# Regulacija prometnih tokova u zoni Trga kralja Petra Krešimira IV. u Zagrebu

**Valečić, Sanja**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

*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:119:820014

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**



*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository








**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Sanja Valečić**

# REGULACIJA PROMETNIH TOKOVA U ZONI TRGA KRALJA PETRA KREŠIMIRA IV

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2017.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 21. travnja 2017.

Zavod: **Zavod za prometno planiranje**
Predmet: **Teorija prometnih tokova**

# DIPLOMSKI ZADATAK br. 4161

Pristupnik: **Sanja Valečić (0135192636)**
Studij: Promet
Smjer: Cestovni promet

Zadatak: **Regulacija prometnih tokova u zoni Trga kralja Petra Krešimira IV. u Zagrebu**

Opis zadatka:

U sklopu rada potrebno je definirati užu i širu zonu obuhvata na koju u radu definirani prijedlozi rješenja 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 postojećeg stanja potrebno je kreirati više varijanti idejnih prometnih rješenja te izabrati optimalno rješenje. Valoriziranje je potrebno provesti prema prometnim, građevinskim, prostornim te ekonomskim kriterijima.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

dr. sc. Marko Ševrović

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

**DIPLOMSKI RAD**

# REGULACIJA PROMETNIH TOKOVA U ZONI TRGA KRALJA PETRA KREŠIMIRA IV U ZAGREBU

# THE REGULATION OF TRAFFIC FLOW IN THE ZONA OF KING PETAR KREŠIMIR IV SQUARE IN ZAGREB

Mentor: Dr. Sc. Marko Ševrović

Student: Sanja Valečić

JMBAG: 0135192636

Zagreb, rujan 2017.

REGULACIJA PROMETNIH TOKOVA U ZONI TRGA KRALJA PETRA KREŠIMIRA IV U ZAGREBU

SAŽETAK

Organizacija prometnih tokova unutar cestovne prometne mreže vrlo je važna za funkcioniranje cjelokupnog prometnog sustava. Neadekvatna regulacija i vođenje prometnih tokova, uzrokuje zagušenje prometne mreže, smanjenje propusne moći te smanjenje sigurnosti odvijanja prometa. Raskrižja su vrlo važan dio cestovne infrastrukture. Istraživanje u okviru ovog diplomskog rada obuhvaća detaljnu analizu postojećeg stanja raskrižja u promatranoj zoni, koje ne zadovoljava uvijete za sigurno i nesmetano odvijanje prometnih tokova. Osim samog raskrižja ulica kneza Višeslava, Antuna Bauera i Ulice kraljice Jelene, analizirane su i ostale ulice i raskrižja u zoni obuhvata. Također, u radu je definirana zona obuhvata, makro i mikro lokacija, te je izvršeno brojanje prometa i analizirano postojeće stanje infrastrukture za motorizirani i nemotorizirani. Nadalje, provedena je i analiza prometnih tokova motoriziranog prometa, kao i tokova pješačkog i biciklističkog prometa. Nakon utvrđenih problema, izrađena su i opisana četiri varijantna rješenja, koja su potom analizirana sa aspekta odabranih kriterija kako bi se odabrala najpovoljnija varijanta.

KLJUČNE RIJEČI: regulacija prometnih tokova, analiza prometnih tokova, brojanje prometa, semaforizacija, kružni tok

THE REGULATION OF TRAFFIC FLOW IN THE ZONE OF KING PETAR KREŠIMIR IV SQUARE IN ZAGREB

SUMMERY:

The organization of traffic flows whithin the road transport network is very important for the functioning of the entire transport system. Inadeqvate regulation and management of traffic flows causes traffic conegestion, reduces capacity and traffic safety. Intersections are very important part of road infrastrukture. This thesis covers a detailed analysis of intersections in the observed zone, which doesn´t meet the requirements for achieving the safe and uncongested traffic flow conditions. The analysis primarily focuses on the intersection of prince Višeslav, Antun Bauer and queen Jelena streets, but also covers the other streets and other adjacent streets and intersections present inside the observed zone. The thesis also defines the macro and micro-location of observed area, traffic counting was performed and the existing condition of infrastructure for motorised and non-motorised traffic was analyzed. The analysis of vehicle, pedestrian and bicycle traffic flows was also performed. After indentification of the problems, four alternative solutions were developed and destribed, which were than analyzed from the aspect of the selected criteria to in order to choose the optimal solution.

KEY WORDS: Traffic flow regulation, traffic flow analysis, traffic counting, traffic signalisation, roundabout

# Sadržaj


1. UVOD ..... 1
2. Definiranje zone obuhvata ..... 3
   2.1. Definiranje makro zone obuhvata ..... 4
   2.2. Definiranje mikro zone obuhvata ..... 5
3. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA INFRASTRUKTURE ..... 7
4. ANALIZA PROMETNIH TOKOVA I BROJANJE PROMETA ..... 12
   4.1. Pojam i definicija prometnog toka ..... 13
      4.1.1. Odnosi između prometnih tokova ..... 14
      4.1.2. Vrste i struktura prometnog toka ..... 16
      4.1.3. Vremenska neravnomjernost protoka vozila ..... 18
   4.2. Brojanje prometa ..... 21
      4.2.1. Načini i metode brojanja prometa ..... 22
      4.2.2. Rezultati brojanja prometa ..... 24
   4.3. Analiza odvijanja prometnih tokova u zoni obuhvata ..... 30
5. ANALIZA PJEŠAČKO BICIKLISTIČKOG PROMETA ..... 33
   5.1. Rezultati brojanja pješačkog i biciklističkog prometa ..... 33
   5.2. Pješaci kao sudionici cestovnog prometa ..... 35
   5.3. Uvođenje biciklističkih staza ..... 36
6. VARIJANTNA IDEJNA RJEŠENJA ..... 41
   6.1. Izmjena regulacije prometnica u zoni obuhvata – varijanta 1 ..... 42
   6.2. Izmjena regulacije prometnica u zoni obuhvata – varijanta 2 ..... 45
   1.3. Prijedlog uvođenja svjetlosnih signalnih uređaja ..... 47
   1.4. Izmjena regulacije raskrižja ..... 54
7. ODABIR OPTIMALNE VARIJANTE ..... 60
   7.1. Vrednovanje varijantnih rješenja s obzirom na sigurnosni kriterij ..... 61
   7.2. Prometno tehnički aspekt varijantnih rješenja ..... 62
   7.3. Ekološki pokazatelji varijantnih rješenja ..... 63
   7.4. Prostorno urbanistički pokazatelji varijantnih rješenja ..... 64
8. ZAKLJUČAK ..... 65

POPIS LITERATURE ..... 66

POPIS SLIKA ..... 68

POPIS TABLICA ..... 69

POPIS PRILOGA..... 70

# 1. UVOD

Nagli razvoj motorizacije u svijetu, uvjetovao 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 detaljno izučenom postojećem stanju i sagledavanju 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 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 prometnu signalizaciju.

Tema ovog diplomskog rada je regulacija prometnih tokova u zoni trga Kralja Petra Krešimira IV u Zagrebu. U cestovnoj mreži promatrane zone, postoje raskrižja sa nedovoljnom propusnom moći i lošom organizacijom prometnih tokova koja dovodi do uskih grla i zagušenja prometne mreže. U cilju povećanja propusne moći, sigurnosti vožnje i općenito poboljšanja organizacije prometnih tokova u zoni obuhvata, predstavljena su četiri varijantna rješenja promatranog problema. Rad je podijeljen u osam cjelina:

1. Uvod;
2. Definiranje zone obuhvata;
3. Analiza postojećeg stanja infrastrukture;
4. Analiza prometnih tokova i brojanje prometa;
5. Analiza pješačko biciklističkog prometa;
6. Varijantna idejna rješenja;
7. Izbor optimalne varijante;
8. Zaključak.

U drugom poglavlju, definirana je zona obuhvata. Prikazana je njena makro lokacija, cestovna prometna mreža grada Zagreba, te glavni prometni pravci i autoceste koje prolaze

područjem makro zone obuhvata. Također je opisana i mikro lokacija sa prikazom svih ulica u promatranoj zoni.

U trećem poglavlju je provedena analiza postojećeg stanja infrastrukture promatrane zone. Analizirana su i opisana važnija raskrižja unutar zone, a detaljno je analizirano raskrižje Ulica kneza Višeslava, Antuna Bauera i Ulice kraljice Jelene.

Analiza prometnih tokova i brojanje prometa opisano je i prikazano u četvrtom 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.

U petom poglavlju provedena je analiza pješačkog i biciklističkog prometa. Brojanje prometa je provedeno za pješake i bicikliste. Analizirani su pješački tokovi u promatranoj zoni te stanje pješačke infrastrukture, kao i biciklistički promet, te načini i metode uvođenja biciklističkih prometnih površina.

U šestom poglavlju su detaljno opisana četiri moguća varijantna rješenja regulacije prometnih tokova u promatranoj zoni. Prva dva rješenja obuhvaćaju izmjenu regulacije prometnica u zoni obuhvata. Treće rješenje opisuje uvođenje svjetlosne prometne signalizacije sa svim potrebnim proračunima, a četvrto varijantno rješenje odnosi se na izmjenu regulacije prometa u raskrižju izgradnjom kružnog toka. Varijantna rješenja su izrađena i prikazana u programskom alatu Autocad.

Sedmo poglavlje odnosi se na analizu varijantnih rješenja te odabir optimalne varijante. Svaka varijanta posebno je opisana, analizirana i vrednovana s obzirom na četiri odabrana kriterija.

## 2. 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 parka Kralja Petra Krešimira IV, nalazi se nedaleko od samog središta grada Zagreba.

Grad Zagreb je glavni grad Republike Hrvatske, najveći grad po broju stanovnika te posebna teritorijalna, upravna i samoupravna jedinica koja ima položaj županije. Zagreb predstavlja upravno, gospodarsko, kulturno, prometno i znanstveno središte Hrvatske, a položajem spada u gradove Srednje Europe.

Smješten je u kontinentalnoj središnjoj Hrvatskoj, a proteže se na južnim obroncima Medvednice te obalama rijeke Save, kao što prikazuje slika 1. Povoljan zemljopisni smještaj, na jugozapadnom kutu Panonske nizine, između alpske, dinarske, jadranske i panonske regije, uzrok je činjenici da se grad nalazi na čvorištu prometnih putova. Grad se prostire na površini od 641 $km^2$, a područje grada (u širem smislu), osim naselja Zagreb, obuhvaća i 70 drugih naselja.




**Slika 1.** Zemljopisni smještaj grada Zagreba [1]

Kroz Zagreb prolaze sve glavne autoceste i granaju se prema raznim dijelovima Hrvatske. Prema [2] najvažnije od njih su:

- autocesta A1 ->Zagreb – Split – Dubrovnik.
- na koridoru X Transeuropske mreže, A3 Bregana - Zagreb – Lipovac. Autocesta A3 spaja sjevernu Europu s Turskom preko Balkana i Grčke.
- autocesta A6 -> Zagreb – Rijeka koja spaja glavni grad s najbližom velikom lukom na Jadranu.

Uz te tri glavne, tu su još i autoceste:

- A2 -> Zagreb – Macelj (Pripada Phyrnskoj autocesti od Nürnberga u Njemačkoj do Beograda u Srbiji),
- A4 -> Zagreb - Goričan (U Mađarskoj se nastavlja na autocestu prema Budimpešti) i
- A11-> Zagreb –Sisak.

## 2.1. Definiranje makro zone 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.

Cestovna mreža grada Zagreba treba prihvatiti sva cestovna prijevozna sredstva koja cestovnom infrastrukturom dolaze i u grad i prometuju unutar grada, što predstavlja veliki pritisak na postojeće kapacitete cestovne mreže. Cestovna mreža grada Zagreba prikazana je na slici 2. Postojeća infrastruktura teško može odgovoriti postojećoj potražnji za prometnim tokovima, pa je potrebno sustavno provoditi modernizaciju infrastrukture radi povećanja propusne moći i rasterećenja prometnica.




**Slika 2**. Prometna mreža grada Zagreba [3]

U grad Zagreb ulazi ili oko njega obilazi 6 glavnih cestovnih prometnih smjerova, kao što je navedeno u [4]:

1. *„Ulaz iz smjera zapada: Zaprešić – Podsused – Aleja grada Bologne*
2. *Ulaz iz smjera zapada: Bregana – Rakitje – Ljubljanska avenija – Slavonska avenija*
3. *Ulaz iz smjera juga: Karlovac – Lučko – Remetinec – Jadranski most –Avenija Dubrovnik – Zaprude*

4. *Ulaz iz smjera juga: Sisak – Velika Gorica –Savezne Republike Njemačke – Avenija Većeslava Holjevca*
5. *Ulaz iz smjera istoka: Slavonski Brod – Lipovljani – Novska – Ivanja Reka – Slavonska avenija*
6. *Ulaz iz smjera istoka: Varaždin – Bjelovar – Sesvete – Avenija Dubrava.*“

Predmetna zona Kralja Petra Krešimira nalazi se u četvrti Donji grad u samom središtu Zagreba. 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.

Prilikom izrade studije integriranog prometnog sustava za grad Zagreb, Zagrebačku županiju i Krapinsko zagorsku županiju 2008. godine, provedeno je istraživanje o kretanju stanovništva grada Zagreba. Kao što je prikazano na slici 3, većina kretanja stanovništva je unutar četvrti ili između dvije ili više četvrti. [5]




**Slika 3.** Kretanje stanovništva Grada Zagreba [5]

## 2.2. Definiranje mikro zone 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.

Zona parka Kralja Petra Krešimira nalazi se u samom centru četvrti Donji grad. Granica područja obuhvata sa sjeverne strane je ulica kralja Zvonimira iz koje se prema Trgu kralja Petra Krešimira spuštaju ulice Antuna Bauera, Marka Stančića i Ulica Pavla Šubića. Sa istočne strane nalaze se Ulica Ljudevita Posavskog, Ulica neznane junakinje i dijagonalno prema jugu Avenija Marina Držića. Granica područja sa istočne strane je Ulica Ivana Lepušića.

Južno od trga nalazi se ulica Petra Kružića koja vodi do južne granice područja obuhvata, odnosno Ulice kneza Branimira. Ulica kraljice Jelene proteže se cijelom zapadnom stranom parka, paralelno s njom nalaze se Ulica Tome i Petra Erdödyja i Ulica Ivana Šveara, koje okomito povezuju Ulica kralja Stjepana Tvrtka i Ulica Hrvoja Vukčića, a sjeverozapadno od Trga žrtava fašizma do Trga kralja Petra Krešimira prolazi Ulica kneza Višeslava.




**Slika 4.** Mikrolokacija promatrane zone [3]

U neposrednoj blizini Parka kralja Petra Krešimira nalazi se nekoliko velikih generatora prometa. Zonom parka prolazi Avenija Marina Držića, koja preuzima velika opterećenja iz smjera autobusnog kolodvora smještenog nedaleko od promatrane zone, kao i Branimirova ulica koja vodi do glavnog željezničkog kolodvora.

S obzirom na objekte koji okružuju park, koji je i sam po sebi važan atraktor pješačkog prometa, možemo zaključiti da su pješaci i biciklisti važan čimbenik u funkcioniranju prometnog sustava u području obuhvata. Promatrana zona prikazana je na slici 4. Zonom parka prolazi i tramvajska linija i to Ulicom Marina Držića i Pavla Šubića.

# 3. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA INFRASTRUKTURE

Analiza postojećeg stanja infrastrukture na promatranom području, provodi se radi uočavanja problema i nedostataka koji utječu na smjer njihova rješavanja. U analizu su uključene geometrijske karakteristike i stanje postojeće signalizacije i opreme koja omogućuje važeći režim odvijanja prometa, a provodi se neovisno da li se obavlja samo korekcija postojećeg sustava ili neki veći investicijski zahvat.

Infrastrukturu cestovnog prometa čine:

- Sve vrste i kategorije cesta;
- Cestovni objekti kao što su mostovi, nadvožnjaci i sl.;
- Cestovna raskrižja;
- Prometna signalizacija i oprema, te
- Parkirališne površine.

Prilikom analize postojećeg stanja osim vizualne analize, potrebno je odrediti dimenzije svih elemenata prometnice (kolnik, bankina, nogostup, biciklističke staze i sl.). Vrlo važna je i analiza prometne signalizacije i opreme, a da bi se uspješno provela, važno je poznavati i razumjeti sljedeće pravilnike:

- 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.).

Analiza prometne signalizacije i opreme može se provoditi sustavom georeferenciranog videozapisa prometnica. Sustav funkcionira na način da se sve cestovne prometnice na području obuhvata, snime kamerom iz perspektive vozača. Zatim se snimljeni videozapis prikazuje i analizira.

Osim prometnih pravaca sa najvećim opterećenjem, većina ulica unutar promatrane zone su jednosmjerne, sa parkirnim mjestima smještenim uz rub prometnice s jedne, a nerijetko i s obje strane prometnice. Pješački nogostupi nalaze se duž svih prometnica, a pješački prijelazi na svakom raskrižju.

Raskrižja možemo definirati kao točke na cestovnoj mreži na kojima se povezuju dvije ili više cesta. Na raskrižjima se prometni tokovi mogu spajati, razdvajati, preplitati ili križati. U zoni obuhvata sva raskrižja su izvedena u jednoj razini, upravljanja su horizontalnom i vertikalnom prometnom signalizacijom, a neka i svjetlosnom signalizacijom. Spomenuta su neka važnija raskrižja za funkcioniranje prometnog sustava u zoni obuhvata.

Jedno od važnijih raskrižja je križanje dviju velikih prometnica Višeslavove ulice i Avenije Marina Držića. Ovo su prometnice sa po dvije prometne trake u jednom smjeru. Prometnice su odvojene prometnim otocima koji su iskorišteni za smještaj tramvajskih stajališta, smještaj prometnih znakova i rasvjete. Tramvajska pruga prolazi Ulicom kneza Branimira, Avenijom Marina Držića i dalje Šubićevom ulicom i odmaknuta je od cestovnih

prometnica za širinu prometnog otoka. Pješački nogostupi smješteni su duž ulica, a pješački prijelaz smješten je preko Avenije Marina Držića i Višeslavove ulice.

Iduće raskrižje upravljano svjetlosnom signalizacijom je raskrižje Avenije Marina Držića koja ulazi u predmetnu zonu i sastoji se od čak tri trake u jednom smjeru i Branimirove ulice koja izlazi prema jugu u smjeru autobusnog kolodvora sa dvije prometne trake za ravno, jednom trakom za skretanje u lijevo i jednom za skretanje u desno. Ovim raskrižjem također prolazi tramvajska pruga, duž promatrane zone, od raskrižja spomenutih ulica ravno prema autobusnom kolodvoru te linija prema Glavnom željezničkom kolodvoru. Duž ulica nalaze se pješački nogostupi, a na svakom privozu pješački prijelaz.

Važno je spomenuti i raskrižje ulica Šubićeve i Zvonimirove. Ovo je također raskrižje upravljano svjetlosnom signalizacijom i sa tramvajskom prugom koja prolazi duž obje ulice. Tramvajska pruga je odvojena od cestovnih prometnica zelenim zaštitnim pojasom, a u neposrednoj blizini raskrižja, nalaze se prometni otoci sa svom pripadajućom signalizacijom i tramvajske stanice. Prometnice se također sastoje od po dva prometna traka u svakom smjeru s tim da Zvonimirova ulica ima i poseban trak za lijevo skretanje u Šubićevu ulicu. Na svim prilazima nalaze se pješački prijelazi, a duž ulica parkirališna mjesta i pješački nogostup.




**Slika 5.** Raskrižje Ulica kneza Višeslava, Antuna Bauera i Ulice kraljice Jelene [1]

U samom središtu predmetne zone, nalazi se raskrižje ulica Kneza Višeslava, Antuna Bauera i Kraljice Jelene prikazano na slici 5. Ovo raskrižje upravljano je horizontalnom i vertikalnom prometnom signalizacijom. Izvedeno je sa dvije prometne trake u jednom smjeru za promet iz Višeslavove ulice u Bauerovu ulicu. Svi privozi ovog raskrižja prikazani su na slikama, a dimenzije prometnih površina, nogostupa i zelenih zaštitnih pojaseva prikazani su u tablici.

Prilaz Višeslavove ulice je označen prometnim znakom ceste s prednošću prolaska C08 i obaveznog smjera kretanja B51, kao što je vidljivo na slici 6., nema parkirališnih mjesta, a nogostup je odvojen od prometnice zelenim zaštitnim pojasom



**Slika 6.** Privoz Višeslavove ulice – jug [1]

Bauerova ulica je jednosmjerna u smjeru prema Zvonimirovoj, prihvaća prometne tokove sa sva tri privoza i sastoji se od tri prometne trake, što je vidljivo na slici 7. Sa lijeve strane ima parkirališna mjesta postavljena uzduž prometnice, a s desne strane okomito na prometnicu.



**Slika 7.** Privoz Bauerove ulice [1]

Višeslavova ulica iz smjera Trga Žrtava Fašizma je jednosmjerna, a dozvoljeni smjer kretanja pri prolasku kroz raskrižje je ravno i lijevo. Za lijeve skretače je izveden poseban prometni trak kao što vidimo na slici 8. Privoz je obilježen znakovima ceste s prednošću prolaska C08 i dozvoljenog smjera kretanja ravno i lijevo B 56. Parkirališna mjesta su postavljena u koso, a nalaze se sa obje strane ulice. Iznimno su duž dodatne trake za lijeve skretače sa lijeve strane postavljena parkirna mjesta uzduž prometnice.



**Slika 8.** Privoz kneza Višeslava – sjever [1]

Kretanje iz Ulice kraljice Jelene izvedeno je za dva prometna traka koji prolaze ravno u Bauerovu ulicu i posebno izdvojeni trak za lijevo skretanje u Višeslavovu kao što prikazuje slika 9. Ulica je jednosmjerna, a sa obje strane su izvedena parkirališna mjesta i to s lijeve strane prometnice okomito i s desne strane uzdužno u odnosu na prometnicu. Prije ulaska u raskrižje postavljeni su znakovi B01 koji označava raskrižje sa cestom s prednošću prolaska i B57 koji označava dopušteni smjer vožnje ravno i desno. Pješački prijelazi izvedeni su za sve prilaze raskrižja, a pješački nogostupi nalaze se duž svake ulice.



**Slika 9.** Prikaz privoza kraljice Jelene [1]

Raskrižje je izvedeno sa ucrtanim prometnim otocima koji služe za vođenje prometnih tokova, povećanje sigurnosti i lakše snalaženje. Također, traka za ravno iz sjevernog privoza Višeslavove ulice, unutar raskrižja presijeca dvije prometne trake koje vode od Ulice kraljice Jelene prema Bauerovoj ulici.

U svrhu analize postojećeg stanja infrastrukture, provedeno je mjerenje dimenzija prometnica na promatranom raskrižju, a rezultati mjerenja su prikazani u tablici 1.

**Tablica 1.** Dimenzije prometnica na križanju Bauerove i Višeslavove ulice

| Križanje Bauerove, Višeslavove i Jelenine ulice u Zagrebu | Širina vozne površine [cm] | Širina parkirališnih mjesta [cm] | | Širina zaštitne zelene površine [cm] | | Širina pješačkog nogostupa [cm] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | S lijeve strane | S desne strane | S lijeve strane | S desne strane | S lijeve strane | S desne strane |
| Ulica Antuna Bauera | 900 (3*300) | 200 | 490 | nema | nema | 190 | 230 |
| Ulica kneza Višeslava (sjever) | 680 (2*340) | 215 | 500 | 390 | 400 | 425 | 380 |
| Ulica kneza Višeslava (jug) | 900 (3*300) | nema | nema | 900 | 900 | 430 | 330 |
| Ulica Kraljice Jelene | 495 | 500 | 200 | nema | 150 | 185 | 350 |

Na slici 4. vidljiva je ulica koja povezuje Bauerovu ulicu i Ulicu Marka Stančića, a služi isključivo za prihvat službenih vozila i djelatnika Ministarstva Obrane. Ulica ima širinu 385 cm i sa desne strane obilježena parkirališna mjesta uzdužno u odnosu na prometnicu.

# 4. ANALIZA PROMETNIH TOKOVA I BROJANJE PROMETA

Prometni stručnjaci svakodnevno se suočavaju sa različitim problemima unutar prometnog sustava. Jedan od takvih problema je i neusklađenost određenog prometnog sustava npr. u naseljima ili gradovima, te gledajući u širem smislu, u županijama ili državama. Da bi se uskladio prometni sustav i izbjegle negativne posljedice neracionalnog korištenja prostora, potrebno je precizno planiranje i organiziranje prometnih tokova.

Kako bi se prometni tokovi što potpunije opisali, potrebno je definirati karakteristične vrijednosti osnovnih parametara koje su važne za adekvatno opisivanje relacija između osnovnih parametara i za rješavanje konkretnih prometnih problema. Osim toga, potrebno je definirati i značajnije osobitosti prometnog toka koje opisuju zakonitosti kretanja vozila u prometnim tokovima, te detaljnije opisuju osnovne parametre, kao npr.: složenost prometnog toka, opće uvjete odvijanja prometa, sastav ili strukturu prometnog toka te vremenska neravnomjernost prometnog toka.

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. Prema [6] u gradovima je višestruka korist od takvog rješavanja odvijanja prometa, kao npr.:

- 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.

S obzirom da realni prometni tokovi najčešće pripadaju grupi složenih prometnih tokova, pojmovi osnovnih parametara moraju sadržavati podatke o kakvom se prometnom toku radi sa stajališta broja nizova i smjerova te raspodjele protoka po smjerovima, nizovima i pravcima.

Kako bi bilo moguće planirati buduće prometne tokove kao i zahvate na cestovnoj mreži, potrebno je prikupiti podatke o postojećim prometnim tokovima, odnosno brojati promet. Podaci prikupljeni brojanjem prometa koje se ponavlja kroz određeno duže razdoblje daju uvid u stanovite zavisnosti razvoja prometa.

## 4.1. Pojam i definicija prometnog toka

Prometnice su nerijetko opterećene vrlo različitim brojem vozila koja prolaze u različito vrijeme. U vršnom prometnom opterećenju, broj vozila koja prođu kroz promatrani presjek prometnice znatno se razlikuje od izvan vršnog prometnog opterećenja. U vršnom prometnom opterećenju veliki broj vozila često može izazvati repove čekanja, premale vremenske praznine za prestrojavanje ili uključivanje sa sporedne ceste, sloboda manevriranja je znatno ograničena, dok se u izvan vršnom periodu na istoj prometnici vozila kreču u slobodnom prometnom toku, najvećom sigurnosnom brzinom i potpunom slobodom manevriranja. Pojedinačno kretanje vozila nije ometano drugim vozilima na prometnici i ovisi samo o vučno-dinamičkim karakteristikama vozila, značajkama ceste te vremenskim uvjetima.

Za razliku od pojedinačnog kretanja vozila, prometni tok predstavlja kretanje dvaju ili više vozila istovremeno na istoj prometnici (na istom putu). Kako bi se pravilno vodili i uzrokovali što manje problema, potrebno ih je pojedinačno promatrati. U određenoj zoni promatranja mogu postojati dva i više prometna toka koji mogu biti različiti po svojim značajkama. Prema [6] prometni tokovi razlikuju se prema:

- tlocrtnom smještaju: linearni (na odsječku ravne ceste) ili lomljeni (često u gradovima);
- smjeru kretanja (izvoru i cilju putovanja);
- intenzitetu (broju vozila u toku);
- sastavu (osobni automobili, teretna vozila, mješoviti tok) i
- vremenu u kojem se generiraju (jutarnja ili popodnevna vršna i izvan vršna opterećenja, promet noću, vikendom, blagdanima, sezonski npr. ljetni ili zimski i sl.)

Pri korištenju osnovnih parametara prometnog toka, u opisivanju prometnih tokova i zakonitosti kretanja motornih vozila u prometnim tokovima, važno je znati i kakav je prometni tok sa stajališta broja nizova i smjerova, a prema [6] prometni tok može biti:

- Jednostavan prometni tok – sastoji se od jednog niza vozila koja se kreću u jednom pravcu i u jednom smjeru. Jednostavan prometni tok predstavlja osnovu, za definiranje fundamentalnih – teorijskih relacija između osnovnih parametara prometnog toka, ima značenje baznog (mjerodavnog) toka, a najmanji broj vozila koja mogu činiti jednostavan prometni tok, iznosi dva vozila;

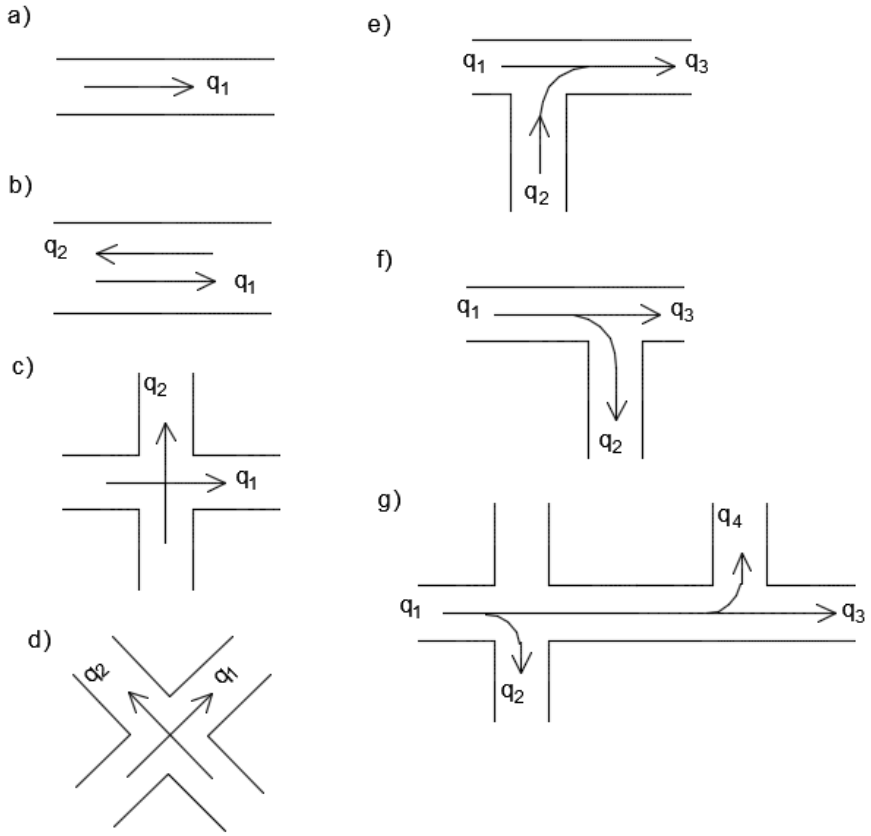
- Složeni prometni tok - sastoji se od dvaju ili više jednostavnih prometnih tokova. S obzirom na međusobne odnose nizova i smjerova može biti:

1. međusobno paralelni tokovi u istom ili suprotnom smjeru, složeni od dvaju ili više jednostavnih tokova;
2. tokovi koji se međusobno isprepliću složeni od dvaju ili više jednostavnih tokova;
3. tokovi koji se međusobno sijeku, ulijevaju ili odlijevaju, složeni od dvaju ili više jednostavnih tokova.

Prema [6] organizacija prometnih tokova definirana je na sljedeći način: "*Pod organiziranjem prometnih tokova podrazumijeva se sustavan način kretanja tokova u prometnim mrežama s ciljem optimalnog korištenja mreže s minimalnim troškovima odvijanja prometa, odnosno minimiziranjem međusobnog križanja vozila na mjestima križanja.“*

### 4.1.1. Odnosi između prometnih tokova

Sukobi između prometnih tokova događaju se na raskrižjima, a uzrok im je organiziranost i usmjerenje prometnih tokova. Iz tog razloga važno je detaljno proučiti postojeće stanje i sagledati mogućnosti izmjene radi poboljšanja postojećeg stanja. S obzirom da odnosi među prometnim tokovima mogu biti vrlo složeni, nastoji se što točnije ih opisati sa što manje pokazatelja. Na slici 10. prikazani su odnosi među prometnim tokovima.




**Slika 10.** Odnosi između prometnih tokova

Izvor [6]

Prema [6] odnosi među prometnim tokovima mogu biti različiti, a svrstani su u nekoliko kategorija:

- odvijanje jednosmjernog prometnog toka, koji može biti prilikom vožnje jednosmjernom ulicom ili pokraj parkiranih automobila, a);
- mimoilaženje – usporedno kretanje dvaju prometnih tokova u suprotnom smjeru kod kojih ne dolazi do međusobnog utjecaja, b);

- presijecanje prometnih tokova – do presijecanja dolazi kada prometni tokovi prolaze jedan kroz drugi, sučeljavaju se, c) i d);
- predstavlja ulijevanje jednog toka u drugi, e);
- odlijevanje – razdvajanje jednog prometnog toka u dva, f);
- preplitanje – je situacija u kojoj se dva toka spoje, teku zajedno, prepliću te se opet razdvoje. To je redovita pojava na kružnim raskrižjima, a događa se i kod višetračnih prometnica.

Najvažniji odnosi među prometnim tokovima su presijecanje, ulijevanje i odlijevanje, a događaju se na raskrižjima u razini, dok je preplitanje češće na dionicama između raskrižja.

Uličnu mrežu bismo mogli promatrati kao skup elemenata, odnosno dionica ulične mreže, koji se može opisati sa dva parametra:

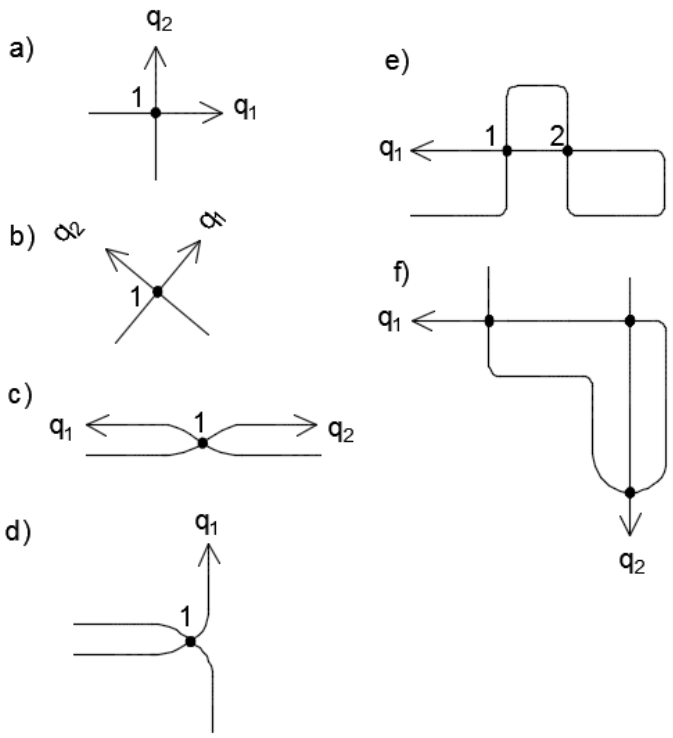
- vrstom smjernosti – može biti jednosmjerna ili dvosmjerna i
- usmjerenosti – jednosmjerna i vožnja lijevom ili desnom stranom. [6]

Usmjerenost ulične mreže utječe na intenzitet presijecanja, preplitanja, ulijevanja i odlijevanja. Cestovna mreža se sastoji od kombinacija elemenata koje uzrokuju različita rješenja. U nekim dijelovima mreže nužno je uvoditi jednosmjerno kretanje vozila i postavljati razne usmjerenosti iako se tim postupcima povećava ili smanjuje nepotrebno presijecanje prometnih tokova što utječe na odnose među prometnim tokovima. [6]

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. [6]

Nepotrebna presijecanja, mogu se događati u jednoj ili više točaka, a česta su kod prometnih tokova pješaka i vozila javnog gradskog prijevoza. Na slici 11 su prikazana sljedeća presijecanja:

- 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 11.** Nepotrebna presijecanja prometnih tokova

Izvor [6]

### 4.1.2. Vrste i struktura prometnog toka

Prema [6] s obzirom na uvjetima odvijanja prometa, prometne tokove dijelimo na:

- Neprekinute prometne tokove – predstavljaju mjerodavni prometni tok za definiranje fundamentalnih – teorijskih relacija između osnovnih parametara prometnog toka. Na uvjete kretanja vozila djeluje jedino njihova međusobna interakcija koja je ovisna o gustoći prometnog toka, a ostvaruje se na prometnim dionicama bez ulijevanja, izlijevanja i preplitanja vozila, odnosno na dionicama autocesta;
- Neprekinute ali djelomično ometane prometne tokove – kod kojih na uvjete kretanja vozila osim njihove međusobne interakcije, utječu i promjene prometne trake prilikom ulijevanja, izlijevanja i preplitanja vozila u području deniveliranih prometnih čvorišta;
- Povremeno prekinute prometne tokove – koji predstavljaju uvjete kretanja vozila u kojima postoji potreba za vremenskom podjelom prava korištenja prometnica od strane vozila čiji se pravci kretanja međusobno sijeku u istoj razini.

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). [7]

Prometni tok sastavljen od jedne vrste motornih vozila (automobila, autobusa, teretnih vozila isl.) prema [7] se naziva homogeni prometni tok. U teoriji, on može biti sastavljen od putničkih automobila potpuno istih tehničko – eksploatacijskih karakteristika kojima upravljaju vozači potpuno istih psihofizičkih osobina i motiviranosti. Takav prometni tok ima značenje mjerodavnog prometnog toka i naziva se idealan – homogen prometni tok. S obzirom da u praksi takav tok ne postoji, za mjerodavni (bazni) prometni tok uzima se približno idealan tok koji je sastavljen od 100 % putničkih automobila.

Nehomogen ili mješovit tok je realan tok i sastavljen je od dva ili više različitih vrsta motornih vozila. Postotni udio ostalih vozila (autobus, teretno vozilo isl.) u prometnom toku predstavlja stupanj nehomogenosti prometnog toka i iznosi (1):

$$P_{k_v} = \frac{q - q_{pA}}{q} \cdot 100\% \quad (1)$$

Gdje je:

$P_{k_v}$ – 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. [7]

Postotni udio putničkih automobila u prometnom toku definira stupanj homogenosti prometnog toka, a iznosi (2):

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

Gdje je:

$P_{pA}$ – postotni udio putničkih automobila u prometnom toku;
q – ukupan broj vozila u prometnom toku;
$q_{kv}$ - ukupan broj ostalih vozila.

Najveća razlika između realnog i idealnog toka prema [7] je u karakteristici homogenosti toka. Na idealnom homogenom prometnom toku su bazirana sva teorijska uopćavanja u teoriji prometnog toka, a praktična uopćavanja na toku putničkih automobila odnosno približno idealnom prometnom toku. Kako bi se opisali stvarni prometni tokovi,

realni nehomogeni prometni tok potrebno je pretvoriti u uvjetno homogeni prometni tok koji se izražava u jedinicama putničkih automobila (EJA).

Jedinice putničkih automobila dobiju se pomoću određenih ekvivalenata ($E_i$) čija veličina je u funkciji vrste vozila, dužine vozila, vozno-dinamičkih karakteristika vozila, karakteristika puta i praktičnog zadatka koji se rješava. Pojedine vrste vozila množe se ekvivalentima čija je relativna vrijednost pomoću koje se pojedine vrste vozila transformiraju u EJA iznose:

- Za motocikla (E<1);
- Za putničke automobile (E=1);
- Za sva ostala vozila (E>1). [3]

### 4.1.3. 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 il sl., i mogu izazvati neravnomjernost protoka vozila na nekom dijelu mreže. [7]

Izuzetan značaj pri definiranju projektnih elemenata i donošenju odluka o opravdanosti izgradnje prometnica, prema [7], ima vremenska neravnomjernost, a važna je i za mjere koje se poduzimaju u reguliranju i upravljanju prometom na prometnoj mreži. Još od ranih faza razvoja motorizacije, neravnomjernost protoka je bila od velikog značenja za odluke u procesu planiranja cestovnih prometnica. Kako bi definirali kriterije za praktično korištenje u planiranju, projektiranju i eksploataciji mreže, prometni stručnjaci su usmjereni što boljem upoznavanju karakteristika vremenske neravnomjernosti.

Ove karakteristike su od posebnog značenja za potrebe prakse i povezane su sa cikličnostima u nastojanju zahtjeva za prijevozom ljudi i dobara. Prema [7] „*Zakonitosti 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.“*

Prema literaturi [17], navedeno je da satna neravnomjernost u tijeku jednog dana obuhvaća period od 24 h, prikazuje variranje protoka po pojedinim satovima, a iskazuje se odnosom između srednjeg satnog protoka u periodu cijelog dana i protoka u pojedinim satima. Broj sati sa minimalnim i maksimalnim vrijednostima faktora neravnomjernosti značajne su za donošenje praktičnih odluka.

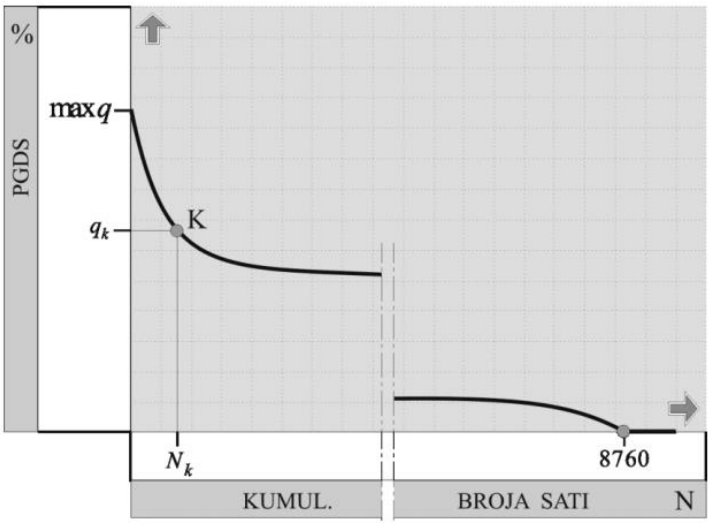
S obzirom na vrijeme promatranja tokovi mogu biti unutar radnog dana, vikenda, zimskih ili ljetnih dana i sl., a s obzirom na funkciju puta kome pripada promatrana dionica, mogu biti na gradskim, izvangradskim, prigradskim prometnicama i sl.).

Satna neravnomjernost protoka tokom cijele godine obuhvaća variranje satnog protoka za svih 8760 sati u godini. Ova neravnomjernost bila je poznata u SAD-u još od 1941. g, kada je iniciran kriterij 30-og sata, a 1950 je praktično ostvaren uvođenjem automatskih brojača prometa. Kriterij 30-og sata tada se smatrao relevantnim za dimenzioniranje kapaciteta prometnica i stručnjaci su tvrdili da dovodi do optimalnog odnosa između troškova uloženih u prometnicu i efekata u eksploataciji. Kriterij 30-og sata predstavlja prvi kriterij za dimenzioniranje poprečnog profila prometnica, koji prema [4] kvantitativno iznosi:

$$q_{30} = (0{,}14\ do\ 0{,}16)PGDP$$

PGDP – prosječni godišnji dnevni promet

Karakteristika satne neravnomjernosti protoka u tijeku 8760 sati u godini iskazuje se dijagramom svrstanih po veličini satnih protoka vozila u svih 8760 sati na dionici prometnice, a prikazani su na slici 12. Prema prvim rezultatima brojanja prometa, dijagrami satnih protoka vozila svrstanih po veličini, na svim prometnicama imaju u osnovi isti oblik. [7]




**Slika 12.** Satni protok vozila u godini dana svrstanih po veličini (kumulativno) [7]

Prema [7] „*Veličine u dijagramu predstavljaju:*

- *PGDS – prosječni godišnji dnevni protok;*
- *K – koljeno dijagrama;*

- $q_k$ *- relativni satni protok izražen u % od PGDS u kome se javlja koljeno dijagrama;*
- $N_k$ *– ukupan broj sati godišnje u kojima je protok veći ili jednak sa protokom (*$q_k$*) koji odgovara koljenu i*
- $Max_q$ *– 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. $q_m$= (0,065 do 0,08) PGDP. [7]

Pored ostalog vremenska neravnomjernost satnih protoka vozila, ovisna je i o funkciji promatrane prometne dionice u mreži cestovnih prometnica. Tako možemo promatrati izvangradsku mrežu, prigradsku mrežu, gradsku mrežu, magistralni izvangradski put, turistički izvangradski put i sl., a svaka od tih kategorija mreže ima svoj karakterističan dijagram svrstanih satnih protoka vozila.

Prema [7] dnevna neravnomjernost u tijeku tjedna obuhvaća period od sedam dana, u kojemu se promatra variranje protoka vozila po pojedinim danima, a iskazuje se odnosom između srednjeg dnevnog protoka sedmodnevnog perioda i protoka u pojedinim danima.

Dnevna neravnomjernost u tijeku mjeseca iskazuje se odnosom između protoka vozila u pojedinim danima i srednjeg dnevnog protoka u periodu promatranog mjeseca. Promatraju se svi dani unutar cijelog mjeseca, a na razini godine je moguće prepoznavati pojedine mjesece kao npr. ljetne ili zimske.

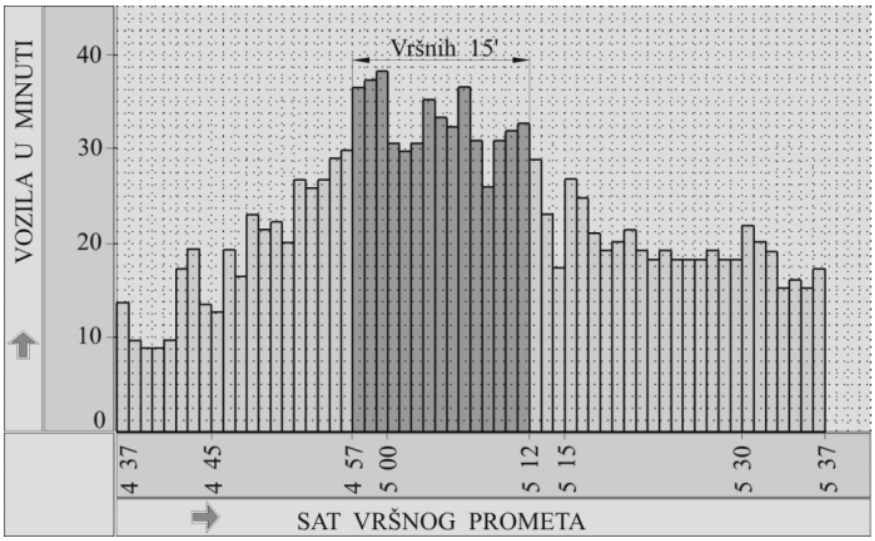
Kod dnevne neravnomjernosti u tijeku godine promatra se variranje veličine prometnog toka svakog dana u toku cijele godine, a iskazuje se protokom vozila u pojedinom danu u odnosu na prosječni godišnji dnevni promet.

Mjesečna neravnomjernost u tijeku cijele godine obuhvaća period od 12 mjeseci, a predstavlja variranje prosječnog dnevnog prometa po mjesecima. Prikazuje se kao prosječni dnevni prometni tok po mjesecima u odnosu na prosječni godišnji dnevni promet. Značajan je indikator za prepoznavanje karaktera prometnih tokova i funkcije promatrane prometnice u mreži.

Poznavanje neravnomjernosti protoka po manjim vremenskim jedinicama od jednog sata u okviru vršnog sata, neophodna je za praktičnu primjenu u planiranju, projektiranju i upravljanju prometom. Prema [7], za opisivanje uvjeta u prometnom toku posebnu ulogu ima faktor vršnog sata ($f_{vs}$).

Veličina, gustoća, brzina i sastav prometnog toga mijenjaju se iz minute u minutu. Kako bi se što preciznije opisala dinamika kretanja vozila unutar jednog sata (koji predstavlja osnovnu vremensku jedinicu za mjerenje protoka i kapaciteta) uvodi se faktor vršnog sata.

Faktor vršnog sata predstavlja odnos ukupnog protoka u vršnom satu i ekspandiranog vršnog t-minutnog protoka, a najveća vrijednost mu iznosi 1 ka što je navedeno u [7]. Period od jednog sata dijeli se na više kraćih perioda u kojima se promatra i analizira prometni tok. Tako dobiveni podaci koriste se pri analizi kapaciteta i razine usluge LoS, najčešće kod semaforiziranih raskrižja u razini i autoputa.




**Slika 13.** Vršni promet u tijeku promatranog sata [7]

Slika 13. 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. [7]

## 4.2. Brojanje prometa

Razvojem cestovnog prometa i povećanjem broja osobnih vozila na prometnicama, javila se potreba za kontrolom i evidencijom prometnih tokova. Podaci o opterećenjima određenih prometnica počeli su se prikupljati brojanjem prometa. U početku je to brojanje bilo ručno, a razvojem tehnologija, pojavila se mogućnost automatiziranog brojanja prometa.

Brojenje prometa provodi se kako bi se dobio uvid u postojeće stanje na promatranoj dionici prometnice, odnosno dijelu cestovne prometne mreže. Podaci dobiveni brojanjem prometa osim uvida u nedostatke postojećeg stanja, koriste se za donošenje odluke o pravcima djelovanja u vidu rekonstrukcije, izgradnje novih prometnih pravaca ili na provođenje ostalih mjera poboljšanja postojećeg i budućeg prometa. [8]

U [8] je navedeno: *„Generalno gledajući, prikupljanje podataka o prometu odnosno brojenje prometa potrebno je radi:*

- *Prometnog i urbanističkog planiranja;*
- *Planiranja perspektivne prometne mreže nekog većeg područja ili oblikovanja nekog prometnog čvora;*
- *Eventualne rekonstrukcije postojeće prometne mreže i izgradnje novih prometnih pravaca.“*

### 4.2.1. 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 [9] 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 [9] 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.

Prema [8] u praksi razlikujemo dvije vrste ručnog brojanja prometa, a to su:

- Statičko brojanje (u presjeku prometnice) i
- Dinamičko brojanje (brojenje prometnog toka).

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. [8]

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.

Prema literaturi [8] *„Postoji više metoda brojenja prometa, a neke od njih su:*

- *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 Prädelu.“*

Prednosti automatskog brojanja prometa prema [9]su:

- 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:

- 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. [10]

U literaturi [10] navedeno je nekoliko tipova automatskih brojila:

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

### 4.2.2. Rezultati brojanja prometa

Brojanje prometa može se provoditi tokom jednog ili više dana, a relevantan period za brojanje prometa tijekom tjedna je srijeda ili četvrtak. Za vremenski period brojanja potrebno je odabrati mjerodavan satni period tijekom promatranog dana, odnosno jutarnji i popodnevni vršni period.

Za potrebe analize raskrižja Ulica kneza Višeslava, Antuna Bauera i kraljice Jelene te zone parka Kralja Petra Krešimira IV izvršeno je ručno brojanje prometa u srijedu, 02. kolovoza 2017. godine u jutarnjem vršnom satu od 07:30 - 08:30 h i u popodnevnom vršnom satu od 15:45 – 16:45. Brojanje je izvršeno izdvojeno za svaki privoz u raskrižju u intervalima od 15 minuta, a vozila su raspoređena u nekoliko kategorija. Svaka kategorija množena je sa pripadajućim koeficijentom, kao što je prikazano u tablici 3, kako bi se dobilo prometno opterećenje prikazano u broju vozila i EJA (ekvivalent jedinice automobila) jedinicama.

**Tablica 2.** Vrijednosti koeficijenata EJA za određene vrste vozila

| Vrsta vozila | Koeficijent za konverziju vozila u EJA |
|---|---|
| Osobni automobil | 1 |
| Laka teretna vozila | 1,5 |
| Teška teretna vozila | 2 |
| Motocikl | 0,7 |
| Autobus | 2 |

Izvor: [11]

Prvo brojačko mjesto je sjeverni privoz Višeslavove ulice, a brojana su vozila koja iz te ulice idu ravno kroz raskrižje ili skreću lijevo u Ulicu Antuna Bauera. Desno skretanje nije moguće zbog jednosmjerne ulice. Brojanje je provedeno u jutarnjem i popodnevnom vršnom satu. Rezultati brojanja u jutarnjem vršnom opterećenju prikazani su u tablicama 3. i 4. Ukupan broj vozila koji su prošli promatranim privozom je 264 od čega 240 vozila ide ravno, a 24 ih skreće lijevo.

**Tablica 3.** Rezultati brojanja prometa na sjevernom privozu Višeslavove ulice – vozila koja idu ravno (07:30-08:30)

| smjer | 15` interval | Osobni automobil | Laka teretna vozila | Teška teretna vozila | Autobusi | Motocikli |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ulica kneza Višeslava - sjever | 0`-15` | 68 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| | 15`-30` | 51 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 30`-45` | 54 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| | 45`-60` | 48 | 3 | 1 | 0 | 1 |
| | Ukupno | 221 | 10 | 3 | 2 | 4 |
| | EJA | 331,5 | 15 | 6 | 4 | 2,8 |
| **Sveukupno vozila** | | **240** | | | | |
| **Sveukupno EJA** | | **359,3** | | | | |

**Tablica 4.** Rezultati brojanja prometa na sjevernom privozu Višeslavove ulice – vozila koja skreću lijevo (07:30-08:30)

| smjer | 15` interval | Osobni automobil | Laka teretna vozila | Teška teretna vozila | Autobusi | Motocikli |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ulica kneza Višeslava - sjever | 0`-15` | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 15`-30` | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 30`-45` | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 45`-60` | 4 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | Ukupno | 22 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | EJA | 33 | 1,5 | 0 | 0 | 0,7 |
| **Sveukupno vozila** | | **24** | | | | |
| **Sveukupno EJA** | | **35,2** | | | | |

Tablice 5. i 6. prikazuju popodnevno vršno opterećenje na sjevernom privozu Višeslavove ulice. Ukupan broj vozila koja su prošla kroz promatrani privoz je 229 od kojih 190 nastavljaju ravno kroz raskrižje dok ih 39 skreće lijevo.

**Tablica 5.** Rezultati brojanja prometa na sjevernom privozu Višeslavove ulice – vozila koja idu ravno (15:45-16:45)

| smjer | 15` interval | Osobni automobil | Laka teretna vozila | Teška teretna vozila | Autobusi | Motocikli |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ulica kneza Višeslava - sjever | 0`-15` | 42 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| | 15`-30` | 41 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | 30`-45` | 43 | 4 | 1 | 1 | 0 |
| | 45`-60` | 46 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| | Ukupno | 172 | 9 | 3 | 3 | 3 |
| | EJA | 258 | 13,5 | 6 | 6 | 2,1 |
| **Sveukupno vozila** | | **190** | | | | |
| **Sveukupno EJA** | | **285,6** | | | | |

**Tablica 6.** Rezultati brojanja prometa na sjevernom privozu Višeslavove ulice – vozila koja skreću lijevo (15:45-16:45)

| smjer | 15` interval | Osobni automobil | Laka teretna vozila | Teška teretna vozila | Autobusi | Motocikli |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ulica kneza Višeslava - sjever | 0`-15` | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | 15`-30` | 11 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | 30`-45` | 7 | 4 | 0 | 0 | 2 |
| | 45`-60` | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | Ukupno | 28 | 6 | 1 | 1 | 3 |
| | EJA | 42 | 9 | 2 | 2 | 2,1 |
| **Sveukupno vozila** | | **39** | | | | |
| **Sveukupno EJA** | | **57,1** | | | | |

Drugo brojačko mjesto je na privozu Ulice kraljice Jelene. Iz ove ulice, vozila se mogu kretati ravno u Ulicu Antuna Bauera u koju vode dvije prometne trake ili desno u Višeslavovu ulicu. Kretanje vozila u lijevo nije moguće zbog jednosmjerne ulice. U tablicama 7. i 8. prikazani su rezultati brojanja prometa za jutarnji vršni sat. Kroz privoz je prošlo 267 vozila od kojih 47 idu ravno, a 220 ih skreće desno.

**Tablica 7.** Rezultati brojanja prometa na privozu Ulice kraljice Jelene – vozila koja idu ravno (07:30-08:30)

| smjer | 15` interval | Osobni automobil | Laka teretna vozila | Teška teretna vozila | Autobusi | Motocikli |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ulica kneza Višeslava - sjever | 0`-15` | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 15`-30` | 13 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | 30`-45` | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 45`-60` | 19 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | Ukupno | 44 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| | EJA | 66 | 3 | 2 | 0 | 0 |
| **Sveukupno vozila** | | **47** | | | | |
| **Sveukupno EJA** | | **71** | | | | |

**Tablica 8.** Rezultati brojanja prometa na privozu Ulice kraljice Jelene – vozila koja skreću desno (07:30-08:30)

| smjer | 15` interval | Osobni automobil | Laka teretna vozila | Teška teretna vozila | Autobusi | Motocikli |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ulica kneza Višeslava - sjever | 0`-15` | 59 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| | 15`-30` | 53 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| | 30`-45` | 50 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| | 45`-60` | 44 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| | Ukupno | 206 | 7 | 1 | 0 | 6 |
| | EJA | 309 | 10,5 | 2 | 0 | 4,2 |
| **Sveukupno vozila** | | **220** | | | | |
| **Sveukupno EJA** | | **325,7** | | | | |

Tablice 9. I 10. Prikazuju popodnevno vršno opterećenje za prilaz Ulice kraljice Jelene. Ukupni broj vozila koja su prošla ovim privozom je 267, od kojih 77 vozila ide ravno, a 190 skreće desno.

**Tablica 9.** Rezultati brojanja prometa na privozu Ulice kraljice Jelene – vozila koja idu ravno (15:45-16:45)

| smjer | 15` interval | Osobni automobil | Laka teretna vozila | Teška teretna vozila | Autobusi | Motocikli |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ulica kneza Višeslava - sjever | 0`-15` | 9 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | 15`-30` | 22 | 3 | 0 | 1 | 1 |
| | 30`-45` | 16 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | 45`-60` | 20 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | Ukupno | 67 | 5 | 2 | 2 | 1 |
| | EJA | 100,5 | 7,5 | 4 | 4 | 0,7 |
| **Sveukupno vozila** | | **77** | | | | |
| **Sveukupno EJA** | | **116,7** | | | | |

**Tablica 10.** Rezultati brojanja prometa na privozu Ulice kraljice Jelene – vozila koja skreću desno (15:45-16:45)

| smjer | 15` interval | Osobni automobil | Laka teretna vozila | Teška teretna vozila | Autobusi | Motocikli |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ulica kneza Višeslava - sjever | 0`-15` | 33 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | 15`-30` | 38 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| | 30`-45` | 60 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| | 45`-60` | 44 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| | Ukupno | 175 | 7 | 3 | 1 | 4 |
| | EJA | 262,5 | 10,5 | 6 | 2 | 2,8 |
| **Sveukupno vozila** | | **190** | | | | |
| **Sveukupno EJA** | | **283,8** | | | | |

Brojanje se održalo i na privozu Ulice kneza Višeslava. Kretanje iz ove ulice moguće je jedino u desno u Ulicu Antuna Bauera. Iz Višeslavove u Bauerovu vode dvije prometne trake. Brojanje je provedeno u jutarnjem u popodnevnom vršnom opterećenju, a razlike su prikazane u tablicama 11. i 12.. Tablica 12. prikazuje jutarnje vršno opterećenje u kojem je prošlo 537 vozila, a tablica 13. prikazuje popodnevno vršno opterećenje u kojem je promatranim presjekom prošlo 557 vozila.

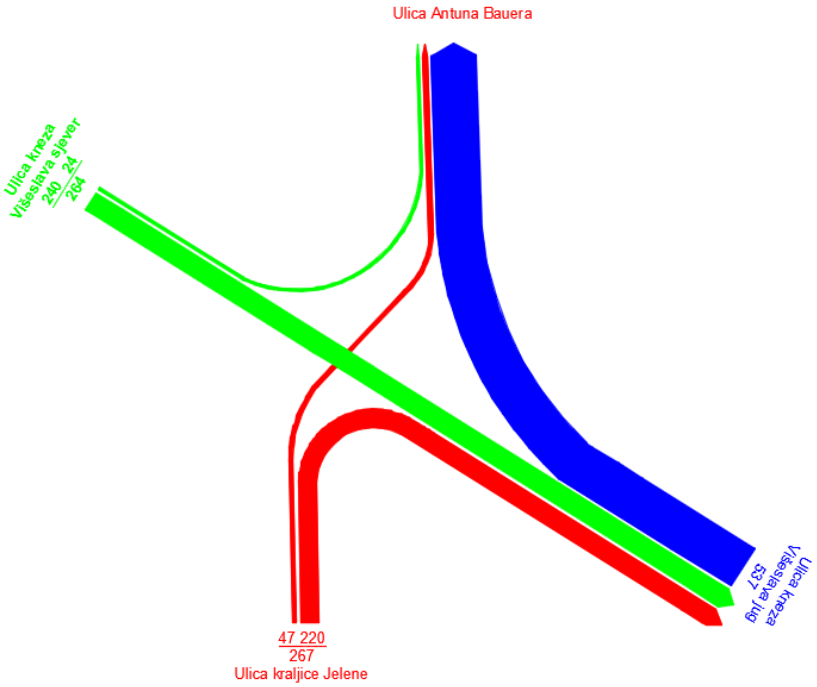
**Tablica 11.** Rezultati brojanja prometa na južnom privozu Ulice kneza Višeslava – vozila koja skreću desno (07:30-08:30)

| smjer | 15` interval | Osobni automobil | Laka teretna vozila | Teška teretna vozila | Autobusi | Motocikli |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ulica kneza Višeslava - jug | 0`-15` | 148 | 9 | 1 | 0 | 1 |
| | 15`-30` | 111 | 3 | 3 | 0 | 3 |
| | 30`-45` | 122 | 5 | 2 | 0 | 5 |
| | 45`-60` | 110 | 6 | 6 | 0 | 2 |
| | Ukupno | 491 | 23 | 12 | 0 | 11 |
| | EJA | 529 | 34,5 | 24 | 0 | 7,7 |
| **Sveukupno vozila** | | **537** | | | | |
| **Sveukupno EJA** | | **595,2** | | | | |

**Tablica 12.** Rezultati brojanja prometa na južnom privozu Ulice kneza Višeslava – vozila koja skreću desno (15:45-16:45)

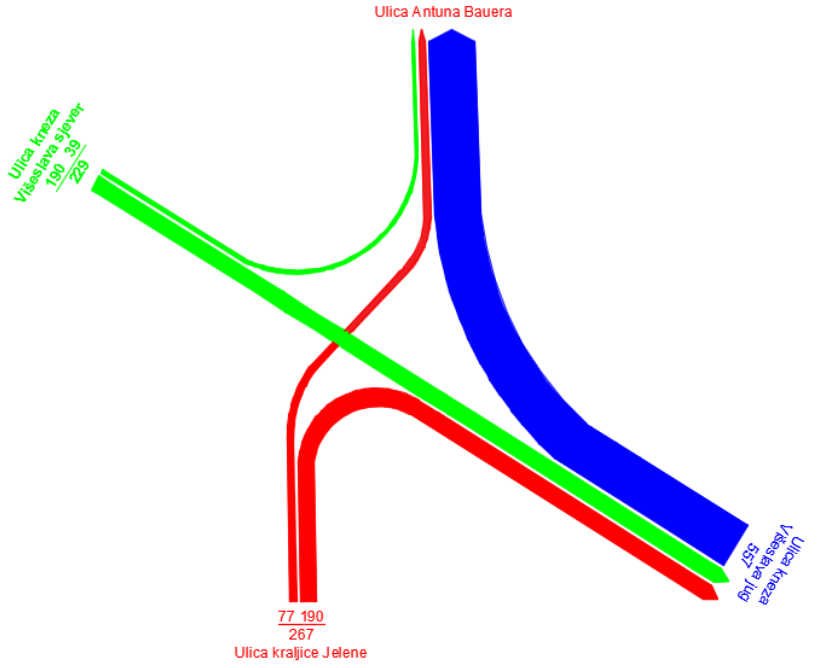
| smjer | 15` interval | Osobni automobil | Laka teretna vozila | Teška teretna vozila | Autobusi | Motocikli |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ulica kneza Višeslava - jug | 0`-15` | 134 | 4 | 0 | 1 | 3 |
| | 15`-30` | 124 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| | 30`-45` | 140 | 3 | 0 | 0 | 4 |
| | 45`-60` | 131 | 1 | 2 | 4 | 2 |
| | Ukupno | 529 | 8 | 3 | 6 | 11 |
| | EJA | 529 | 12 | 6 | 12 | 7,7 |
| **Sveukupno vozila** | | **557** | | | | |
| **Sveukupno EJA** | | **566,7** | | | | |

Na slici 14. dan je grafički prikaz prometnog opterećenja za promatrano raskrižje, za jutarnje vršno opterećenje. Iz grafa je vidljivo da je prometni tok iz Višeslavove ulice u Bauerovu ima najveće prometno opterećenje. Znatno veće od svih ostalih tokova prometa na promatranom raskrižju. Također možemo zaključiti da se tokovi sa sjevernog privoza Višeslavove i sa privoza Kraljice Jelene najvećim dijelom slijevaju u južni privoz Višeslavove ulice.




**Slika 14.** Garfički prikaz prometnog opterećenja prometnih tokova u jutarnjem vršnom satu (07:30-08-30)

Grafički prikaz za popodnevno vršno opterećenje prikazan je na slici 15. Iz grafa je vidljivo da je, kao i kod jutarnjeg, popodnevno prometno opterećenje iz smjera ulice kneza Višeslava – jug prema Ulici Antuna Bauera znatno veće od svih ostalih opterećenja unutar promatranog raskrižja. Do značajnijih promjena nije došlo ni kod drugih prometnih pravaca.




**Slika 15.** Garfički prikaz prometnog opterećenja prometnih tokova u popodnevnom vršnom satu (15:45-16-45)

## 4.3. Analiza odvijanja prometnih tokova u zoni obuhvata

Prema [17], organiziranje prometnih tokova definirano je kao sustavan način kretanja vozila unutar prometne mreže, kojemu je cilj optimalno korištenje mreže sa 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 povoljno utječu na povećanje propusne moći raskrižja.

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.

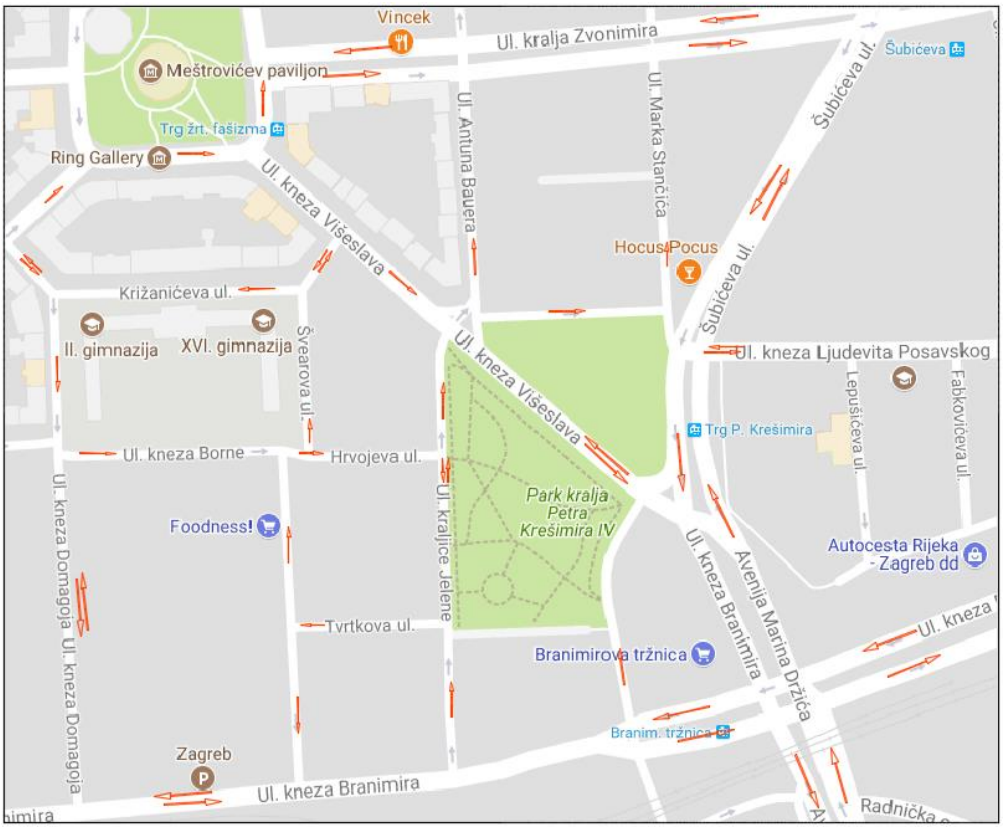
Promatrana zona obuhvaća 16 ulica smještenih u području parka kralja Petra Krešimira IV kao što prikazuje slika 16. Ulice su različitih smjernosti i usmjerenja, sa po jednom prometnom trakom ili sa više njih.

Ulice sa velikim prometnim opterećenjem imaju po dvije prometne trake za svaki smjer kretanja, upravljane su horizontalnom, vertikalnom i svjetlosnom prometnom signalizacijom, to su ulice:

- Ulica kralja Zvonimira – nalazi se sa sjeverne strane parka i rubna je ulica zone obuhvata. Dvosmjerna je u oba smjera i preuzima veliko prometno opterećenje iz smjera centra prema istočnom dijelu grada i obrnuto;
- Avenija Marina Držića - smještena je uz autobusni kolodvor koji je veliki generator prometa. Kolodvor se nalazi sa južne strane parka, nedaleko od Branimirove ulice. Držićeva preuzima veliko prometno opterećenje i sa južne strane ulazi u zonu parka sa tri prometne trake do raskrižja sa Ulicom kneza Višeslava, a dalje prema Šubićevoj sa dvije prometne trake za svaki smjer vožnje;
- 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;

- Šubićeva ulica - nastavlja se na Držićevu sa po dvije prometne trake za svaki smjer vožnje. Ova ulica preuzima veliko prometno opterećenje sa Držićeve prema Zvonimirovoj dalje prema sjeveroistoku;
- Ulica kneza Branimira – je rubna ulica na južnom dijelu zone obuhvata, povezuje glavni željeznički kolodvor sa istočnim dijelom grada.

Ostale četiri dvosmjerne prometnice su Ulica Ljudevita Posavskog koja se nalazi sa istočne strane zone i Ulica Marka Stančića koja se nalazi na sjevernom dijelu zone i povezuje Zvonimirovu ulicu sa Ulicom kneza Ljudevita Posavskog. Kružićeva ulica koja spaja Branimirovu i Višeslavovu ulicu, te Križaničeva ulica. Ona je unutar zone također dvosmjerna, no izlazi iz zone i dalje se nastavlja kao jednosmjerna ulica.




**Slika 16.** Prikaz smjernosti i usmjerenosti ulica u zoni obuhvata

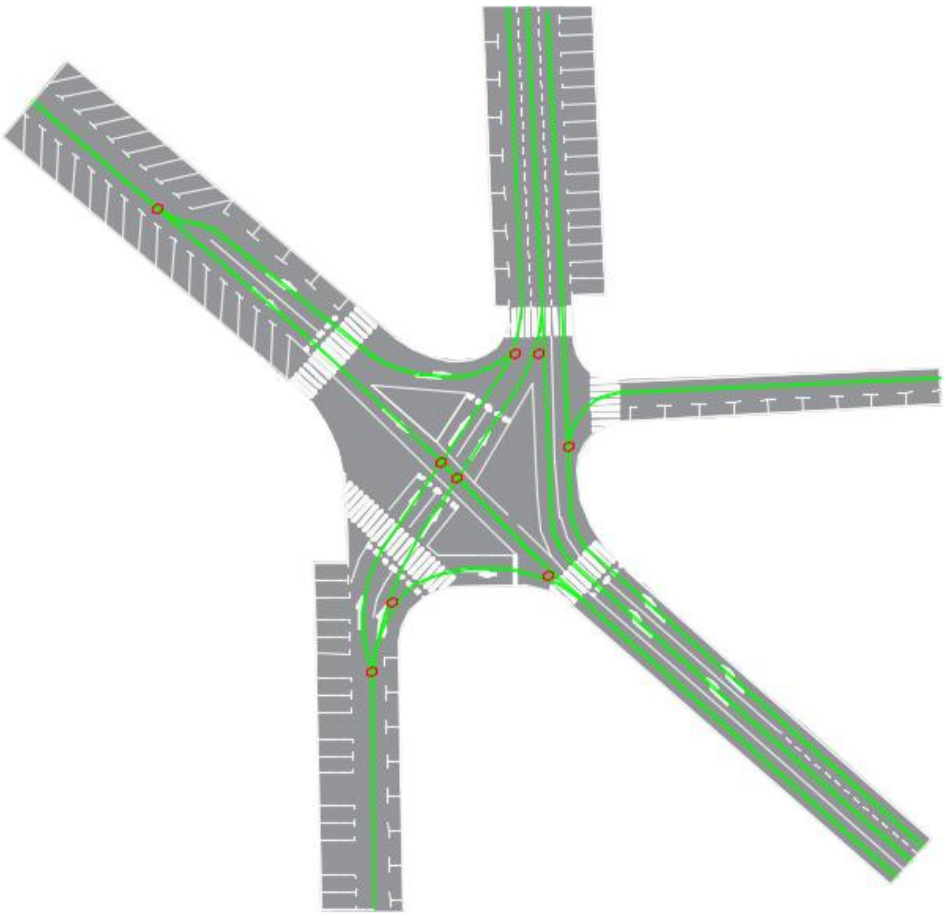
U zoni se nalazi osam jednosmjernih ulica, a to su:

- Ulica Antuna Bauera – nalazi se u sjevernom dijelu zone i povezuje Višeslavovu ulicu sa Zvonimirovom, jednosmjerna je u smjeru Zvonimirove ulice;
- Ulica kneza Višeslava – jednosmjerna je od Zvonimirove ulice do križanja sa Bauerovom;
- Švearova ulica – jednosmjerna je u smjeru od juga prema sjeveru;
- Hrvojeva ulica – jednosmjerna je od zapada prema istoku;
- Ulica kraljice Jelene – jednosmjerna u cijeloj svojoj dužini, u smjeru od juga prema sjeveru;

- Ulica Tome i Petra Erdödyja – jednosmjerna je ulica od Tvrtkove ulice prema sjeveru i prema jugu;
- Tvrtkova Ulica – jednosmjerna ulica sa jednom prometnom trakom;
- Lepušićeva ulica – se nalazi na istočnoj strani zone obuhvata, jednosmjerna je iz smjera sjevera prema jugu.

Raskrižja su točke presijecanja prometnih tokova, a u promatranoj zoni postoje 22 takve točke. Neka raskrižja su upravljana samo horizontalnom i vertikalnom signalizacijom, a neka i svjetlosnom signalizacijom (uglavnom raskrižja sa velikim prometnim opterećenjem). Ova raskrižja nalaze se duž Zvonimirove ulice, u kojoj su sva raskrižja opremljena svjetlosnom signalizacijom, kao i kod Branimirove, Držićeve i Šubićeve ulice.

Jedino raskrižje sa većim opterećenjem, koje nije upravljano svjetlosnom signalizacijom, je raskrižje Višeslavove, Bauerove i Jelenine ulice. Raskrižje se nalazi u samom centru promatrane zone i stoga je vrlo značajno za funkcioniranje cjelokupnog prometnog sustava unutar zone obuhvata. Ovo raskrižje je nesigurno sa aspekta odvijanja prometa zbog neadekvatne organizacije prometnih tokova unutar raskrižja, što je vidljivo na slici 17., te premalih vremenskih praznina za uključivanje manje opterećenih prometnih tokova u tokove sa najvećim opterećenjem. Na slici su prikazane i konfliktne točke odnosno mjesta presijecanja između prometnih tokova.



**Slika 17.** Prikaz prometnih tokova i konfliktnih točaka

# 5. ANALIZA PJEŠAČKO BICIKLISTIČKOG PROMETA

Pješački i biciklistički promet predstavlja posebnu kategoriju prometa. Pješaci i biciklisti ubrajaju se u skupinu nemotoriziranog prometa i najranjiviji su korisnici cestovne mreže. Kao takvi u uvjetima suvremenog odvijanja prometa zauzimaju izdvojeno mjesto te se provode analize tokova pješaka i biciklista. Ove analize vrše se brojanjem na karakterističnim presjecima prometnica ili površinama namijenjenim kretanju pješaka i biciklista.

Površine namijenjene kretanju pješaka su, između ostalog, pješački nogostup i pješački prijelaz, koji imaju izravno značenje za odvijanje pješačkog prometa. U zoni Parka kralja Petra Krešimira IV, sve promatrane ulice imaju izgrađene pješačke nogostupe sa obje strane prometnice, a na raskrižjima su obilježeni pješački prijelazi.

Za razliku od pješaka, biciklisti u zoni obuhvata nemaju iscrtane biciklističke staze niti obilježene biciklističke prijelaze, što osim negativnog utjecaja na biciklistički promet, ima i veliku ulogu u kvaliteti organizacije prometnih tokova u cijeloj zoni.

Prema [6] u sklopu prometne studije, potrebno je analizirati:

- Položaj pješačke zone i biciklističkih staza u prostoru;
- Površine pješačkih zona, odnosno duljine biciklističkih staza;
- Odnos pješačkih zona i biciklističkih staza i ostalih prometnih i drugih površina i
- Potrebe i mogućnosti proširenja pješačkih zona.

## 5.1. Rezultati brojanja pješačkog i biciklističkog prometa

U sklopu analize prometnih tokova, provedeno je brojanje pješaka i biciklista na raskrižju ulica Višeslavove, Bauerove i Kraljice Jelene. Bilježen je broj pješaka i biciklista koji su prelazili obilježene pješačke prijelaze na promatranim privozima raskrižju, a rezultati su prikazani u tablicama 13., 14., 15. i 16.. Uvidom u rezultate, može se zaključiti da postoji velik broj pješaka koji se kreću na području raskrižja, ali i velik broj biciklista. S obzirom na nedostatak površina za kretanje biciklista, isti koriste površine za kretanje pješaka, što negativno utječe za obje promatrane skupine.

**Tablica 13.** Rezultati brojanja pješaka i biciklista na privozu Ulice kneza Višeslava – sjever, u vremenu od 07:30-08:30 i od 15:45-16:45

| UJUTRO | | | POPODNE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 15` interval | Pješaci | Biciklisti | 15` interval | Pješaci | Biciklisti |
| **0`-15`** | 28 | 6 | **0`-15`** | 9 | 4 |
| **15`-30`** | 20 | 12 | **15`-30`** | 14 | 13 |
| **30`-45`** | 7 | 4 | **30`-45`** | 11 | 10 |
| **45`-60`** | 23 | 11 | **45`-60`** | 11 | 11 |
| **Ukupno** | **78** | **33** | **Ukupno** | **45** | **38** |

**Tablica 14.** Rezultati brojanja pješaka i biciklista na privozu Ulice kraljice Jelene, u vremenu od 07:30-08:30 i od 15:45-16:45

| UJUTRO | | | POPODNE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 15` interval | Pješaci | Biciklisti | 15` interval | Pješaci | Biciklisti |
| **0`-15`** | 31 | 4 | **0`-15`** | 24 | 9 |
| **15`-30`** | 24 | 12 | **15`-30`** | 29 | 14 |
| **30`-45`** | 24 | 14 | **30`-45`** | 34 | 18 |
| **45`-60`** | 14 | 8 | **45`-60`** | 17 | 12 |
| **Ukupno** | **93** | **38** | **Ukupno** | **104** | **53** |

**Tablica 15.** Rezultati brojanja pješaka i biciklista na privozu Ulice kneza Višeslava – jug u vremenu od 07:30-08:30 i od 15:45-16:45

| UJUTRO | | | POPODNE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 15` interval | Pješaci | Biciklisti | 15` interval | Pješaci | Biciklisti |
| **0`-15`** | 9 | 6 | **0`-15`** | 19 | 6 |
| **15`-30`** | 18 | 7 | **15`-30`** | 28 | 9 |
| **30`-45`** | 12 | 8 | **30`-45`** | 31 | 11 |
| **45`-60`** | 14 | 4 | **45`-60`** | 22 | 16 |
| **Ukupno** | **53** | **25** | **Ukupno** | **100** | **42** |

**Tablica 16.** Rezultati brojanja pješaka i biciklista na privozu Ulice Antuna Bauera, u vremenu od 07:30-08:30 i od 15:45-16:45

| UJUTRO | | | POPODNE | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 15` interval | Pješaci | Biciklisti | 15` interval | Pješaci | Biciklisti |
| **0`-15`** | 6 | 4 | **0`-15`** | 11 | 7 |
| **15`-30`** | 13 | 4 | **15`-30`** | 21 | 11 |
| **30`-45`** | 17 | 10 | **30`-45`** | 17 | 9 |
| **45`-60`** | 20 | 9 | **45`-60`** | 15 | 14 |
| **Ukupno** | **56** | **27** | **Ukupno** | **64** | **41** |

## 5.2. Pješaci kao sudionici cestovnog prometa

Pješaci su najranjivija skupina korisnika cestovne infrastrukture, to su osobe koje sudjeluju u prometu, a ne upravljaju vozilima, niti se u njima prevoze. Pješacima se smatraju i osobe koje vlastitom snagom guraju ili vuku bicikl ili prijevozno sredstvo na osobni ili motorni pogon za osobe s invaliditetom ili starije osobe, pod uvjetom da se kreću brzinom hoda. U ovu skupinu također spadaju osobe koje se voze na koturaljkama, skateboardu i sl. kao što je navedeno u Zakonu o sigurnosti prometa na cestama [12].

Kretanje pješaka može biti unutar pješačkih zona, uređenih prometnih površina namijenjenih isključivo za kretanje pješaka, u kojima nije dozvoljeno kretanje motornih vozila. Međutim, svakodnevno kretanje pješaka samo manjim dijelom obuhvaća pješačke zone, dok se većim dijelom kretanje odvija unutar cestovne mreže.

Na cestama s dopuštenim pješačkim prometom potrebno je primjerenim proširenjem i učvršćenjem bankina omogućiti pješacima slobodno kretanje, a kod većeg broja pješaka, potrebno je izgraditi pješačke staze odnosno nogostupe.

Prema [13] nogostup se definira kao posebno uređena prometna površina koja nije u razini s kolnikom ceste ili je od kolnika odvojena na drugi način, a namijenjena je za kretanje pješaka. Širina nogostupa ovisi o broju prometnih trakova, odnosno o veličini pješačkog prometa kao i smještaju nogostupa u odnosu na prometni trak. Ukoliko je nogostup fizički odvojen od pješačkog traka zelenom površinom, može se primijeniti minimalna dopuštena širina prometnog traka koja iznosi:

- Za jedan red pješaka $P_h$= 80 cm i
- Za dva reda pješaka $P_h$= 160 cm.

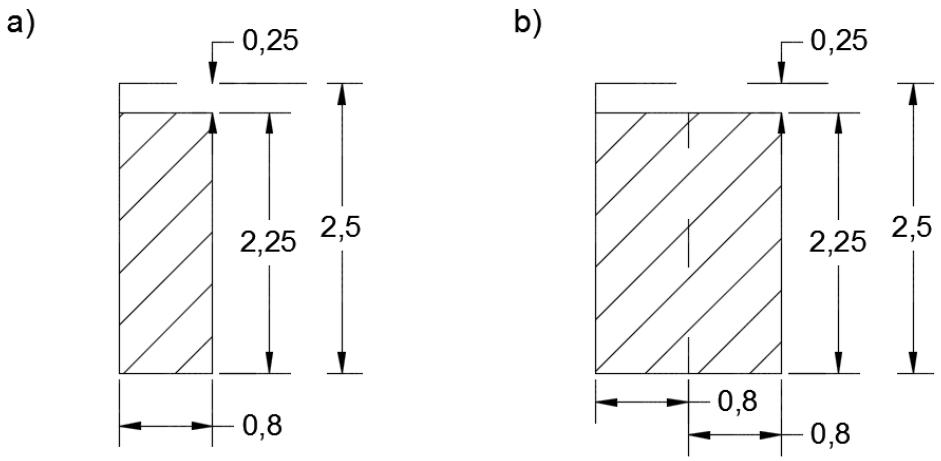
Za nogostupe koji se izvode neposredno uz prometni trak i fizički su odvojeni rubnjakom, čija je standardna visina od h=12 cm do h=20 cm, širina pješačkog traka iznosi:

- Za jedan red pješaka $P_h + Z_š$= 155 cm i
- Za dva reda pješaka $P_h + Z_š$= 235 cm.

Zaštitna širina ovisi o najvećoj dopuštenoj brzini kretanja vozila, kako slijedi:

$V_{rač}$ > 70 km/sat $Z_š$[3] 125 cm
$V_{rač}$ = 50 – 70 km/sat $Z_š$[3] 100 cm
$V_{rač}$ < 50 km/sat $Z_š$[3] 75 cm

Slobodni profil pješačke staze prikazan je na slici 18. Prema [13] visina im iznosi 2,5 m, a ukoliko se nalaze uz zgradu li neku drugu stalnu zapreku, potrebno je ostaviti zaštitni trak širine 0,2 m. Pješački nogostupi uzduž ceste na kojoj ne postoje uzdignuti rubnjaci, moraju biti odmaknuti od kolnika najmanje toliko da se slobodni profil kolnika i pješačke staze ne dodiruju.




**Slika 18.** Slobodni profil pješačkog nogostupa za jedan a) i za dva b) reda pješaka
Izvor [13]

S obzirom da se odvijanje pješačkog prometa odvija unutar sustava cestovnog prometa u kojemu su u koliziji sa cestovnim motornim vozilima, pješacima treba omogućiti siguran prelazak cestovnih prometnica. U tu svrhu implementirani su pješački prijelazi, koji predstavljaju dio kolničke površine, obilježeni su oznakama na kolniku i prometnim znakovima obavijesti, te namijenjeni za prelaženje pješaka preko kolnika.

U području obuhvata analize pješačkih tokova, nalazi se park Kralja Petra Krešimira IV, koji je veliki atraktor pješačkog prometa, kao i obližnja tržnica i škole. Na cijelom području je izveden pješački nogostup, duž svih cestovnih prometnica, kao i pješački prijelazi koji su postavljeni na svim raskrižjima unutar promatrane zone.

## 5.3. Uvođenje biciklističkih staza

Prometnica namijenjena za promet bicikala, izgrađena odvojeno od kolnika i označena odgovarajućom prometnom signalizacijom, naziva se biciklistička staza, prema [14]. Može biti izvedena kao dvostrana jednosmjerna ili jednostrana dvosmjerna u odnosu na kolnik.

Prema pravilniku o biciklističkoj infrastrukturi [15] navedeno je da biciklistička infrastruktura obuhvaća sljedeće elemente:

*„1. Biciklističke prometnice:*
*– biciklističke ceste;*
*– biciklističke putove;*
*– biciklističke staze;*
*– biciklističke trake;*
*– biciklističko-pješačke staze;*
*2. Prometnu signalizaciju i opremu;*
*3. Parkirališta za bicikle i njihovu opremu;*
*4. Spremišta za pohranu bicikala;*
*5. Sustave javnih bicikala.“*

Biciklističke staze se izvode odvojeno od prometnih površina za motorna vozila. U slučaju nedostatka površina za izgradnju biciklističke staze, iste se mogu izvoditi uz prometne trakove za motorni promet ili uz javnu pješačku površinu. Kada se izvode uz prometne trakove za motorni promet, moraju biti denivelirane rubnjakom i na sigurnosnoj udaljenosti minimalno 0,75 m od ruba prometnog profila. Ukoliko se izvode uz javnu pješačku površinu potrebno je izvesti razgraničenje od javne pješačke površine denivelacijom od najmanje 3 cm, zelenom površinom, tipskim elementom ili sl. Slobodni profil kolnika i biciklističke staze nikako se ne smiju dodirivati ili preklapati. [14]

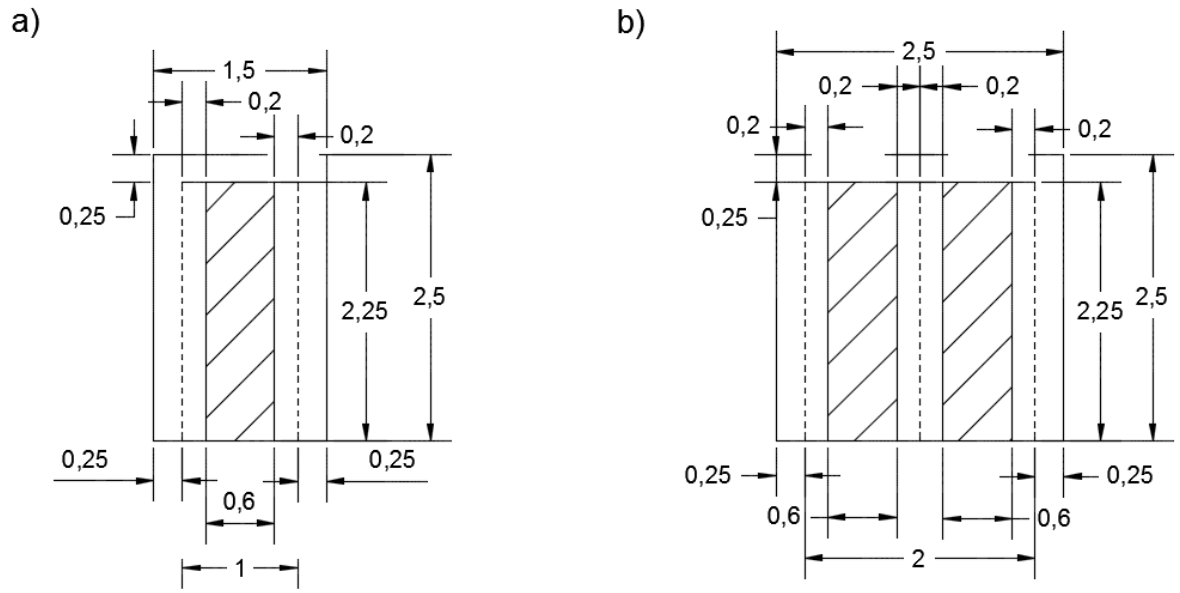
Dimenzije biciklističkih prometnih površina su posebno propisane, a određene su širinom bicikla (ŠB), manevarskim prostorom bicikla (MP) i zaštitnom širinom (ZŠ), te su prikazane u tablici 17.. Prema [14] širina same biciklističke staze iznosi minimalno 1 m za jedan red biciklista ili 2 m za dva reda biciklista.

**Tablica 17.** Dimenzije biciklističkih prometnih površina

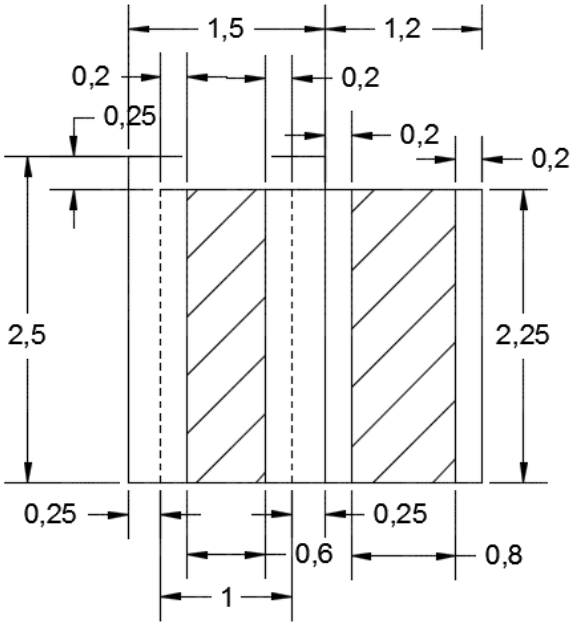
| | Optimalna širina [m] | Minimalna širina [m] |
|---|---|---|
| Dvostrana jednosmjerna biciklistička staza | 2,00 | 1,50 |
| Jednostrana dvosmjerna biciklistička staza | 2,50 | 2,00 |

Izvor [14]

Osim širina samih staza, trebaju biti osigurane i dostatne zaštitne širine i manevarski prostor. Prostor koji obuhvaća ove širine, naziva se prometni poprečni profil biciklističkih staza, a prikazan je na slici 19 za promet jednog a), odnosno dva b) bicikla, te za bicikla i pješaka na slici 20.




**Slika 19.** Prometni poprečni profil biciklističkih staza potrebni za promet jednog a), odnosno dva b) reda bicikla
Izvor [14]




**Slika 20.** Prometni poprečni profil biciklističkih staza potrebni za promet bicikla i pješaka

Izvor [14]

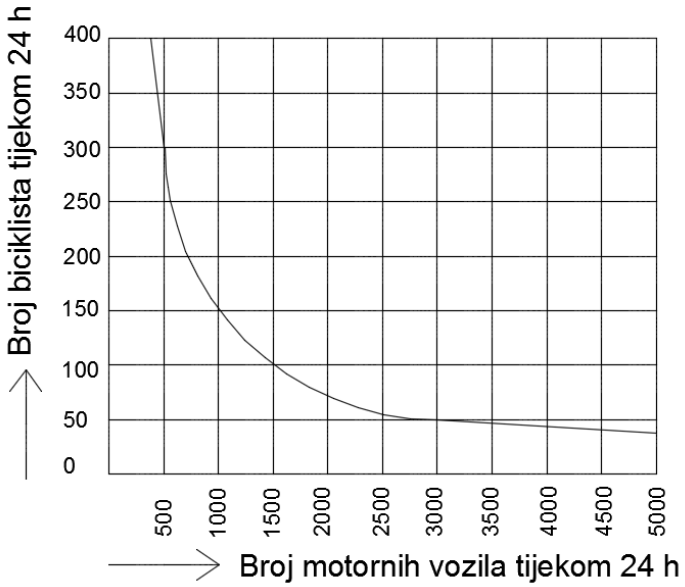
Rub biciklističke prometne površine označen je rubnom crtom. Ukoliko nisu visinski razdvojene, rubna crta razdvaja površine namijenjene za promet pješaka i biciklista od onih za promet motornih vozila. Prema [14] širina ovisi o vrsti ceste, iznosi 10, 12 ili 20 cm i ne ulazi u širinu biciklističke prometne površine. Rubna crta se može izvoditi kao isprekidana i neprekinuta. Isprekidana je isključivo u raskrižjima, na priključcima i autobusnim stajalištima.

Osim rubnih crta, biciklističke prometne površine označene su i razdjelnim crtama. One služe za razdvajanje dvosmjernih biciklističkih staza po smjerovima kretanja, izvode se kao isprekidane crte i širina im iznosi 10 cm.

Biciklističke staze trebaju biti vođene istom stranom ceste koliko god je to moguće. Često mijenjanje profila, vrste i strane ceste, ugrožava sigurnost biciklista prilikom prelaska ceste.

U literaturi [14] je navedeno kako bi izgradnja prometnih površina za vođenje biciklista bila opravdana, moraju biti zadovoljeni navedeni uvjeti:

- Umnožak broja motornih vozila i broja biciklista tijekom 24 sata mora biti jednak ili veći od 150000 prema dijagramu prikazanom na slici 21.:
- U razdoblju najvećeg prometnog opterećenja (vršnom satu) mora proći 100 ili više biciklista i
- Udio kamiona i autobusa u ukupnom prometu veći od 10%.




**Slika 21.** Dijagram odnosa broja biciklista i motornih vozila tokom 24 h

Izvor [14]

Analizirajući rezultate brojanja motornih vozila i biciklista, dolazi se do zaključka da je izgradnja biciklističkih staza neophodna za sigurnost biciklista i opće funkcioniranje sustava cestovnog prometa.

Prema prvom kriteriju, umnožak broja motornih vozila i biciklista u 24 h mora iznositi 150000 ili više. U promatranoj zoni taj broj je višestruko veći samo za vrijeme dva vršna sata u danu, u kojima prođe 2121 motorno vozilo i 297 biciklista i relevantni umnožak iznosi 629937.

Prema drugom kriteriju, da bi izgradnja staze bila opravdana, u vršnom satu mora proći 100 ili više biciklista. U promatranoj zoni u jutarnjem vršnom satu su prošla 123 biciklista, a u popodnevnom 174, što također zadovoljava postavljeni uvjet.

Treći kriterij odnosi se na postotak teretnih vozila i autobusa, koji mora biti veći od 10%. Računamo postotni udio ostalih vozila i rezultat je sljedeći:

$$P_{k_v} = \frac{2121 - 1999}{2121} \cdot 100\%$$

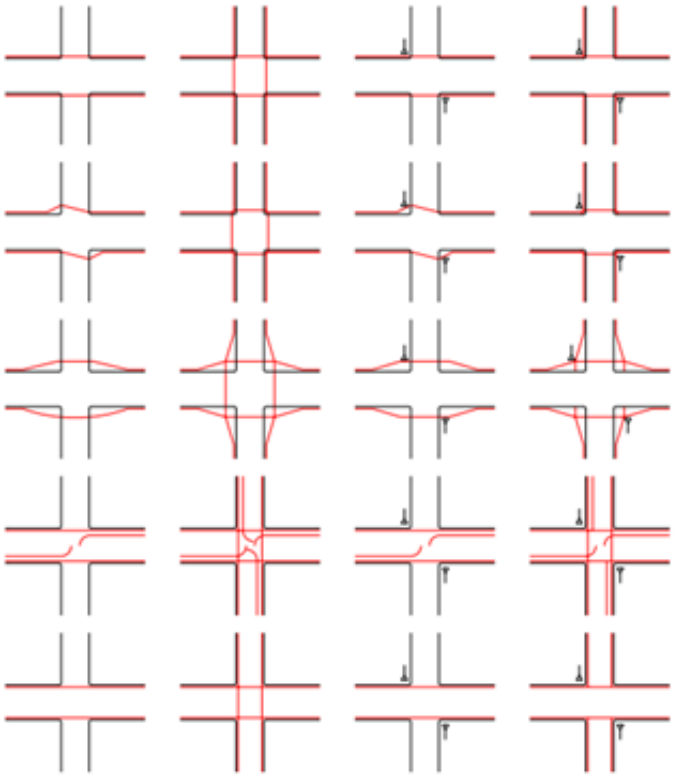
$$P_{k_v} = 5{,}75\ \%$$

Prema ovom kriteriju izgradnja biciklističke staze nije opravdana, međutim uzevši u obzir prva dva kriterija, izgradnja biciklističke staze je neophodna.

Prema [14] „*Prilikom planiranja, projektiranja i građenja biciklističkih staza, moraju biti zadovoljeni sljedeći uvjeti:*

- *prometna i javna sigurnost biciklističkih površina;*
- *povezanost i cjelovitost mreže biciklističkih prometnica - s minimalnim križanjima s površinama za kretanje motornih vozila, njihovo povezivanje s ostatkom prometne infrastrukture i uključivanje u mrežu glavnih biciklističkih pravaca;*
- *izravnost – omogućavanje direktne veze do odredišta s izbjegavanjem obilaznih pravaca;*
- *udobnost prometnih površina – omogućavanje nesmetane i udobne vožnje;*
- *privlačnost - vođenje ugodnom okolinom i*
- *oblikovanje okoliša biciklističkih površina, odmorišta i vegetacije.“*

Biciklistički promet može biti vođen kroz raskrižje na različite načine, neki od njih su prikazani na slici 22..



**Slika 22.** Osnovni načini vođenja biciklističkog prometa u raskrižju [14]

U literaturi [14] navodi se da prilikom projektiranja križanja biciklističkih staza s drugim prometnim površinama, također moraju biti zadovoljeni određeni uvjeti, i to:

- jasno i nedvosmisleno vođenje biciklističkog prometa;
- smjer kretanja biciklista mora biti u vidnom polju drugih vozača;
- prednost prolaska mora biti propisno i razumljivo označena;
- mora postojati propisana preglednost;
- mjesta križanja prometnih površina moraju biti nedvosmisleno označena.

# 6. VARIJANTNA IDEJNA RJEŠENJA

Prijedlozi rješenja prometne studije predstavljaju prijedloge mjera i zahvata na području obuhvata studije kojima se nastoji unaprijediti stanje prometnog sustava. Prijedlozi mjera predlažu promjene u organizaciji prometnog sustava i prometnoj politici, a prijedlozi zahvata daju rješenja za izgradnju ili rekonstrukciju elemenata prometne infrastrukture. [6]

Prema [6] „*Prijedlozi rješenja izrađuju se temeljem:*

- *rezultata analize postojećeg stanja (ustanovljeni problemi);*
- *prognoze prometa (trend porasta ili smanjenja intenziteta prometnih tokova) i*
- *najnovijih znanstvenih i stručnih spoznaja na području tehnologije prometa i transporta.“*

Kako bi se utvrdili problemi u prometnom sustavu, potrebno je provesti analizu postojećeg stanja. Na temelju ove analize daju se prijedlozi rješenja za poboljšanje funkcioniranja sustava. S obzirom da se broj vozila, odnosno prometno opterećenje mijenja, kako bi rješenja bila dugoročno održiva, ne smiju se izrađivati za postojeća prometna opterećenja. Već se prilagođavaju budućem intenzitetu prometnih tokova, za što je potrebno izraditi prognozu prometa. Rješenja se izrađuju u skladu s najnovijim znanstvenim i stručnim dostignućima iz područja tehnologije prometa i transporta, a na temelju rezultata analize postojećeg stanja i predviđenog intenziteta prometnog toka. [6]

Prema [6] rješenja se dijele prema cilju djelovanja, odnosno prema segmentu prometnog sustava za koji se predlažu izmjene, na:

- Prijedloge djelovanja na prometnoj infrastrukturi:

  - prijedlozi rekonstrukcija postojeće prometne infrastrukture;
  - prijedlozi izgradnje novih elemenata prometne infrastrukture;

- Prijedloge djelovanja na organizaciji elemenata prometnog sustava:

  - organizacija javnog gradskog prijevoza putnika;
  - organizacija dostavnog prometa;
  - organizacija prometa u specifičnim situacijama i dr.;

- Prijedloge djelovanja na prometnu politiku:

  - politika financiranja prometnog sustava;
  - politika definiranja prioriteta u prometnom sustavu;
  - parkirna politika.

Prema izvoru [6] navedeno je da se prijedlozi rješenja mogu podijeliti prema periodu realizacije, odnosno prema razdoblju za koje se predlaže njihovo provođenje:

- trenutne: realizacija do 2 god. od prihvaćanja studije,
- kratkoročne: realizacija do 5 god. od prihvaćanja studije,

- srednjoročne: realizacija od 5 do 10 god. nakon prihvaćanja studije,
- dugoročne: realizacija od 10 do 20 godina nakon prihvaćanja studije.

U literaturi [16] navedeno je sljedeće; *„Projektiranje cesta se odvija u pravilu na sljedeće četiri razine:*

- *studija - obuhvaća: građevinsko-tehničku studiju, prometnu studiju, studiju opravdanosti, studiju o utjecaju na okoliš te idejno rješenje, a uobičajeno mjerilo podloge za studije je od 1:25000 do 1:5000;*
- *idejni projekt – radi se najčešće u više varijanata na podlozi 1:5000;*
- *glavni projekt – radi se na podlozi mjerila 1:1000 ili krupnijoj i*
- *izvedbeni projekt – izvodi se u sklopu glavnog projekta, a po potrebi se neki dijelovi glavnog projekta rade u obliku izvedbenog projekta.“*

## 6.1. Izmjena regulacije prometnica u zoni obuhvata – varijanta 1

Vrlo bitno pitanje za funkcioniranje cestovnog prometnog sustava je usmjerenje prometnih tokova u uličnoj mreži. Ono se može definirati kao informiranje sudionika u prometu o ciljevima kretanja. Informiranje nije obavezno i u uličnoj mreži javlja više alternativnih putova. Na odabir putova utječu razni faktori, a težnja je ostvariti putovanje najpovoljnijim pravcem. Najvažniji faktori su dužina vremena putovanja i troškovi, a utječu i psihološki faktori samih sudionika u prometu povezanih s ambijentom puta, te kompleksni parametri odnosa vozača i okoline. Broj mogućih alternativnih putova nastoji se smanjiti u cilju povećanja propusne moći čvorova i mreže, što se postiže organizacijom kretanja i usmjeravanja prometnih tokova.

Uvođenje jednosmjernih ulica je na temelju znanstveno-stručnog sagledavanja i izučavanja prometnih tokova u danoj uličnoj mreži, značajna podloga za postizanje veće propusne moći čvorova i mreže u cijelosti, navedeno je u [17]. Na taj način se postiže zadovoljenje prometne potražnje sa minimalnim troškovima odvijanja prometa.

Na, odluke sudionika u prometu, odnosno usmjerenje prometnih tokova u odabiru određenih itinerera utječu faktori:

- usmjerenost ulične mreže (jednosmjerne ulice);
- zabrane i obaveze izražene prometnom signalizacijom i
- informacije (znakovi obavještavanja, iskustva i edukacija sudionika u prometu).

Kod uvođenja jednosmjernih ulica postoji dvojba u kojem smjeru ih usmjeriti, a u stručnoj i znanstvenoj literaturi tom problemu poklonjena vrlo mala pažnja. Jednosmjerne ulice funkcioniranju uglavnom na principu desnog kretanja, a izvode se u parovima. U uličnoj mreži postoji veliki broj alternativnih rješenja usmjerenosti ulica, a problem je najlakše riješiti ukoliko se najprije sagledaju mogućnosti usmjerenja na raskrižjima, a zatim u mreži prometnica.

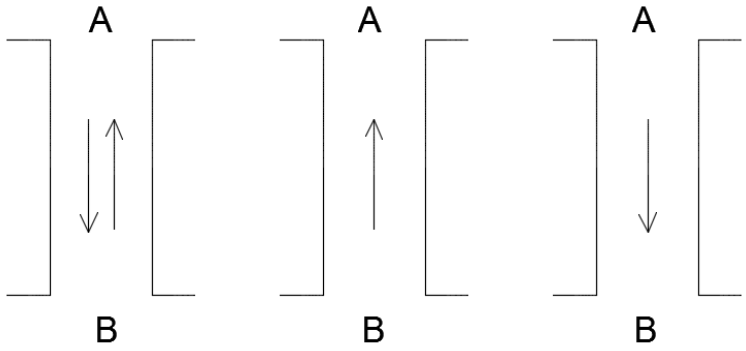
*„Analiziranje i pronalazak mogućeg broja usmjerenja elemenata ulične mreže i čvorova ima višestruko značenje:*

- *utvrđivanje stvarnog broja mogućih usmjerenja ulične mreže ili čvorova omogućuje da se dublje spozna kompleksnost rješavanja vođenja prometnih tokova usmjerenošću ulične mreže;*
- *veliki broj mogućih rješenja koja je u cijelosti teško vrednovati zahtijeva pronalazak metoda, odnosno pravila da se od velikog broja mogućih rješenja utvrdi najpovoljnije, odnosno da se iz nekoliko rješenja detaljnijim istraživanjem dođe do optimalnih rješenja usmjerenja elemenata ulične mreže.“* [17]

Za organizaciju prometnih tokova vrlo je važan proračun broja mogućih usmjerenja prometnih tokova u čvorovima ili uličnoj mreži. Taj broj je vrlo velik, ali sva usmjerenja nisu povoljna i potrebno je odabrati najpovoljnije. Ulične mreže se razlikuju prema obliku, dimenzijama i broju elemenata mreže (profil i dužina).

Razlikujemo tri moguća usmjerenja na dijelu cestovne prometnice između dva čvora, kao što prikazuje slika 23., a to su:

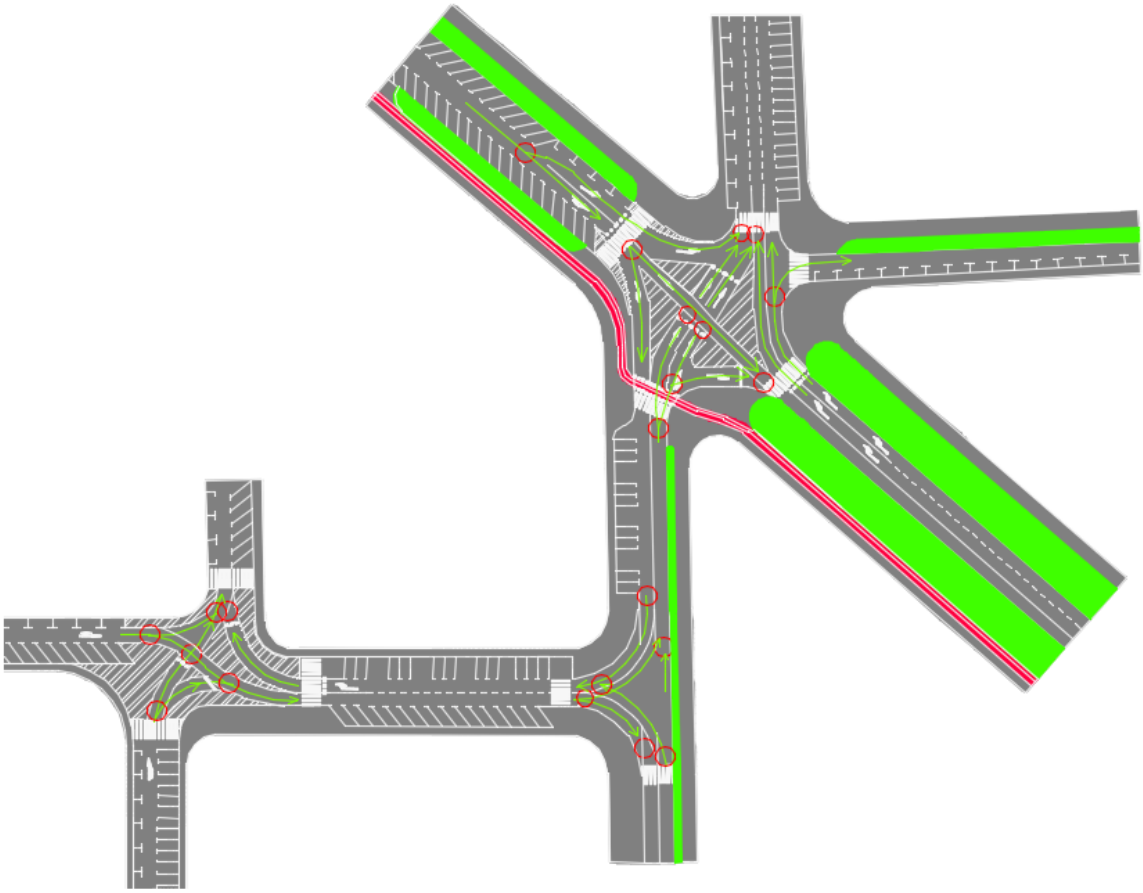
- dvosmjerna ulica (A→B, B→A),
- jednosmjerna ulica (B→A) i
- jednosmjerna ulica (A→B). [11]




**Slika 23.** Tri moguća usmjerenja na dijelu cestovne prometnice između dva čvora
Izvor [17]

U prvom varijantnom rješenju izmijenjena je regulacija prometnih tokova na raskrižju Ulice kneza Višeslava, Antuna Bauera i Ulice kraljice Jelene, a ujedno je i promijenjena usmjerenost i smjernost Ulice kraljice Jelene, kao što je prikazano na slici 24. Na sjevernom privozu Višeslavove ulice, postoje dvije prometne trake koje vode u raskrižje, jedna u smjeru lijevo, a druga ravno. S obzirom na prostorne prilike uvedeno je dvosmjerno prometno usmjerenje u Ulici kraljice Jelene, te je omogućeno desno skretanje iz Višeslavove u Jeleninu ulicu. U Višeslavovoj ulici dodana je horizontalna signalizacija za smjer ravno i desno, te vertikalna signalizacija. Unutar samog raskrižja, iscrtane su rubne linije prometnog traka za desno skretanje od sjevernog privoza Višeslavove ulice, do Ulice kraljice Jelene. U Ulici kraljice Jelene, ukinuta su parkirna mjesta za bočno parkiranje, kako bi se oslobodio prostor

za dodatni prometni trak u suprotnom smjeru od postojećeg, te je iscrtana horizontalna signalizacija, rubne i razdjelna crta.



**Slika 24.** Izmjena regulacije prometnica u zoni obuhvata – Varijanta 1 (Prilog 1)

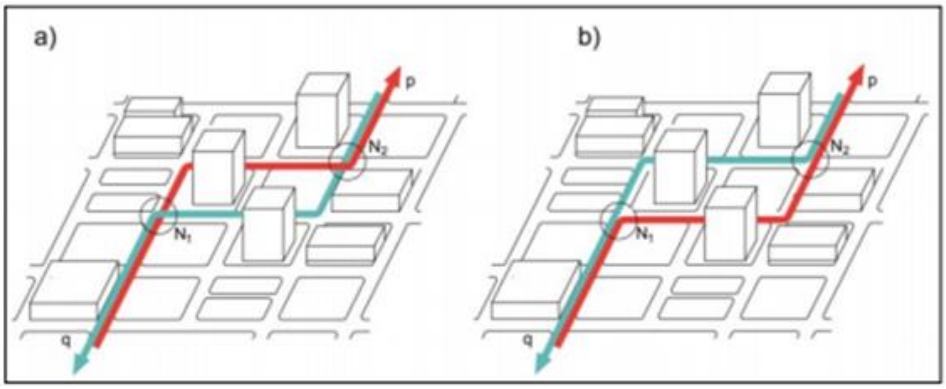
Iako uvođenje jednosmjernih ulica povećava protočnost, u ovom slučaju protok vozila unutar cijelog raskrižja povećan je promjenom smjernosti i usmjerenosti Ulice kraljice Jelene. Dio vozila iz sjevernog privoza odabrati će smjer kretanja desno, što olakšava protok vozila i smanjuje broj konfliktnih situacija iz smjera sjevernog privoza Višeslavove ulice za vozila koja prilikom prolaska kroz raskrižje voze ravno.

Promjena smjernosti i usmjerenosti izvedena je i u Hrvojevoj ulici. Ova ulica također postaje dvosmjerna, čime se omogućuje kretanje vozila iz smjera Ulice kraljice Jelene prema zapadnom djelu promatrane zone. Promjenom smjernosti Hrvojeve ulice, nužno se mijenja i regulacija prometnih tokova na raskrižju Hrvojeve, Švearove, Ulice kneza Borne i Ulice Petra i Tome Erdodyja. Promet iz Hrvojeve ulice usmjeren je u Šveaovu ulicu, što je označeno horizontalnom signalizacijom za desno skretanje i vertikalnim prometnim znakom. Prometni tok iz Ulice kneza Borne ostao je nepromijenjen odnosno, vozilima je omogućeno kretanje ravno i lijevo, kao i tok iz smjera Ulice Petra i Tome Erdodyja koji se mogu kretati u smjeru ravno i desno.

Duž jugozapadne strane Višeslavove ulice, uvedena je dvosmjerna biciklistička staza, širine 180,00 cm. Staza je uvedena na deniveliranom dijelu pješačkog nogostupa i na dostatnoj udaljenosti od cestovnog prometnog traka. Ova lokacija staze izabrana je zbog prostornih prilika, zbog većeg broja biciklista na ovom dijelu promatrane zone, te zbog mogućnosti priključenja biciklističke staze, na već postojeću stazu u Ulici kneza Branimira. Uvođenjem biciklističke staze osigurano je nesmetano kretanje biciklista u promatranoj zoni te je povećana sigurnost.

## 6.2. Izmjena regulacije prometnica u zoni obuhvata – varijanta 2

Iako su problemi u odvijanju prometnih tokova u gradskoj prometnoj mreži, gotovo uvijek posljedica nedovoljne propusne moći čvorova, uzroke i posljedice je potrebno detaljno izučiti. Prema [17] povoljan utjecaj na povećanje propusne moći raskrižja ima izbjegavanje bespotrebnih presijecanja i smanjenje lomljenja prometnih tokova. Bespotrebna presijecanja se događaju prvenstveno na raskrižjima, ali i na prometnicama između raskrižja. Uzrokuju ih usmjerenje i organizacija prometnih tokova. Kako bi se mogla provesti izmjena organizacije prometnih tokova postojeće stanje mora biti detaljno analizirano, te sagledane sve mogućnosti izmjene. Na slici 25 prikazan je primjer nepotrebnog presijecanje prometnih tokova unutar ulične mreže i rješenje takvog presijecanja. U točkama N1 i N2 događa se presijecanje koje u prvom slučaju uzrokuje probleme i zastoje, a u drugom rješenje problema, bez nepotrebnih presijecanja.



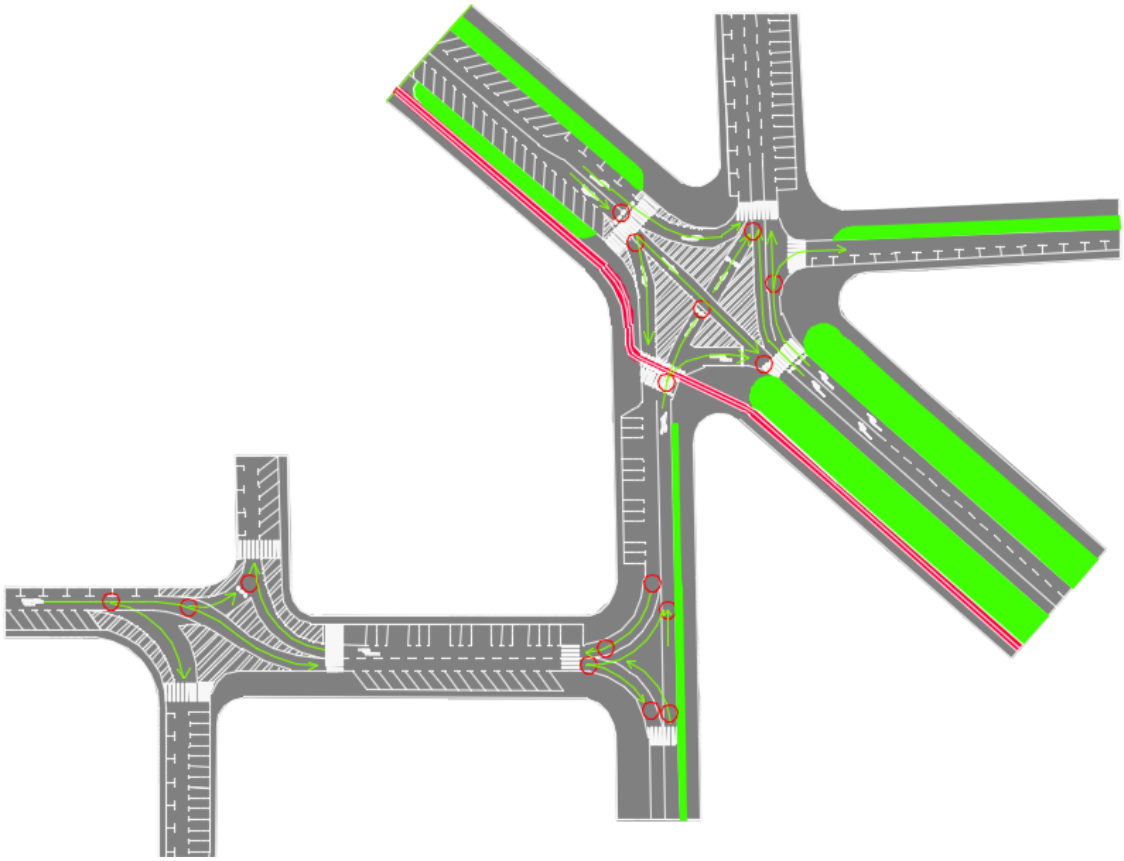

**Slika 25.** Primjer nepotrebnog presijecanja prometnih tokova a) i b) rješenje nepotrebnog presijecanja prometnih tokova [11]

Problem sa slike 25. riješen je preusmjeravanjem prometnih tokova, sa minimalnim financijskim troškovima. Čak i provedbom nekog skupljeg rješenja kao što je opremanje raskrižja svjetlosnom prometnom signalizacijom, ovaj problem ne bi bio ovako efikasno riješen, već samo ublažen. Efikasnost odvijanja prometa povećala se bez dogradnje ili rekonstrukcije prometne mreže. Izmjenom regulacije prometnica u široj zoni obuhvata postižu se veći povoljni efekti. [17]

U literaturi [17] navedeno je: *„Uvođenje jednosmjernih ulica se pokazalo kao dobra prometna terapija, pri prometnim planiranjima i regulacijama, a može se primjenjivati u nekoliko slučajeva:*

- *uvođenje prometne regulacije;*
- *razlozi uvjetovani prostornim ograničenjima i uvjetima i*
- *potrebe za prenamjenu prometnih površina.“*

Uvođenjem jednosmjernih ulica u gradskoj uličnoj mreži smanjuje se broj točaka presijecanja, a odvijanje prometnih tokova svodi se na ulijevanja i odlijevanja. Poželjno je i na ulicama s okomitim lomom, gdje se smjernost postavlja od tjemena prema nižoj koti. Na ovaj način vozila lakše savladavaju dionicu, a smanjuju i zagušenja u slučaju padalina, mraza, skliskog kolnika, manja je buka i zagađenje okoliša ispušnim plinovima. [16]



**Slika 26.** Izmjena regulacije prometnica u zoni obuhvata – Varijanta 2 (Prilog 2)

U drugom varijantnom rješenju, kao i u prvom, rješavan je problem regulacije prometnih tokova na raskrižju Ulice kneza Višeslava, Antuna Bauera i Ulice kraljice Jelene, te je promijenjena smjernost Ulica kraljice Jelene i Hrvojeve ulice. U spomenutom raskrižju, osim što je dodan trak za desna skretanja iz smjera sjevernog privoza Višeslavove ulice, u ovom varijantnom rješenju, ukinut je i jedan prometni trak iz Ulice kraljice Jelene prema Bauerovoj ulici, kao što prikazuje slika 26.

Vođenje prometa jednim prometnim trakom, smanjuje broj konfliktnih točaka, odnosno nepotrebnih presijecanja što povoljno utječe na sigurnost odvijanja prometa unutar raskrižja. S obzirom da je smjernost Jelenine ulice promijenjena, očekuje se smanjeni priljev vozila, odnosno vozila se kanaliziraju u jedan prometni trak. Iz tog razloga nema potrebe razdvajanja ovog prometnog toka u dvije prometne trake unutar samog raskrižja. Prometni tok iz smjera Jelenine ulice prema Bauerovoj, u ovom slučaju, ima samo dvije konfliktne točke, jedna sa prometnim tokom iz sjevernog privoza Ulice kneza Višeslava u smjeru ravno i druga u ulasku u Bauerovu ulicu sa prometnim tokom iz smjera južnog privoza Višeslavove ulice.

Ulica kraljice Jelene i Hrvojeva ulica, također su promijenjene u dvosmjerne ulice. Odvijanje prometa na raskrižju Hrvojeve, Švearove, Ulice kneza Borne i Ulice Petra i Tome Erdodyja riješeno je na način da se smanje nepotrebna presijecanja. Smjernost Ulice Petra i Tome Erdodyja promijenjena je iz smjera jug-sjever u smjer sjever jug. Prometni tok Hrvojevom ulicom iz smjera Jelenine, usmjeren je prema Švearovoj ulici, te označen vertikalnim prometnim znakom, a kretanje iz Ulice kneza Borne omogućeno je u svim smjerovima.

Ovakvom organizacijom prometa postignuto je znatno smanjenje nepotrebnih presijecanja prometnih tokova, odnosno smanjenje broja konfliktnih točaka. Razina sigurnosti na razmatranom raskrižju puno je veća, kao i protočnost, a omogućeno je kretanje vozila iz smjera sjevera prema jugu cijelom Ulicom Petra i Tome Erdodyja. Ova ulica prethodno je imala dva usmjerenja, smjer sjever – jug, na dionici od Branimirove do Tvrtkove i smjer jug – sjever na dionici od Tvrtkove prema Ulici kneza Borne, što također nije dobro rješenje za vođenje prometnih tokova.

U ovom varijantnom rješenju je, kao i u prethodnom, uvedena dvosmjerna biciklistička staza duž jugozapadne strane Višeslavove ulice.

## 1.3. Prijedlog uvođenja svjetlosnih signalnih uređaja

Treće varijantno rješenje sastoji se u uvođenju svjetlosnih signalnih uređaja u svrhu reguliranja prometnih tokova na raskrižju Ulice kneza Višeslava, Antuna Bauera i Ulice kraljice Jelene, povećanja stupnja sigurnosti i propusne moći.

Semaforizacija raskrižja može povećati stupanj sigurnosti i propusnu moć, a vrlo teško ju je provesti na raskrižju koje ne ispunjava osnovne geometrijske i prometne uvjete. Kod semaforizacije raskrižja koja nemaju dovoljan kut preglednosti, odnosno ne ispunjavaju osnovne geometrijske uvjete, javljaju se negativne posljedice, smanjuje se propusna moć, stupanj sigurnosti te povećava broj prometnih nesreća.

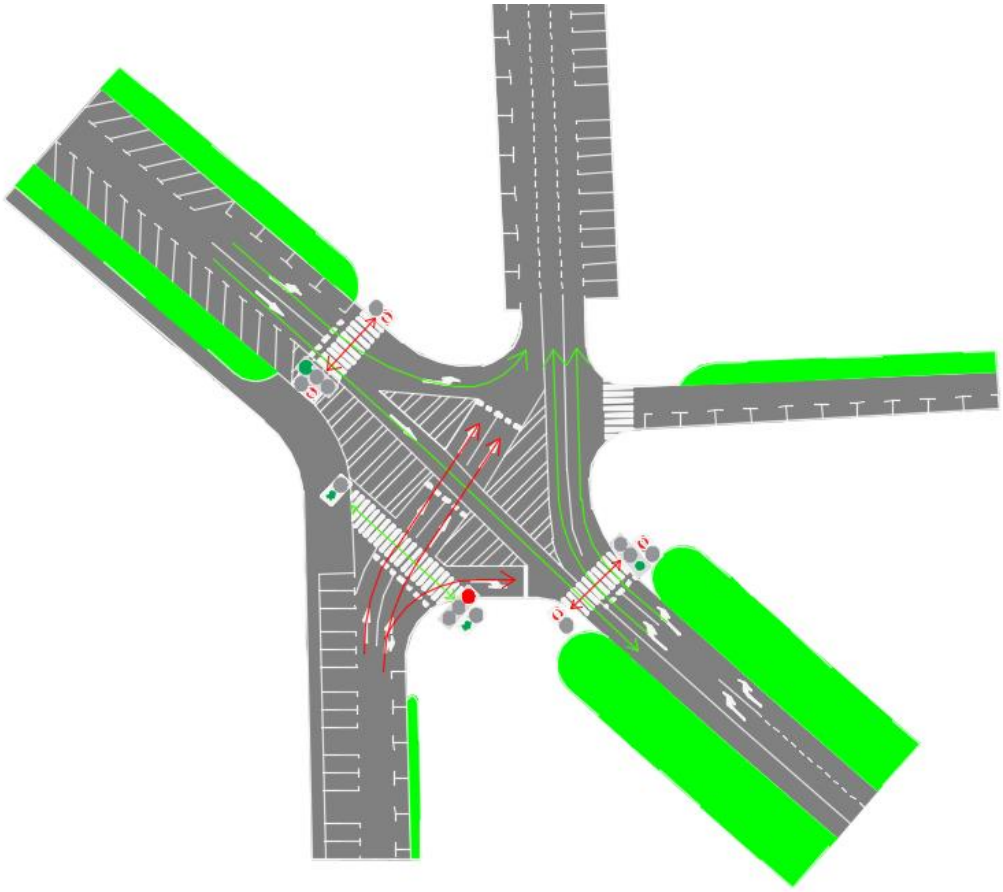
Na privozima ne semaforiziranog raskrižja mogu se pojaviti repovi čekanja i dugi vremenski intervali potrebni za uključivanje u glavni tok, koji utječu na ostali dio prometne mreže. Ovi problemi rješavaju se semaforizacijom koja omogućuje kvalitetniji i sigurniji prolaz raskrižjem iz sporednih privoza.

Prema [11], prednosti upravljanja prometnim svjetlima na raskrižju su sljedeće:

- ukoliko su signalni planovi izrađeni prema pravilima struke, povećavaju propusnu moć;
- smanjuju učestalost i posljedice prometnih nesreća;
- u vrlo kompleksnim situacijama omogućuju uredno odvijanje prometa;
- omogućuju koordinaciju signalnih planova više uzastopnih raskrižja i
- kako bi se omogućio prolazak manje opterećenih tokova, omogućuju prekide prometnih tokova velikog prometnog opterećenja.

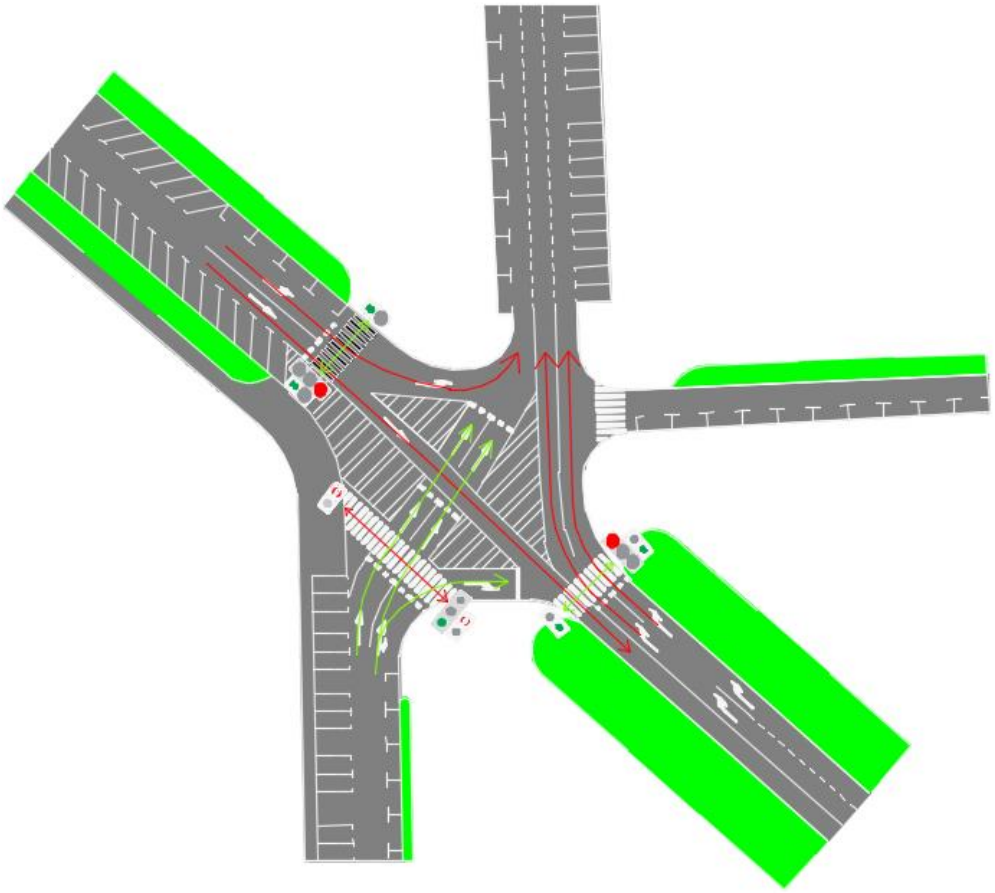
Najvažniji pojmovi za semaforizirano raskrižje su ciklus i faze. Ciklus predstavlja skup faza, a faza je onaj dio programa signalizacije tokom kojeg stanje signalizacije ostaje nepromijenjeno. Potrebne su najmanje dvije faze kako bi se moglo upravljati prometnih tokovima u raskrižju putem svjetlosnih signalnih uređaja, a pri podjeli faza razlikujemo kompatibilne i nekompatibilne prometne tokove. Kompatibilni se mogu obuhvatiti jednom fazom, dok se nekompatibilni tokovi moraju signalizirati odvojeno. [11]

Prilikom semaforizacije navedenog raskrižja, uvest će se upravljanje sa dvije faze. Prva faza obuhvaća tokove prioritetnog smjera koji nisu u koliziji. To su tokovi 1 i 2, na sjevernom privozu Višeslavove i tokovi 3 i 4 na južnom privozu Višeslavove, te pješački tok 9, preko Jelenine ulice, a prikazani na slici 27.



**Slika 27.** Položaj signalnih uređaja i raspored prometnih tokova u fazi 1 – Varijantno rješenje 3 (Prilog 3)

Druga faza obuhvaća tokove 5 i 6 iz Jelenine ulice prema Bauerovoj, te pješačke tokove 7 i 8 preko prilaza Višeslavove ulice prikazane na slici 28.



**Slika 28.** Položaj signalnih uređaja i raspored prometnih tokova u fazi 2 – Varijantno rješenje 3 (Prilog 2)

Prvi korak u procesu semaforizacije je određivanje prijelaznih vremena i međuvremena. Prijelazna vremena, prema [14] obuhvaćaju:

- Prijelazno vrijeme žuto $t_{ž}$ – određuje se prema dopuštenoj maksimalnoj brzini na prilazu raskrižju, a služi kao upozorenje na promjenu signalnog svjetla zeleno na signalno svjetlo crveno. Na pojedinačnim prilazima raskrižju mogu biti različitog trajanja.

$t_{ž}$ = 3 s kod V = 50 km/h
$t_{ž}$ = 4 s kod V = 60 km/h
$t_{ž}$ = 5 s kod V = 70 km/h

- Istovremeno crveno i žuto $t_{cž}$ – traje najviše 2 s i signalizira promjenu signalnog uređaja sa crvenog na zeleno svjetlo.

Međuvremena $t_z$ predstavljaju vremensko razdoblje između kraja zelenog svijetla jedne signalne grupe do početka zelenog svjetla druge signalne grupe koja je u koliziji s prethodnom, odnosno vremensko razdoblje između završetka propuštanja jednog prometnog

toka i početka vremena propuštanja drugog prometnog toka. Međuvrijeme omogućuje sigurno napuštanje raskrižja vozilima koja su ušla u raskrižje na kraju zelenog vremena u odnosu na vozila koja će tek dobiti dozvolu za prolaz. Određuje se iz vremena prolaza $t_u$, vremena napuštanja $t_r$ i vremena ulaza $t_e$ prema formuli(3): [11]

$$t_z = t_u + t_r - t_e \tag{3}$$

Kako bi se mogla utvrditi međuvremena, potrebno je odrediti putove napuštanja i putove prilaza. Put napuštanja $s_r$ predstavlja put između linije zaustavljanja i sjecišta s prilaznim putem započinjućeg prometnog toka, a sastoji se iz osnovnog puta napuštanja $S_0$ i fiktivne dužine vozila $l_{Fz}$ (uzima se za motorna vozila $l_{Fz}$ = 6 m). Prilazni put $S_e$ je put od linije zaustavljanja do sjecišta s putem napuštanja toka vozila koji izlazi iz raskrižja. Zaštitna međuvremena računaju se posebno za svaku fazu, posebno za vozila koja idu ravno i ona koja skreću. Iz toga slijedi (4) i (5):

$$t_r = \frac{S_0 + l_{Fz}}{v_r} \tag{4}$$

$$t_e = \frac{3{,}6 * S_e}{V_e} \tag{5}$$

Vrijednosti $S_0$ i $S_e$ izmjerene su na samom raskrižju, brzina $v_r$ za vozila koja idu ravno iznosi 10 m/s, a za vozila koja skreću 7 m/s, a brzina ulaza $V_e$ za vozila za sva vozila iznosi 40 km/h. Vrijeme prolaza $t_u$ za vozila koja idu ravno iznosi 3 s, a za vozila koja skreću 2 s. [11]

Međuvrijeme za zadano raskrižje računa se prema formuli(6):

$$t_z = t_u + \frac{S_0 + l_{Fz}}{v_r} - \frac{3{,}6 * S_e}{V_e} \tag{6}$$

Prva faza – vozila koja idu ravno:

$S_0$= 25 m

$S_e$= 14 m

$$t_{z1} = 3 + \frac{25 + 6}{10} - \frac{3{,}6 * 14}{40} = 4{,}84 \text{ [s]}$$

Prva faza – vozila koja skreću:

$S_0$= 36,2 m

$S_e$= 39,7 m

$$t_{z1} = 2 + \frac{36{,}2 + 6}{7} - \frac{3{,}6 * 39{,}7}{40} = 4{,}45 \text{ [s]}$$

Druga faza – vozila koja idu ravno:

$S_0$= 14 m

$S_e$= 25 m

$$t_{z2} = 3 + \frac{14+6}{10} - \frac{3{,}6 * 25}{40} = 2{,}75 \text{ [s]}$$

Druga faza – vozila koja skreću:

$S_0$= 22,1 m

$S_e$= 49,6 m

$$t_{z2} = 2 + \frac{22{,}1+6}{7} - \frac{3{,}6 * 49{,}6}{40} = 1{,}55 \text{ [s]}$$

Zaštitno međuvrijeme $t_z$ mora iznositi minimalno 5 s, a s obzirom da su vrijednosti dobivene proračunom niže od minimalne dozvoljene vrijednosti, za daljnji postupa semaforizacije, uzima se zaštitno vrijeme $t_z = 5s$ kao što je navedeno u [11].

Minimalno vrijeme propuštanja vozila odnosno zelenog svjetla na semaforu $t_{Gr}$ nikako ne bi smjelo biti manje od 5 s, a za kontinuirani promet glavnog smjera u pravilu se preporuča vrijeme propuštanja ne kraće od 15 s. Kod pješačkog prometa treba osigurati da tijekom zelenog vremena, pješaci mogu barem računski proći polovicu dužine kolnika. [11]

Vrijeme u fazi (zeleno svjetlo) u kojem nema kretanja naziva se izgubljeno vrijeme. Ukupno izgubljeno vrijeme u fazi $t_l$ sastoji se od ukupno izgubljenog vremena na početku paljenja zelenog svjetla $l_1$ koje iznosi 2 s i izgubljenog vremena pražnjenja $l_2$ koje predstavlja zaštitno međuvrijeme umanjeno za iskorištenje zaštitnih međuvremena od strane vozača e, koje iznosi e = 2 s. [11] za prvu fazu računa se prema (7), a za drugu prema (8).

$$\mathrm{t_{l1}} = \mathrm{l_1} + \mathrm{l_2} = 2 + (\mathrm{t_{z1}} - \mathrm{e}) = 2 + (5 - 2) = 5 \text{ [s]} \quad (7)$$

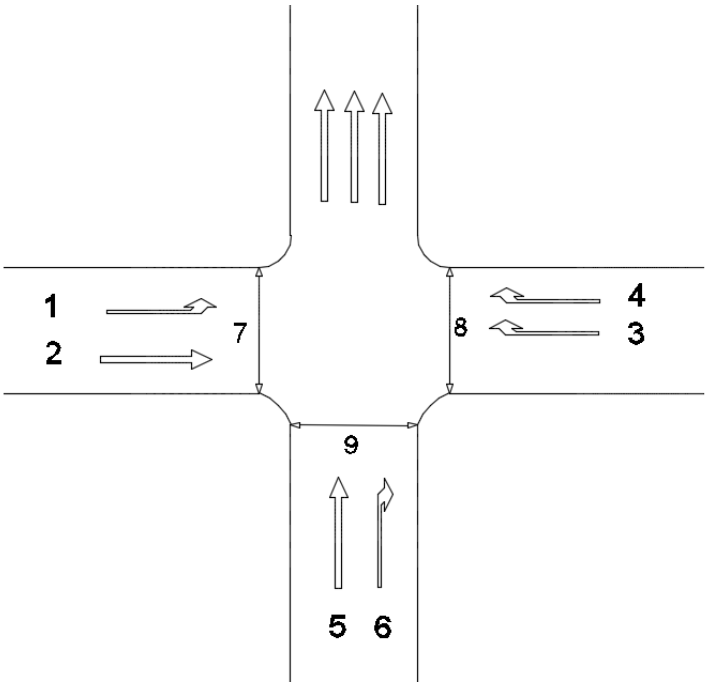
$$\mathrm{t_{l2}} = \mathrm{l_1} + \mathrm{l_2} = 2 + (\mathrm{t_{z2}} - \mathrm{e}) = 2 + (5 - 2) = 5 \text{ [s]} \quad (8)$$

Ukupno izgubljeno vrijeme u ciklusu L iznosi (9):

$$\mathrm{L} = \mathrm{t_{l1}} + \mathrm{t_{l2}} = 5 + 5 = 10 \text{ [s]} \quad (9)$$

Kako bi se definiralo trajanje signalne faze potrebno je definirati kritični prometni trak. Kritični prometni trak definira se na osnovu najveće prometne potražnje koja nije jednako raspoređena po svim prometnim trakovima. Prometni tokovi u raskrižju pretvaraju se u ekvivalent broja vozila za ravno, odnosno tokovi za lijeva i desna skretanja moraju biti konvertirani.

Prometni tokovi prikazani su na slici br. 29, a vrijednosti opterećenja prometnih tokova prikazane su u tablici 18, a za pješačke tokove u tablici 19.




**Slika 29.** Prikaz prometnih tokova na raskrižju Višeslavove, Bauerove i Jelenine ulice

**Tablica 18.** Opterećenje prometnih tokova

| Prometni tok | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Opterećenje u vršnom satu [vozila/h] | 24 | 240 | 267 | 269 | 47 | 220 |

**Tablica 19.** Opterećenje pješačkih tokova

| Pješački tok | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|
| Opterećenje u vršnom satu [pješaka/h] | 78 | 53 | 93 |

Pretvaranje tokova za desno u ekvivalent vozila za ravno $E_{rt}$ provodi se na način da se vozila koja skreću desno množe sa ekvivalentom prema tablici 20.

**Tablica 20.** Ekvivalent vozila za ravno $\boldsymbol{E_{rt}}$

| Broj pješaka na konfliktnom pješačkom prijelazu | Ekvivalent Ert |
|---|---|
| 0 | 1,18 |
| 50 | 1,21 |
| 200 | 1,32 |
| 400 | 1,52 |
| 800 | 2,14 |

Izvor: [11]

Iz toga proizlazi (10) i (11):

$V_{34D}$= (267+369)*1,32 = 537*1,32 = 709 [EJA/h] (10)

$V_{6D}$= 220*1,32 = 291 [EJA/h] (11)

Kod konvertiranja vozila za lijeva skretanja, uzima se u obzir broj trakova za ravno u suprotnom smjeru i njihovo opterećenje. S obzirom da na promatranom raskrižju ne postoji trak za ravno u suprotnom smjeru, prometno opterećenje za lijevo skretanje tretira se kao i vozila koja idu ravno, odnosno, opterećenje ostaje nepromijenjeno:

$V_{1L}$= 24 [vozila/h] -> trak za lijevo skretanje

$V_{2R}$= 240 [vozila/h]-> trak za ravno

$V_{5R}$= 47 [vozila/h]-> trak za ravno

Kritični prometni tok u prvoj fazi iznosi: $V_{c1}$= 709 [EJA/h]

Kritični prometni tok u drugoj fazi iznosi: $V_{c2}$= 304 [EJA/h]

Ukupno: $V_c = V_{c1} + V_{c2} = 709 + 304 = 1013$ [EJA/h]

Minimalno trajanje ciklusa iznosi 30 s, a željeno trajanje ciklusa računa se prema formuli (12):

$$C_{\check{Z}} = \frac{L}{1-[\frac{V_C}{1615} * PHF * \frac{v}{c}]} \quad (12)$$

Gdje je:

PHV- faktor vršnog sata (određuje se proizvoljno, uzeto PHF=0,92)

$\frac{v}{c}$ – stupanj zasićenja (određuje se proizvoljno, uzeto $\frac{v}{c} = 0{,}95$)

$$C_{\check{Z}} = \frac{10}{1-[\frac{1013}{1615} * 0{,}92 * 0{,}95]} = 35\ [s]$$

Ukupno efektivno zeleno vrijeme u ciklusu iznosi (13):

$$g_{tot} = C - L = 35 - 10 = 25\ [s] \quad (13)$$

te se zatim raspoređuje po fazama (14) za prvu fazu i (15) za drugu fazu:

$$g_1 = g_{tot} * \frac{V_{C1}}{V_C} = 25 * \frac{709}{1013} = 18\ [s] \quad (14)$$

$$g_2 = g_{tot} - g_1 = 25 - 18 = 7\ [s] \quad (15)$$

Nakon definiranja efektivnih zelenih vremena za svaku fazu potrebno je efektivno zeleno vrijeme pretvoriti u stvarno zeleno vrijeme što se postiže sa formulom (16):

$$G_i = g_i - t_{zi} + t_{li} \tag{16}$$

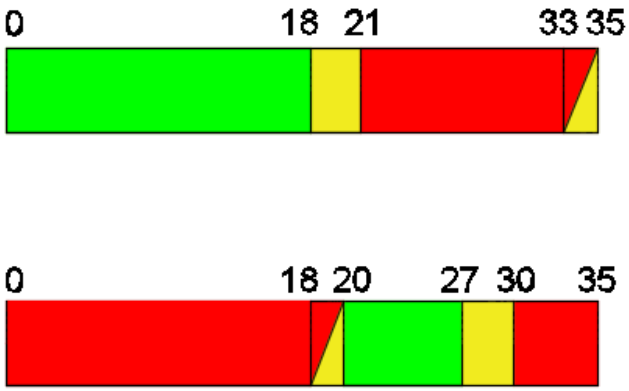
Za prvu fazu:

$$G_1 = g_1 - t_{z1} + t_{l1} = 18 - 5 + 5 = 18\ [s]$$

Za drugu fazu:

$$G_2 = g_2 - t_{z2} + t_{l2} = 7 - 5 + 5 = 7\ [s]$$

Na slici 30. grafički je prikazana raspodjela i trajanje faza.




**Slika 30.** Grafički prikaz raspodjele trajanja faza

Uspostava upravljanja prometnim tokovima na raskrižju pomoću svjetlosne signalizacije osigurala je nesmetan protok vozila tijekom trajanja zelenog svijetla, za sve prometne tokove te najopterećenije pješačke tokove. Spriječeno je sukobljavanje prometnih tokova na konfliktnim točkama, te povećana sigurnost odvijanja prometa unutar cijelog raskrižja.

## 1.4. Izmjena regulacije raskrižja

Raskrižje sa kružnim tokom prometa možemo definirati kao prometnu građevinu kod koje je kretanje vozila određeno središnjim kružnim otokom i kružnim kolnikom, te privozima s razdjelnim otocima i prometnim znakovima. [18]

Prema [18] kružno raskrižje se definira kao nesamaforizirano raskrižje u jednoj razini, a odvijanje prometa izvedeno je:

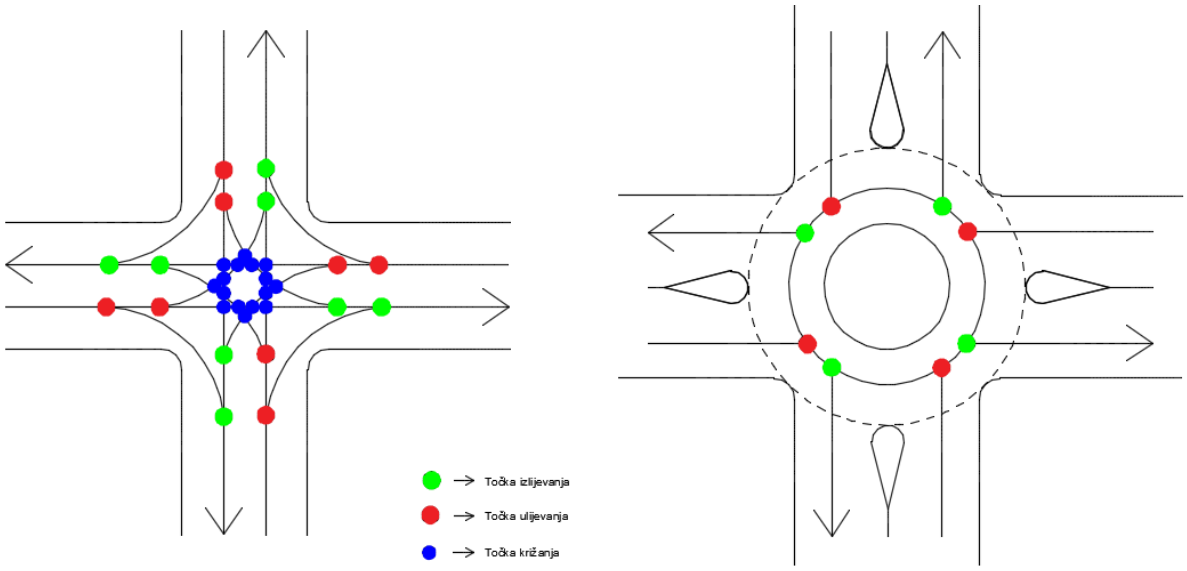
- Na jednotračnom odnosno dvotračnom kružnom kolniku;
- Sa jednim ili dva prometna traka na privozima koji se postavljaju što okomitije na ulazu u kružno raskrižje i

- S reguliranom prednošću kružnog prometa u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu:

Kružna raskrižja su raskrižja s kombinacijom prekinutog i neprekinutog prometnog toka, kod kojih ne vrijedi pravilo „desne strane“, već prednost imaju vozila koja se nalaze u kružnom toku. Brzine vožnje kod ovih raskrižja su smanjene, a omogućena je vožnja s velikim skretnim kutom prednjih kotača. Ukoliko je kružni tok slobodan, vozila s privoza ulaze u kružni tok smanjenom brzinom, bez zaustavljanja. Dugim vozilima je dopušteno koristiti prošireni (provozni dio) središnjeg otoka, kako bi mogli proći kroz raskrižje.

Prednosti kružnih raskrižja pred ostalim oblicima raskrižja, prema [16] su:

- znatno veća sigurnost (nužno smanjenje brzine prilikom ulaska u raskrižje, manji broj konfliktnih točaka od klasičnih izravno kanaliziranih raskrižja);
- manje posljedice prometnih nezgoda (nema čelnih sudara i sudara pod pravim kutom);
- propuštanje prometnih tokova velikih jakosti;
- vožnja je kontinuirana sa kaćim čekanjima na prilazima raskrižju;
- smanjena je emisija štetnih plinova i buka motora vozila;
- manje zauzimanje prostora pri jednakoj propusnoj moći (nepotrebni su trakovi za lijevo i desno skretanje);
- dobro rješenje za raskrižja s približno jednakim prometnim opterećenjem na glavnom i sporednom prometnom smjeru i u raskrižjima sa 5 ili više privoza;
- manji troškovi održavanja u odnosu na ostala raskrižja i
- dobro rješenje u funkciji smirivanja prometa u urbanim sredinama i mogućnost dobrog uklapanja u okolni prostor.




**Slika 31.** Konfliktne točke kod standardnog četverokrakog raskrižja i jednotračnog kružnog raskrižja

Izvor [18]

Na slici 31. prikazano je smanjenje broja konfliktnih točaka jednotračnog kružnog raskrižja u odnosu na izravno kanalizirano četverokrako raskrižje. Na slici je vidljivo da kod standardnog četverokrakog raskrižja postoji osam točaka ulijevanja, osam točaka izlijevanja te 16 točaka križanja, što ukupno iznosi 32 konfliktne točke. Kod raskrižja sa kružnim tokom prometa, točke ulijevanja i izlijevanja su upola smanjene, odnosno ovo raskrižje ima četiri točke ulijevanja i četiri točke izlijevanja. Točke križanja kod raskrižja sa kružnim tokom ne postoje, što znači da je ukupan broj konfliktnih točaka sveden na osam točaka.

Nedostaci kružnih raskrižja pred ostalim oblicima raskrižja prema [11] su:

- sigurnost prometa se smanjuje povećanjem broja voznih trakova u kružnom toku;
- u već izgrađenim područjima dolazi do poteškoća s pomanjkanjem prostora za izvedbu središnjeg otoka;
- višetračno kružno raskrižje ne preporuča se izvoditi pred institucijama za slijepe i slabovidne osobe, pred domovima za starije osobe, bolnicama i zdravstvenim domovima i na svim onim mjestima gdje nemotorizirani sudionici u prometu zbog svojih privremenih ili trajnih fizičkih oštećenja ne mogu sigurno prelaziti raskrižja bez svjetlosnih signalizacijskih uređaja, te pred školama, vrtićima i drugim mjestima na kojima se kreće veći broj djece;
- pri velikom intenzitetu biciklističkog ili pješačkog prometa koji presijecaju prilaze raskrižju, mogu se javiti problemi;
- ne preporuča se kod većeg broja lijevih skretača;
- na povećanje propusne moći raskrižja ne utječe naknadna semaforizacija;
- putanje vozila i pješaka, produljuju se u odnosu na izravno kanalizirana raskrižja i
- događa se nepotrebno presijecanje tokova koji skreću lijevo iz suprotnih smjerova, što kod izravno kanaliziranih raskrižja nije slučaj.

Prema [19] kružna raskrižja možemo podijeliti s obzirom na lokaciju i veličinu i tako mogu biti urbana i izvan urbana raskrižja. Varijantno rješenje raskrižja u promatranoj zoni je urbano, a urbana raskrižja možemo podijeliti na:

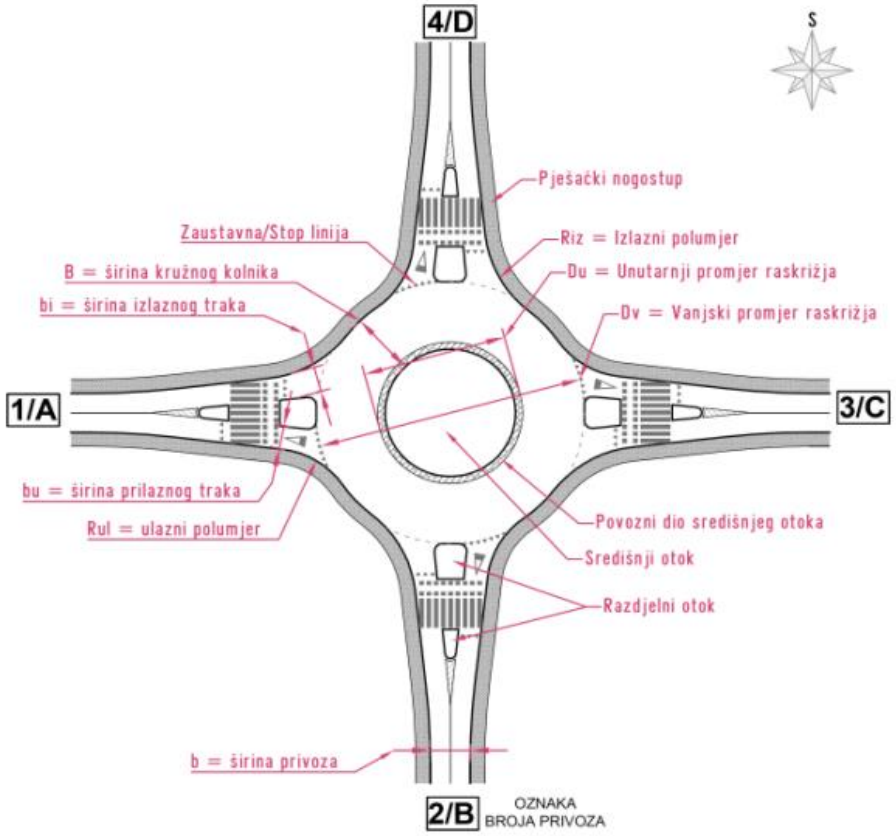
- Mini kružna raskrižja,
- Mala kružna raskrižja i
- Srednje velika kružna raskrižja.

Mini kružna raskrižja se grade u gusto izgrađenoj urbanoj sredini. Namjena im je smirivanje prometa, a očekivana brzina motornih vozila je do 25 km/h. Biciklističke staze se grade uz vanjski rub kružnog raskrižja, usporedno s prometnicom. Dimenzije ovakvih raskrižja su vrlo male, pa se ugrađuju montažni razdjelni otoci čije su dimenzije manje od minimalnih dopuštenih dimenzija za mala i srednje velika kružna raskrižja. Mini kružna raskrižja u pravilu imaju veću propusnu moć od i znatno veći stupanj prometne sigurnosti svih sudionika u prometu u usporedbi sa drugim ne semaforiziranim raskrižjima. Projektiranje mini kružnih raskrižja zahtijeva poseban pristup, a troškovi izvedbe su manji od ostalih kružna raskrižja.

Mala kružna raskrižja se izvode samo u urbanim sredinama, a očekivana brzina vožnje je do 30 km/h. Ukoliko su više prometno opterećena, biciklističke staze se preporučuje izvoditi u drugoj razini. Ova kružna raskrižja nude velike mogućnosti arhitektonskog i drugog oblikovanja okolice i središnjeg otoka, a izvode se na ulazima u manja naselja.

Srednje velika kružna raskrižja grade se u urbanim sredinama na jače opterećenim raskrižjima. Najveće brzine vožnje su do 40 km/h. Vođenje pješaka i biciklista izvodi se na izdignutim nogostupima i biciklističkim stazama, a razdjelni otoci omogućuju dovoljno prostora za osiguravanje biciklista prilikom prijelaza preko ulaza/izlaza.

Osnovni elementi urbanog kružnog raskrižja, prikazani su na slici 32.




**Slika 32.** Osnovni oblik kružnog raskrižja s oblikovnim elementima [11]

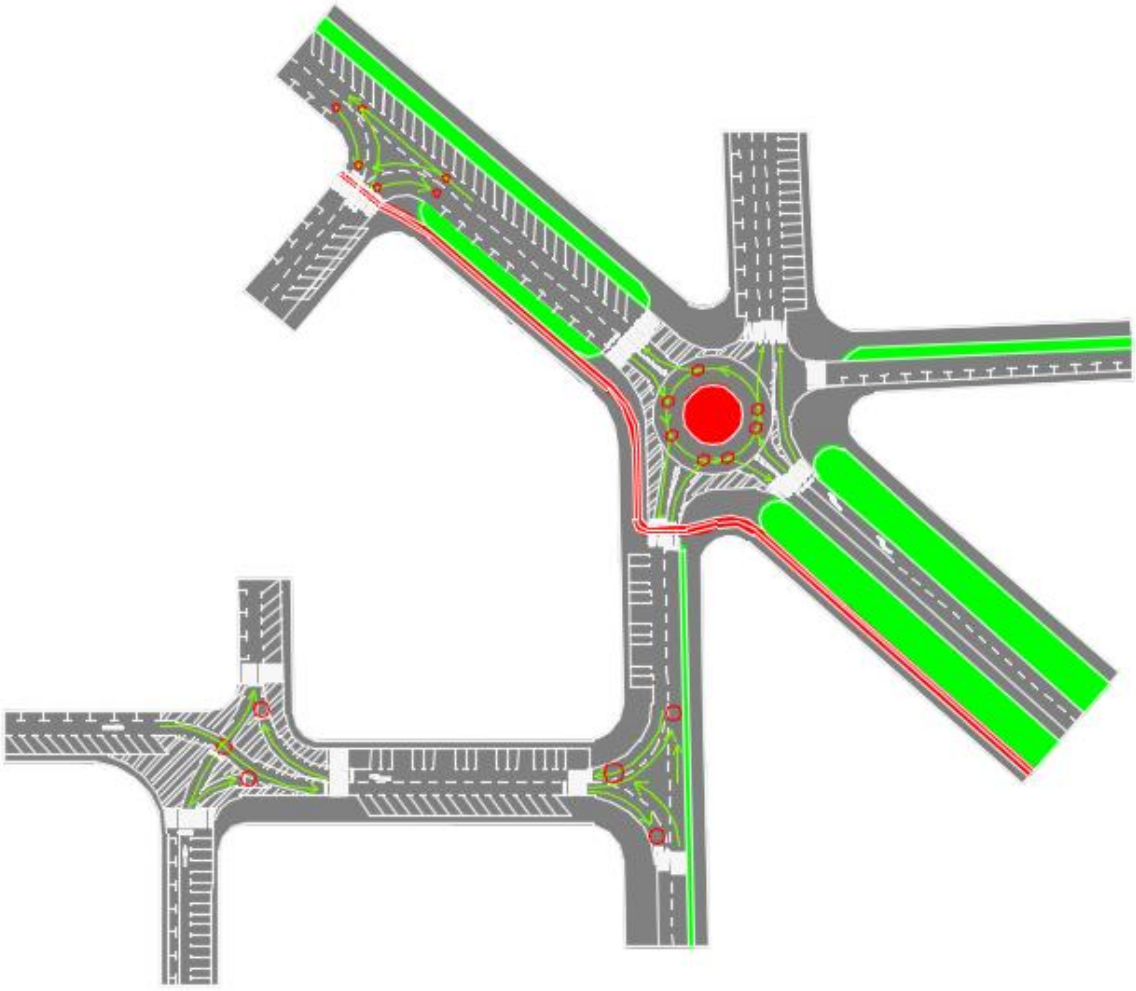
Četvrto varijantno rješenje podrazumijeva rekonstrukciju raskrižja Ulice kneza Višeslava, Antuna Bauera i Ulice kraljice Jelene u vidu raskrižja sa kružnim tokom prometa,. Postojeća horizontalna signalizacija, zamijenjena je kružnim prometnim trakom širine 7,5 m i središnjim otokom promjera 14 m. Vanjski promjer kružnog raskrižja iznosi 29 m, te obuhvaća prostor prometnih tokova iz svih smjerova, osim desnog rubnog traka južnog privoza Višeslavove ulice.

Južni privoz Višeslavove ulice, sa dva prometna traka prema Bauerovoj ulici, najopterećeniji je prometni tok cijelog raskrižja. Ukoliko bi oba traka usmjerili prema kružnom raskrižju, došlo bi do zagušenja prometa unutar kružnog toka, što bi uvelike smanjilo sigurnost raskrižja i narušilo propusnu moć. Kružno raskrižje sa dva prometna traka,

dodatno bi opteretilo ostale prometne pravce, jer je broj vozila koja iz južnog privoza Višeslavove ulice skreću u desno znatno veći, te bi se prolazak tih vozila kroz raskrižje znatno produžio zbog vremenskih praznina potrebnih za uključivanje u raskrižje sa kružnim tokom prometa.

Ukoliko bi uveli raskrižje sa kružnim tokom prometa, jednom prometnom trakom unutar raskrižja i reducirali broj prometnih trakova na promatranom privozu prije ulaska u samo kružno raskrižje, postoji velika mogućnost stvaranja uskog grla i prometnog zagušenja na južnom privozu Višelavove, zbog smanjenja prometnih kapaciteta koji osiguravaju nesmetani prolazak vozila kroz raskrižje.

Kao idealno rješenje pokazalo se kružno raskrižje koje obuhvaća sve prometne smjerove osim, rubnog desnog traka na južnom privozu Višeslavove, kao što je prikazano na slici 33. Ovaj prometni trak odvojen je posebno za desna skretanja, a drugi prometni trak na promatranom privozu ulazi u raskrižje sa kružnim tokom.



**Slika 33.** Izmjena regulacije raskrižja – Varijantno rješenje 4 (Prilog 5)

S obzirom na uvođenje ovakvog oblika regulacije prometnih tokova u raskrižju, moguće je uvesti i dodatan prometni trak na sjevernom privozu Višeslavove ulice. Ova ulica također postaje dvosmjerna, a prostor za dodatni trak u smjeru jug sjever, osigurati će se preregulacijom parkirnih mjesta. Sjeveroistočnom stranom ulice, na cijelom potezu od promatranog raskrižja, do Ulice trga Žrtava Fašizma uvest će se koso postavljena parkirna mjesta sa sjeverne strane privoza, a sa južne bočno postavljena parkirna mjesta.

Kao i kod varijanata 1 i 2 Ulica kraljice Jelene i Hrvojeva ulica izvedene su kao dvosmjerne ulice, a raskrižje Hrvojeve, Švearove, Ulice kneza Borne i Ulice Petra i Tome Erdodyja na način da se maksimalno smanji broj kolizijskih točaka i poveća propusnost raskrižja. Hrvojeva ulica je tako regulirana horizontalnom prometnom signalizacijom i prometnim znakom za obavezno skretanje desno, Ulica kneza Borne vodi ravno, a Ulica Petra i Tome Erdodyja ravno i desno, što je regulirano horizontalnom i vertikalnom prometnom signalizacijom.

Biciklistički promet se u kružnim raskrižjima vodi biciklističkom stazom, odvojeno od motornih vozila čak i u slučajevima ako se prije kružnog raskrižja biciklistički promet vodi kolnikom zajedno s motornim vozilima. Samo u iznimnim slučajevima se biciklistički promet u kružnom raskrižju vodi kolnikom zajedno s motornim vozilima. Biciklistička staza se izvodi u kružnom raskrižju na udaljenosti oko 5,0 m od vanjskog ruba raskrižja. Bicikliste se preporuča voditi jednosmjerno, te imaju prednost prolaska pred vozilima koja se uključuju u raskrižje. [14]

Biciklistička staza izvedena je slično kao i u prve dvije varijante, te zadovoljava sve potrebne kriterije za postavljanje biciklističke staze i vođenje biciklističkog prometa.

# 7. ODABIR OPTIMALNE VARIJANTE

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. [17]

Optimalna regulacija prometnih tokova na raskrižjima doprinosi smanjenju zagušenja i povećanju propusne moći. Npr. dvofazno reguliranje prometa svjetlosnim signalnim uređajima povoljnije je od trofazne ili četverofazne regulacije.

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 izlijevanja i znatno manje križanja. Osim motoriziranih sudionika u prometu, na raskrižjima se pojavljuju i pješaci i biciklisti koji također zahtijevaju osiguran poseban prostor za kretanje.

Najpovoljnija raskrižja sa aspekta sigurnosti i protočnosti su denivelirana raskrižja. Uvode se zbog smanjenja ili potpunog uklanjanja presijecanja prometnih tokova, međutim zbog prostornih i financijskih ograničenja, njihova izvedba nije uvijek moguća. [17]

Za promatranu zonu obuhvata predstavljena su četiri varijantna rješenja. Rješenjima se nastojala povećati sigurnost odvijanja prometa unutar zone za sve sudionike u prometu, smanjiti nepotrebna presijecanja prometnih tokova, osigurati odvijanje biciklističkog prometa te povećati propusna moć raskrižja na kojemu se javlja zagušenje.

Regulacija prometa na raskrižjima najzaslužnija je za funkcioniranje cijelog prometnog sustava. Iz tog razloga, izbor optimalne varijante vršit će se usporedbom nekoliko kriterija važnih za organizaciju prometnih tokova u promatranom raskrižju Ulica kneza Višeslava, Antuna Bauera i Ulice kraljice Jelene, te cijeloj zoni obuhvata. Kriteriji relevantni za odabir varijante su:

- Sigurnosni kriterij,
- Prometno tehničko rješenje,
- Ekološki pokazatelj i
- Prostorno urbanistički pokazatelj.

Radi jednostavnosti analize varijantnih rješenja, raskrižja sa većim promjenama u reguliranju prometnih tokova nazivamo prvo i drugo raskrižje i to: raskrižje Ulica kneza Višeslava, Antuna Bauera i Ulica kraljice Jelene je prvo, a raskrižje ulica Hrvojeve, Švearove, Ulice kneza Borne i Ulice Petra i Tome Erdodyja drugo raskrižje.

## 7.1. Vrednovanje varijantnih rješenja s obzirom na sigurnosni kriterij

Sigurnost u prometu uzeta je kao najvažniji kriterij za izbor varijanata. Svaka od ponuđenih varijanata promatra se sa aspekta sigurnosti kako bi se utvrdila najpovoljnija. Kao smjernice procjene sigurnosti promatramo broj konfliktnih točaka, mogućnosti nastanka prometnih nesreća te sigurnost pješaka i biciklista.

Promatrajući prvo raskrižje u prvom varijantnom rješenju sa aspekta sigurnosti prometa, možemo zaključiti da je ono prilično nesigurno zbog velikog broja konfliktnih točaka. Broj konfliktnih točaka na tom raskrižju je deset. Kao i drugo raskrižje koje sa tri jednosmjerne i jednom dvosmjernom ulicom ima šest konfliktnih točaka. Kod raskrižja sa većim brojem konfliktnih točaka, veće su i mogućnosti nastanka prometnih nesreća. Nesreće na ovako reguliranim raskrižjima mogu biti vrlo različite, od čelnih sudara, bočnih sudara, sudara pod određenim kutom, te naleta vozila na pješaka i biciklistu. Za zaštitu i vođenje biciklista uvedena je biciklistička staza, što povoljno utječe na razinu sigurnosti.

Prvo raskrižje u drugom varijantnom rješenju ima sedam konfliktnih točaka, a drugo raskrižje tri, odnosno broj konfliktnih točaka na drugom raskrižju drugog varijantnog rješenja je u pola manji nego isti kod prvog varijantnog rješenja. Samim smanjenjem konfliktnih točaka na raskrižju, znatno se povećava razina sigurnosti cijelog raskrižja pa tako i promatrane zone. U drugoj varijanti također je uvedena biciklistička staza, te možemo reći da je drugo varijantno rješenje povoljnije sa aspekta sigurnosti nego prvo rješenje.

Kod trećeg varijantnog rješenja promijenjeno je samo prvo raskrižje na kojem je uvedena regulacija prometa pomoću svjetlosnih signalnih uređaja. Ovo varijantno rješenje svodi broj konfliktnih točaka na najmanju moguću, odnosno eliminira konfliktne točke odgovarajućom signalizacijom. Ovakvo rješenje smanjuje broj prometnih nesreća i njihove posljedice, ali je ugrožena sigurnost biciklista zbog nedostatka biciklističke staze. U ovom varijantnom rješenju broj i usmjerenje prometnih tokova u raskrižju je ostao nepromijenjen kao i usmjerenost prometnih tokova. Sa aspekta sigurnosti, povoljnije je rješenje od prethodnih.

Četvrto varijantno rješenje predviđa uređenje prvog raskrižja implementacijom raskrižja sa kružnim tokom prometa. Ovo raskrižje ima sedam konfliktnih točaka. S obzirom na nužno smanjenje brzine prije ulaska u samo raskrižje i način vođenja prometnih tokova, smanjen je broj prometnih nesreća i njihove posljedice, a uvođenjem biciklističke staze, postigla se sigurnost i zaštita pješaka. Drugo raskrižje je izvedeno sa tri konfliktne točke kao i u drugom varijantnom rješenju. Iako je u trećem varijantnom rješenju manji broj konfliktnih točaka u prvom raskrižju, s obzirom na ostale povoljnije faktore unutar promatrane zone, možemo zaključiti da je sa aspekta sigurnosti ipak povoljnije četvrto varijantno rješenje.

Prema prvom kriteriju izbora optimalne varijante uređenje prometnih tokova u promatranoj zoni, četvrto varijantno rješenje pokazalo se najboljim.

## 7.2. Prometno tehnički aspekt varijantnih rješenja

Prema prometno tehničkom rješenju, varijantna rješenja možemo vrednovati ovisno o propusnoj moći, ograničenju brzine i dulji repa čekanja. Propusna moć i duljina repa čekanja ovise o organizaciji prometnih tokova, vremenskim prazninama potrebnim za uključivanje sporednog u glavni tok te tehničkim karakteristikama raskrižja.

U prvom varijantnom rješenju, regulacija prometnih tokova izvedena je pomoću horizontalne i vertikalne signalizacije. Vozila sa sporednog toka iskorištavaju vremenske praznine za uključivanje u glavni tok.

Na prvom raskrižju prednost prolaska imaju vozila koja skreću desno iz smjera južnog privoza Višeslavove ulice, te vozila koja ulaze u raskrižje na sjevernom privozu iste. Vozila koja se uključuju u prometni tok iz Ulice kraljice Jelene iskorištavaju vremenske praznine za uključivanje u glavni tok bilo da vožnju nastavljaju ravno prema ulici Antuna Bauera ili kreću desno. Na ovom privozu stvaraju se repovi čekanja i smanjena je propusna moć zbog velikog broja vozila na glavnom smjeru. Ulica kraljice Jelene za smjer ravno unutar raskrižja ima dvije prometne trake i čak dva puta presijeca glavni tok, što je dodatno opterećenje prilikom prolaska kroz raskrižje. Vozila se nakupljaju na drugoj točki kolizije ovog prometnog pravca, što uzrokuje zagušenje glavnog prometnog iz smjera sjevernog privoza Višeslavove ulice, jer će se neka vozila zaustaviti na tom prometnom traku. Loše tehničko rješenje je uvođenje dvije trake za prometni tok iz smjera Jelenine ulice, jer vozila u južnom traku nemaju osiguranu dostatnu preglednost za vozila koja nailaze iz sjevernog privoza Višeslavove ulice, zbog vozila koja se nalaze u sjevernom traku Jelenine ulice.

Problem prometno tehničkog rješenja drugog raskrižja je kolizija tri prometna pravca koji se uključuju u prometni tok Švearove ulice. Prometno opterećenje sva tri prometna pravca slijeva se u jedan, koji iz tog razloga postaje zagušen. Na ovaj način se smanjuje propusna moć i stvaraju repovi čekanja, što negativno utječe na propusnu moć i odvijanje prometa unutar cijele zone.

Prvo raskrižje u drugom varijantnom rješenju razlikuje se od raskrižja u prvom varijantnom rješenju jedino u broju prometnih trakova koji vode iz smjera Jelenine ulice u Bauerovu. Smanjenje broja trakova u ovom slučaju djeluje povoljno jer se povećava preglednost prometne trake iz smjera Jelenine ulice, u odnosu na dvije trake kao što je prikazano u prvom varijantnom rješenju. Osim povećanja preglednosti, ostali problemi unutar raskrižja nisu uklonjeni, te se raskrižje sa aspekta prometno tehničkog rješenja može smatrati nepovoljnim.

U drugom raskrižju drugog varijantnog rješenja, promijenjena je smjernost Ulice Petra i Tome Erdoyija. Ova ulica sada ima smjer od sjevera prema jugu. Ovakva regulacija prometnih tokova ima povoljan učinak na povećanje propusne moći raskrižja, na smanjenje repova čekanja i općenito funkcioniranje prometnog sustava u promatranoj zoni.

Duljina repa čekanja u trećem varijantnom rješenju reducirana je koordinacijom signalnih planova susjednih raskrižja, čime se postiže održavanje plotuna vozila i povećanje

propusne moći. Ovaj vid uređenja raskrižja, također omogućuje prolazak vozila sa sporednih privoza, prekidom velikih prometnih opterećenja na glavnim privozima, te se može pozitivno ocijeniti sa aspekta prometno tehničkog rješenja.

Raskrižje sa kružnim tokom prometa, kao rješenje prvog raskrižja u četvrtom varijantnom rješenju može se smatrati povoljnim sa više gledišta. Prilikom ulaska u raskrižje, nužno je smanjenje brzine vožnje, a vožnja je kontinuirana sa kraćim čekanjima na privozu raskrižja. Prometni tok sa južnog privoza Višeslavove ulice, jednim svojim trakom ulazi u kružni tok, te nastavlja vožnju u bilo kojem prometnom pravcu, dok drugi prometni tok prolazi pored raskrižja sa kružnim tokom i bez kolizije sa ostalim prometnim tokovima prolazi kroz raskrižje u smjeru desno. S obzirom na ovakvu regulaciju prometa, na sjevernom privozu Višeslavove ulice, omogućena je dvosmjerna regulacija prometa što otvara nove prometne smjerove i rasterećuje najopterećeniji prometni tok.

Drugo raskrižje četvrtog varijantnog rješenja sastoji se od tri prometna pravca sa tri kolizijske točke, repovi čekanja su maksimalno smanjeni, a propusna moć povećana.

Organizacija prometnih tokova u četvrtom varijantnom rješenju može se smatrati najpovoljnijom sa aspekta prometno tehničkog rješenja, jer povećava propusnu moć u cijeloj zoni obuhvata, predviđa neometani protok na najopterećenijem prometnom smjeru, otvara novi smjer vožnje što dodatno rasterećuje promatrano raskrižje, smanjuje brzine vožnje i repove čekanja na privozima.

## 7.3. Ekološki pokazatelji varijantnih rješenja

Ekološke pokazatelje možemo promatrati ovisno o emisiji štetnih plinova i razini buke. Zagušenja u prometu i čekanje na prolazak kroz raskrižje povećava emisiju štetnih plinova, a brzine kretanja vozila neposredno utječu na razinu buke.

Emisija štetnih plinova povećana je prilikom brze vožnje, u „stani kreni“ vožnjama, odnosno općenito kod kretanja vozila. Stajanje i kretanje vozila ovisi o propusnoj moći raskrižja, te o repovima čekanja na svakom pojedinom privozu. „Stani kreni“ vožnje dešavaju se prilikom ulaska vozila u raskrižje, odnosno čekanja na uključivanje u glavni prometni tok. Iz navedenog možemo zaključiti da je sa aspekta emisije štetnih plinova varijantno rješenje sa najvećom propusnom moći ujedno i varijantno rješenje sa najmanjom količinom ispušnih plinova.

U prethodnim analizama varijantnih rješenja sa prometno - tehničkog aspekta, prvo varijantno rješenje pokazalo se kao najlošije. To je rješenje sa malom propusnom moći i velikim repovima čekanja. Najpovoljnije rješenje u istoj analizi pokazalo se četvrto varijantno rješenje. Ovo rješenje je najpovoljnije i ako se analizira emisija štetnih plinova, koja je smanjena samim time što je znatno povećana propusna moć, a uvođenjem raskrižja sa kružnim tokom prometa, smanjene su i brzine vožnje.

Brzina vožnje osim što utječe na emisiju štetnih plinova, znatno utječe i na razinu buke, koja se povećava kod velikih brzina, kao i kod „stani kreni“ vožnje. U prva tri varijantna rješenja, teško se može smanjiti razina buke. Ukoliko vozila imaju pravo prednosti i nisu ometana vozilima iz sporednih privoza, kroz raskrižje mogu proći bez zaustavljanja, odnosno sa velikim brzinama.

Uvođenje raskrižja sa kružnim tokom prometa smiruje promet, prisiljava vozače na smanjenje brzine vožnje kako bi mogli proći kroz raskrižje i samim time smanjuje razinu buke, te možemo zaključiti da je to varijantno rješenje i u ovom slučaju najpovoljnije.

## 7.4. Prostorno urbanistički pokazatelji varijantnih rješenja

U prostorno urbanističke pokazatelje ubrajamo zauzimanje zemljišne površine, narušavanje krajobraza i kompleksnost izvedbe raskrižja. Regulacija tokova provodi se u urbanom području, u kojem su troškovi zemljišta visoki, a veliku važnost ima dodatno zauzimanje zemljišne površine kao i kompleksnost izvedbe.

Sva četiri varijantna rješenja izvedena su bez dodatnog zauzimanja prostora, što je povoljno sa aspekta prostorno urbanističkih pokazatelja. No kod analize kompleksnosti izvedbe raskrižja, postoje razlike. Možemo reći da su prva dva varijantna rješenja slična po pitanju izvedbe, odnosno troškovi izvedbe odnose se samo na postavljanje nove i uklanjanje postojeće prometne signalizacije i ti troškovi nisu veliki. Kod druge dvije varijante troškovi su nešto veći, međutim razlika u troškovima između te dvije varijante nije znatna.

Narušavanje krajobraza pokazuje kako će se raskrižje uklopiti u okolinu te koliko će utjecati na njenu promjenu. Raskrižje sa kružnim tokom, smiruje promet, smanjuje brzine vožnje, ne zauzima dodatnu površinu, dobro se uklapa u okolni prostor i kao takvo ima prednost pred ostalim varijantnim rješenjima sa aspekta prostorno urbanističkih pokazatelja.

# 8. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je prikazati problematiku odvijanja prometnih tokova unutar zone parka Kralja Petra Krešimira IV u Zagrebu, predložiti nova rješenja regulacije prometnih tokova te izabrati optimalno rješenje. Promatrana zona nalazi se u samom središtu Grada Zagreba i vrlo je važna za funkcioniranje cestovnog prometnog sustava cijelog grada. Prvi korak je analiza postojećeg stanja infrastrukture u kojoj su analizirane sve važnije prometne površine unutar zone, nakon čega je provedena i detaljna analiza prometnih tokova.

U svrhu analize prometnih tokova, izvršeno je brojanje prometa koje je provedeno u jutarnjem i popodnevnom vršnom periodu. Dobiveni rezultati predstavljaju prometno opterećenje i podloga su za izradu prijedloga novih varijantnih rješenja.

Analizom prometnih tokova pokazalo se da jedno od prometno najopterećenijih raskrižja unutar zone, raskrižje Ulice kneza Višeslava, Antuna Bauera i Ulice kraljice Jelene, nije adekvatno uređeno sa aspekta odvijanja prometa. Raskrižje se nalazi u samom centru promatrane zone i stoga je vrlo značajno za funkcioniranje cjelokupnog prometnog sustava unutar zone obuhvata. Neadekvatna organizacija prometnih tokova ovog raskrižja očituje se u velikom broji konfliktnih točaka, nedovoljnom propusnom moći, zagušenjima, odnosno stvaranjem repova čekanja na privozima raskrižju. U sklopu ove analize provedena je i analiza pješačkog i biciklističkog prometa u kojoj se pokazalo da je ugradnja biciklističke staze nužna za adekvatno vođenje i zaštitu biciklista kojih je u promatranoj zoni veliki broj.

Temeljem provedenih analiza predložena su četiri varijantna rješenja čiji je cilj povećanje sigurnosti kretanja motoriziranih sudionika u prometu, kao i najranjivije skupine korisnika cestovne prometne infrastrukture, pješaka i biciklista. Varijantna rješenja obuhvaćaju povećanje propusne moći smanjenjem broja konfliktnih točaka, otvaranjem novih i izmjenom dosadašnjih prometnih pravaca.

U prva dva varijantna rješenja provedene su izmjene regulacije prometnica u zoni obuhvata i uređena su raskrižja kod kojih je došlo do promjena. Treće varijantno rješenje predstavlja uvođenje svjetlosne prometne signalizacije na raskrižju kojom se nastoji riješiti problem predmetne zone, a u četvrtom rješenju uvodi se raskrižje sa kružnim tokom prometa.

Sva četiri varijantna rješenja vrednovana su prema četiri kriterija važna za organizaciju prometnih tokova u promatranom raskrižju. Prvi kriterij je i najvažniji,a to je sigurnosni kriterij. Prema ovom kriteriju, najpovoljnijom se pokazalo varijantno rješenje četiri. Ovo rješenje smanjuje broj konfliktnih točaka, uvjetuje vozačima smanjenje brzine vožnje, povećava propusnu moć, otvara nove smjerove vožnje što povoljno utječe na funkcioniranje cjelokupne zone obuhvata.

Kao prema prvom kriteriju, četvrto varijantno rješenje pokazalo se optimalnim i prema ostala tri kriterija, prometno - tehnološkim, ekološkim i prema prostorno urbanističkim pokazateljima.

# POPIS LITERATURE

[1] URL: http://www.kartazagreba.info/ (pristupljeno srpanj.2017.)

[2] URL: https://sites.google.com/site/gradzagrebrajic1/prometna-povezanost (pristupljeno srpanj 2017.)

[3] URL: https://geoportal.zagreb.hr (pristupljeno srpanj 2017.)

[4] Golubić J., Kolar V.: Ekološki aspekti optimizacije prometa na raskrižjima u gradu Zagrebu, Zagreb, 2011.

[5] Sudop B., Studija integriranog prometnog sustava za grad Zagreb, Zagrebačku Županiju i Krapinsko – Zagorsku županiju, Inen d.o.o., 2008.

[6] Prometno tehnološko projektiranje, nastavni materijali, Sveučilište u Zagrebu, FPZ, 2015/2016

[7] Dadić I., Kos G.: Teorija i organizacija prometnih tokova (skripta), FPZ, Zagreb. 2007

[8] Cerovac V.: Tehnika i sigurnost prometa, Sveučilište u Zagrebu, FPZ, Zgareb 2001.

[9] Slavulj M.: Brojanje prometa, nastavni materijali, Sveučilište u Zagrebu, FPZ, Zagreb, 2010.

[10] Sigurnost cestovnog i gradskog prometa I, nastavni materijali, Sveučilište u Zagrebu, FPZ, Zagreb, 2010.

[11] Hozjan D., Novačko L.: Cestovne prometnice II - interna skripta za izradbu seminarskog rada, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2009.

[12] Zakon o sigurnosti prometa na cestama, NN 67/2008, Čl. 2, 2008

[13] Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa, NN 110/2001, Čl. 5.1.8. i 5.1.9., Ministarstvo pomorstva, prometa i veza, 2001.

[14] Paravilnik o uvjetima za projektiranje i izgradnju biciklističkih staza i traka, Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture, Zagreb, 2013.

[15] Pravilnik o biciklističkoj infrastrukturi („Narodne novine“, broj 28/16)

[16] Dadić I., Kos I.: Prometno i prostorno planiranje, nastavni materijali, Fakultet prometnih znanosti, Veleučilište u Gospiću, Zagreb, 2007.

[17] Dadić I. i suradnici: Teorija i organizacija prometnih tokova, Sveučilište u Zagrebu, FPZ, Zagreb, 2014

[18] Legac I.: Raskrižja javnih cesta, Sveučilište u Zagrebu, Fpz, Zagreb, 2008.

[19] Dimter S., Barišić I., Omazić I.: Kružna raskrižja – suvremeni način rješavanja prometa u gradovima, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, 2010.

# POPIS SLIKA

Slika 1.: Zemljopisni smještaj grada Zagreba [18] ..... 3
Slika 2.: Prometna mreža grada Zagreba [18] ..... 4
Slika 3.: Kretanje stanovništva Grada Zagreba [2] ..... 5
Slika 4.: Mikrolokacija promatrane zone [20] ..... 6
Slika 5.: Raskrižje Ulica kneza Višeslava, Antuna Bauera i Ulice kraljice Jelene [18] ..... 8
Slika 6.: Privoz Višeslavove ulice – jug [18] ..... 9
Slika 7.: Privoz Bauerove ulice [18] ..... 9
Slika 8.: Privoz kneza Višeslava – sjever [18] ..... 10
Slika 9.: Prikaz privoza kraljice Jelene [18] ..... 10
Slika 10.: Odnosi između prometnih tokova ..... 14
Slika 11.: Nepotrebna presijecanja prometnih tokova ..... 16
Slika 12.: Satni protok vozila u godini dana svrstanih po veličini (kumulativno) [4] ..... 19
Slika 13.: Vršni promet u tijeku promatranog sata [4] ..... 21
Slika 14. Garfički prikaz prometnog opterećenja prometnih tokova u jutarnjem vršnom satu (07:30-08-30) ..... 29
Slika 15. Garfički prikaz prometnog opterećenja prometnih tokova u popodnevnom vršnom satu (15:45-16-45) ..... 29
Slika 16. Prikaz smjernosti i usmjerenosti ulica u zoni obuhvata ..... 31
Slika 17. Prikaz prometnih tokova i konfliktnih točaka ..... 32
Slika 18. Slobodni profil pješačkog nogostupa za jedan a) i za dva b) reda pješaka ..... 36
Slika 19. Prometni poprečni profil biciklističkih staza potrebni za promet jednog a), odnosno dva b) reda bicikla ..... 37
Slika 20. Prometni poprečni profil biciklističkih staza potrebni za promet bicikla i pješaka .. 38
Slika 21. Dijagram odnosa broja biciklista i motornih vozila tokom 24 h ..... 39
Slika 22. Osnovni načini vođenja biciklističkog prometa u raskrižju [9] ..... 40
Slika 23.: Tri moguća usmjerenja na dijelu cestovne prometnice između dva čvora ..... 43
Slika 24. Izmjena regulacije prometnica u zoni obuhvata – Varijanta 1 (Prilog 1) ..... 44
Slika 25. Primjer nepotrebnog presijecanja prometnih tokova a) i b) rješenje nepotrebnog presijecanja prometnih tokova [11] ..... 45
Slika 26. Izmjena regulacije prometnica u zoni obuhvata – Varijanta 2 (Prilog 2) ..... 46
Slika 27. Položaj signalnih uređaja i raspored prometnih tokova u fazi 1 – Varijantno rješenje 3 (Prilog 3) ..... 48
Slika 28. Položaj signalnih uređaja i raspored prometnih tokova u fazi 2 – Varijantno rješenje 3 (Prilog 2) ..... 49
Slika 29. Prikaz prometnih tokova na raskrižju Višeslavove, Bauerove i Jelenine ulice ..... 52
Slika 30. Grafički prikaz raspodjele trajanja faza ..... 54
Slika 31. Konfliktne točke kod standardnog četverokrakog raskrižja i jednotračnog kružnog raskrižja ..... 55
Slika 32. Osnovni oblik kružnog raskrižja s oblikovnim elementima [12] ..... 57
Slika 33. Izmjena regulacije raskrižja – Varijantno rješenje 4 (Prilog 5) ..... 58

# POPIS TABLICA

Tablica 1. Dimenzije prometnica na križanju Bauerove i Višeslavove ulice..... 11
Tablica 2. Vrijednosti koeficijenata EJA za određene vrste vozila..... 24
Tablica 3. Rezultati brojanja prometa na sjevernom privozu Višeslavove ulice – vozila koja idu ravno (07:30-08:30) ..... 25
Tablica 4. Rezultati brojanja prometa na sjevernom privozu Višeslavove ulice – vozila koja skreću lijevo (07:30-08:30) ..... 25
Tablica 5. Rezultati brojanja prometa na sjevernom privozu Višeslavove ulice – vozila koja idu ravno (15:45-16:45) ..... 25
Tablica 6. Rezultati brojanja prometa na sjevernom privozu Višeslavove ulice – vozila koja skreću lijevo (15:45-16:45) ..... 26
Tablica 7. Rezultati brojanja prometa na privozu Ulice kraljice Jelene – vozila koja idu ravno (07:30-08:30)..... 26
Tablica 8. Rezultati brojanja prometa na privozu Ulice kraljice Jelene – vozila koja skreću desno (07:30-08:30) ..... 26
Tablica 9. Rezultati brojanja prometa na privozu Ulice kraljice Jelene – vozila koja idu ravno (15:45-16:45)..... 27
Tablica 10. Rezultati brojanja prometa na privozu Ulice kraljice Jelene – vozila koja skreću desno (15:45-16:45) ..... 27
Tablica 11. Rezultati brojanja prometa na južnom privozu Ulice kneza Višeslava – vozila koja skreću desno (07:30-08:30)..... 28
Tablica 12. Rezultati brojanja prometa na južnom privozu Ulice kneza Višeslava – vozila koja skreću desno (15:45-16:45)..... 28
Tablica 13. Rezultati brojanja pješaka i biciklista na privozu Ulice kneza Višeslava – sjever, u vremenu od 07:30-08:30 i od 15:45-16:45..... 33
Tablica 14. Rezultati brojanja pješaka i biciklista na privozu Ulice kraljice Jelene, u vremenu od 07:30-08:30 i od 15:45-16:45..... 34
Tablica 15. Rezultati brojanja pješaka i biciklista na privozu Ulice kneza Višeslava – jug u vremenu od 07:30-08:30 i od 15:45-16:45..... 34
Tablica 16. Rezultati brojanja pješaka i biciklista na privozu Ulice Antuna Bauera, u vremenu od 07:30-08:30 i od 15:45-16:45..... 34
Tablica 17. Dimenzije biciklističkih prometnih površina ..... 37
Tablica 18. Opterećenje prometnih tokova ..... 52
Tablica 19. Opterećenje pješačkih tokova..... 52
Tablica 20. Ekvivalent vozila za ravno $Ert$ ..... 52

# POPIS PRILOGA

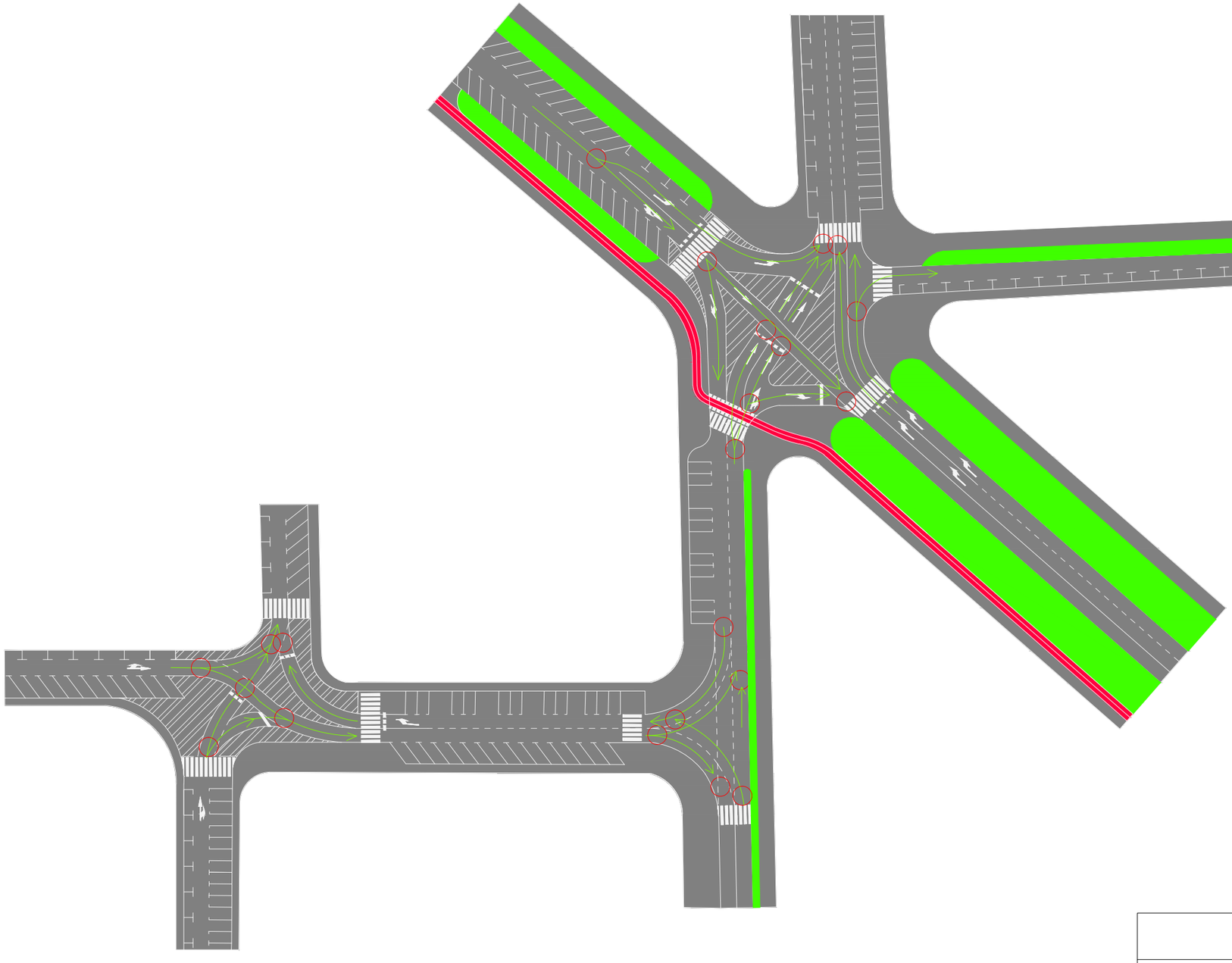
Prilog 1: Shematski prikaz izmjene regulacije prometnica u zoni obuhvata – Varijanta 1

Prilog 2: Shematski prikaz izmjene regulacije prometnica u zoni obuhvata – Varijanta 2

Prilog 3: Shematski prikaz prve faze upravljanja svjetlosnim signalnim uređajima na raskrižju – Varijanta 3

Prilog 4: Shematski prikaz druge faze upravljanja svjetlosnim signalnim uređajima na raskrižju – Varijanta 3

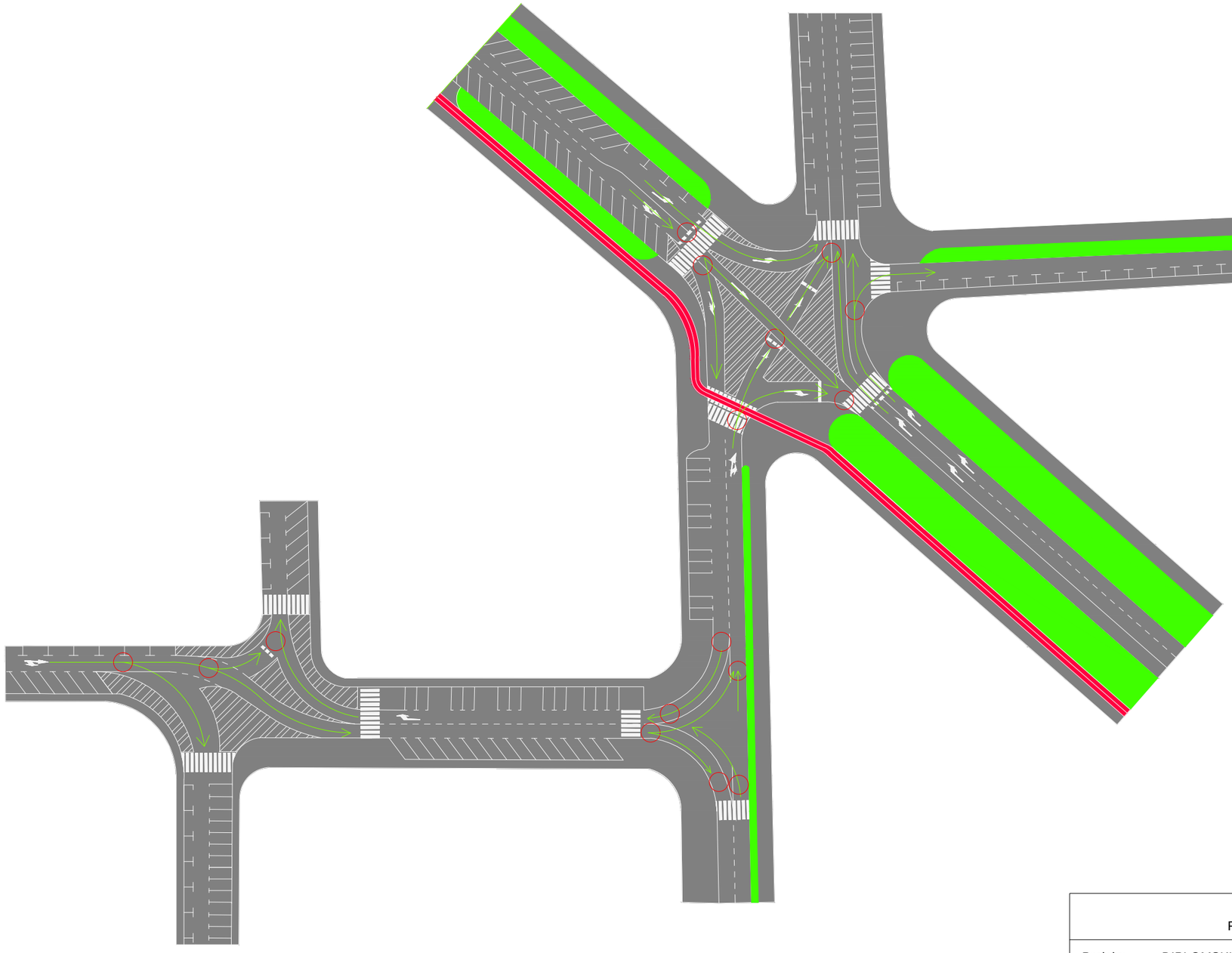
Prilog 5: Shematski prikaz izmjene regulacije raskrižja u zoni obuhvata – Varijanta 5



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Projekt: DIPLOMSKI RAD
Kolegij: TEORIJA PROMETNIH TOKOVA
Prilog 1: Shematski prikaz izmjene regulacije prometnica u zoni obuhvata - varijanta 1

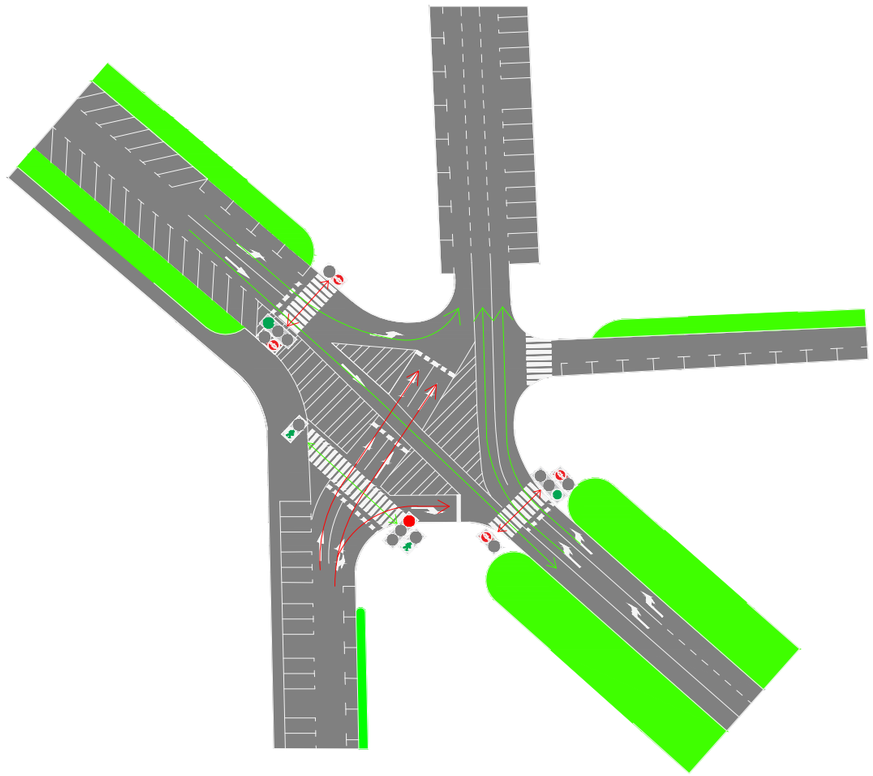
| | |
|---|---|
| Datum: 28.08.2017. | Mjerilo: M 1:1000 |
| Student: Sanja Valečić | Mentor: Dr.sc. Marko Ševrović |



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Projekt: DIPLOMSKI RAD
Kolegij: TEORIJA PROMETNIH TOKOVA
Prilog 2: Shematski prikaz izmjene regulacije prometnica u zoni obuhvata - varijanta 2

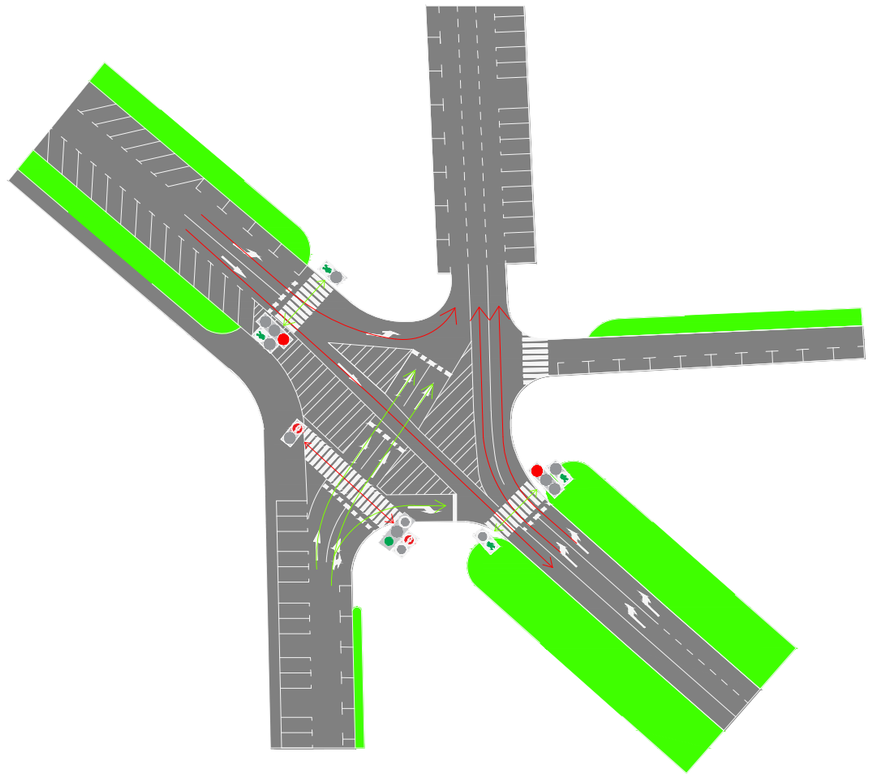
| | |
|---|---|
| Datum: 28.08.2017. | Mjerilo: M 1:1000 |
| Student: Sanja Valečić | Mentor: Dr.sc. Marko Ševrović |



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Projekt: DIPLOMSKI RAD
Kolegij: TEORIJA PROMETNIH TOKOVA
Prilog 3: Shematski prikaz prve faze svjetlosne signalizacije - varijanta 3

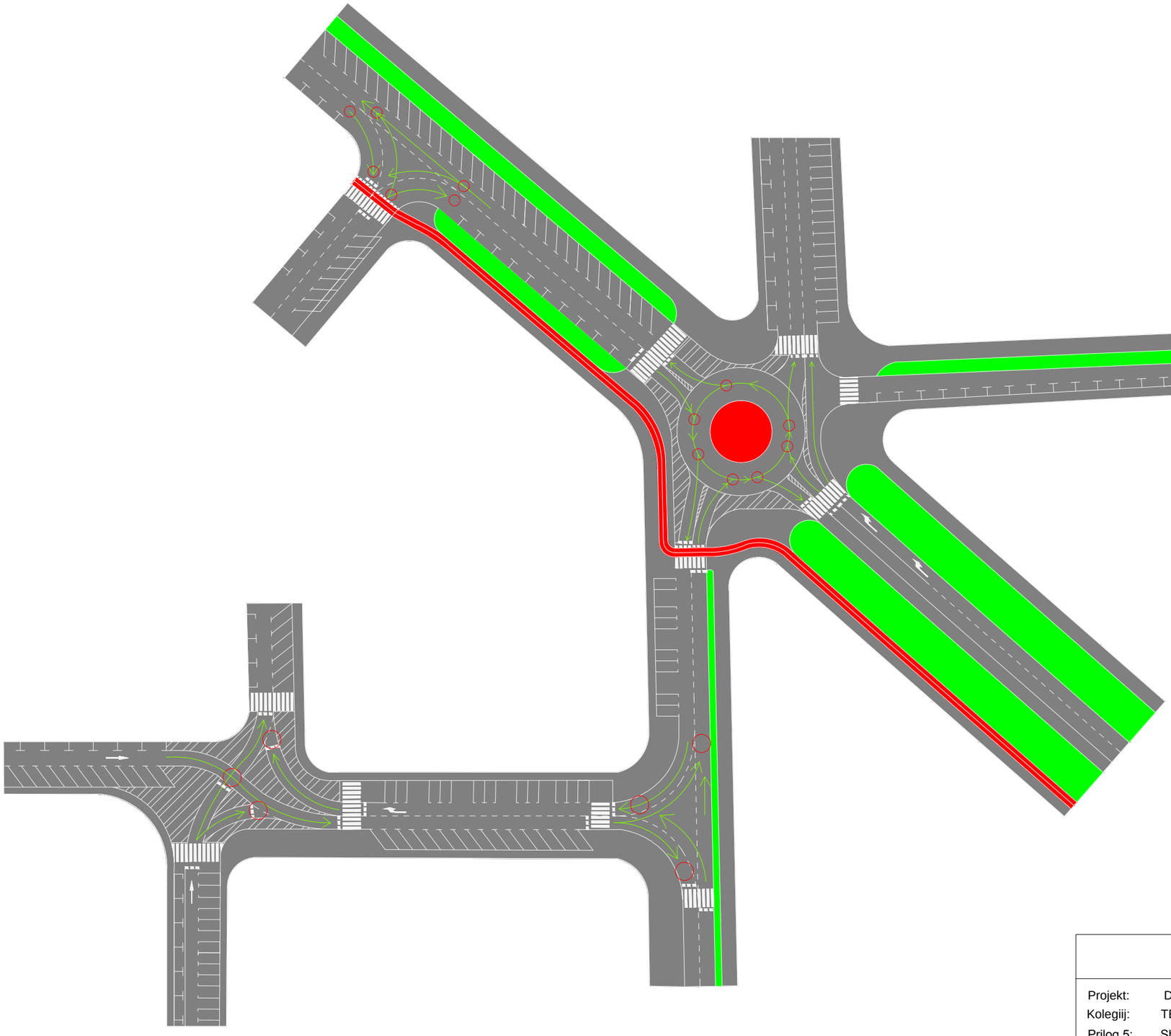
| | |
|---|---|
| Datum: 28.08.2017. | Mjerilo: M 1:1000 |
| Student: Sanja Valečić | Mentor: Dr.sc. Marko Ševrović |



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Projekt: DIPLOMSKI RAD
Kolegij: TEORIJA PROMETNIH TOKOVA
Prilog 4: Shematski prikaz druge faze svjetlosne signalizacije - varijanta 3

| | |
|---|---|
| Datum: 28.08.2017. | Mjerilo: M 1:1000 |
| Student: Sanja Valečić | Mentor: Dr.sc. Marko Ševrović |



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Projekt: DIPLOMSKI RAD
Kolegij: TEORIJA PROMETNIH TOKOVA
Prilog 5: Shematski prikaz izmjene regulacije raskrižja - varijanta 4

| | |
|---|---|
| Datum: 28.08.2017. | Mjerilo: M 1:1000 |
| Student: Sanja Valečić | Mentor: Dr.sc. Marko Ševrović |

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 **Regulacija prometnih tokova u zoni Trga Kralja Petra Krešimira IV u Zagrebu**

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

U Zagrebu, 15.9.2017

Student/ica:

*(potpis)*