strojarska ulica
- Raskrižje Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića – Šubićeva ulica

Kao glavni signalni plan prikazan je signalni plan raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića, trajanje ciklusa iznosi 110 [s]. Signalni plan navedenog raskrižja sastoji se od 34 signalne grupe, od čega je 14 vozačkih grupa, 11 pješačkih grupa i devet tramvajskih grupa. Zbog tramvajskih signalnih grupa nemoguće je pražnjenje po privozima. Zbog ograničenja brzine u raskrižju koja iznosi 40 km/h trajanje crveno-žutog je 2 [s], a trajanje žutog svjetla 3 [s] te se isto odnosi na sva tri raskrižja.



Slika 30. Signalni plan raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića

Izvor: [17, Elipsa – S.Z. d.o.o]

Iz Slika 30 vidljivo je da vozačka grupa V2 iz smjera juga ima najviše zelenog svjetla ($g = 32$ [s]), a vozačka grupa V1 iz smjera zapada ima najmanje zelenog svjetla ($g = 11$ [s]). Ostale vozačke grupe imaju efektivno zeleno: vozačka grupa V2 ima efektivno zeleno u trajanju 29 [s], vozačka grupa V21 ima efektivno zeleno u trajanju 21 [s], vozačka grupa V41 ima efektivno zeleno u trajanju 20 [s], vozačka grupa V11 ima efektivno zeleno u trajanju 25 [s], vozačka grupa V3 ima efektivno zeleno u trajanju 24 [s], vozačka grupa V31 ima efektivno zeleno u trajanju 11 [s], vozačka grupa V2D ima efektivno zeleno u trajanju 16 [s], vozačka grupa V4D ima efektivno zeleno u trajanju 14 [s], vozačka grupa V11D ima efektivno zeleno u trajanju 25 [s], vozačka grupa V3D ima efektivno zeleno u trajanju 24 [s].

Pješačka grupa P22 ima zeleno svjetlo u trajanju od 51 sekunde, a ostale pješačke grupe redom: pješačka grupa PB3 ima 44 [s] zelenog, pješačka grupa PB31 ima 33 [s] zelenog, pješačka grupa P11 ima 41 [s] zelenog, pješačka grupa PB12 ima 15 [s] zelenog, pješačka grupa PB13 ima 24 [s] zelenog, pješačka grupa PB2 ima 14 [s] zelenog, pješačka grupa PB21 ima 40 [s] zelenog, pješačka grupa PB41 ima 27 [s] zelenog i pješačka grupa PB4 ima 27 [s] zelenog.

Tramvajska grupa T22 ima 18 [s] zelenog ($g = 19$ [s]), tramvajska grupa T21 ima 19 [s] zelenog ($g = 20$ [s]), tramvajska grupa T41 ima 12 [s] zelenog ($g = 13$ [s]), tramvajska grupa T42 ima 8

[s] zelenog ($g = 9$ [s]), tramvajska grupa T12 ima 11 [s] zelenog ($g = 12$ [s]) i tramvajska grupa T11 ima 6 [s] zelenog ($g = 7$ [s]).

Signalni plan raskrižja Ulica kneza Branimira – Kružićeva ulica – Strojarska ulica sastoji se od 11 signalnih grupa, od čega su četiri vozačke grupe, pet pješačkih grupa i dvije tramvajske grupe. Trajanje ciklusa iznosi 110 [s] i izmjena signalnih grupa odvija se u dvije faze.

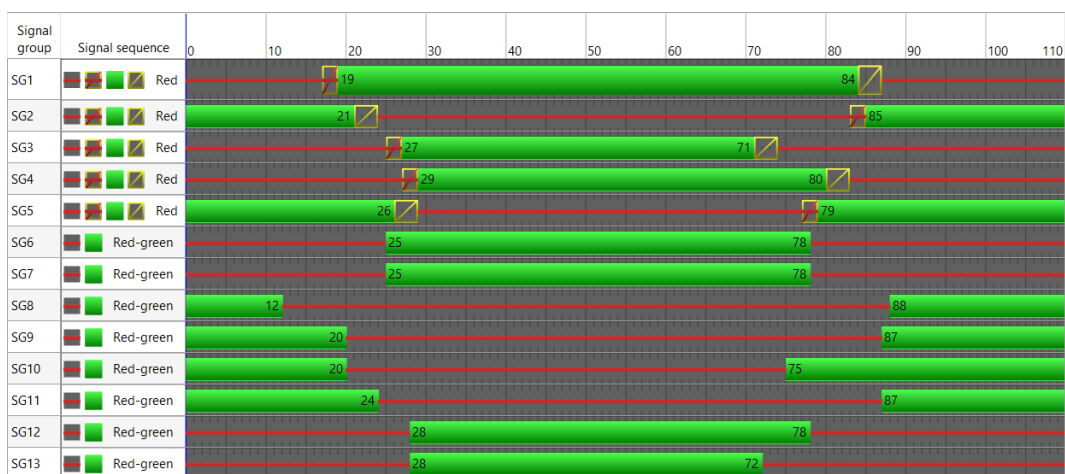


Slika 31. Signalni plan raskrižja Ulica kneza Branimira - Strojarska ulica - Kružićeva ulica
Izvor: [17, Elipsa – S.Z. d.o.o.]

Iz Slika 31 vidljivo je da vozačka grupa V1 iz smjera zapada ima najviše zelenog svjetla ($g = 75$ [s]), a vozačka grupa V4 iz smjera sjevera najmanje zelenog svjetla ($g = 23$ [s]). Ostale vozačke grupe imaju efektivno zeleno: vozačka grupa V2 ima efektivno zeleno u trajanju 30 [s], vozačka grupa V3 ima efektivno zeleno u trajanju 73 [s].

Pješačka grupa P4 ima zeleno svjetlo u trajanju 70 sekundi, a ostale pješačke grupe redom: pješačka grupa P2 ima 66 [s] zelenog, pješačka grupa P31 ima 20 [s] zelenog, pješačka grupa P32 ima 25 [s] zelenog i pješačka grupa P33 ima 28 [s] zelenog. Tramvajska grupa T1 ima 72 [s] zelenog svjetla ($g = 73$ [s]) i tramvajska grupa T3 ima 74 [s] zelenog svjetla ($g = 75$ [s]).

Signalni plan raskrižja Ulica kneza Branimira – Kružićeva ulica – Strojarska ulica sastoji se od 13 signalnih grupa, od čega je pet vozačkih grupa, šest pješačkih grupa i dvije tramvajske grupe. Trajanje ciklusa iznosi 110 [s] i izmjena signalnih grupa odvija se u dvije faze.



Slika 32. Signalni plan raskrižja Ulica kneza Višeslava - Avenija Marina Držića - Šubićeva ulica
Izvor: [17, Elipsa – S.Z. d.o.o.]

Iz Slika 32 vidljivo je da vozačka grupa SG1 iz smjera juga ima najviše zelenog svjetla ($g = 66$ [s]), a vozačka SG3 iz smjera sjevera ima najmanje zelenog svjetla ($g = 45$ [s]). Ostale vozačke grupe imaju efektivno zeleno: vozačka grupa SG2 ima efektivno zeleno u trajanju 47 [s], vozačka grupa SG4 ima efektivno zeleno u trajanju 52 [s], a vozačka grupa SG5 ima efektivno zeleno u trajanju 58 [s].

Pješaka grupa SG10 ima zeleno svjetlo u trajanju 55 sekundi, a ostale pješačke grupe redom: pješaka grupa SG8 ima 34 [s] zelenog, pješaka grupa SG9 ima 43 [s] zelenog, pješaka grupa SG11 ima 47 [s] zelenog, pješaka grupa SG12 ima 50 [s] zelenog i pješaka grupa SG13 ima 44 [s] zelenog. Tramvajska grupa SG6 ima 51 [s] zelenog ($g = 52$ [s]), isto kao i tramvajska grupa SG7.

Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića, jutarnji vršni period prema brojanjima travanj 2018. Godine:

- V1 – zapad lijevo
- V11 – zapad ravno-desno
- V2 – jug ravno
- V21 – jug lijevo
- V3 – istok ravno-desno
- V31 – istok lijevo
- V4 – sjever ravno-desno
- V41 – sjever lijevo

U postojećem stanju analitika pokazuje u svakoj fazi problem; negdje veći negdje manji. Stupanj zasićenja u pojedinim fazama prelazi 1. Navedene faze biti će detaljno analizirane u nastavku.

Tablica 7. Analiza postojećeg stanja pojedinih faza

	C	z	q/C	q	S	y	x
V2	110	28	0,26	1100	3535	0,31	1,18
V4	110	31	0,29	1200	4999	0,24	0,83
V21	110	20	0,19	300	3204	0,09	0,49
V41	110	19	0,18	300	1500	0,20	1,10
V11	110	24	0,23	670	3339	0,20	0,88
V3	110	23	0,22	380	3735	0,10	0,47
V1	110	10	0,10	250	1450	0,17	1,72
V31	110	10	0,10	400	2900	0,14	1,38

Izvor: [Elipsa – S.Z. d.o.o.]

Gdje je:

- C – duljina trajanja ciklusa, [s]
- z – vrijeme trajanja zelenog svjetla, [s]
- g – efektivno zeleno, [s]
- q – prometno opterećenje, [voz/h]
- S – zasićenje
- y – stupanj opterećenja
- x – stupanj zasićenja

U postojećem stanju analitika pokazuje u svakoj fazi problem; negdje veći negdje manji. Stupanj zasićenja u pojedinim fazama prelazi 1. Navedene faze biti će detaljno analizirane u nastavku.

Tablica 7 prikazuje da signalne grupe V2, V41, V1, V31 imaju stupanj zasićenja veći od jedan i ne zadovoljavaju sa stajališta propusne moći. Prometna potražnja semaforiziranog raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića veća je od prometne ponude.

Trajanje zelenog svjetla unutar jednog ciklusa za pojedine signalne grupe:

- signalna grupa V2 (jug ravno i jug ravno i desno) ima 28 [s] zelenog svjetla,
- signalna grupa V4 (sjever ravno i sjever ravno i desno) ima 31 [s] zelenog svjetla,
- signalna grupa V21 (jug lijevo) ima 20 [s] zelenog svjetla,
- signalna grupa V41 (sjever lijevo) ima 19 [s] zelenog svjetla,
- signalna grupa V11 (zapad ravno i zapad ravno i desno) ima 24 [s] zelenog svjetla,
- signalna grupa V3 (istok ravno i istok ravno i desno) ima 23 [s] zelenog svjetla,
- signalna grupa V1 (zapad lijevo) ima 10 [s] zelenog svjetla,
- signalna grupa V31 (istok lijevo) ima 10 [s] zelenog svjetla.

6. PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA POSTOJEĆEG STANJA

Projekti regulacije i organizacije prometnih tokova su projekti kojima se analizira kretanje prometnih tokova po mreži prometnica u naseljima te se daju prijedlozi za optimizaciju. Težište projekta je na analizi postojeće organizacije prometovanja motornih vozila na postojećoj mreži jednosmjernih i dvosmjernih cestovnih prometnica. Ukoliko se analizom utvrdi da mreža prometnica nije organizirana na način da pruža optimalnu propusnu moć i sigurnost odvijanja prometa pristupa se izradi prijedloga nove regulacije. Prijedlozi obuhvaćaju promjenu smjernosti ulica iz dvosmjernih u jednosmjerne ili obrnuto te prema potrebi promjene usmjerenja postojećih jednosmjernih ulica. Prijedlozi novih rješenja smjernosti i usmjerenja ulica izrađuju se temeljem teorijskih pravila o usmjeravanju prometnih tokova na mreži prometnica.

Osnovna prednost ovakvih rješenja je što se predlažu na postojećoj prometnoj mreži te ne zahtijevaju gotovo nikakve ili vrlo jednostavne građevinske radove ne rekonstrukciji prometnica odnosno relativno su jeftina a daju efektne rezultate.

Predložene promjerene moguće je provesti izmjenama vertikalne i horizontalne prometne signalizacije te jednostavnijim promjena na sustavu prometnih svjetala (semaforima).

Izmjenom regulacije i organizacije prometnih tokova u gradskim područjima moguće je značajno povećati propusnu moć mreže i čvorišta. Osim toga, moguće je bitno smanjiti transportne troškove, nepovoljan utjecaj prometa na okoliš, te povećati sigurnost prometa.

Kao osnovne pozitivne učinke postizanja optimalne regulacije u organizacije prometnih tokova moguće je navesti [6]:

- povećanje brzine prometnih tokova, bez znatnog povećanja duljine putovanja,
- povećanje propusne moći pojedinih ulica i raskrižja, te prometne mreže općenito,
- smanjenje količine bespotrebnih presijecanja prometnih tokova,
- povećanje prosječne brzine putovanja osobnih vozila i vozila JGPP-a na mreži prometnica,
- smanjenje vremena čekanja tijekom putovanja,
- smanjenje broja zaustavljanja tijekom putovanja,
- povećanje broja parkirališnih mjesta – oslobađanjem jednog prometnog traka
- otvaranje novih površina za kretanje pješaka i biciklista – oslobađanjem jednog prometnog traka
- povećanje razine sigurnosti svih sudionika u prometu,
- zaštitu okoliša smanjenjem razine buke i emisije ispušnih plinova,
- smanjenje transportnih troškova pri prijevozu roba,
- racionalizaciju troškove pojedinaca i društva smanjenjem vremena utrošenog na putovanja i smanjenjem potrošnje energije (goriva).

6.1 Varijanta 1 – Adaptivno upravljanje prometom na raskrižju Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića

Varijanta 1 ispituje i predlaže uvođenje adaptivnog upravljanja prometom na postojećem četverokrakom raskrižju u razini. Predlaže se adaptivno upravljanje prometom zbog razlike prometnih opterećenja u vršnim i izvanvršnim periodima u danu. Kako bi se omogućilo bolje prometovanje na prometnicama, smanjila potrošnja goriva, vrijeme utrošeno na putovanje i emisija štetnih plinova, potrebne su primjene suvremenih metoda upravljanja prometom. Adaptivno upravljanje prometom koristi senzore u vidu induktivnih petlji, videokamera i sličnih sustava prepoznavanja potražnje na prometnicama kako bi se, pomoću ugrađenih softverskih programa, mogla odrediti optimalna protočnost te time smanjiti emisija štetnih plinova i gužva u prometu. U vršnim satima na urbanim prometnicama dolazi do zagušenja, a u izvanvršnim do nepotrebnih čekanja. Razlog tome nije prekapacitiranost prometnica čije propusne moći su zadovoljavajuće u odnosu na trenutnu prometnu potražnju nego fiksno upravljanje svjetlosnom signalizacijom. Fiksna svjetlosna signalizacija rezultira nepotrebnim čekanja na privozima zbog ustaljene raspodjele ciklusa i efektivnih zelenih vremena unutar signalnog plana koji se temelji na povijesnim podacima brojanja prometa i nije prilagođena stvarnovremenskoj potražnji [19].

Urbano područje je kompleksno prometno područje. U kontekstu razmatranja povezanosti prometnih sustava mogu se ustanoviti tri podsustava. To su: aktivnost, prometna potražnja te prometna ponuda.

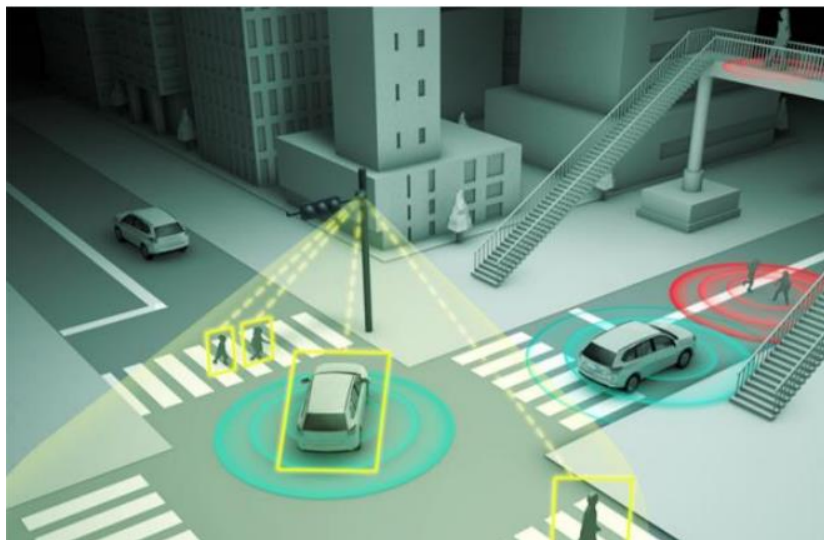
Aktivni podsustav predstavljen je individualnim socio-ekonomskim potrebama i ponašanjem korisnika sustava kao što su: organizacije, institucije, poslovi i slično. Oni su povezani s različitim prometnim zahtjevima u različitim teritorijalnim jedinicama grada. Različite lokacije ljudskih aktivnosti generiraju veličinu prometnih zahtjeva te njihovu prostornu i vremensku distribuciju.

Sljedeći podsustav se odnosi na zahtjev za putovanjem. On potječe od potrebe za pristupom urbanim funkcijama i uslugama i određen je prostornom disperzijom elemenata aktivnog sustava u području grada. Tokovi prometne potražnje rezultat su ljudskih izbora u smislu njihovog putovanja prometnom mrežom. Isto tako, povezani su i prijevozom dobara. Rezultati takvih odabira su agregirani prometni tokovi u prometnoj mreži koji se sastoje od vozila koja prevoze korisnike i dobra.

Posljednji podsustav predstavlja prometnu ponudu. Opisan je specifičnim atributima kvalitativnog i kvantitativnog karaktera. Svaki element prometne mreže određen je kapacitetom, koji je podudaren najvećem broju jedinica prometnog toka. U situaciji kada je veličina prometnog toka dosegla razinu kapaciteta, efekt prometnog zagušenja postaje prisutan. To dovodi do pada kvalitete funkcioniranja prometnog sustava grada, uzrokujući povećanje vremena putovanja i putnih troškova.

Zagušenje u urbanoj prometnoj mreži promatrano je s dva gledišta. Prvo gledište odnosi se na prometnicu u obliku ometanja prometnog toka i šok-valova, a drugo gledište na prekomjerno popunjene autobuse i tramvaje, što se afektira na široko rasprostranjenu neudobnost i

neugodnost života u gradovima. U određenom trenutku, potrebno je poduzeti adekvatne mjere, koje vode do povećanja atrakcije prometnog gradskog sustava. Takve mjere podrazumijevaju ITS usluge čiji će utjecaj uvelike pridonositi rješavanju problema ne samo zagušenja, već i ostalih problema koji se mogu dogoditi u urbanoj prometnoj mreži [20].



Slika 33. Prikaz adaptivnog upravljanja semaforiziranim raskrižjima
Izvor: [33]

Prometne institucije, osobito one s velikim brojem urbanih signaliziranih raskrižja u njihovom području, konstantno se suočavaju s problemima promjene prometne potražnje i prometnog režima općenito. Fiksni kontrolni sustavi nemaju mogućnost odgovoriti na sve moderne zahtjeve koje postavlja prometna mreža. Kao rješenje, prometne ustanove najčešće spominju implementaciju ATCS-a (engl. Adaptive Traffic Control Systems). Takvi sustavi se odnose na adaptivno upravljanje semaforiziranim raskrižjima. Osnovna premisa operacija koje obavlja ATCS su kontinuirane i sitne prilagodbe parametara vremenskih signala kao odgovor na promjenu prometne potražnje i režima prometa. Tipični ATCS bazira se na visoko razvijenim kontrolnim algoritmima, prometnim modelima, različitim detektorskim konfiguracijama te centraliziranoj ili decentraliziranoj arhitekturi. Obično su takvi sustavi implementirani za poboljšanje efektivnosti prometne mreže, reduciranje prometnog zagušenja, poticanje odgovornosti poglavito što se tiče incidentnih situacija i reduciranje troškova ponovnog vremenskog usklađivanja na raskrižju. Općenito, ATCS-i su odlični u rukovanju nepredvidivih prometnih uvjeta utječući na duljinu trajanja ciklusa, podjeli, razmaku te duljini trajanja faze. No, trenutno se ATCS suočava s problemima koji se tiču određenih sudionika prometa, a tu se prvenstveno misli na vozila žurnih službi te pješake.

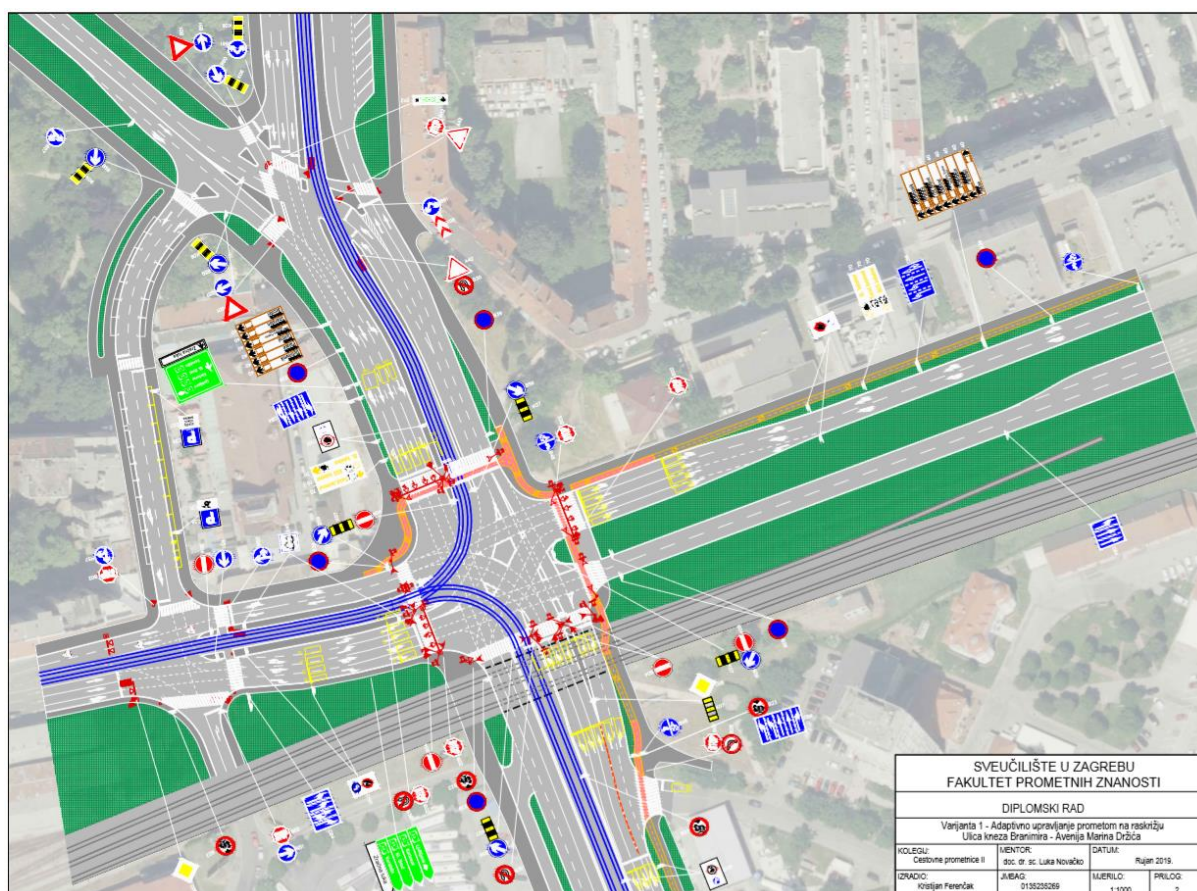
Pozitivni aspekti ATCS-a su:

- efektivno suočavanje s promjenama prometnih uvjeta;
- kratko vrijeme odziva sustava na promjenjive zahtjeve;
- spremljena velika količina podataka;
- efektivno suočavanje sa specijalnim pojavama.

Negativni aspekti ATCS-a su:

- vrlo teško razumljive operacije unutar crne kutije;
- puno održavanja i operacijskih učinaka za održavanje sustava u optimalnim performansama;
- strma krivulja učenja;
- nedostatak podrške;
- početni plan vremena i troškovi [21].

Slika 34 prikazuje Varijantu 1 – Adaptivno upravljanje prometom nacrtanu u programskom alatu AutoCAD. Slikom su prikazane lokacije postavljanja detektora (žuto), te kamera i senzora (crveno) u svrhu adaptivnog upravljanja prometom.



Slika 34. Varijanta 1 - Adaptivno upravljanje prometom na raskrižju Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića

Izvor: [Izradio autor]

Varijantom 1 postojeća vertikalna i horizontalna signalizacija, infrastrukturni elementi i odvijanje prometnih tokova ostaju isti. Na sve privoze raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića postavljaju se detektori i kamere; detektori se postavljaju u svaku traku u zoni raskrižja, dok se kamere postavljaju na stupove ili laterne, ovisno o dostupnosti i mogućnostima. Također, pješački i tramvajski promet zadržali su svoje smjerove kretanja. Vođenje prometnih tokova u Kružićevoj ulici ostaje isti: Kružićeva ulica u zoni Tržnice Branimir ostaje dvosmjerna u smjeru sjever – jug, parkirna mjesta ostaju na postojećem mjestu uz istočni i zapadni rub kolnika.

6.2 Varijanta 2 – Jednosmjerno vođenje prometnih tokova u zoni Tržnice Branimir

Varijantom 2 ispituje se i analizira rješenje uspostave jednosmjernog prometa Kružićevom ulicom u pravcu juga, dodavanje posebne faze za vozila iz Strojarske ulice na raskrižju Ulica kneza Branimira – Kružićeva ulica - Strojarska ulica i omogućavanje lijevog skretanja iz Strojarske; time se štite i pješaci preko istočnog privoza od novouvedenog i znatno povećanog lijevog skretanja iz Kružićeve. Ukidanjem jedne faze (lijevi skretači na sjeveru) na raskrižju Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića postići će se bolji odnos zelenih vremena. Ukidanjem lijevih skretača na sjeveru na raskrižju je nužna prenamjena prometnih trakova; prometna traka za lijevo se ukida i postavlja se prometna traka za ravno, prometna traka za ravno i desno na sjevernom privozu se ukida i postavlja se prometna traka za desno. Prenamjena prometnih trakova na zapadnom privozu – jedna prometna traka za ravno, jedna prometna traka za lijevo skretanje, jedna prometna traka za desno skretanje, jedna prometna traka za ravno i desno.

Varijantom dolazi do sprečavanja preplitanja prometnih tokova. Vozila koja se ulijevaju na Aveniju Marina Držića iz smjera Ulice kneza Višeslava kao budući ponuđeni smjer vožnje mogu odabrati kretanje ravno u smjeru juga ili desno skretanje u smjeru zapada.

Preplitanje prometnog toka se događa kada se dva prometna toka spajaju u jedan tok i opet razdvajaju. Dok „teku“ zajedno (nužno je postojanje najmanje dvije prometne trake) tokovi se međusobno isprepliću. Ulijevanje je spajanje jednog toka u drugi, kao što je i izlijevanje razdvajanje jednog prometnog toka u dva.

Odnos između prometnih tokova događa se u konfliktnim točkama presijecanja, ulijevanja i izlijevanja, odnosno preplitanja kao simultano odvijanje ulijevanja i izlijevanja.

Takav odnos između tokova je u dovoljnoj mjeri sagledan i definiran samo kao pojava, no bez dovoljnog izučavanja uzroka i posljedica koje izaziva organizacija prometnih tokova kako usmjerenjem ulične mreže, tako i vođenjem prometnih tokova informativnim sustavom i edukacijom sudionika u prometu. Polazeći od toga da su te pojave štetne (ali neizbježne), zbog odvijanja prometa u jednoj razini nužno je sagledati mogućnost smanjenja učestalosti tih pojava. Nedvojbeno je da na odnos između tokova utječe mnogo čimbenika, od kojih je moguće izučiti jedan dio, a na neke od njih moguće je i utjecati.

Jedan od bitnih čimbenika koji utječu na odnos između tokova je usmjerenost ulične mreže. Činjenica je da svaka dionica (element) ulične mreže kao veza između dva čvora može biti dvosmjernan ili jednosmjernan. Ako je veza jednosmjerna, potrebno je odrediti njen smjer. Usmjerenost elemenata ulične mreže pokazuje da postoji mnoštvo različitih rješenja. Problem postaje složen kada je u centru Grada zbog različitih razloga nužno uvesti jednosmjerno kretanje vozila u nekim ulicama, čime se značajno utječe na odnos između prometnih tokova i konflikte između njih [3].

Sustavom jednosmjernih ulica na prostoru gradskih središta postiže se bolja protočnost ulične mreže, povećava broj parkirališnih mjesta, otvaraju novi prostori za pješačke i biciklističke

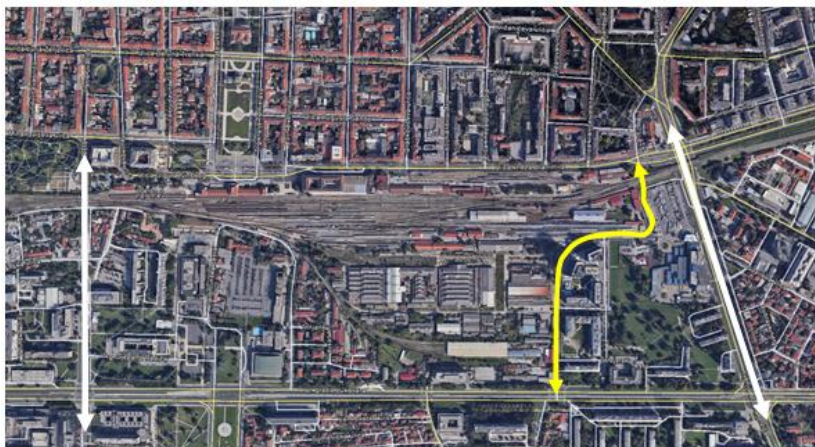
staze jer se u većini ulica koje su pretvorene iz dvosmjernih u jednosmjerne, jedan prometni trak može iskoristiti za kretanje jednosmjernog prometnog toka, a drugi za drugu namjenu. Na taj način znatno se povećava i razina sigurnosti prometa kako za motorna vozila tako i za pješake i bicikliste.

Kod izrade prijedloga jednosmjernih ulica nužno je voditi računa o kontinuitetu prometnih tokova na duljim relacijama. Sustav jednosmjernih ulica u pravilu povećava intenzitet bespotrebnih presijecanja prometnih tokova i doprinosi produljenju putovanja, međutim to se kompenzira brojnim povoljnostima koje se dobivaju osmišljenim usmjerenjem prometnih tokova, a ukupna korist u odnosu na nedostatke je višestruko veća.

Jednosmjerne ulice su mnogo jednostavnije za regulaciju prometa na raskrižjima semaforskim sustavom. Na raskrižjima jednosmjernih ulica postoje samo dva dolazna smjera pa ima puno manje konfliktnih površina i potrebno je regulirati samo dva dolazna prometna toka vozila. Posebna prednost očituje se kod prometnog toka koji skreće ulijevo jer nema nadolazećeg prometnog toka iz suprotnog smjera koji je konfliktan s prometnim tokom skretača ulijevo. Na taj način značajno se povećava propusna moć i razina usluge te sigurnost odvijanja prometa na raskrižju. Kod raskrižja jednosmjernih ulica, ako prometni tok skretača ulijevo nije posebno izražen, nije nužno postojanje zasebnog traka za skretanje ulijevo, jer vozila koja skreću ulijevo mogu napustiti raskrižje bez smetnji nadolazećeg prometnog toka (tok skretača ulijevo promatra se isto kao tok skretača udesno, odnosno ometan je samo uvjetno kompatibilnim prometnim tokom pješaka) [5].

Zabranom lijevog skretanja na sjevernom privozu raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića, odnosno preusmjeravanjem vozila iz ulice kneza Višeslava preko Kružićeve ulice na zapadni privoz Avenije Marina Držića, povećava se prometna potražnja zapad-istok i ukida se jedna faza na kritičnom raskrižju.

Budući da se novom regulacijom prometa na Strojarskoj ulici omogućuje lijevo skretanje u Ulicu kneza Branimira, odnosno Strojarska ulica postaje transversalni pravac s punom dostupnošću, u rješenje je uključeno i raskrižje Vukovarska ulica – Strojarska ulica kao južna priključna točka.

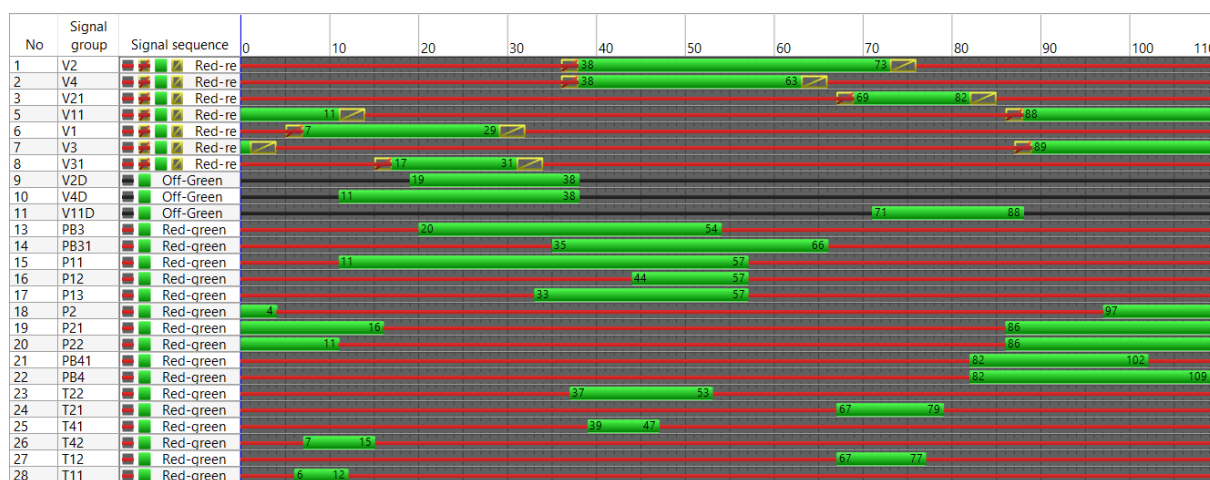


Slika 35. Prikaz transversalnih pravaca u promatranom području

Izvor: [28]

U svrhu bolje propusne moći predmetnog raskrižja, a vezano na novo vođenje prometnih tokova dolazi do izmjene signalnih planova na raskrižju Ulica kneza Branimira – Kružićeva ulica – Strojarska ulica, raskrižju Ulica kneza Višeslava – Avenija Marina Držića – Šubićeva ulica i predmetnom raskrižju Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića.

Analizom je ustanovljeno da se ukidanjem faze za lijevo skretanje na sjevernom privozu Avenije Marina Držića i dodavanje zelenog vremena zapadnom privozu Ulice kneza Branimira dobiva bolji odnos zelenih vremena što rezultira većom propusnom moći predmetnog raskrižja. Rezultati brojanja prometa južnog privoza Avenije Marina Držića dokazuju da se zeleno vrijeme lijevim skretačima na južnom privozu može smanjiti s 20 sekundi na 13 sekundi. Uvjet smanjenja zelenog vremena lijevim skretačima na južnom privozu Avenije Marina Držića je da ne bude većih repova čekanja što će biti prikazano simulacijom u sljedećem poglavlju.



Slika 36. Novi signalni plan raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića

Izvor: [17, Elipsa – S.Z. d.o.o]

Slika 36 prikazuje izmjenu signalnog plana predmetnog raskrižja. U odnosu na postojeće stanje, ukinuta je signalna grupa V41 i V3D. Vrijeme signalne grupe V41 koja je u fazi sa signalnom grupom V21 dodano je signalnoj grupi V11; time je trajanje signalne grupe V11 povećano za devet sekundi, a da bi se isto postiglo vrijeme trajanja signalne grupe V21 smanjeno je za sedam sekundi. U svrhu postizanja veće sigurnosti odvijanja prometnih tokova između svake vozačke faze dodana je jedna sekunda „sve crveno“.

U daljnjoj analizi, raskrižje Ulica kneza Branimira – Kružićeva ulica – Strojarska ulica čiji se signalni plan u postojećem stanju odvija u dvije faze, novom regulacijom prometa i novim vođenjem prometnih tokova potrebno je uvesti treću fazu. Novi redoslijed odvijanja faza je: u prvoj fazi zapad – istok, u drugoj fazi sjever i u trećoj fazi jug. Izmjenom signalnog plana uspostavljena je nova signalna grupa V1D na zapadnom privozu; dopunska strelica za desno skretanje iz Ulice kneza Branimira u Strojarsku ulicu.

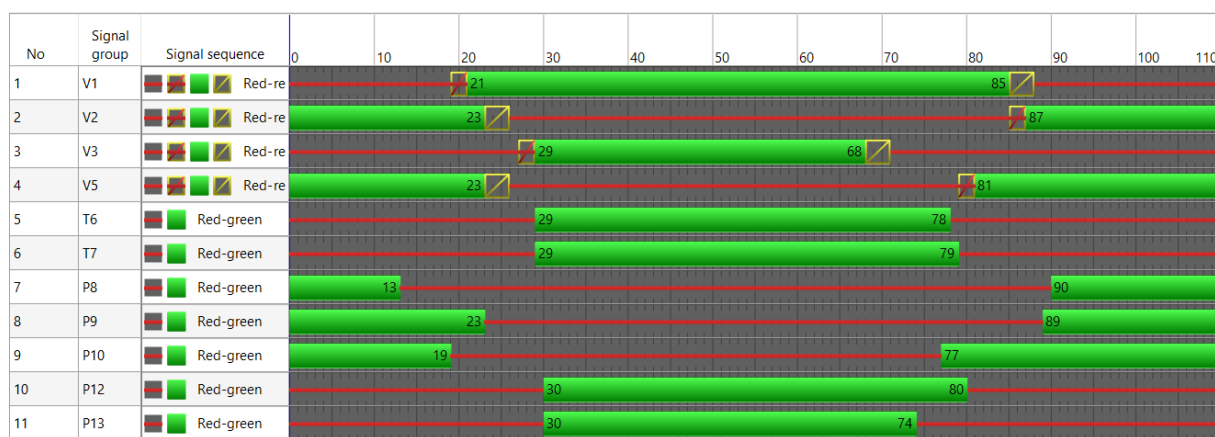


Slika 37. Novi signalni plan raskrižja Ulica kneza Branimira - Kružićeva ulica - Strojarska ulica

Izvor: [17, Elipsa – S.Z. d.o.o]

Slika 37 prikazuje novi signalni plan koji je napravljen radi postizanja odgovarajućeg odnosa zelenih vremena i povećanja propusne moći raskrižja Ulica kneza Branimira – Kružićeva ulica – Strojarska ulica, u svrhu pražnjenja Kružićeve ulice i popunjavanja prometnih traka na raskrižju Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića. Smanjenjem vremena trajanja zelenog svjetla u postojećem signalnom planu na fazama dobiven je vremenski prostor za novu fazu. Radi postizanja veće sigurnosti odvijanja prometnih tokova između svake vozačke faze dodana je jedna sekunda „sve crveno“.

Zbog postizanja ustaljenog dolaska vozila na predmetno raskrižje iz smjera Ulice kneza Višeslava u odnosu na dolazak vozila iz smjera sjevera Šubićeve ulice novim signalnim planom raskrižja Ulica kneza Višeslava – Avenija Marina Držića – Šubićeva ulica dolazi postiže se bolji odnos zelenih vremena.

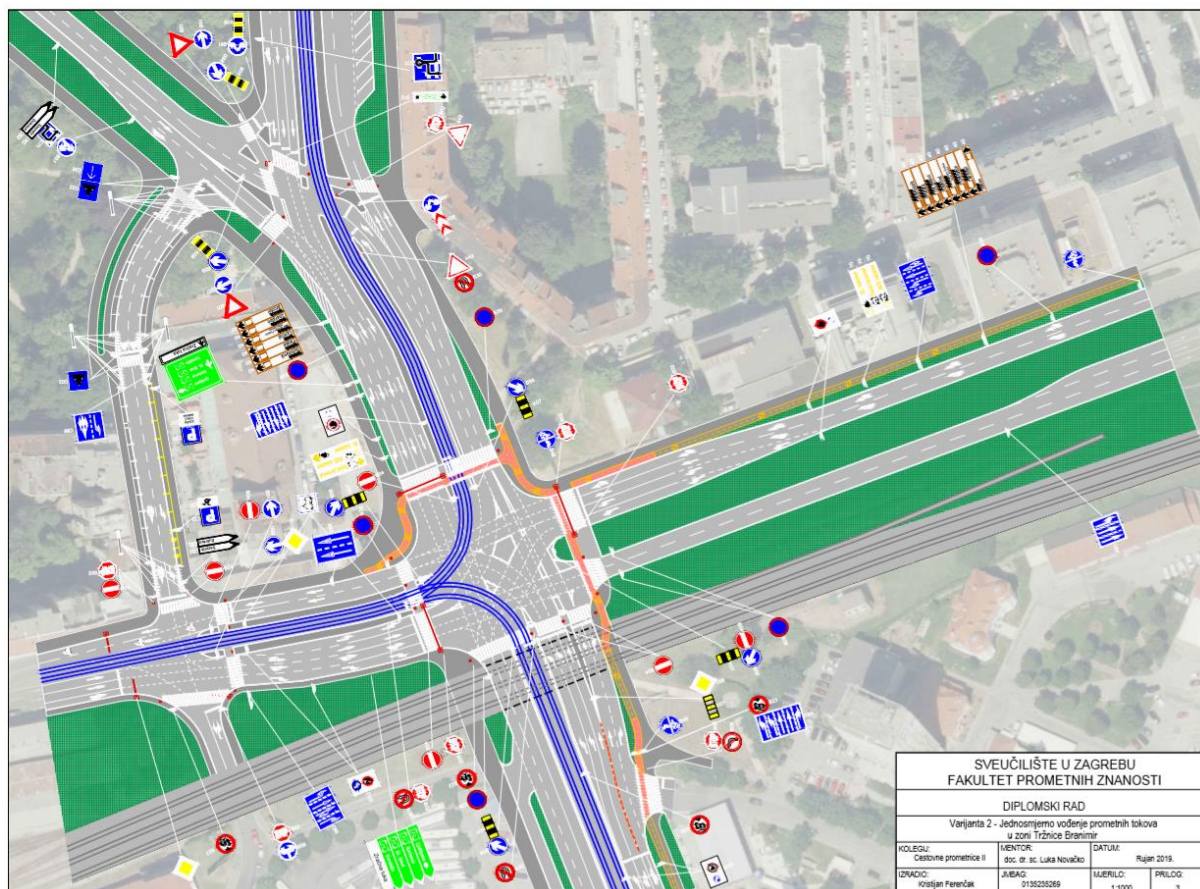


Slika 38. Novi signalni plan raskrižja Ulica kneza Višeslava - Avenija Marina Držića - Šubićeva ulica

Izvor: [17, Elipsa – S.Z. d.o.o]

U svrhu postizanja veće sigurnosti odvijanja prometnih tokova između svake vozačke faze dodana je jedna sekunda „sve crveno“ čime pojedine signalne grupe gube jednu sekundu zelenog svjetla. Izmjenom ovog signalnog plana, vozačka grupa V5 i pješačka grupa P9 dobivaju više zelenog vremena.

Na Sliku 39 prikazane su sve izmjene infrastrukturnih elemenata, elementi horizontalne i vertikalne signalizacije u svrhu nove regulacije prometa.

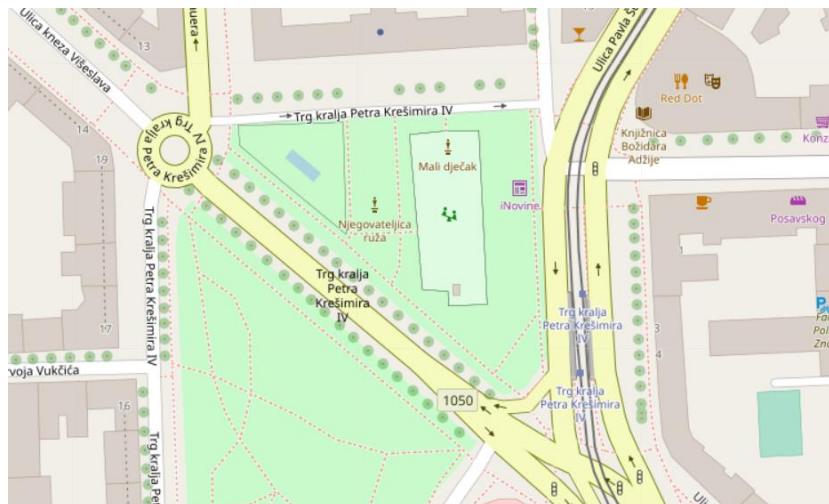


Slika 39. Varijanta 2 - Jednosmjerno vođenje prometnih tokova u zoni Tržnice Branimir
Izvor: [Izradio autor]

Varijantom 2 predviđeno odvijanje prometnih tokova na zapadnom privozu Ulice kneza Branimira prije raskrižja sa Strojarskom ulicom ostaje nepromijenjeno. Isto tako, odvijanje prometnih tokova na južnom i istočnom privozu raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića ostaje nepromijenjeno, kao i zona raskrižja Ulica kneza Višeslava – Avenija Marina Držića – Šubićeva ulica iz smjera sjevera.

Novo vođenje prometnih tokova dobiveno je uvođenjem Kružićeva ulica jednosmjerna, time je postignuto da Kružićeva ulica u smjeru juga ima dvije prometne trake te je izlaz iz Kružićeve ulice na Ulicu kneza Višeslava u smjeru sjevera zabranjen. Na južnom privozu Kružićeve ulice na križanju s Ulicom kneza Branimira postavljena je jedna prometna traka za lijevo i jedna prometna traka za ravno, lijevo i desno. Varijantom 2 izlazak iz Strojarske ulice omogućuje lijevo i desno skretanje u Ulicu kneza Branimira. Ovom varijantom na zapadnom privozu predmetnog raskrižja novo vođenje prometnih tokova prikazano je postavljanjem horizontalne signalizacije; traka za lijevo skretanje, traka za ravno, traka za ravno i desno, te traka za desno skretanje. Najznačajnija promjena izvršena je na sjevernom privozu predmetnog raskrižja gdje je ukinuto lijevo skretanje u smjeru istoka, a postavljanjem nove horizontalne i vertikalne signalizacije postignuto novo vođenje prometnih tokova u zoni raskrižja; tri trake za ravno i traka za desno.

Varijantom 2 vrši se izmjena odvijanja prometnih tokova na prilazu predmetnog raskrižja iz smjera sjevera Šubićeve ulice i iz smjera Ulice kneza Višeslava. Novom regulacijom prometa koja je prikazana ovom varijantom usmjerava vozila iz smjera kneza Višeslava, a koja namjeravaju skrenuti lijevo na raskrižju Ulice kneza Branimira – Avenije Marina Držića, u Kružićevu ulicu.



Slika 40. Produžetak Ulice kneza Višeslava

Izvor: [34]

Dolaskom na križanje Kružićeve ulice s Ulicom kneza Branimira vozila skreću lijevo prema predmetnom raskrižju te nastavljaju ravno prema istoku. Vozila koja iz smjera Šubićeve ulice dolaze na predmetno raskrižje i žele skrenuti lijevo to će moći napraviti skretanjem desno na raskrižju Ulica kneza Višeslava – Avenija Marina Držića – Šubićeva ulica, nakon čega će produžiti ravno do kružnog toka na Trgu kralja Petra Krešimira IV gdje će se polukružno okrenuti i nastaviti kretanje Ulicom kneza Višeslava u smjeru Avenije Marina Držića. Na križanju Ulice kneza Višeslava i Kružićeve vozila će skrenuti desno u Kružićevu ulicu i nastaviti vožnju do križanje Kružićeve ulice i Ulice kneza Branimira gdje će skrenuti lijevo prema predmetnom raskrižju na kojem vožnju nastavljaju ravno prema istoku.

6.3 Varijanta 3 – Novo vođenje prometnih tokova na sjevernom privozu u zoni raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića

Varijanta 3 ima iste elemente prometne signalizacije, prometne infrastrukture i odvijanje prometnih tokova kao i Varijanta 2. Varijantom 3 ispituje se mogućnost zadržavanja postojeće logike rada semaforiziranog uređaja na predmetnom raskrižju uz kraće trajanje zelenog svjetla u fazi lijevih skretača sa sjevera i juga.

Vozila koja dolaze iz smjera sjevera Šubićevom ulicom imaju mogućnost lijevog skretanja na predmetnom raskrižju. Vozila koja dolaze iz smjera sjevero-zapada Ulicom kneza Višeslava, a namjeravaju skrenuti lijevo prema istoku na predmetnom raskrižju; iz Ulice kneza Višeslava skreću desno u Kružićevu ulicu, na raskrižju Ulica kneza Branimira – Kružićeva ulica – Strojarska ulica skreću lijevo, te na raskrižju Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića nastavljaju ravno prema istoku.

Prometna traka za lijevo na sjevernom privozu u zoni raskrižja označena je profiliranom uzdužnom oznakom na kolniku napravljena od gumenih materijala u dvije boje (bijela i crvena). Kao mjera dodatne sigurnosti i nemogućnosti prestrojavanja u traku za lijevo, na sjevernom privozu, u zoni raskrižja na uzdužnu oznaku na kolniku postavljeni su prometni stupići – sličan zahvat odrađen je na južnom privozu.

Brojanjem prometa ustanovljeno je: broj vozila koji dolazi iz smjera Šubićeve je 30 voz/h, a broj vozila koji dolazi iz smjera Ulice kneza Višeslava je 300 voz/h. Zbog novog vođenja prometnih tokova i boljeg odnosa zelenih vremena ovom varijantom dat je novi signalni plan za raskrižje Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića. Ostavljanjem postojeće horizontalne i vertikalne signalizacije u zoni predmetnog raskrižja na sjevernom privozu, a uz dodatak profilirane uzdignute uzdužne trake na kolniku u obliku pune crte između prometne trake za lijevo i prometne trake za ravno omogućeno je lijevo skretanje isključivo vozilima koji na raskrižje dolaze iz smjera sjevera Šubićevom ulicom.



Slika 41. Novi signalni plan 2 raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića

Izvor: [17, Elipsa – S.Z. d.o.o]

Zbog znatno manjeg dolaska vozila na predmetno raskrižje iz smjera sjevera Šubićevom ulicom u odnosu iz smjera Ulice kneza Višeslava vrijeme trajanja signalne grupe V41 u novom signalnom planu je kraće za 11 sekundi koje su s obzirom na matricu zaštitnih međuvremena i odnosu pojedinih faza dodane zapadnom privozu i signalnoj grupi V11. S obzirom na bolji odnos zelenih vremena u odnosu na postojeće signalne planove za Varijantu 3 uzeti su isti signalni planovi kao u Varijanti 2 izuzev signalnog plana raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića. Razlika u signalnim planovima predmetnog raskrižja između Varijante 2 i Varijante 2: Varijanti 3 dodana je signalna grupa V41 koja je izuzeta u Varijanti 2 te vrijeme trajanja zelenog svjetla signalne grupe V2 smanjeno za pet sekundi.

Oznake na kolniku predstavljaju dio cjelokupne prometne signalizacije koji se ne može nadomjestiti drugim znakovima ili propisima te se mogu definirati kao skup longitudinalnih i transverzalnih crta, natpisa i simbola čijom se kombinacijom oblikuju površine na prometnoj infrastrukturi [23].

Sukladno regulativi RH, oznake na kolniku imaju jednaku pravnu vrijednost kao i prometni znakovi i prometna svjetlosna signalizacija te se mogu postavljati samostalno ili u kombinaciji

s njima ako je potrebno da se značenje tih znakova jače istakne, odnosno potpunije odredi ili objasni. Ako se postavljaju u kombinaciji s prometnim znakovima ili prometnom svjetlosnom signalizacijom, moraju s istima biti potpuno usklađene kako ne bi bespotrebno zbunjivale vozače [23].

Oznake na kolniku se ucrtavaju, lijepe, ugrađuju ili utiskuju u kolnički zastor. Ne smiju biti više od 0,6 cm iznad razine kolnika i moraju imati retroreflektirajuća svojstva. Kao i kod prometnih znakova, osnovni zadaci oznaka na kolniku su upozoravanje (na stanje i situaciju u prostoru ispred vozila koja zahtijeva osobitu pozornost i oprez za nastavak sigurnog upravljanja vozilom), vođenje (vozača do njihova cilja putovanja identificirajući im sigurnu putanju vožnje), informiranje (vozača o zakonskim ograničenjima) te reguliranje prometa [23].

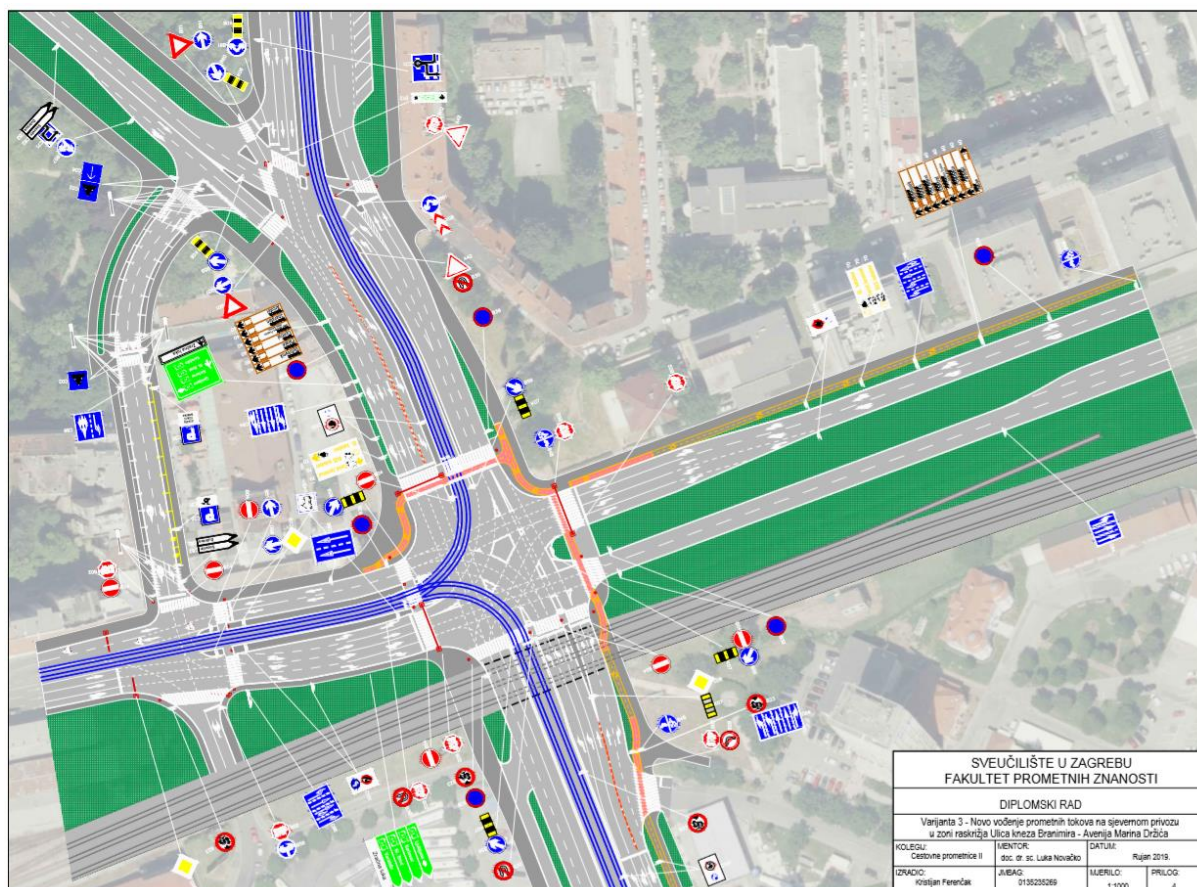
Iako se podjela oznaka na kolniku može izvesti prema raznim kriterijima (boja, trajnost, retroreflektirajuća svojstva, vrsti materijala itd.), njihova osnovna podjela proizlazi iz njihove funkcije namjene, te se u tom smislu oznake na kolniku dijele na: uzdužne oznake na kolniku, poprečne oznake na kolniku i ostale oznake na kolniku i predmetima uz rub kolnika [23].

Uzdužne oznake na kolniku mogu biti pune, isprekidane i dvostruke crte. Širina uzdužnih crta na kolniku iznosi najmanje 10 cm, a razmak između usporednih uzdužnih dvostrukih crta je 10 cm. Pod uzdužnim oznakama na kolniku podrazumijevaju se sve one koje su paralelne s osi kolnika, a to su: razdjelne, rubne i crte vodilje.

Razdjelna crta služi za razdvajanje dvosmjernih kolničkih površina prema smjerovima kretanja vozila, dok rubna crta služi za označavanje ruba vozne površine kolnika. Crte vodilje se koriste kao pomoćne crte pri prolasku kroz raskrižje, osobito kod većih raskrižja [23].

Varijantom 3 predviđeno odvijanje prometnih tokova na zapadnom privozu Ulice kneza Branimira prije raskrižja sa Strojarskom ulicom ostaje nepromijenjeno. Isto tako, odvijanje prometnih tokova na sjeverno, južnom i istočnom privozu raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića ostaje nepromijenjeno, kao i zona raskrižja Ulica kneza Višeslava – Avenija Marina Držića – Šubićeva ulica iz smjera sjevera.

Slika 42 prikazuje izmjene infrastrukturnih elemenata, elementa horizontalne i vertikalne signalizacije u svrhu novog vođenja prometnih tokova prije predmetnog raskrižja.



Slika 42. Varijanta 3 - Novo vođenje prometnih tokova na sjevernom privozu u zoni raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića
Izvor: [Izradio autor]

Novo odvijanje prometnih tokova u Kružićevoj ulici i vođenje prometnih tokova u zoni predmetnog raskrižja preuzeto je iz Varijante 2.

Varijantom 3 vrši se izmjena odvijanja prometnih tokova na prilazu predmetnog raskrižja iz smjera sjevera Šubićeve ulice i iz smjera Ulice kneza Višeslava. Novom regulacijom prometa koja je prikazana ovom varijantom usmjerava vozila iz smjera kneza Višeslava, a koja namjeravaju skrenuti lijevo na raskrižju Ulice kneza Branimira – Avenije Marina Držića, u Kružićevu ulicu. Dolaskom na križanje Kružićeve ulice s Ulicom kneza Branimira vozila skreću lijevo prema predmetnom raskrižju te nastavljaju ravno prema istoku. Vozila koja iz smjera Šubićeve ulice dolaze na predmetno raskrižje i žele skrenuti lijevo to će moći napraviti kao i do sada, uz znatno kraće, ali ipak dovoljno vrijeme trajanja zelenog svjetla.

7. EVALUACIJA I ODABIR OPTIMALNOG VARIJANTNOG RJEŠENJA

Za evaluaciju modela koristi se mikro - simulacijski alat PTV VISSIM 9. Razvijanjem modela dobivaju se podaci o prometnom toku na spomenutim varijantnim rješenjima. Suvremeni simulacijski alati, kao što je PTV VISSIM, za modeliranje vođenja tokova u raskrižjima imaju mogućnost odabira velikog broja podataka za evaluaciju raskrižja. Ovisno o objektima koji se koriste, tijekom simulacije nastaju podaci i informacije o vozilima u mreži, linkovima (prometnicama), područjima obuhvata („nodovima“), prometnim zagušenjima, raspodjeli zelenih vremena, informacijama o javnom prijevozu itd.

Najčešće korišten alat za evaluaciju i prikupljanje izlaznih podataka raskrižja u simulacijskom programu PTV VISSIM je „Node evaluation“. „Node“ predstavlja definirano područje koje se određuje oko promatranog raskrižja. „Node evaluation“ se posebno koristi za prikupljanje specifičnih izlaznih podataka raskrižja bez prethodnog ručnog definiranja elemenata za prikupljanje podataka [17].

Evaluacija izlaznih podataka vrši se pomoću slijedećih elemenata [18]:

- vrijeme putovanja,
- rep čekanja,
- vrijeme čekanja (kašnjenja),
- razina usluge (LoS),
- informacije o svakom pojedinačnom vozilu,
- evaluacija linkova,
- evaluacija nodova,
- vrijeme čekanja javnog gradskog prijevoza,
- emisije štetnih plinova,
- signalnih programa.

U novijim verzijama simulacijskog programa PTV VISSIM postoji mogućnost mjerenja emisije štetnih plinova koje proizvode motori s unutarnjim izgaranjem, a to su: ugljikov monoksid (CO), dušikovi oksidi (NO_x), ugljikovodici (CH), sumporov dioksid (SO₂) i krute čestice (PM). Vrlo je važno obratiti pozornost na ovaj negativan učinak prometa na koji se može utjecati predloženim varijantnim rješenjima koja smanjuju repove čekanja, vremena čekanja, „kreni - stani“ vožnje što uzrokuje veću potrošnju goriva čija posljedica su emisije štetnih plinova i zagađenje okoliša čime pada kvaliteta života.

Razina usluge (eng. Level Of Service) je kvalitativna mjera koja opisuje operativne uvjete prometnog toka, a mjere na temelju kojih se utvrđuju su: brzina, vrijeme putovanja, sloboda manevriranja, utjecaj drugog prometa i udobnost vožnje. Sigurnost odvijanja prometa ne ulazi kao mjera za određivanje razine usluge [7].

U ovom diplomskom radu za evaluaciju rezultata razina usluge procjenjuje se prema HCM metodologiji (Hihgway Capacity Manual). HCM predstavlja standard u projektiranju i planiranju cesta, autocesta i gradskih ulica. Prvenstveno služi za proračune kapaciteta i razina

usluga raskrižja, dionica ceste, javnog gradskog prijevoza, te pješačkog i biciklističkog prometa. Mjera učinka za određivanje razine usluge na raskrižjima je prosječno vrijeme čekanja izraženo u sekundama. Razlikuje se šest razina usluge od A do F. Razina usluge A predstavlja najpovoljnije uvjete sa stajališta korisnika, a F najnepovoljnije uvjete.

- Razina usluge A - uvjeti slobodnog toka s najviše 10 % međusobnih utjecaja između vozila u prometnom toku, a prosječna vremena čekanja na raskrižjima su minimalna
- Razina usluge B - oko 70 % vozila nalazi se u uvjetima slobodnog toka, a prosječna vremena čekanja na raskrižjima nisu značajna
- Razina usluge C - stabilni uvjeti prometa s oko 50 % vozila u uvjetima slobodnog toka, pri čemu mogući manji povećani repovi čekanja na raskrižjima izazivaju veća prosječna vremena čekanja
- Razina usluge D - oko 40 % vozila se nalazi u uvjetima slobodnog toka, a malo povećanje prometnog toka izaziva povećane repove čekanja na raskrižjima s većim prosječnim vremenom čekanja
- Razina usluge E - manje od trećine vozila su u slobodnom toku; to je stanje u kojem je dosegnuta propusna moć ili se postiže malim povećanjem prometnog toka, prosječna vremena čekanja na raskrižjima su znakovito velika
- Razina usluge F - prometna potražnja je iznad propusne moći, a na privozima raskrižju dolazi do zagušenja koja uzrokuju velika vremena čekanja i znatno utječu na okolnu prometnu mrežu [1].

U HCM-u se daju analitičke metode za određivanje i predviđanje maksimalnih prometnih tokova za različite prometne objekte za svaku razinu usluge osim za razinu usluge F. Za razinu usluge F koju karakterizira nestabilan tok sa zastoјima teško je procjenjivati prometni tok zbog učestalih „stani - kreni“ vožnja.

Osim vremena kašnjenja velik utjecaj na određivanje razine usluge ima i odnos prometnog opterećenja i propusne moći odnosno stupanj zasićenja. Stupanj zasićenja predstavlja usporedbu potražnje i propusne moći te pruža izravnu procjenu zadovoljava li određeno oblikovno rješenje pretpostavljene potrebe. Kada je stupanj zasićenja veći od 1 to znači da prometno opterećenje prelazi kapacitet i samim time za promatrani objekt određuje se razina usluge F [7]. Stupanj zasićenja može se izračunati iz izraza (5):

$$X = \frac{q}{c} \quad (5)$$

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

x – stupanj zasićenja

q – prometno opterećenje [voz/h]

c – propusna moć [voz/h]

Za potrebe procjene razine uslužnosti pojedinog raskrižja koristit će se parametar prosječnog kašnjenja (čekanja). Raspodjela razina usluge s obzirom na vremena čekanja (kašnjenja) prikazuje Tablica 8:

Tablica 8. Razina usluge (LOS) za slučaj nesemaforiziranog i semaforiziranog raskrižja

LOS semaforiziranog raskrižja	Prosječno vrijeme kašnjenja [s/voz]
A	0-10
B	10-20
C	20-35
D	35-55
E	55-80
F	> 80
LOS nesemaforiziranog raskrižja	Prosječno vrijeme kašnjenja [s/voz]
A	0-10
B	10-15
C	15-25
D	25-35
E	35-50
F	> 50

Izvor: [1]

Pri planiranju razine uslužnosti treba se držati sljedećih načela [1]:

- na kraju planiranog perioda eksploatacije u vršnim vremenskim razdobljima ostvariti razinu usluge D/E ili bolju,
- za postojeće raskrižje projektno rješenje mora ponuditi poboljšanje barem za jedan razred razine usluge,
- planirano poboljšanje mora dostići razrede uslužnosti okolnih raskrižja u mreži,
- na početku rada raskrižja projektirana razina usluge ne smije biti manja od C, u suprotnom je potrebno obrazložiti zašto se ne može postići bolja razina usluge od C.

Razvijanjem modela dobivaju se detaljni podaci o prometnom toku na spomenutim varijantnim rješenjima. Prilikom razvoja modela potrebno je definirati simulacijske parametre kako bi rezultati koji se dobiju što vjernije prikazivali realno buduće stanje. Potrebno je definirati period, odnosno trajanje simulacije. Preporuča se definirati duže trajanje simulacije zbog puštanja vozila u mrežu i zagrijavanje simulacije (900 [s]), a ukupno trajanje simulacije 4500 [s]. Sljedeći bitan atribut je „simulation resolution“. Ovaj atribut označava koliko puta će se izračunavati pozicija vozila u jednoj simulacijskoj sekundi. Navedeni faktor značajno utječe na ponašanje vozila. Mijenjanjem ovog faktora moguće je dobiti različite izlazne rezultate simulacije. Preporuča se definirati 5 do 20 pokretanja simulacije radi dobivanja realnijih izlaznih rezultata.

7.1 Evaluacija postojećeg stanja raskrižja

Evaluacija postojećeg stanja provodi se na temelju rezultata simulacije postojećeg stanja raskrižja. U Tablica 9 redom su prikazani sljedeći rezultati:

- smjer kretanja vozila,
- prosječan rep čekanja,
- razina usluge,
- prosječno vrijeme kašnjenja,
- prosječan broj zaustavljanja,
- emisije ugljikovog monoksida,
- potrošnja goriva.

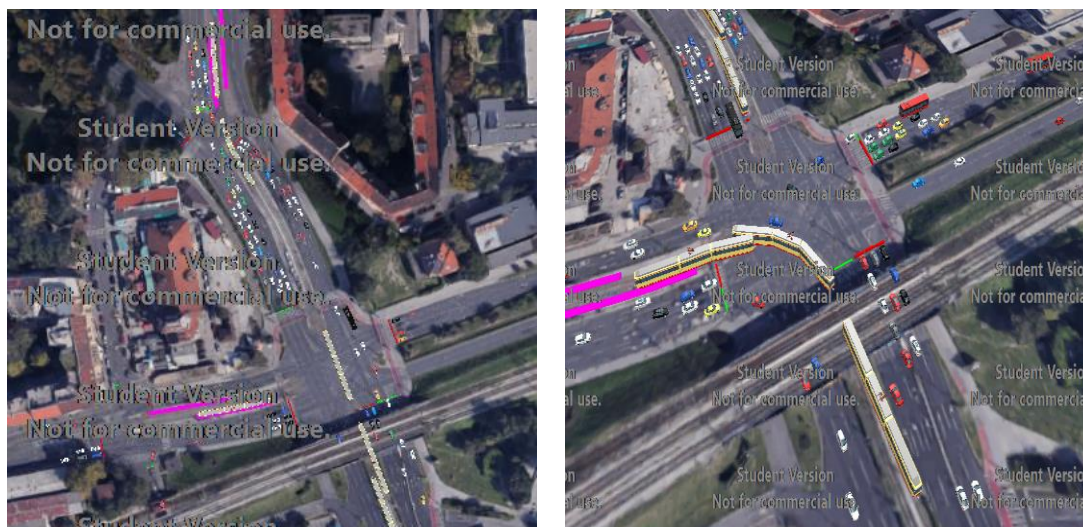
Tablica 9. Prikaz rezultata simulacije postojećeg stanja

SMJER KRETANJA	PROSJEČAN REP ČEKANJA [m]	RAZINA USLUGE	PROSJEČNO VRIJEME KAŠNJENJA [s]	PROSJEČAN BROJ ZAUSTAVLJANJA	EMISIJA CO (UGLJIKOV MONOKSID) [gr]	POTROŠNJA GORIVA [gallon]
1-4 (Zapad lijevo)	176,84	LOS_F	118,03	5,75	37,107	0,531
1-3 (Zapad ravno)	177,9	LOS_F	116,74	6	52,666	0,753
1-2 (Zapad desno)	177,23	LOS_F	108,34	5	36,39	0,521
2-1 (Jug lijevo)	8,53	LOS_E	60,1	1,17	9,949	0,142
2-4 (Jug ravno LT)	130,1	LOS_F	95,28	3,22	27,436	0,392
2-4 (Jug ravno DT)	130,06	LOS_E	59,95	1,9	20,173	0,289
2-3 (Jug desno)	1,84	LOS_C	26,88	1	3,179	0,045
3-2 (Istok lijevo)	27,21	LOS_D	54,39	1	13,355	0,191
3-1 (Istok ravno)	6,36	LOS_D	49,08	1,67	10,576	0,151
3-4 (Istok desno)	20,07	LOS_C	24,6	0,67	2,582	0,037
4-3 (Sjever lijevo)	252,3	LOS_F	103,17	5,38	34,189	0,489
4-2 (Sjever ravno)	251,89	LOS_F	186,96	5	5,158	0,074
4-1 (Sjever desno)	0	LOS_F	98,9	4	3,284	0,047
Raskrižje	101,83	LOS_F	84,34	3,35	256,15	3,665

Izvor: [Izradio autor]

Najveći prosječan rep čekanja zabilježen je na smjeru 4-2 (Sjever ravno) i iznosi 251,89 [m]. Najveće prosječno vrijeme kašnjenja od 186,96 [s] zabilježeno je na smjeru 4-2 (prolazak vozila iz smjera sjevera prema jugu) što odgovara razini usluge F. Najmanje prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 24,6 [s], a zabilježeno je na posebno odvojenoj traci za desne skretače iz privoza 1 u privoz 2 (Zapad desno). Razlog tome je manji broj desnih skretača u odnosu na broj vozila na ostalim privozima te u cijelom ciklusu (110 [s]) desni skretači imaju slobodan prolaz reguliran dopunskom strelicom koji iznosi 23 % od ukupnog ciklusa. Najveća razina emisija štetnih plinova i potrošnje goriva zabilježena je na privozu 1. Uzrok tome je značajan priljev vozila i rep čekanja vozila koji se stvara uslijed četverofaznog ustaljenog upravljanja prometnim svjetlima. Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja iznosi 84,34 [s], a to odgovara razini usluge F.

Slika 43 prikazuje simulaciju stvarnog stanja predmetnog raskrižja za jutarnji vršni period 7:00 – 8:00 sati prema rezultatima brojanja prometa.



Slika 43. Simulacija postojećeg stanja raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića
Izvor: [PTV Vissim]

7.2 Evaluacija Varijante 1

Evaluacija Varijante 1 - uvođenje adaptivnog upravljanja prometom na raskrižju provodi se u programskom modulu PTV Epics integriranom u PTV Vissim.

Tablica 10. Prikaz rezultata simulacije Varijante 1

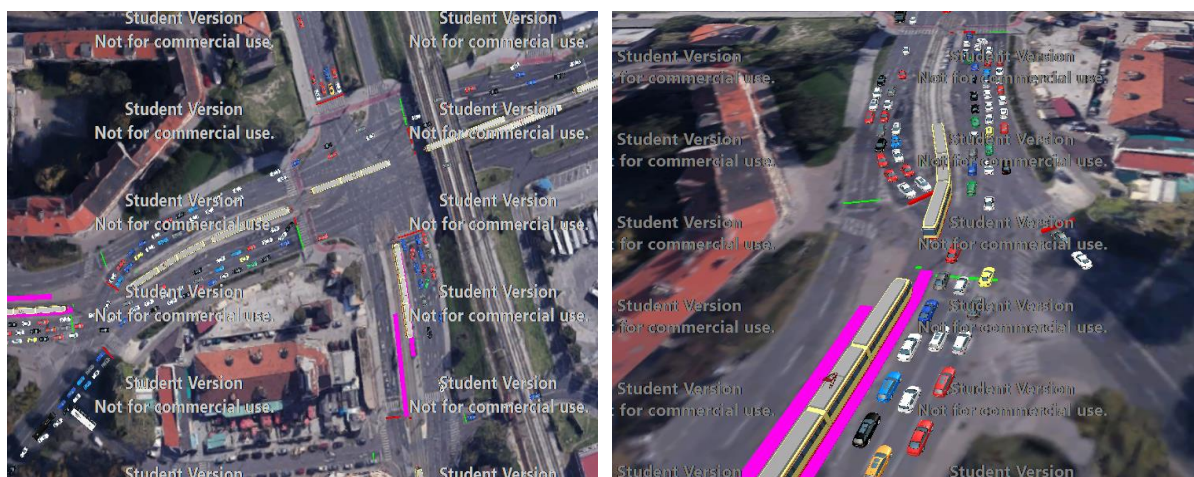
SMJER KRETANJA	PROSJEČAN REP ČEKANJA [m]	RAZINA USLUGE	PROSJEČNO VRIJEME KAŠNJENJA [s]	PROSJEČAN BROJ ZAUSTAVLJANJA	EMISIJA CO (UGLJIKOV MONOKSID) [gr]	POTROŠNJA GORIVA [gallon]
1-4 (Zapad lijevo)	15,17	LOS_F	84,58	1,60	15,67	0,22
1-3 (Zapad ravno)	107,62	LOS_F	92,48	2,17	27,10	0,39
1-2 (Zapad desno)	93,68	LOS_E	64,84	1,70	17,11	0,24
2-1 (Jug lijevo)	52,96	LOS_F	100,01	1,39	19,76	0,28
2-4 (Jug ravno LT)	42,55	LOS_E	69,31	1,37	23,61	0,34
2-4 (Jug ravno DT)	52,59	LOS_E	78,23	1,58	26,05	0,37
2-3 (Jug desno)	42,71	LOS_C	32,93	0,84	8,19	0,12
3-2 (Istok lijevo)	116,38	LOS_F	137,79	3,36	56,47	0,81
3-1 (Istok ravno)	165,74	LOS_F	153,06	2,87	82,58	1,18
3-4 (Istok desno)	165,63	LOS_F	145,48	2,75	11,08	0,16
4-3 (Sjever lijevo)	144,69	LOS_F	310,74	5,02	44,07	0,63
4-2 (Sjever ravno)	144,54	LOS_F	130,05	3,40	108,60	1,55
4-1 (Sjever desno)	144,13	LOS_F	121,89	3,45	11,13	0,16
Raskrižje	72,46	LOS_F	117,85	2,52	451,40	6,46

Izvor: [Iradio autor]

Tablica 10 prikazuje rezultate simulacije Varijante 1. Najveći prosječan rep čekanja je na smjeru 3-1 (prolazak vozila iz smjera istoka ravno) i iznosi 165,74 [m]. Najveće prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 310,74 [s] i zabilježeno je na smjeru 4-3 (Sjever lijevo) što odgovara razini usluge F. Najmanje prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 32,93 [s], a zabilježeno je na posebno odvojenoj traci za desne skretače iz privoza 2 u privoz 3 (smjer 2-3; vozila koja iz smjera juga skreću desno). Najveća razina emisija štetnih plinova i potrošnje goriva zabilježena je na privozu 4. Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja iznosi 117,85 [s], a to odgovara razini usluge F.

Adaptivnim upravljanjem prometom nije određeno nijednom privozu prioritet nad drugim. Predviđeni su detektori najave vozila, brojanja vozila i odjavni detektori na temelju kojih PTV Epics kontinuirano mijenja trajanje faza definiranim signalnim grupama.

Iz dobivenih rezultata za adaptivno upravljanje prometom na predmetnom raskrižju može se primijetiti da se adaptivnim upravljanjem prometom na pojedinim privozima smanjilo prosječno vrijeme kašnjenja. Dok kod privoza koji su imali manje prosječno vrijeme kašnjenja dolazi do povećanja istog što dovodi do većih repova čekanja i lošije razine usluge.



Slika 44. Simulacija Varijante 1 - Adaptivno upravljanje prometom na raskrižju Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića
Izvor: [PTV Vissim]

Slika lijevo orijentirana je na smjer zapad – istok, dok je slika desno orijentirana na smjer sjever – jug. Na slici desno mogu se uočiti repovi čekanja iz smjera Šubićeve ulice prema predmetnom raskrižju te dolazak većeg broja vozila iz smjera juga.

7.3 Evaluacija Varijante 2

Razvijanjem modela u mikrosimulacijskom alatu PTV Vissim 11, Varijanta 2 – Jednosmjerno vođenje prometnih tokova u zoni Tržnice Branimir dobivaju se izlazni rezultati simulacije prikazani u Tablica 11.

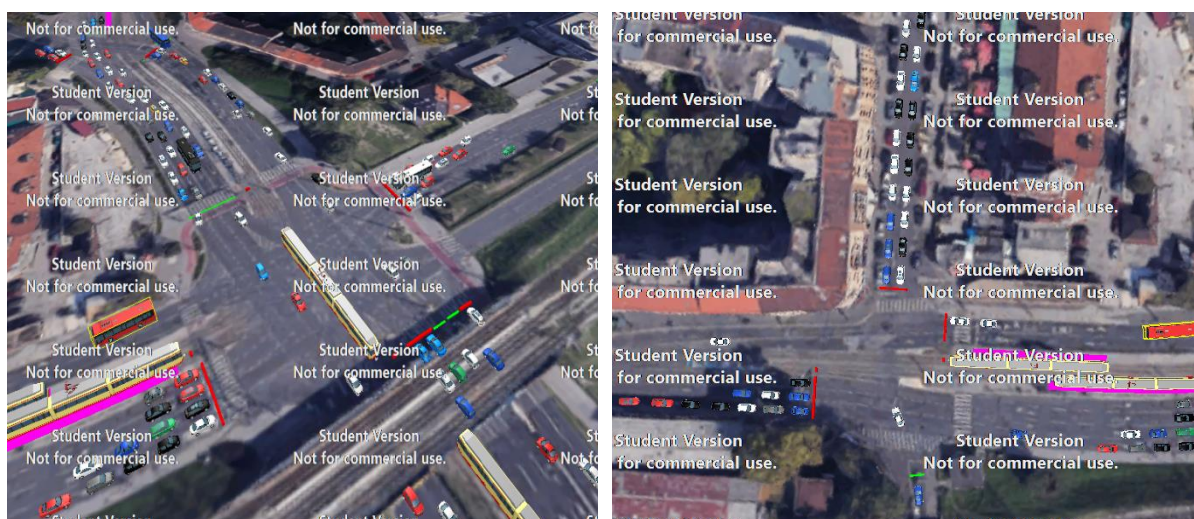
Tablica 11. Prikaz rezultata simulacije Varijante 2

SMJER KRETANJA	PROSJEČAN REP ČEKANJA [m]	RAZINA USLUGE	PROSJEČNO VRIJEME KAŠNJENJA [s]	PROSJEČAN BROJ ZAUSTAVLJANJA	EMISIJA CO (UGLIKOV MONOKSID) [gr]	POTROŠNJA GORIVA [gallon]
1-4 (Zapad lijevo)	18,32 m	LOS_A	2,37	0	0,561	0,008
1-3 (Zapad ravno)	19,84 m	LOS_D	47,59	1	7,014	0,1
1-2 (Zapad desno)	20,00 m	LOS_B	12,34	0,31	15,115	0,216
2-1 (Jug lijevo)	22,55 m	LOS_E	59,63	1,57	25,68	0,367
2-4 (Jug ravno LT)	15,18 m	LOS_E	61,43	2	10,09	0,144
2-4 (Jug ravno DT)	122,29 m	LOS_C	33,77	1,85	21,43	0,307
2-3 (Jug desno)	23,11 m	LOS_E	65,42	2,1	20,688	0,296
3-2 (Istok lijevo)	18,28 m	LOS_D	47,64	0,82	14,405	0,206
3-1 (Istok ravno)	0,00 m	LOS_D	40,13	0,57	7,775	0,111
3-4 (Istok desno)	11,10 m	LOS_C	27,77	0,67	2,768	0,04
4-2 (Sjever ravno)	69,68 m	LOS_E	73,91	2,26	44,497	0,637
4-1 (Sjever desno)	69,74 m	LOS_F	100,06	3	6,061	0,087
Raskrižje	24,81 m	LOS_D	44,22	1,29	177,576	2,54

Izvor: [Izradio autor]

Tablica 11 prikazuje rezultate simulacije Varijante 2. Najveći prosječan rep čekanja je na smjeru 2-4 (prolazak vozila iz smjera juga ravno) i iznosi 122,29 [m]. Najveće prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 100,06 [s] i zabilježeno je na smjeru 4-1 (Sjever desno) što odgovara razini usluge F. Razlog takvog prosječnog vremena kašnjenja su vozila koja se iz srednje ili lijeve prometne trake za ravno žele prestrojiti u traku za desno. Najmanje prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 2,37 [s], a zabilježeno je na traci za lijeve skretače iz privoza 1 u privoz 4 (smjer 1-4; vozila koja iz smjera zapada skreću lijevo). Najveća razina emisija štetnih plinova i potrošnje goriva zabilježena je na privozu 4.

Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja iznosi 44,22 [s], odnosno razina usluge F iz postojećeg stanja ovom varijantom podignuta je na razinu usluge D.



Slika 45. Simulacija Varijante 2 - Jednosmjerno vođenje prometnih tokova zoni Tržnice Branimir

Izvor: [PTV Vissim]

7.4 Evaluacija Varijante 3

Varijanta 3 – Novo vođenje prometnih tokova na sjevernom privozu u zoni raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića također je razvijena u mikrosimulacijskom alatu PTV Vissim 11, a dobiveni izlazni rezultati simulacije prikazani u Tablica 12.

Tablica 12. Prikaz rezultata simulacije Varijante 3

SMJER KRETANJA	PROSJEČAN REP ČEKANJA [m]	RAZINA USLUGE	PROSJEČNO VRIJEME KAŠNJENJA [s]	PROSJEČAN BROJ ZAUSTAVLJANJA	EMISIJA CO (UGLJIKOV MONOKSID) [gr]	POTROŠNJA GORIVA [gallon]
1-4 (Zapad lijevo)	27,39	LOS_E	37,31	1,78	14,772	0,211
1-3 (Zapad ravno)	28,01	LOS_C	16,27	0,82	9,482	0,136
1-2 (Zapad desno)	28,7	LOS_C	20,63	0,54	9,559	0,137
2-1 (Jug lijevo)	19,9	LOS_E	48,41	1,17	17,566	0,251
2-4 (Jug ravno LT)	123,37	LOS_F	66,36	1,75	7,965	0,114
2-4 (Jug ravno DT)	123,32	LOS_E	42,9	0,86	8,777	0,126
2-3 (Jug desno)	18,62	LOS_D	31,63	1,3	12,713	0,182
3-2 (Istok lijevo)	25,91	LOS_E	44,43	0,93	19,742	0,282
3-1 (Istok ravno)	8,94	LOS_D	29,88	0,86	7,508	0,107
3-4 (Istok desno)	8,98	LOS_D	27,33	1	1,038	0,015
4-3 (Sjever lijevo)	70,67	LOS_F	180,08	2,5	23,762	0,34
4-2 (Sjever ravno)	28,64	LOS_D	30,26	0,5	9,221	0,132
4-1 (Sjever desno)	28,31	LOS_E	36,07	1,08	14,661	0,21
Raskrižje	40,35	LOS_E	42,43	1,08	156,77	2,243

Izvor: [Izradio autor]

Tablica 12 prikazuje rezultate simulacije Varijante 3. Najveći prosječan rep čekanja je na smjeru 2-4 (prolazak vozila iz smjera juga ravno) i iznosi 123,37 [m]. Najveće prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 180,08 [s] i zabilježeno je na smjeru 4-3 (Sjever lijevo) što odgovara razini usluge F. Razlog tako velikog vremena kašnjenja je odnos zelenih vremena zbog kojih se vozilima koja iz smjera sjevera skreću lijevo prema istoku nije omogućilo dovoljno zelenog svjetla. Najmanje prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 16,27 [s], a zabilježeno je na traci za ravno iz privoza 1 u privoz 3 (smjer 1-3; vozila koja iz smjera zapada nastavljaju ravno). Najveća razina emisija štetnih plinova i potrošnje goriva zabilježena je na privozu 4.

Kombinacijom jednosmjernog vođenja prometa u zoni Tržnice Branimir za vozila koja dolaze iz smjera Ulice kneza Višeslava i smanjenja trajanja zelenog svjetla za lijeve skretače na sjevernom privozu koji dolaze iz smjera Šubićeve postignuto je prosječno vrijeme kašnjenja koje iznosi 42,43 [s] za cijelo raskrižje, a što dovodi do razine usluge D.



Slika 46. Simulacija Varijante 3 - Novo vođenje prometnih tokova na sjevernom privozu u zoni raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića
Izvor: [PTV Vissim]

7.5 Odabir optimalnog varijantnog rješenja

Uličnu mrežu po kojoj se odvija cjelokupni promet sačinjavaju raskrižja koja su povezana cestama, odnosno ulicama. Raskrižja su mjesta na kojima se križaju prometni pravci, te im sa aspekta sigurnosti i normalnog odvijanja prometa, ima treba dati znatno veću pažnju. Zastoji prometnih tokova očituju se u smanjenju prosječnih brzina putovanja, duljeg čekanja na raskrižjima, povećanom zagađenju okoline (buka i aerozagađenja) i smanjenju sigurnosti prometa, a dešavaju se na raskrižjima, dok se prometnice prekomjerno koriste za parkiranje, što dodatno zagušuje prometnu mrežu [3].

Optimalna organizacija i odvijanje prometnih tokova postiže se uz pravilno vođenje tokova informativnim sustavima i edukacijom sudionika u prometu te odabirom najpovoljnijih načina usmjerenja prometnica u prometnoj mreži. Ukoliko je moguće, preporuča se izvođenje raskrižja sa jednosmjernim krakovima. Takva raskrižja su povoljnija od onih sa dvosmjernim jer imaju manje ulijevanja i izlivanje i znatno manje križanja [13].

Za promatranu zonu obuhvata predstavljena su tri varijantna rješenja. Rješenjima se nastojala povećati sigurnost odvijanja prometa unutar zone za sve sudionike u prometu, smanjiti nepotrebna presijecanja i preplitanja prometnih tokova, te povećati propusna moć na predmetnom raskrižju.

Nakon analize evaluacija predloženih varijantnih rješenja dolazi se do rezultata da ja Varijanta 2 bolja od preostale dvije varijante. Ovom varijantom smanjio bi se rep čekanja, prosječno vrijeme kašnjenja, prosječan broj zaustavljanja te emisija štetnih ispušnih plinova i naposljetku potrošnja goriva. Uvođenjem Varijante 2 poboljšala bi se razina usluge cijelog raskrižja, povećala protočnosti raskrižja te zbog prekidanja preplitanja prometnih tokova u zoni raskrižja osiguralo popunjavanje prometnih trakova između dva ciklusa.

8. ZAKLJUČAK

Postizanje veće propusne moći raskrižja i povećanje sigurnosti odvijanja prometnih tokova podrazumijeva analizu nekolicine podataka vezanih za veličinu i karakteristike prometnog toka, sigurnost prometa, sadašnje i buduće prometne potražnje, prometne prognoze kroz proces planiranja prometne mreže te naposljetku projektiranje nove ili rekonstrukcija postojeće prometnice. Zakonski propisi, pripadajući pravilnici, Generalni plan urbanističkog uređenja, Master plan i ostali dokumenti daju smjernice za analiziranje i planiranje prometne mreže.

Neadekvatno upravljanje prometom u velikim urbanim sredinama dovodi do zagušenja, čestih kreni – stani vožnja čime je zbog povećane emisije ispušnih plinova ugrožena kvaliteta života stanovnika. Isto tako, velika zagušenja i kreni – stani vožnja uzrokuju veliku potrošnju goriva i velike gubitke s ekonomske strane motrišta.

Raskrižje analizirano ovim diplomskim radom nalazi se u Gradu Zagrebu na križanju najprometnijih gradskih ulica; Ulica kneza Branimira i Avenija Marina Držića na kojima se stvaraju repovi čekanja u vršnim satima zbog velike prometne potražnje i nedovoljne propusne moći predmetnog raskrižja. Za poboljšanje postojećeg stanja raskrižja date su tri varijantna rješenja; adaptivno upravljanje prometom, jednosmjerno vođenje prometa unutar promatrane zone i nova regulacija prometa na sjevernom privozu uz zadržavanje jednosmjernog vođenja prometa unutar promatrane zone.

Ovim radom dan je primjer kako se postizanjem boljeg odnosa zelenih vremena, novim vođenjem prometnih tokova te minimalnim financijskim troškovima može omogućiti povećanje propusne moći na raskrižjima u zoni. Isto tako, prikazana je održivost propusne moći na sva tri semaforizirana raskrižja u „trokutu“ ulica kneza Branimira, Kružićeva ulica, Trg kralja Petra Krešimira IV.

Povećanjem prometne potražnje na analiziranom raskrižju u periodima vršnog opterećenja repovi čekanja, smanjenje propusne moći, povećanje kašnjenja vozila na raskrižjima u zoni obuhvata nastaju zbog velikog broja vozila, pješaka, biciklista i tramvaja te stvaraju neodrživu prometnu situaciju koju je nemoguće riješiti preraspodjelom zelenih vremena unutar ciklusa signalnih programa semaforskih uređaja.

S ciljem povećanja propusne moći na raskrižjima u zoni raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića te poboljšanja prometne situacije na tom dijelu Grada, uvodi se nova organizacija prometa. Sprječavanjem preplitanja prometnih tokova u zoni raskrižja povećava se propusna moć semaforiziranog raskrižja, te smanjuju ekološki i ekonomski gubici kao rezultat smanjenja ispušnih plinova i potrošnje goriva. Lijevo skretanje iz Strojarske ulice u Ulicu kneza Branimira stvara novi transverzalni pravac između Vukovarske ulice i Ulice kneza Branimira.

Primjenom simulacijskog alata PTV Vissim dobiveni su rezultati pojedinih varijanata iz čega se može odabrati optimalno prometno rješenje. Svako od predloženog varijantnog rješenja ima svoje prednosti i nedostatke, ali bitno je uzeti u obzir da sva rješenja imaju za ciljeve smanjenje repova čekanja, povećanje sigurnosti svih sudionika u prometu, povećanje propusne moći, smanjenje vremena čekanja te brigu o ekološkim utjecajima.

Rezultatom analiza svih varijantnih rješenja zaključeno je da bi optimalno rješenje bilo jednosmjerno vođenje prometnih tokova u zoni Tržnice Branimir čime bi se znatno poboljšala propusna moć raskrižja, smanjili repovi čekanja i smanjilo vrijeme kašnjenja. S obzirom da postojeće stanje predmetnog raskrižja ima razinu usluge F, dok bi uvođenjem ove varijante razina usluge za cijelo raskrižje bila D.

Diplomski rad nove organizacije prometa u zoni raskrižja Ulica kneza Branimira – Avenija Marina Držića izrađen je na temelju rezultata brojanja prometa i analize prometnih tokova. Zaključno, očekuje se postizanje ravnoteže unutar prometne mreže boljom raspodjelom prometnih opterećenja u ovom dijelu Grada i veća propusna moć semaforiziranih raskrižja u zoni.

LITERATURA

- [1] Legac, I.: Raskrižja javnih cesta, Cestovne prometnice II, Fakultet prometnih znanosti , Zagreb, 2008.
- [2] Legac, I.: Raskrižja javnih cesta, Fakultet prometnih znanosti , Zagreb, 2006.
- [3] Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnog toka, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.
- [4] Dadić I., Kos G.: Teorija i organizacija prometnih tokova (skripta), FPZ, Zagreb. 2007
- [5] Prometno tehnološko projektiranje, nastavni materijali, Sveučilište u Zagrebu, FPZ, 2015/2016
- [6] Brlek, P., Dadić, I., Šoštarić, M.: Prometno tehnološko projektiranje (autorizirana predavanja, radna verzija), Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.
- [7] Novačko, L., Pilko, H.: Cestovne prometnice II, Upute za auditorne vježbe i seminarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.
- [8] Zakon o sigurnosti prometa na cestama, NN 67/2008
- [9] Thomson, R., Izvješće o Generalnom prometnom planu, Gradsko poglavarstvo Grada Zagreba, Zagreb, 1999.
- [10] Master plan prometnog sustava Grada Zagreba, Zagrebačke županije i Krapinsko-zagorske županije
- [11] Kavran, Z., Grgurević, I.: Prometno planiranje u gradovima, auditorna predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016.
- [12] Brčić, D., Šimunović, Lj., Slavulj, M.: Upravljanje prijevoznom potražnjom u gradovima, Priručnik, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2016.
- [13] Slavulj M.: Brojanje prometa, nastavni materijali, Sveučilište u Zagrebu, FPZ, Zagreb, 2010.
- [14] Odluka od donošenju Generalnog urbanističkog plana Grada Zagreba, Skupština Grada Zagreba, Zagreb, 2016.
- [15] Sigurnost cestovnog i gradskog prometa I, nastavni materijali, Sveučilište u Zagrebu, FPZ, Zagreb, 2010.
- [16] Cerovac V.: Tehnika i sigurnost prometa, Sveučilište u Zagrebu, FPZ, Zgareb 2001.
- [17] PTV Vissim 9 User manual, Karlsruhe, Njemačka, 2016.
- [18] Novačko, L.: Modeliranje i planiranje u cestovnom prometu, autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti, akademska godina 2016./2017.

- [19] Vujić, M.: Sustav dinamičkih prioriteta za vozila javnog gradskog prijevoza u automatskom upravljanju prometom – doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
- [20] Ślādkowski A., Pamuła W., Intelligent Transportation Systems – Problems and Perspectives, Switzerland, 2016.
- [21] Mladenović M. N., Stevanović, A., Kosonen I., Glavić D., Adaptive Traffic Control Systems: Guidelines for Development of Functional Requirements, Munich, 2015.
- [22] Lanović, Z.: Materijali za predavanja iz kolegija Cestovna telematika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb ak. godina 2013./14.
- [23] Zavod za prometnu signalizaciju: Oznake na kolniku, nastavni materijali iz kolegija Vizualne informacije u prometu

Internetski izvori

- [24] <https://www.zgceste.hr/> (Pristupljeno : lipanj 2019.)
- [25] <http://www.zagreb.hr/postupak-izrade-i-donosjenja-prostornih-planova/60657> (Pristupljeno : lipanj 2019.)
- [26] <http://www.zagreb.hr/generalni-urbanisticki-plan-grada-zagreba-gup/89066> (Pristupljeno : lipanj 2019.)
- [27] <http://www.zagreb.hr/prometna-studija/664> (Pristupljeno : lipanj 2019.)
- [28] <https://www.google.com/maps/place/> (Pristupljeno : lipanj 2019.)
- [29] <https://www.zagreb.hr/> (Pristupljeno : travanj 2019.)
- [30] <https://www.zagreb.hr/statisticki-ljetopis-grada-zagreba/1044> (Pristupljeno : svibanj 2019.)
- [31] Google Earth, pristupljeno (Pristupljeno : svibanj 2019.)
- [32] <https://www.openstreetmap.org> (Pristupljeno : lipanj 2019.)
- [33] <http://shop.panasonic.com/about-us-latest-news-news/10262016-intelligenttransport.html> (Pristupljeno : lipanj 2019.)
- [34] <https://www.openstreetmap> (Pristupljeno : kolovoz 2019.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Karta javnih cesta na području Grada Zagreba	11
Slika 2. Kategorija cesta u Gradu Zagrebu	12
Slika 3. Gradske četvrti Grada Zagreba.....	14
Slika 4. Šira zona obuhvata.....	15
Slika 5. Uža zona obuhvata.....	16
Slika 6. Sjeverni privoz raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	18
Slika 7. Raskrižje Avenija Marina Držića - Ulica kneza Višeslava	18
Slika 8. Raskrižje Ulica kneza Višeslava - Kružićeva ulica	19
Slika 9. Južni privoz raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića.....	19
Slika 10. Zapadni privoz raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	20
Slika 11. Raskrižje Ulica kneza Branimira – Strojarska ulica – Kružićeva ulica zapadni privoz	20
Slika 12. Raskrižje Ulica kneza Branimira – Strojarska ulica – Kružićeva ulica sjeverni privoz	21
Slika 13. Raskrižje Ulica kneza Branimira – Strojarska ulica – Kružićeva ulica južni privoz.....	21
Slika 14. Istočni privoz raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	22
Slika 15. Odnosi između prometnih tokova.....	24
Slika 16. Preplitanje prometnih tokova na dionici ceste između raskrižja	25
Slika 17. Nepotrebna presijecanja prometnih tokova.....	26
Slika 18. Raspodjela satnih protoka vozila u periodu dana	29
Slika 19. Satni protoka vozila u godini dana svrstanih po veličini (kumulativno)	30
Slika 20. Dnevna neravnomjernost u periodu od 7 dana	31
Slika 21. Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu jednog mjeseca	31
Slika 22. Mjesečna neravnomjernost protoka vozila u periodu godine.....	32
Slika 23. Vršni promet u tijeku promatranog sata.....	33
Slika 24. Prikaz dolaska lijevih skretača na raskrižje Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića.....	40
Slika 25. Dnevna prometna opterećenja pješačkog i biciklističkog prometa	41
Slika 26. Prikaz postojećeg stanja zone obuhvata.....	42
Slika 27. Prometno opterećenje [voz/dan] raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića.....	43
Slika 28. Primjer za slučaj konflikata: motorno vozilo koje napušta (1) i motorno vozilo koje ulazi u raskrižje (2).....	46
Slika 29. Raspored odvijanja faza na raskrižju Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	48
Slika 30. Signalni plan raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	51
Slika 31. Signalni plan raskrižja Ulica kneza Branimira - Strojarska ulica - Kružićeva ulica	52
Slika 32. Signalni plan raskrižja Ulica kneza Višeslava - Avenija Marina Držića - Šubićeva ulica	52
Slika 33. Prikaz adaptivnog upravljanja semaforiziranim raskrižjima.....	57
Slika 34. Varijanta 1 - Adaptivno upravljanje prometom na raskrižju Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	58

Slika 35. Prikaz transverzalnih pravaca u promatranom području.....	60
Slika 36. Novi signalni plan raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	61
Slika 37. Novi signalni plan raskrižja Ulica kneza Branimira - Kružićeva ulica - Strojarska ulica	62
Slika 38. Novi signalni plan raskrižja Ulica kneza Višeslava - Avenija Marina Držića - Šubićeva ulica	62
Slika 39. Varijanta 2 - Jednosmjerno vođenje prometnih tokova u zoni Tržnice Branimir	63
Slika 40. Produžetak Ulice kneza Višeslava.....	64
Slika 41. Novi signalni plan 2 raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	65
Slika 42. Varijanta 3 - Novo vođenje prometnih tokova na sjevernom privozu u zoni raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	67
Slika 43. Simulacija postojećeg stanja raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	72
Slika 44. Simulacija Varijante 1 - Adaptivno upravljanje prometom na raskrižju Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića.....	73
Slika 45. Simulacija Varijante 2 - Jednosmjerno vođenje prometnih tokova u zoni Tržnice Branimir	74
Slika 46. Simulacija Varijante 3 - Novo vođenje prometnih tokova na sjevernom privozu u zoni raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	76

POPIS TABLICA

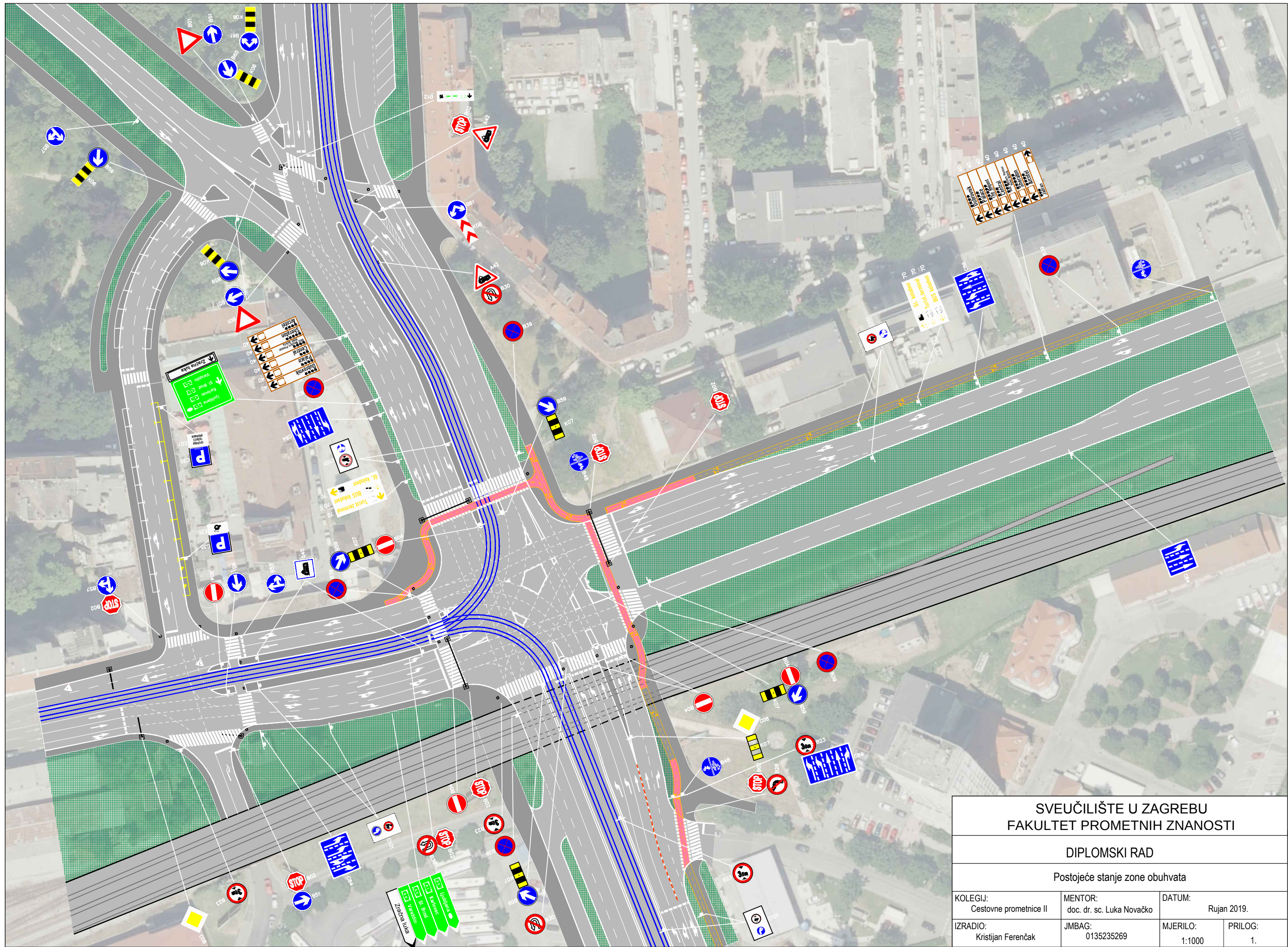
Tablica 1. Rezultati brojanja prometa na sjevernom privozu raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	36
Tablica 2. Rezultati brojanja prometa na južnom privozu raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	37
Tablica 3. Rezultati brojanja prometa na zapadnom privozu raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	38
Tablica 4. Rezultati brojanja prometa na istočnom privozu raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	38
Tablica 5. Uobičajene duljine ciklusa za određeni broj faza	45
Tablica 6. Matrica zaštitnih međuvremena	50
Tablica 7. Analiza postojećeg stanja pojedinih faza	53
Tablica 8. Razina usluge (LOS) za slučaj nesemaforiziranog i semaforiziranog raskrižja	70
Tablica 9. Prikaz rezultata simulacije postojećeg stanja	71
Tablica 10. Prikaz rezultata simulacije Varijante 1.....	72
Tablica 11. Prikaz rezultata simulacije Varijante 2.....	74
Tablica 12. Prikaz rezultata simulacije Varijante 3.....	75

POPIS GRAFIKONA

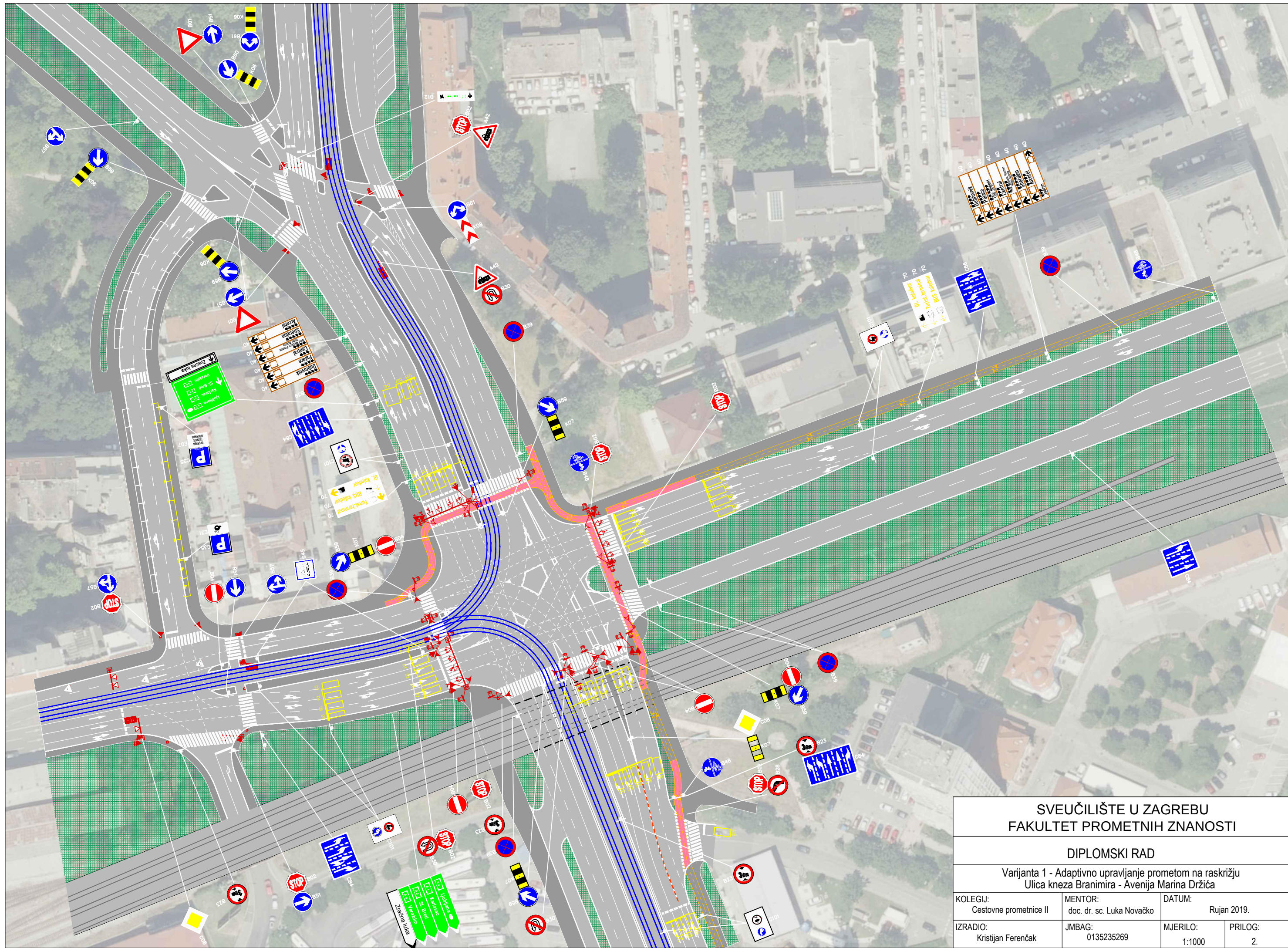
Grafikon 1. Registrirana motorna vozila u Zagrebu.....	14
Grafikon 2. Opterećenje poprečnog presjeka sjevernog privoza po broju vozila	36
Grafikon 3. Opterećenje poprečnog presjeka južnog privoza po broju vozila	37
Grafikon 4. Opterećenje poprečnog presjeka zapadnog privoza po broju vozila	38
Grafikon 5. Opterećenje poprečnog presjeka istočnog privoza po broju vozila.....	39
Grafikon 6. Rezultat brojanja prometa vozila iz smjera Šubićeve ulice	39
Grafikon 7. Rezultat brojanja prometa vozila iz smjera Ulice kneza Višeslava.....	40

POPIS PRILOGA

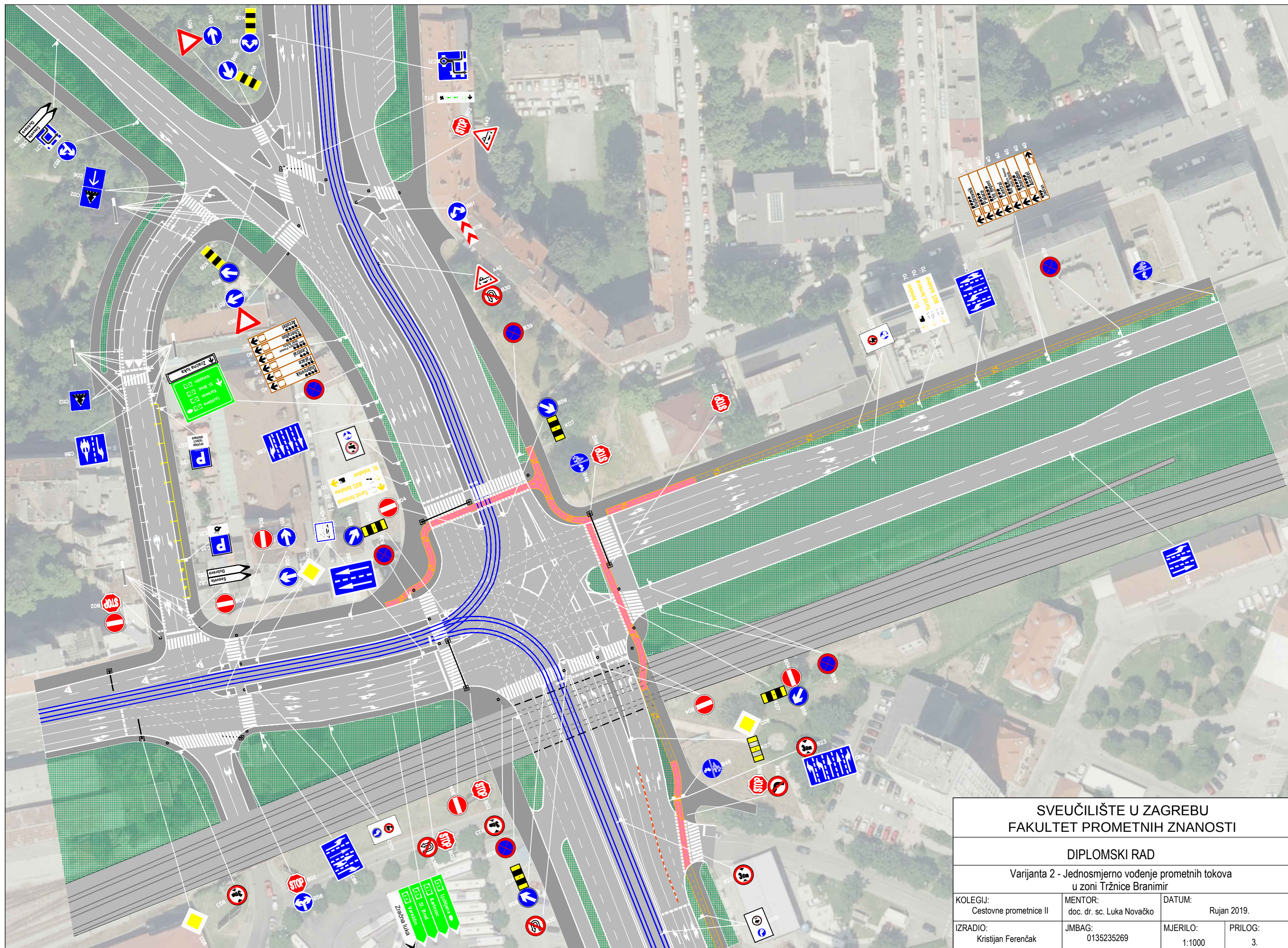
Prilog 1. - Tlocrt postojećeg stanja zone obuhvata	
Prilog 2. - Varijanta 1 - Adaptivno upravljanje prometom na raskrižju Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	
Prilog 3. - Varijanta 2 - Jednosmjerno vođenje prometnih tokova u zoni Tržnice Branimir	
Prilog 4. - Varijanta 3 - Novo vođenje prometnih tokova na sjevernom privozu u zoni raskrižja Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića	



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI			
DIPLOMSKI RAD			
Postojeće stanje zone obuhvata			
KOLEGIJ: Cestovne prometnice II	MENTOR: doc. dr. sc. Luka Novačko	DATUM: Rujan 2019.	
IZRADIO: Kristijan Ferenčak	JMBAG: 0135235269	MJERILO: 1:1000	PRILOG: 1.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI			
DIPLOMSKI RAD			
Varijanta 1 - Adaptivno upravljanje prometom na raskrižju Ulica kneza Branimira - Avenija Marina Držića			
KOLEGIJ: Cestovne prometnice II	MENTOR: doc. dr. sc. Luka Novačko	DATUM: Rujan 2019.	
IZRADIO: Kristijan Ferenčak	JMBAG: 0135235269	MJERILO: 1:1000	PRILOG: 2.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI			
DIPLOMSKI RAD			
Varijanta 2 - Jednosmjerno vođenje prometnih tokova u zoni Tržnice Branimir			
KOLEGIJ: Cestovne prometnice II	MENTOR: doc. dr. sc. Luka Novačko	DATUM: Rujan 2019.	
IZRADIO: Kristijan Ferenčak	JMBAG: 0135235269	MJERILO: 1:1000	PRILOG: 3.



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako 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 _____ diplomskog rada
pod naslovom **Optimizacija prometnih tokova na raskrižju Ulice kneza Branimira i
Avenije Marina Držića u Gradu Zagrebu**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 11.9.2019 _____

Student/ica:

Ferenčak

(potpis)