Optimizacija funkcionalne učinkovitosti raskrižja ulica Zagrebačka - Varaždinska - A. Starčevića - I. Česmičkog u Koprivnici

Starčević, Darko

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:119:472536

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

Darko Starčević

OPTIMIZACIJA FUNKCIONALNE UČINKOVITOSTI RASKRIŽJA ULICA ZAGREBAČKA – VARAŽDINSKA – – A. STARČEVIĆA – I. ČESMIČKOG U KOPRIVNICI

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 19. travnja 2016.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 3494

Pristupnik: **Darko Starčević (0135225234)**
Studij: Promet
Smjer: Cestovni promet

Zadatak: **Optimizacija funkcionalne učinkovitosti raskrižja ulica Zagrebačka - Varaždinska - A. Starčevića - I. Česmičkog u Koprivnici**

Opis zadatka:

U radu će se analizirati raskrižje ulica Zagrebačka - Varaždinska - A. Starčevića - I. Česmičkog u Koprivnici koje nije optimalno koncipirano i oblikovano pa u vršnim satima nastaju veliki repovi čekanja odnosno prometno zagušenje. Analizirati će se postojeća prometna situacija, vođenje i regulacija prometa te prometna potražnja. Uz analizu stanja sigurnosti i izračuna razine usluge pomoću mikrosimulacijskog programskog alata PTV VISSIM, utvrdit će se prijedlozi prometnih rješenja za povećanje funkcionalne učinkovitosti i smanjenja emisije štetnih plinova.

Zadatak uručen pristupniku: 21. ožujka 2016.

Mentor:

dr. sc. Hrvoje Pilko

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

OPTIMIZACIJA FUNKCIONALNE UČINKOVITOSTI RASKRIŽJA ULICA ZAGREBAČKA – VARAŽDINSKA – – A. STARČEVIĆA – I. ČESMIČKOG U KOPRIVNICI

OPTIMIZATION OF THE FUNCTIONAL EFFICIENCY OF THE INTERSECTION OF STREETS ZAGREBACKA – – VARAZDINSKA – A. STARCEVICA – I. CESMICKOG IN KOPRVNICA

Mentor: dr. sc. Hrvoje Pilko

Student: Darko Starčević
JMBAG: 0135225234

Zagreb, rujan 2016.

OPTIMIZACIJA FUNKCIONALNE UČINKOVITOSTI RASKRIŽJA ULICA ZAGREBAČKA – VARAŽDINSKA – A. STARČEVIĆA – I. ČESMIČKOG U KOPRIVNICI

SAŽETAK

U ovom radu izvršena je analiza funkcionalne učinkovitosti i sigurnosti raskrižja Ulica Zagrebačka – Varaždinska – A. Starčevića – I. Česmičkog u Koprivnici koje nije optimalno koncipirano i oblikovano. Analizirana je postojeća prometna situacija, vođenje i regulacija prometa te prometna potražnja. Izvršena je optimizacija signalnog plana, izrađena su dva varijantna rješenja malih kružnih raskrižja i tri mini kružnih raskrižja prema postojećim važećim smjernicama i preporukama. Analizom stanja sigurnosti, izračunom razine usluge i prognozom prometnog opterećenja za narednih 20 godina pomoću mikrosimulacijskog programskog alata PTV Vissim utvrđena je optimalna varijanta.

KLJUČNE RIJEČI: funkcionalna učinkovitost; prometna sigurnost; PTV Vissim mikrosimulacija; optimalna oblikovna varijanta; Koprivnica

SUMMARY

Master thesis analyzes functional efficiency and safety of the intersection Street Zagrebacka – Varazdinska – A. Starcevica – I. Cesmickog in City of Koprivnica, which is not optimally conceived and designed. The existing traffic situation, the regulation of traffic and traffic demand was analyzed. The optimization of the signal plan, development of two alternative solutions for small roundabouts and three for mini roundabouts was performed according to the existing valid guidelines and recommendations. With the use of microsimulation software tool PTV Vissim and analyzing traffic safety, calculating level of service and traffic demand forecasting for the next 20 years the optimal design variant was determined.

KEY WORDS: functional efficiency; traffic safety; PTV Vissim microsimulation; optimal design variant; City of Koprivnica

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. OSNOVNE ZNAČAJKE RASKRIŽJA U RAZINI 3

3. PROMETNI POLOŽAJ GRADA KOPRIVNICE I DISPOZICIJA RASKRIŽJA 6

4. ČETVEROKRAKO SEMAFORIZIRANO RASKRIŽJE 9

4.1 Analiza šireg područja raskrižja 9

4.2 Analiza postojećeg stanja raskrižja 12

4.2.1 Analiza prometne infrastrukture 13

4.2.2 Analiza upravljanja prometnim svjetlima na raskrižju 21

4.2.3 Analiza podataka o brojanju prometa u 2014. godini 28

5. PRIJEDLOZI RJEŠENJA ZA OPTIMIZACIJU FUNKCIONALNE UČINKOVITOSTI 35

5.1 Reprogramiranje semaforskog uređaja 37

5.2 Analiza projektno-oblikovnih elemenata varijantnih rješenja malih kružnih raskrižja 40

5.3 Analiza projektno-oblikovnih elemenata varijantnih rješenja mini kružnih raskrižja 48

5.4 Usporedba geometrijskih elemenata varijantnih rješenja raskrižja 57

6. ANALIZA STANJA SIGURNOSTI 61

6.1 Analiza prometnih nesreća 61

6.2 Prosječne brzine kretanja vozila 63

6.3 Konfliktne točke 64

7. OPTIMIZACIJA FUNKCIONALNE UČINKOVITOSTI POMOĆU MIKROSIMULACIJSKOG PROGRAMSKOG ALATA VISSIM 66

7.1 Evaluacija postojećeg stanja 67

7.2 Usporedba idejnih prometnih rješenja raskrižja i postojećeg stanja raskrižja 70

7.3 Prognoza prometa 73

8. ZAKLJUČAK 76

Literatura 78

Popis slika 80

Popis tablica 82

Popis grafikona 83

Popis priloga 83

1. UVOD

Cestovna infrastruktura najraširenija je prometna grana Hrvatske te predstavlja ključni element za njezin rast i gospodarski razvoj. Prema objavljenim podatcima Državnog Zavoda za statistiku Republike Hrvatske u Statističkom ljetopisu Republike Hrvatske (RH) za 2015. godinu o količini sprevezene robe i putnika za razdoblje od 2005. do 2014. godine u svim prometnim granama, može se zaključiti da je u RH dominantan prijevoz putnika i robe cestovnim motornim vozilima odnosno cestovnom prometu. Prometna infrastruktura mora osigurati kvalitetan prijevoz ljudi i dobara uz visoku razinu funkcionalne učinkovitosti i prometne sigurnosti. Da bi se to ostvarilo, potrebni su kvalitetni razvojni projekti i dodatna financijska ulaganja na raskrižjima i dionicama cesta koje predstavljaju povećanu opasnost prometovanja za sve sudionike u prometu kao i na lokacijama gdje se pojavljuju zagušenja zbog nedovoljne protočnosti prometnih trakova.

Problemi sigurnosti i propusne moći u cestovnom prometu češće se javljaju u raskrižjima urbanih sredina gdje se pojavljuje velik broj raznih sudionika u prometu te je stoga od posebne važnosti pristupiti rješavanju problema takvih neracionalno izvedenih raskrižja. Postavlja se pitanje opravdanosti planiranja, projektiranja i izgradnje novog ili rekonstrukcije postojećeg raskrižja.

Iz tog razloga, cilj ovog rada je analiza funkcionalne učinkovitosti i prometne sigurnosti varijantnih rješenja raskrižja Ulica Ivana Česmičkog, Ulica Ante Starčevića, Ulica Zagrebačka i Varaždinske ceste koje ne zadovoljava potrebama povećanog prometa, posebno u jutarnjim i popodnevnim vršnim satima. Svrha istraživanja je postizanje optimalnog vođenja prometa na promatranom raskrižju. Rad je podijeljen u osam cjelina:

1. Uvod
2. Osnovne značajke raskrižja u razini
3. Prometni položaj grada Koprivnice i dispozicija raskrižja

4. Četverokrako semaforizirano raskrižje
5. Prijedlozi rješenja za optimizaciju funkcionalne učinkovitosti
6. Analiza stanja sigurnosti
7. Optimizacija funkcionalne učinkovitosti pomoću mikrosimulacijskog programskog alata Vissim
8. Zaključak.

U drugom poglavlju opisane su osnovne značajke raskrižja u razini. Navedeni su klasični svojstveni tipovi raskrižja u razini i načela optimalnosti koja moraju zadovoljavati kod njihove izgradnje ili rekonstrukcije.

U trećem poglavlju opisan je prometni položaj grada Koprivnice i povezanost s važnim prometnim pravcima i koridorima RH. U sklopu navedenog, prikazan je i položaj promatranog raskrižja u odnosu na mrežu društvenih i gospodarskih djelatnosti užeg područja Koprivnice.

Četvrto poglavlje obuhvaća sveobuhvatnu analizu stanja promatranog raskrižja. Analizirana je prometna infrastruktura, upravljanje prometnim svjetlima i podatci o brojanju prometa 2014. godine u karakterističnim vremenskim intervalima.

U petom su poglavlju, osim reprogramiranja semaforskog uređaja, predložena oblikovna rješenja za optimizaciju funkcionalne učinkovitosti raskrižja. Predložena su varijantna rješenja s kružnim tokom prometa izvedena kao dvojna mala i dvojna mini kružna raskrižja. Provedena je analiza i usporedba projektno-oblikovnih elemenata svih varijantnih rješenja.

U šestom poglavlju provedena je analiza raskrižja sa sigurnosnog aspekta (analiza prometnih nesreća, prosječna brzina kretanja vozila, konfliktne točke i preglednost). Nakon toga, u sedmom poglavlju prišlo se postupku optimizacije funkcionalne učinkovitosti pomoću mikrosimulacijskog programskog alata PTV Vissim (Vissim) kroz evaluaciju postojećeg stanja, usporedbu idejnih prometnih rješenja i postojećeg stanja raskrižja te u osmom poglavlju prognoza prometa za buduće razdoblje po intervalima 5, 10, 15 i 20 godina.

2. OSNOVNE ZNAČAJKE RASKRIŽJA U RAZINI

Općenito se raskrižja mogu opisati kao točke u mreži prometnica, u kojima se prometni tokovi spajaju, razdvajaju, križaju ili prepliću. Zbog svih prometnih radnji i mogućih konflikata u raskrižju su naglašeni problemi propusnosti i sigurnosti prometa. Raskrižja u mreži javnih cesta pojavljuju se u više oblikovnih modaliteta, a mogu se razvrstati na:

- raskrižja u jednoj razini
- raskrižja izvan razine
- raskrižja s kružnim tokom
- kombinirana raskrižja.

Raskrižja izvan razine i sve kombinacije raskrižja izvan razina primjerenija su prostorima izvan naselja [1].

Obzirom da je u radu analizirano postojeće raskrižje u razini, u ovom poglavlju obradila se teorijska podloga za takav tip raskrižja.

Raskrižje u razini je raskrižje na kojemu se križaju ili spajaju dvije ili više cesta u istoj razini. Ona predstavljaju čvorna mjesta u cestovnoj mreži, a oblikovana su i uređena tako da omogućavaju funkcioniranje cestovnog prometa. Ovaj oblik raskrižja najbrojniji je u praksi. Zadovoljavaju prometna opterećenja do 800 voz/h po smjeru te vremenske praznine toka od 6 sekundi i više, što su značajke pretežito lokalnih, županijskih i djelomično državnih cesta. Po mjestu primjene izvode se izvan i unutar naselja [2].

U fazi koncipiranja raskrižja neophodno je utvrditi sljedeće parametre:

- glavne i sporedne ceste ili privoze
- dopuštene brzine u zoni raskrižja
- projektna načela i okvire
- preduvjete za sigurnost prometa
- propusnu moć raskrižja itd [1].

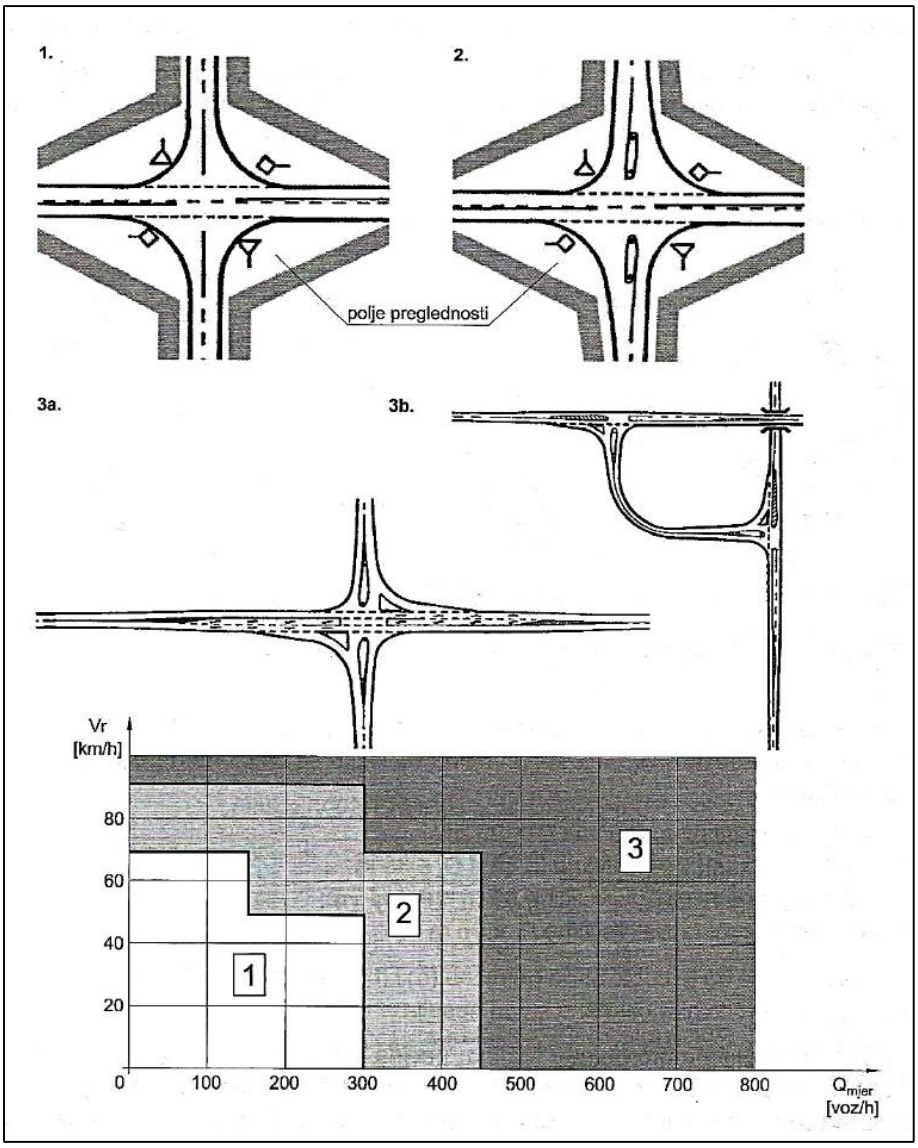
Dostatna kvaliteta odvijanja prometa mora biti sigurno postavljena u raskrižju, osobito unutar naseljenih područja s više vrsta prometa (motorni, biciklistički i pješački promet) budući da se pripadne prometne površine za pojedine vrste prometa bar djelomično prekrivaju ili presijecaju u raskrižju.

Prilikom izgradnje novog ili rekonstrukcije postojećeg raskrižja u razini, ona moraju zadovoljavati četiri glavna načela optimalnosti:

- maksimum funkcionalnosti u korištenju
- maksimum prikladnosti u održavanju
- maksimum izvodljivosti u rekonstrukciji
- minimum investicija [1].

Funkcionalna učinkovitost prometa raskrižja je kvalitativna mjera operativnoga stanja prometnoga toka i oblikovnosti raskrižja koja obuhvaća više različitih prometnih parametara (propusnu moć, razinu usluge, stupanj iskorištenja i zasićenja, duljinu repa čekanja raskrižja) [3].

Raskrižja u razini trebaju se planirati tako da budu što manje štetna za okoliš što često povećava cijenu izvedbe odnosno ekonomičnost rješenja. Klasični tipovi raskrižja u razini podijeljeni su u tri osnovna tipa koji počivaju na prometno-tehničkim parametrima (raspored ceste, brzina, prometno opterećenje) odnosno na omjeru računske brzine (V_r) i mjerodavnog opterećenja glavnog kolnika (Q_{mjer}), prikazano na slici 2.1. [2].



Slika 2.1. Klasični svojstveni tipovi raskrižja u razini, [2]

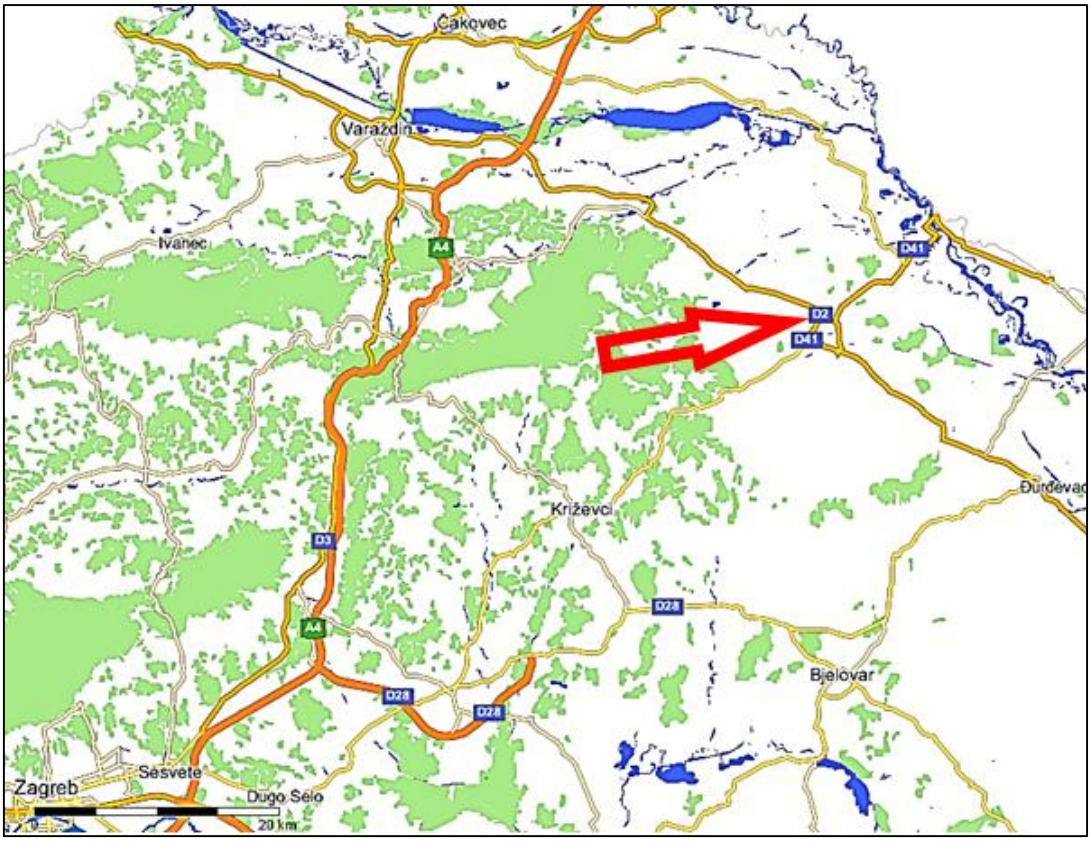
Tip 1 se preporuča za izrazito malo prometno opterećenje (do 300 voz/h iz glavnog smjera). Tip 2 odgovara manjem do srednjem prometnom opterećenju s količinom lijevog skretanja do 10% od Q_{mjer}, a pristup sa sporedne ceste se usmjerava manjim klinastim otokom. Tip 3a predstavlja standardno rješenje raskrižja cesta viših prometnih učinaka (npr. glavne provozne i sabirne ceste), a tip 3b predstavlja kombinirano rješenje s raskrižjem glavnih cesta izvan razine i s priključcima u istoj razini.

3. PROMETNI POLOŽAJ GRADA KOPRIVNICE I DISPOZICIJA RASKRIŽJA

Grad Koprivnica nalazi se na sjeverozapadnom dijelu RH te predstavlja administrativno središte Koprivničko-križevačke županije. Smješten je 50 km jugoistočno od Varaždina te 85 km sjeveroistočno od Zagreba, na nadmorskoj visini od 149 m. Prostorno je dobro pozicioniran obzirom na važne prometne koridore (križište transverzalnog koridora Budimpešta – Rijeka i longitudinalnog Varaždin – Osijek) što je čini strateški dobro povezanom s okolnim prostorom Europske unije.

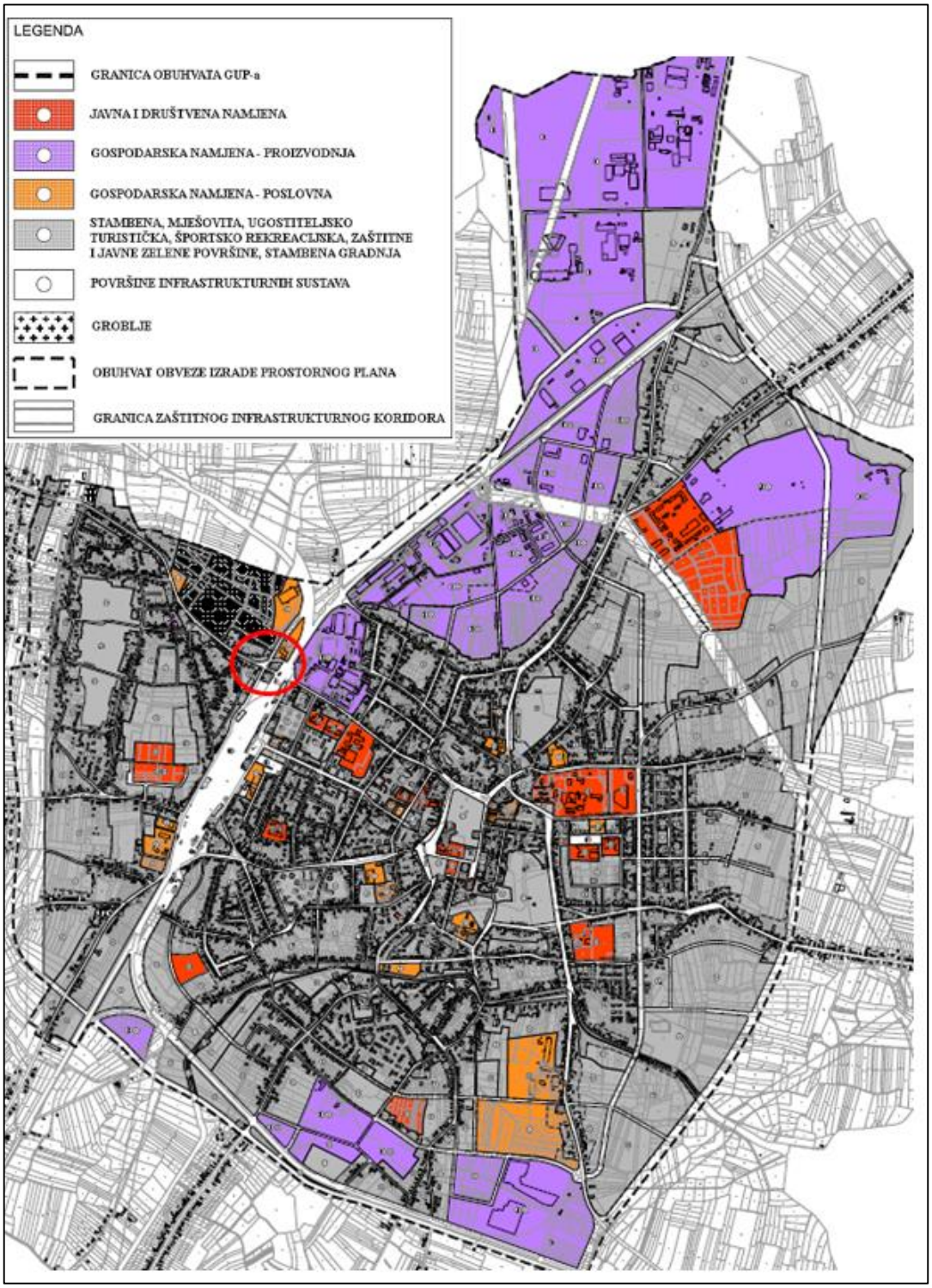
Područjem Grada Koprivnice prolaze sljedeće državne ceste (slika 3.1.):

- D2; G.P. Dubrava Križovljanska (gr. R. Slovenije) - Varaždin - Virovitica - Našice - Osijek - Vukovar - G.P. Ilok (gr. R. Srbije),
- D41; G.P. Gola (gr. R. Mađarske) - Koprivnica - Križevci - Vrbovec (D26) [4].



Slika 3.1. Dispozicija raskrižja i prometni položaj grada Koprivnice, [5]

Na slici 3.2. prikazan je položaj promatranog raskrižja (u crvenom krugu) u odnosu na mrežu društvenih i gospodarskih djelatnosti užeg područja grada Koprivnice.



Slika 3.2. Dispozicija raskrižja s obzirom na mrežu društvenih i gospodarskih djelatnosti, [6]

Promatrano raskrižje nalazi se na zapadnom ulazu u centralno gradsko područje Koprivnice. Sjeveroistočno od raskrižja smještena je industrijska zona (Podravka, Belupo, Carlsberg itd.) i pravac prema mađarskoj granici (udaljenost 15 km). Istočno od raskrižja nalazi se uži centar grada i dio djelatnosti Podravke. Ova dva smjera predstavljaju velike prometne atraktore u jutarnjim vršnim satima i produktore u poslijepodnevnim vršnim satima. Jugozapadno od raskrižja proteže se državna cesta D2 iz smjera Zagreba, a zapadno od raskrižja također državna cesta D2 iz smjera Varaždina.

4. ČETVEROKRAKO SEMAFORIZIRANO RASKRIŽJE

U ovom poglavlju izvršena je analiza šireg područja promatranog raskrižja kako bi se utvrdila važnost za odvijanje prometa gradom, dispozicija i stanje drugih raskrižja pozicioniranih u neposrednoj blizini. Nakon toga, sagledano je postojeće stanje raskrižja:

- kroz analizu prometne infrastrukture, provjerom svih projektno-tehničkih elemenata i njegovih dimenzija, provjerom provoznosti mjerodavnog vozila i provjerom preglednosti raskrižja
- analizom upravljanja prometnim svjetlima na raskrižju kroz analizu signalnih planova i utjecaja oblikovnog izgleda raskrižja na učinkovitost semaforizacije
- analizom podataka o brojanju prometa što predstavlja jedan od glavnih ulaznih podataka pri prometnom planiranju i projektiranju.

4.1 Analiza šireg područja raskrižja

Razlog velikog prometnog opterećenja promatranog raskrižja je taj što pored njega samo tri raskrižja povezuju zapadni dio grada (smjer Zagreb i Varaždin) sa istočnim dijelom grada (smjer centar grada i industrijska zona) čije su međusobne udaljenosti velike dok je u jednom slučaju mala. Osim toga, raskrižjem prolazi državna cesta D2, a njome tranzitni promet Varaždin – Osijek i Zagreb – Varaždin. Na slici 4.1. prikazana su tri ostala raskrižja isprekidanim kvadratima, a zapadni i istočni dio grada razdvaja željezničko čvorište što je i uzrok premalog broja raskrižja.



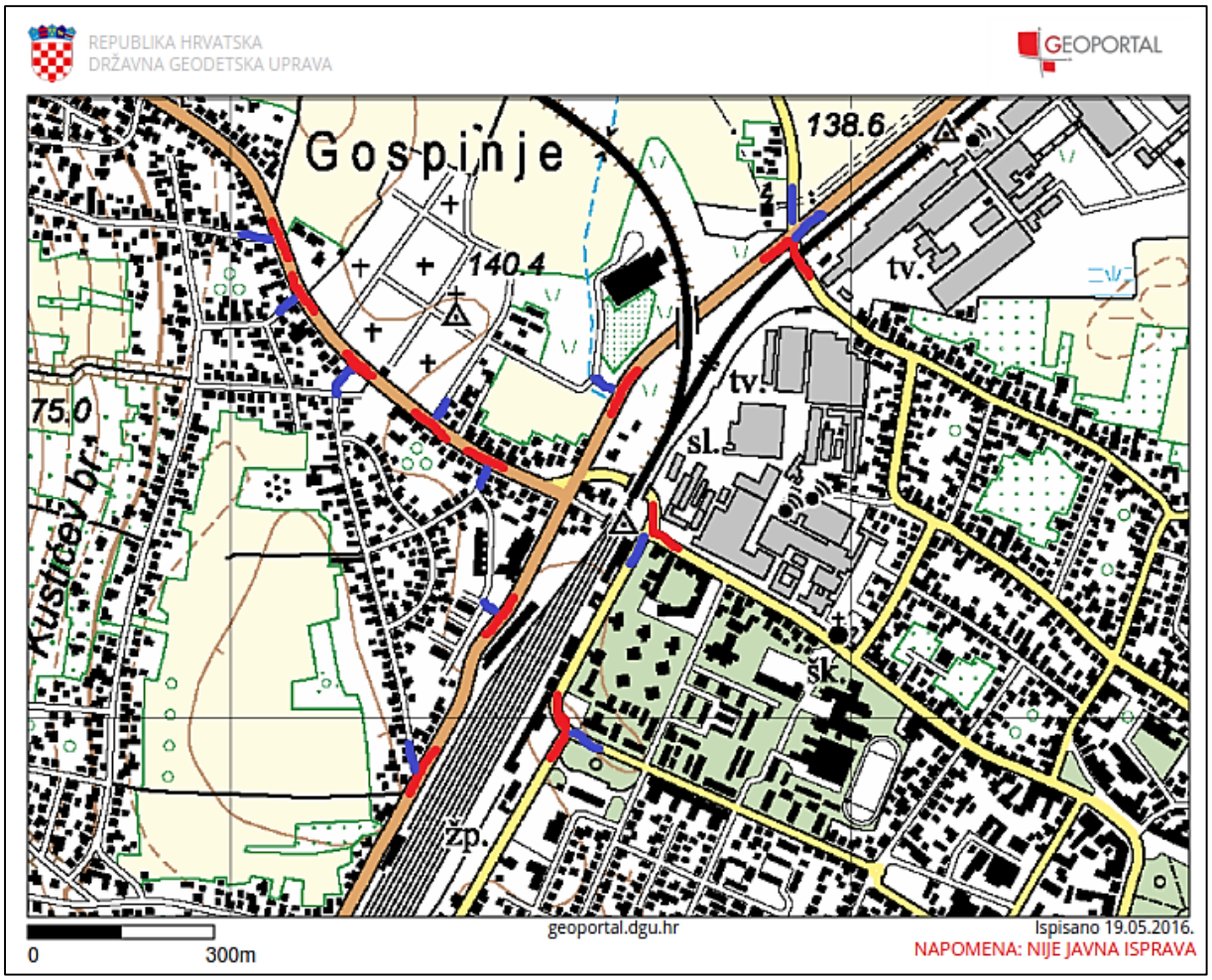
Slika 4.1. Dispozicija raskrižja u prometnoj mreži grada Koprivnice

Legenda: crveni puni kvadrat – promatrano raskrižje; crveni isprekidani kvadrat – ostala raskrižja koja povezuju zapadni i istočni dio grada, [7]

Izvršen je terenski vizualni pregled susjednih raskrižja. Promatrana je regulacija i stanje prometa na raskrižjima za vrijeme vršnih sati.

Na svim susjednim raskrižjima promet se regulira prometnim znakovima. Evidentirano je da ne utječu na propusnu moć promatranog raskrižja.

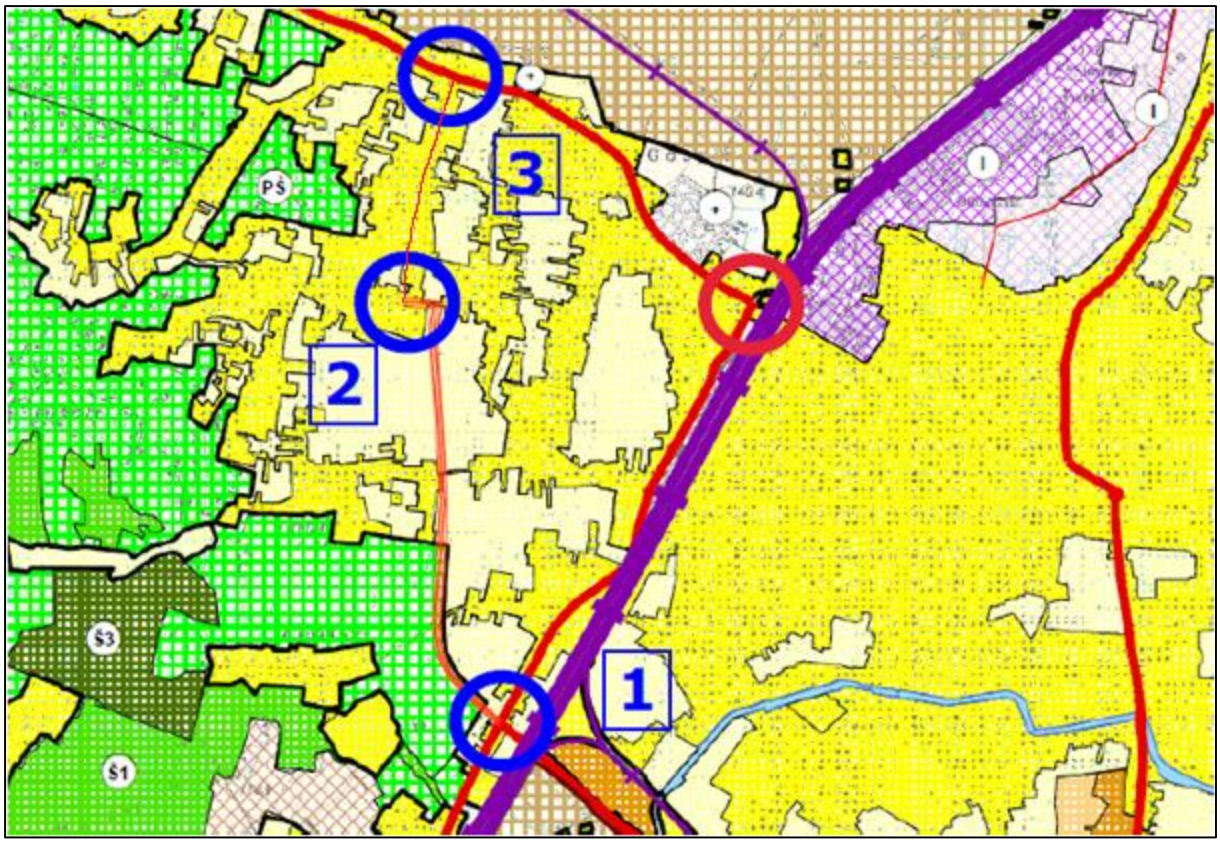
Na slici 4.2. prikazana su susjedna raskrižja gdje su crvenom bojom označeni privozi glavne ceste, a plavom bojom privozi sporedne ceste.



Slika 4.2. Prometna regulacija susjednih raskrižja, [8]

Na slici 4.3. prikazan je smještaj planirane zapadne obilaznice koji je bio u prostornom planu uređenja grada Koprivnice 2012. godine. U novom prostornom planu iz 2015. godine ta ideja je povučena.

Crvenim krugom označeno je analizirano raskrižje, plavim krugom pod brojem 1 spoj planirane obilaznice s južnom obilaznicom (D41) i državnom cestom D2 (smjer Zagreb). Plavim krugom s brojem 2 označeno je mjesto priključka s postojećom prometnicom koja se proteže do plavog kruga s brojem 3, gdje se spaja s državnom cestom D2 (smjer Varaždin). Kada bi se izgradila, ova obilaznica bi značajno rasteretila prometno opterećenje, naročito tranzitnog prometa na promatranom raskrižju.



Slika 4.3. Dispozicija analiziranog raskrižja (crveni krug) i planirana zapadna obilaznica, [9]

4.2 Analiza postojećeg stanja raskrižja

Analiza postojećeg stanja je analiza svih elemenata relevantnih za odvijanje prometnog procesa na širem području obuhvata. Analiza postojeće situacije nekog zatvorenog prometnog sustava bitna je kako bi se dobio uvid u stvarno trenutno stanje na prometnicama, neovisno o tome obavlja li se samo korekcija postojećeg sustava ili se planiraju neki veći investicijski zahvati [10].

Analiza postojećeg stanja promatranog raskrižja u ovom radu obuhvaća:

- analizu prometne infrastrukture na području raskrižja
- analizu upravljanja prometnim svjetlima na raskrižju
- analizu podataka o brojanju prometa u 2014. godini
- analizu strukture cestovnog motornog prometa
- analizu pješačkih i biciklističkih tokova.

4.2.1 Analiza prometne infrastrukture

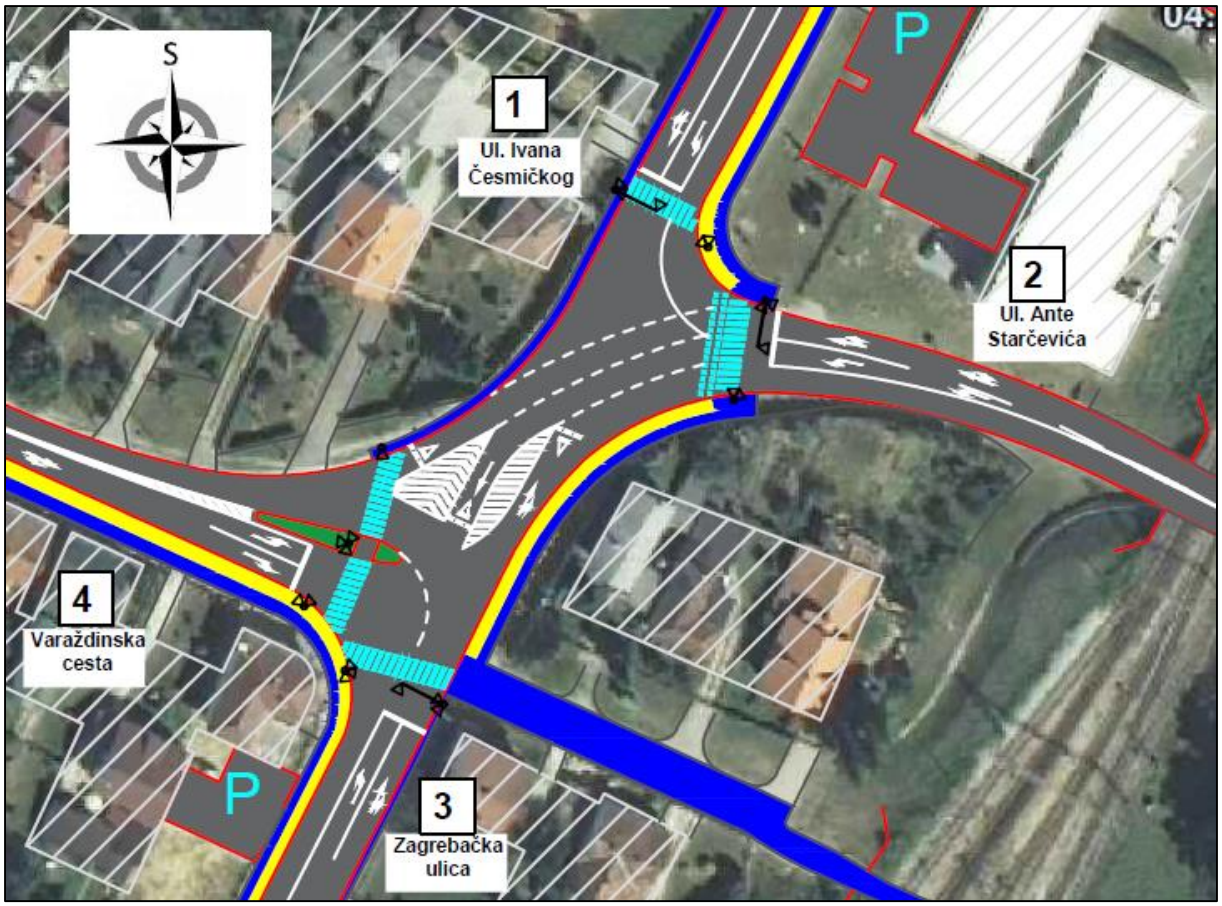
Analiza promatranog raskrižja obuhvaća terenski vizualni pregled općeg stanja te vrijednosti svih elemenata prometnice (kolnika, bankine, pješačkog nogostupa, biciklističke staze, razdjelnog otoka). Poseban naglasak stavlja se na analizu prometne signalizacije i prometne opreme.

Analiza postojeće prometne infrastrukture raskrižja (Varijanta 0) u ovom radu obuhvaća:

- cestovnu infrastrukturu i opremu ceste
- pješačke nogostupe
- biciklističke staze.

Promatrano raskrižje u ovom radu je četverokrako raskrižje upravljano prometnim svjetlima (semaforima) s trima fazama.
Privozi raskrižja (slika 4.4.) su:

1. Ulica Ivana Česmičkog (nerazvrstana)
2. Ulica Ante Starčevića (nerazvrstana)
3. Ulica Zagrebačka (državna cesta D2)
4. Varaždinska cesta (državna cesta D2) [4].



Slika 4.4. Varijanta 0 – tlocrt postojećeg oblikovnog stanja raskrižja

Legenda: 1, 2, 3, 4 – oznaka broja privoza; P – parking površina; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup

Ulica Ivana Česmičkog (privoz 1) i Ulica Ante Starčevića (privoz 2) su nerazvrstane ceste. Sve prometnice koje ulaze u raskrižje su dvosmjerne s jednim prometnim trakom i imaju dodatni trak za lijeva skretanja pred samim raskrižjem, osim kod privoza 4 (Varaždinska cesta) gdje je lijeva traka ujedno i za provoz raskrižjem ravno.

Tablica 4.1. prikazuje širine prilaznih prometnih trakova raskrižja izraženih u metrima.

Tablica 4.1. Širine prilaznih prometnih trakova

Prometna traka	Privoz 1 (m)	Privoz 2 (m)	Privoz 3 (m)	Privoz 4 (m)
Desna	3,4	3,5	3,5	3,4
Lijeva	3,3	3,5	3,0	3,3

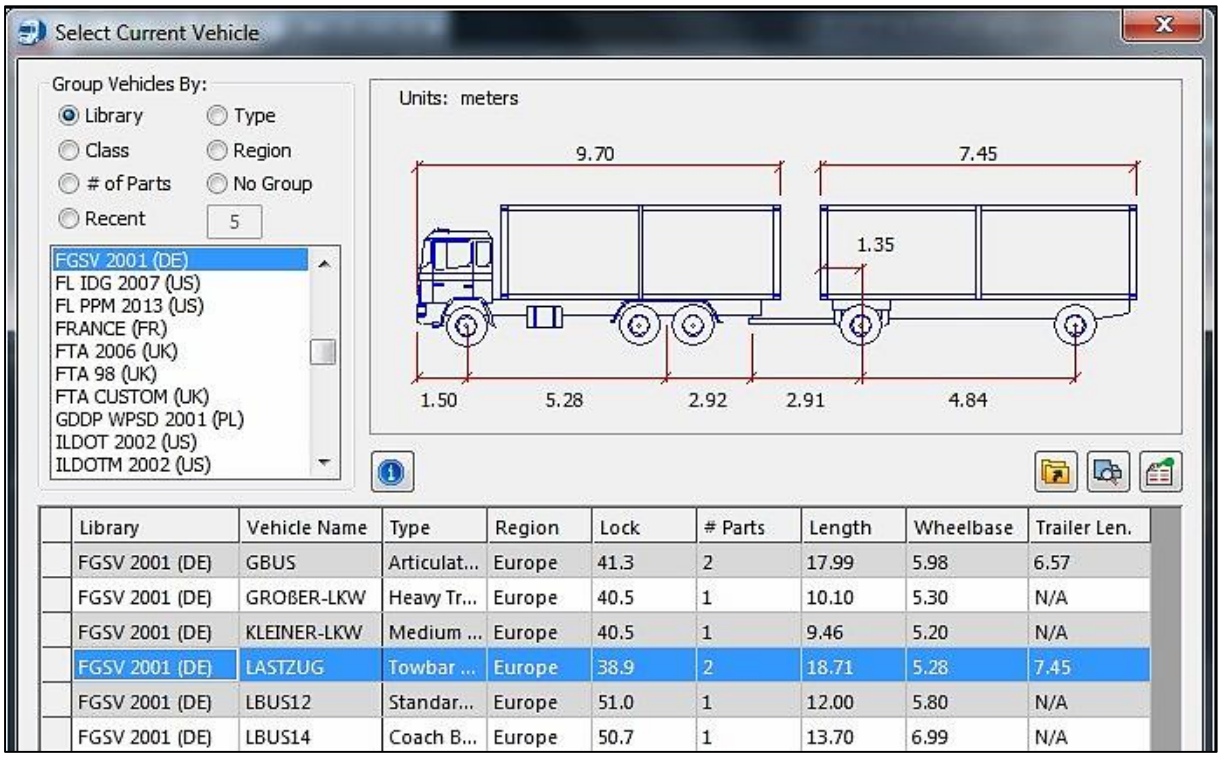
Privozni trakovi su zadovoljavajuće širine od kojih je najmanje širine lijeva traka iz privoza 3 od 3 m. Ostale vrijednosti oblikovnih elemenata raskrižja prikazane su u prilogu P.1.

Na privozu 4 nalazi se prometni otok koji služi većoj sigurnosti pješaka kod prelaska preko pješačkog prijelaza i smanjenju zaštitnog međuvremena. Također, prometni otok omogućuje i brže prometovanje vozila koja ulaze odnosno izlaze kroz spomenuti privoz. Zaštitno međuvrijeme se smanjuje jer je predviđeno da pješaci čekaju na središnjem otoku, odnosno prođu kolnik nakon dva semaforska ciklusa. Razlog je u tome što je širina kolnika 24 do 26 metara, ovisno o tome mjeri li se s desnog ili lijevog ruba pješačkog prijelaza.

Vizualnim pregledom ustanovljeno je da je položaj semafora i znakova zadovoljavajući. Na svakom privozu smještene su semaforske lanterne (davatelji signala) s obje strane privoza, dok su na privozima 1, 2 i 3 postavljene i lanterne na konzolnim nosačima iznad polovine trakova za lijevo skretanje.

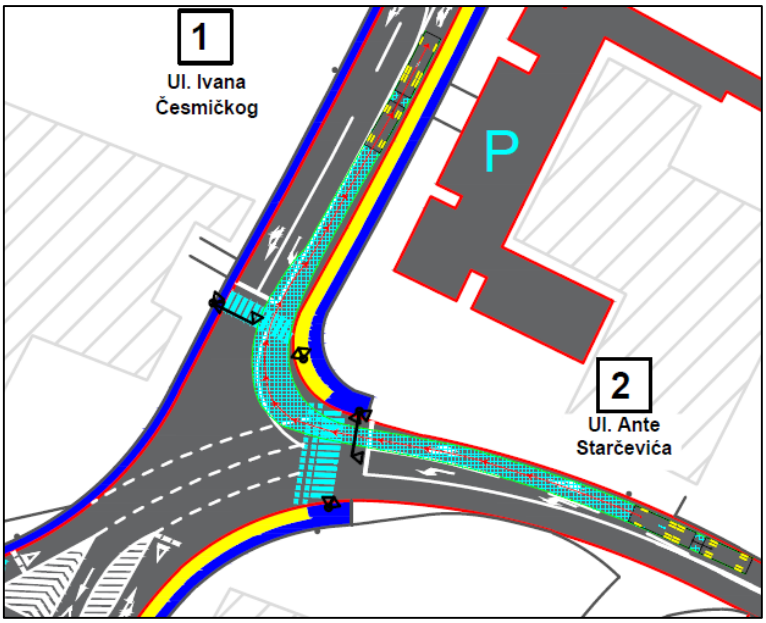
Provjera provoznosti mjerodavnog vozila kroz raskrižje izvedena je pomoću alata AutoTURN koji služi za označavanje putanje kretanja vozila (trajektorije vozila). AutoTURN nije samostalan program te je stoga na računalu potrebno imati instalirani jedan od sljedećih programa: „AutoCAD", „Bricscad", „ZwCAD +" ili „MicroStation" [11]. Može se koristiti za definiranje vozila i praćenje traka pneumatika vozila, trajektorije gabarita vozila, polja preglednosti, vizualni prikaz animacije i dr. Radi u mjernim jedinicama: mm, cm, m, inčima ili stopama. Program se može koristiti u dizajnu cestovnih raskrižja, garaža, utovarnih rampi i većine vrsta prometnih objekata. Uključuje listu standardnih vozila različitih dimenzija

za nekoliko zemalja. Sve relevantne dimenzije vozila mogu se mijenjati prema korisnikovoj potrebi [11]. U ovom radu mjerodavno vozilo za određivanje provoznosti raskrižja postojećeg stanja i raskrižja oblikovnih rješenja je kamion s prikolicom. Na slici 4.5. prikazane su sve relevantne dimenzije mjerodavnog vozila.



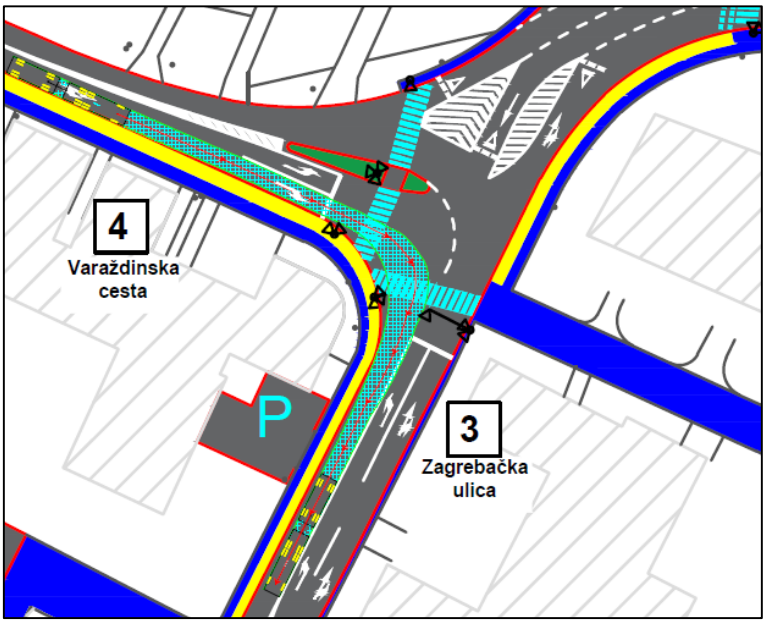
Slika 4.5. Dimenzije mjerodavnog vozila – LASTZUG, [11]

Na slikama 4.6. i 4.7. prikazane su trajektorije mjerodavnog vozila. Vidljivo je da kamion kod desnog skretanja iz privoza 2 fizički ne može izaći iz raskrižja bez prelaska prednjeg lijevog kotača i gabarita preko pune crte i to do polovine trake za lijevo skretanje iz privoza 1. U slučajevima da drugi kamion ili više manjih vozila zauzima traku iz suprotnog smjera, može doći do nemogućnosti prolaza mjerodavnog vozila. Kad mjerodavno vozilo skreće iz privoza 4 u privoz 3, situacija je manje zahtjevna, ali je položaj pješačkog prijelaza nepovoljan zbog mrtvog kuta. Radi visoko smještene kabine teretnog vozila vozač prije skretanja nema dostatnu preglednost na pješački nogostup i biciklističku stazu.



Slika 4.6. Trajektorija mjerodavnog vozila iz privoza 2 u privoz 1

Legenda: 1, 2 – oznaka broja privoza; svjetloplavi kvadratići – trajektorija mjerodavnog vozila; P – parking površina; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup



Slika 4.7. Trajektorija mjerodavnog vozila iz privoza 4 u privoz 3

Legenda: 3, 4 – oznaka broja privoza; svjetloplavi kvadratići – trajektorija mjerodavnog vozila; P – parking površina; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup

Na privozu 2 postavljen je prometni znak kojim se zabranjuje promet za vozila čija ukupna visina premašuje 4,2 metra. Razlog tome je podvožnjak koji je prikazan na slici 4.8.



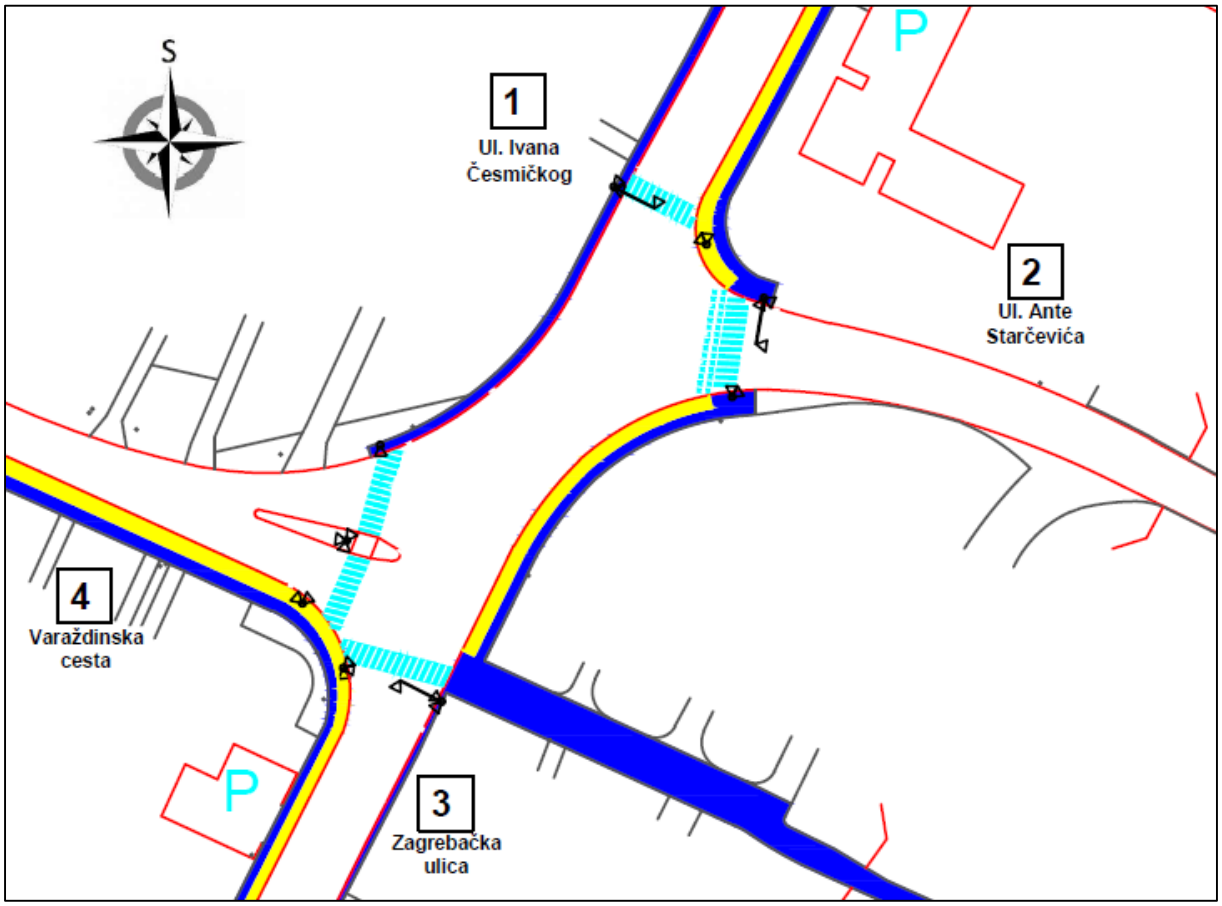
Slika 4.8. Ulaz u centar Koprivnice iz privoza 2, smjer zapad, [5]

Ovo je jedini privoz s uzdužnim nagibom od 6% u smjeru raskrižja što je vidljivo na slici 4.9.



Slika 4.9. Izlaz iz centra Koprivnice na privoz 2, [5]

Položaj pješačkih nogostupa označen je plavom bojom, biciklističkih staza žutom bojom, a pješački prijelazi označeni su svijetloplavom bojom (slika 4.10.). Preko privoza 2 označen je i jedini biciklistički prijelaz na raskrižju.



Slika 4.10. Položaj pješačkih nogostupa, biciklističkih staza i prijelaza

Legenda: 1, 2, 3, 4 – oznaka broja privoza; P – parking površina; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup

Tablica 4.2. prikazuje širine pješačkih nogostupa i biciklističkih staza s lijeve i desne strane kolnika po privozima.

Tablica 4.2. Širine pješačkih nogostupa i biciklističkih staza

Privoz	Širina pješačkog nogostupa s desne strane (m)	Širina biciklističke staze s desne strane (m)	Širina pješačkog nogostupa s lijeve strane (m)	Širina biciklističke staze s lijeve strane (m)
1	1,5	0	1,7	1,8
2	0	0	0	0
3	0,85	0	1,4	1,4
4	2,15	2,15	0	0
Od 1 prema 3	1,5	0	1,7	1,8

Najveća širina pješačkog nogostupa i biciklističke staze od 2,15 metara nalazi se s desne strane kolnika Varaždinske ceste. Uz privoz 2 nema pješačkih nogostupa i biciklističkih staza zato što postoji pothodnik južno od privoza 2 kojim direktno prolaze pješaci i biciklisti u smjeru središta grada. Širina pješačkog nogostupa s desne strane privoza 3 iznosi 0,7 metara i koriste ga samo stanovnici jedne stambene jedinice koja se nalazi na udaljenosti otprilike 63 metara od raskrižja. Širine svih pješačkih prijelaza iznose 3 metra. Širina biciklističkog prijelaza udaljenog 0,5 metara od pješačkog prijelaza preko privoza 2 iznosi 1,8 metara.

- ***Preglednost raskrižja***

Vizualnim pregledom ustanovljeno je da na području raskrižja ne postoje građevinski objekti i prirodne zapreke koje bi smanjile preglednost sudionicima u prometu i na taj način utjecale na sigurnost. Na slici 4.11. i slici 4.12. je prikaz promatranog raskrižja iz ulaza privoza 1 i privoza 3.



Slika 4.11. Postojeće stanje raskrižja – slikano iz smjera privoza 1, [5]



Slika 4.12. Postojeće stanje raskrižja – slikano iz smjera privoza 3, [5]

Preglednost je dostatna zbog velike širine kolnika u središnjem dijelu raskrižja koji se koristi isključivo za promet vozila.

4.2.2 Analiza upravljanja prometnim svjetlima na raskrižju

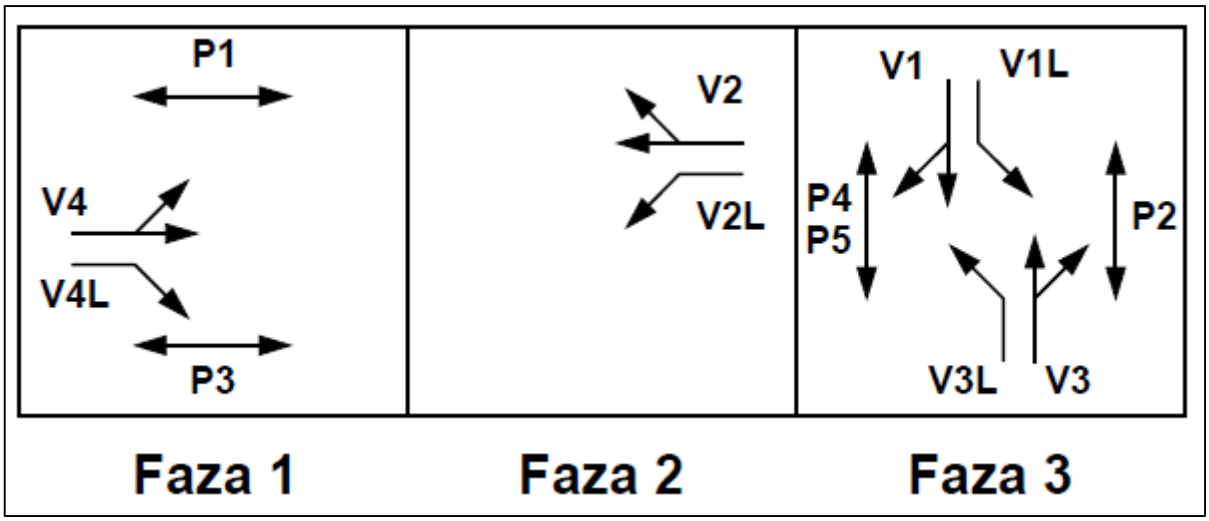
Na semaforiziranom raskrižju prometni se tokovi vremenski razdvajaju. Semaforizacija raskrižja rješava zaseban prometno-tehnološki projekt, a njome se može povećati stupanj sigurnosti i propusna moć raskrižja [2].

Za upravljanje prometa vozilima na kolniku promatranog raskrižja koriste se semafori, a za promet pješaka upotrebljavaju se posebni uređaji za davanje znakova dvobojnim prometnim svjetlima crvene i zelene boje i uređaji za davanje zvučnih signala.

Na raskrižju je vremenski ustaljeno upravljanje prometnim svjetlima. Kod ovoga načina upravljanja svi elementi signalnog plana imaju unaprijed određenu vremensku duljinu trajanja ciklusa, slijeda faza, zelenih vremena pojedinih signalnih grupa, intervala i prijelaznih vremena. Prometna potražnja zadovoljava se na način da se tijekom dana izmjenjuje nekoliko signalnih programa. Vremenski ustaljeno upravljanje koristi se na izoliranim raskrižjima, sinkroniziranim potezima ili prometnoj mreži [2].

Sa stajališta propusne moći prednost treba dati upravljanju s dvije faze, međutim promatrano raskrižje je upravljano s tri faze jer su prometni tokovi nekompatibilni i moraju se signalizirati odvojeno.

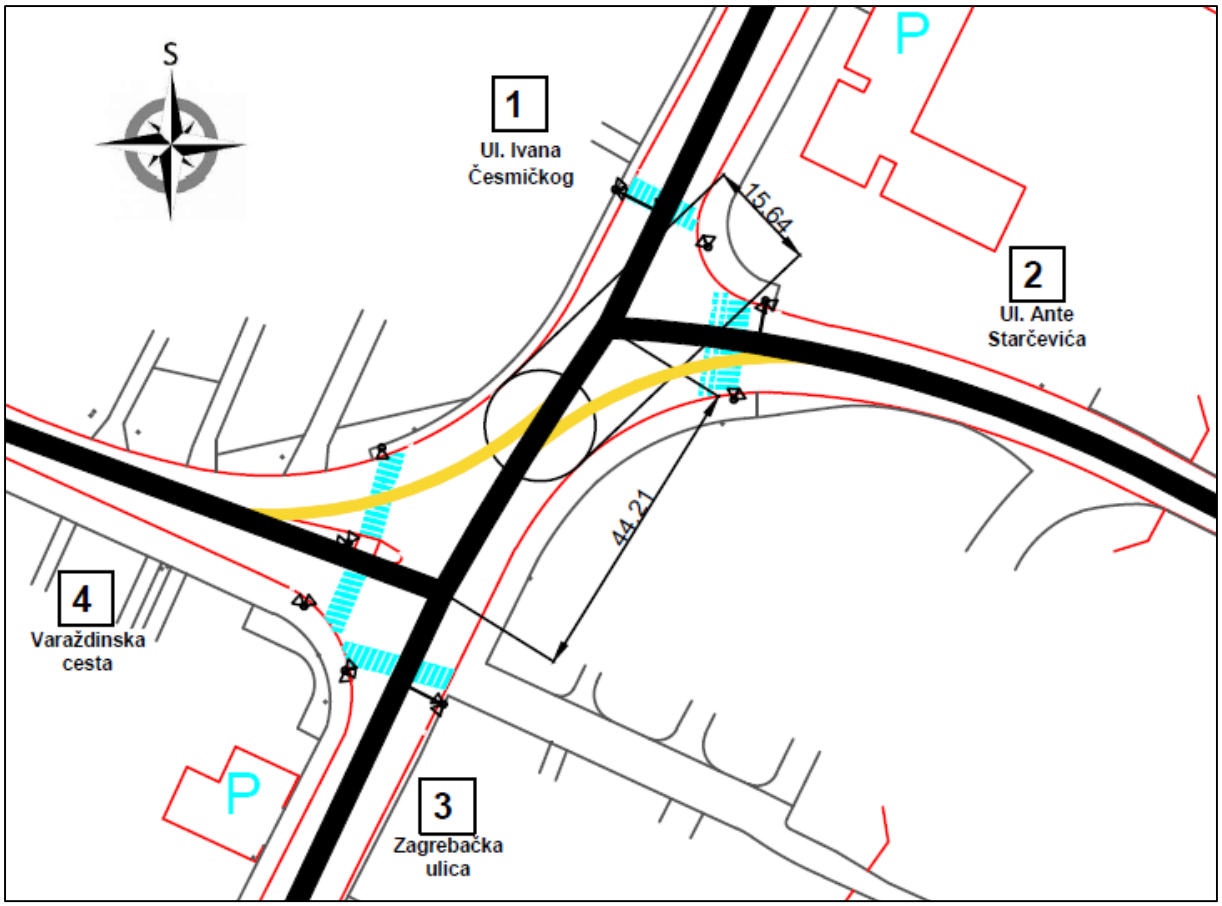
Plan redoslijeda faza (slika 4.13.) prikazuje redoslijed uključivanja zelenih faza semafora na raskrižju. U prvoj fazi zeleno svijetlo imaju vozila privoza 4 i pješaci na pješačkim prijelazima preko privoza 3 i privoza 1. U drugoj fazi slobodan prolaz imaju samo vozila privoza 2. U trećoj fazi zeleno svjetlo imaju vozila iz privoza 1 i privoza 3 te pješaci na pješačkim prijelazima preko privoza 2 i privoza 4. Pješački prijelaz preko privoza 4, razdvojen središnjim otokom, promatra se kroz dva pješačka toka na slici označenim kao P4 i P5.



Slika 4.13. Plan redoslijeda faza

Izvor: [12]

Promatrano raskrižje ima oblik dva „T" raskrižja kao što se može vidjeti na slici 4.14. Iz tog razloga, unutarnji prostor raskrižja, odnosno razmak između privoza 2 i privoza 4 iznosi otprilike 44,2 metra. Zbog velike udaljenosti, vozači pri lijevom skretanju iz privoza 2 i privoza 4 mogu postići velike brzine pa iz tog razloga, zbog sigurnosti, moraju biti razdvojene faze. To zahtijeva i veliko zaštitno međuvrijeme prilikom kojeg je na svim privozima zabranjen prolaz vozilima koja žele proći raskrižjem.



Slika 4.14. Središnje osi privoza

Legenda: 1, 2, 3, 4 – oznaka broja privoza; P – parking površina; žuta linija – smjerovi kretanja vozila; crna puna linija – središnje osi kolnika

Na slici 4.14. žutim su linijama označeni smjerovi kretanja iz privoza 1 i 2 u privoz 4 i iz privoza 3 i 4 u privoz 2. Prema tome, može se uočiti da su polumjeri gabarita raskrižja prilično veliki kako bi se povećala brzina kretanja vozila pri desnom skretanju, a naročito brzina izlaska iz raskrižja. Na taj način povećava se propusna moć raskrižja. Širina raskrižja u središnjem dijelu iznosi otprilike 15,6 metara.

Promatrano raskrižje ima tri signalna plana (programa) kao što je prikazano na slici 4.15.

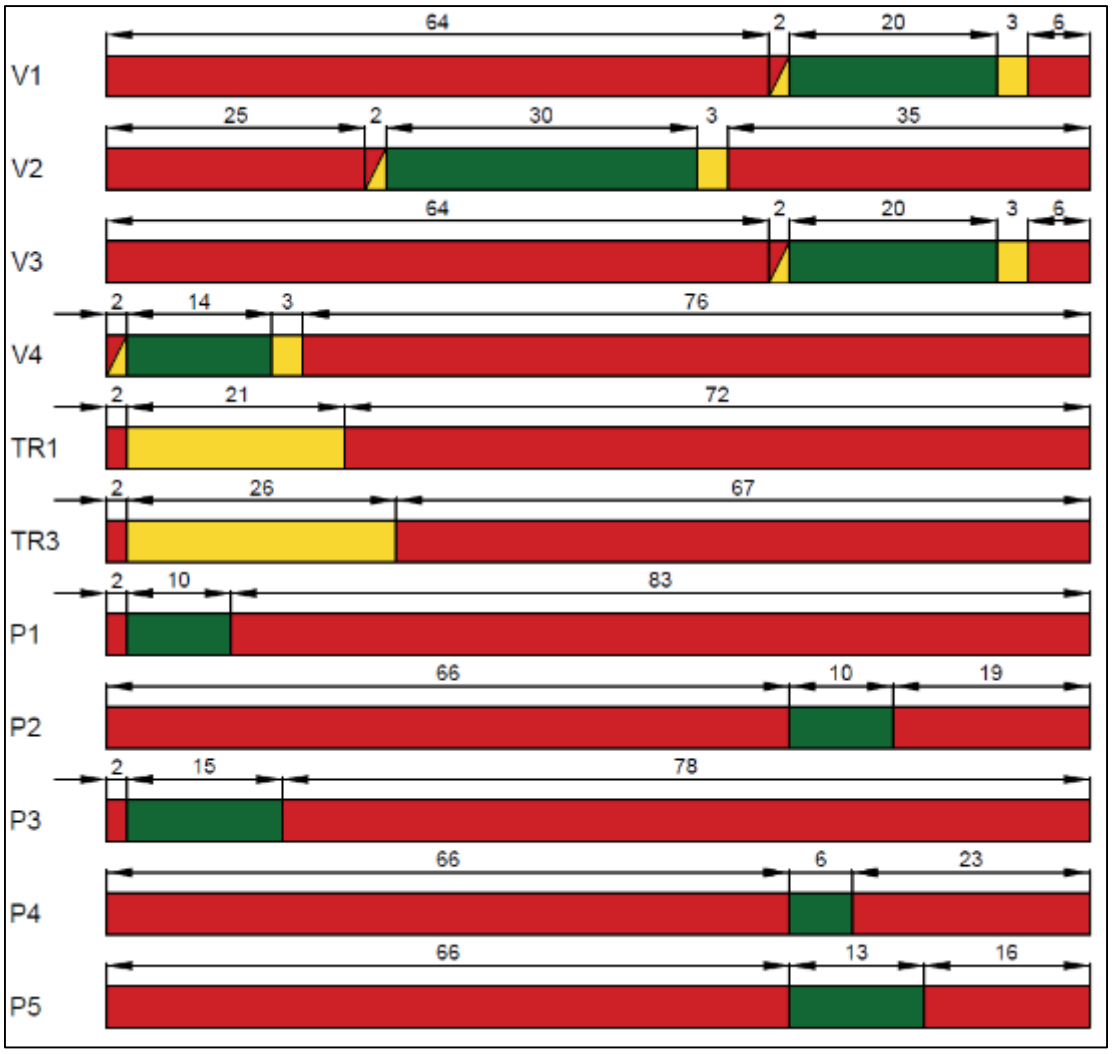
	Program	Trajanje programa	
Radnim danom i subotom	1 2 3	06.30 - 07.30 15.00 - 16.00 07.30 - 15.00	16.00 - 06.30
Nedjelja	3	00.00 - 00.00	

Slika 4.15. Trajanje signalnih planova tokom dana, [12]

Prvim signalnim planom obuhvaćen je jutarnji vršni sat radnim danima i subotom u vremenu od 6:30 do 7:30 sati. Drugi signalni plan obuhvaća popodnevni vršni sat radnim danom i subotom u vremenu od 15:00 do 16:00 sati, a trećim signalnim planom uključena su sva ostala vremena koja nisu obuhvaćena prvim i drugim signalnim planom.

Za semaforizirano raskrižje najvažniji su pojmovi ciklusa i faze. Ciklus se dijeli na faze, a svaka faza se sastoji od zelenog i zaštitnog vremena. Osnovna zadaća semaforizacije je određivanje tih vremenskih veličina [2].

Na slici 4.16. prikazan je signalni plan broj 2 u popodnevnom vršnom satu promatranog raskrižja.



Slika 4.16. Signalni plan od 15:00 do 16:00 sati

Izvor: [12]

Ukupno trajanje ciklusa signalnog plana 2 iznosi 95 sekundi te sadrži 11 signalnih grupa. To su:

- prometni tokovi vozila po privozima V1 do V4
- treptajući signal za upozorenje vozačima da se na kolniku nalaze pješaci po privozima TR1 i TR3
- pješački i biciklistički tokovi po privozima P1 do P5.

Od ruba kolnika privoza 4 do razdjelnog otoka je signalna grupa P4, a od razdjelnog otoka do suprotne strane ruba kolnika je signalna grupa P5. Ukoliko pješaci na privozu 4 počinju prelaziti kolnik na početku zelene faze moći će prijeći cijelu širinu kolnika bez stajanja na razdjelnom otoku, a

ukoliko je kasniji početak prijelaza morat će se zaustaviti na razdjelnom otoku i pričekati novu zelenu fazu u idućem ciklusu.

Prijelazna vremena signalnog plana su:

- žuto vrijeme koje traje 3 sekunde
- crveno i žuto vrijeme koje traje 2 sekunde.

Zaštitno međuvrijeme je vremensko razdoblje između završetka propuštanja jednog prometnog toka i početka vremena propuštanja drugog prometnog toka. To je vrijeme između kraja zelenog svjetla jedne signalne grupe i početka zelenog svjetla druge signalne grupe koja je u koliziji s prethodnom. Omogućuje sigurno napuštanje raskrižja vozila koje je ušlo u raskrižje na kraju zelenog vremena u odnosu na vozilo koje će dobiti dozvolu za prolaz [2]. Izgubljeno vrijeme je vrijeme u svakoj fazi koje vozači ne koriste za prolaz raskrižjem. U tom vremenu raskrižje ne propušta ni jedno vozilo.

Prema izvoru [2], može se pretpostaviti da izgubljeno vrijeme vozačke signalne grupe započinje 2 sekunde nakon paljenja zelene faze, a završava 2 sekunde nakon gašenja zelene faze. To znači da traje onoliko koliko i zaštitno međuvrijeme, samo mu početak i kraj kasni 2 sekunde.

Tablica 4.3. Zaštitna međuvremena i izgubljena vremena

Konfliktni tokovi	Zaštitno međuvrijeme (s)	Izgubljeno vrijeme (s)
V4 – V2	11	11
V2 – V1 i V3	9	9
V1 i V3 – V4	11	11

Izvor: [12]

Kao što je iz gore navedene tablice vidljivo, pretpostavka je da su zaštitna međuvremena i izgubljena vremena jednaka. U nastavku je prikazan postupak izračuna udjela izgubljenog vremena promatranog raskrižja.

Ciklus: C = 95 s (radnim danima i subotom)

Ukupno izgubljeno vrijeme: $L = l_1 + l_2 + l_3 = 11 + 9 + 11 = 31$ s

Udio izgubljenog vremena: U = L / C = 31 / 95 = 32,6%

Za vrijeme signalnog plana 2 koji traje od 15:00 do 16:00 sati, ukupno izgubljeno vrijeme iznosi 31 sekundu po ciklusu koji traje 95 sekundi. Prema tome može se zaključiti da je udio izgubljenog vremena, kad ni jedno vozilo na raskrižju ne može proći, iznosi 32,6% ukupnog vremena. Izračun se odnosi za sve vozačke signalne grupe po privozima V1 do V4.

4.2.3 Analiza podataka o brojanju prometa u 2014. godini

Brojanje prometa predstavlja jedan od glavnih ulaznih podataka pri prometnom planiranju i projektiranju. Podaci dobiveni brojanjem prometa predstavljaju stvarnu trenutačnu sliku dinamike prometnih tokova. Ti podaci se mogu sastojati od informacija kao što su: prometna opterećenja na cestovnim prometnicama, struktura prometnog toka, brzina kretanja vozila u prometnom toku, razmak između vozila u prometnom toku, smjerovi kretanja vozila u cestovnoj mreži, vršna opterećenja u određenim vremenskim rasponima i sl. Iz takvih podataka dobiva se točna slika o prometnim zahtjevima unutar neke zone obrade. Na temelju toga mogu se odrediti budući prometni pravci, rekonstrukcija postojeće prometne infrastrukture i napraviti reorganizacija prometnih tokova [10].

Ručno brojanje prometa na području grada Koprivnice provedeno je tijekom šest karakterističnih sati u danu, u srijedu 19. veljače 2014. u vremenu od 6:30 do 20:00 sati kako je prikazano u tablici 4.4. [13]. Rezultati dobiveni brojanjem predstavljaju referentan uzorak koji se temelji na stabilnim vremenskim prilikama i kao takvi mogu se upotrijebiti za kvalitetnu analizu prometne potražnje. Vremenski intervali u kojima je brojan promet, izabrani su tako da predstavljaju relevantan primjer vršnog i izvanvršnog prometnog opterećenja tijekom tipičnog radnog dana [13].

Tablica 4.4. Razdoblja ručnog brojanja prometa

RB.	Vrijeme (h)	Karakteristično prometno opterećenje
1.	06:30 – 07:30	jutarnje
2.	07:30 – 08:30	jutarnje
3.	11.00 – 12.00	prijepodnevno
4.	14:30 – 15:30	popodnevno
5.	15:30 – 16:30	popodnevno
6.	19:00 – 20:00	večernje

Izvor: [13]

Za potrebe brojanja prometa, pripremljeni su i educirani brojitelji. Angažirano je ukupno 25 brojitelja prometa učenika Gimnazije „Fran Galović" iz Koprivnice [13]. Brojitelji su zapisivali izlazne tokove iz raskrižja te ih bilježili u brojačke listove prema zadanim kategorijama vozila po 15-minutnim intervalima. Na brojačkim listovima bilježena vozila su svrstana u pet kategorija te svedena na ekvivalentnu jedinicu osobnog automobila (EJA – Tablica 4.5.). Osim brojanja vozila, na definiranim lokacijama brojan je pješački i biciklistički promet.

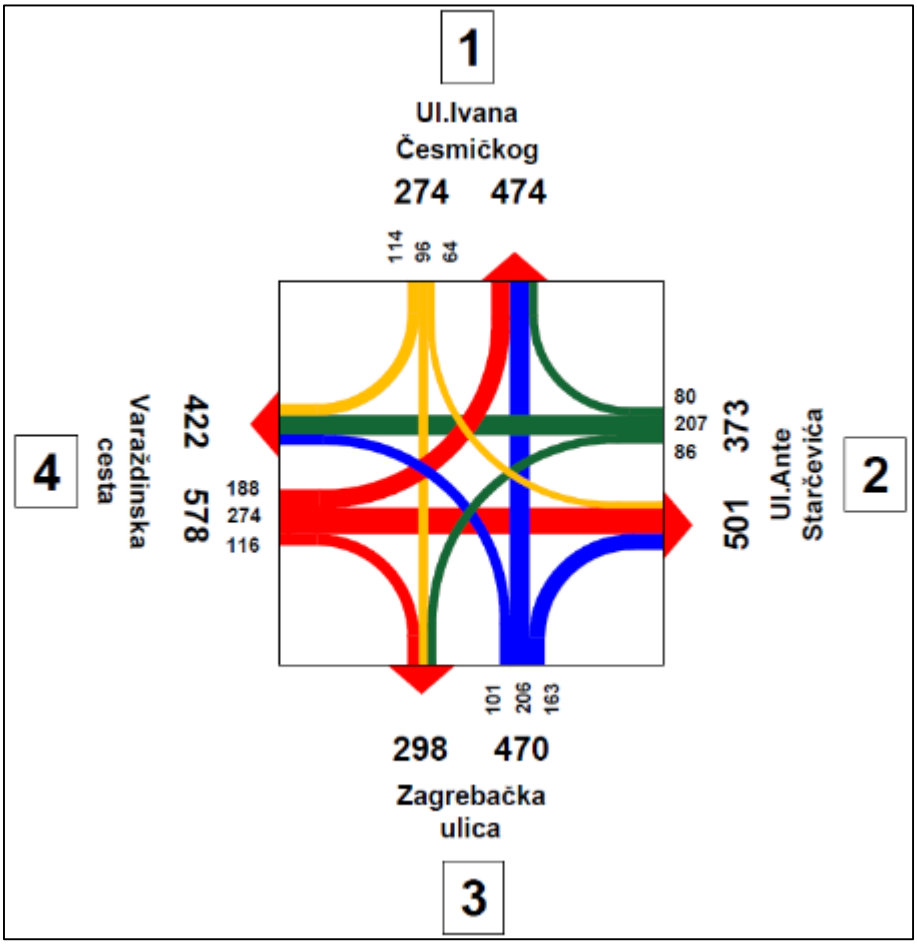
Tablica 4.5. Proračun vozila u ekvivalentne jedinice putničkih automobila

Kategorija vozila	Koeficijent za pretvaranje broja vozila u EJA
Osobni automobil	1
Teretno vozilo	2
Autobus	2
Motocikl	0,7
Bicikl	0,3

Izvor: [13]

U ovoj analizi obuhvaćeno je prometno opterećenje između 15:00 i 16:00 sati u skladu sa signalnim planom 2 kao mjerodavno zbog većeg prometnog opterećenja u odnosu na jutarnja opterećenja.

Na slici 4.17. prikazani su rezultati analize ručnog brojanja prometa promatranog raskrižja po svim privozima i tokovima odnosno smjerovima kretanja izraženim u EJA/h.

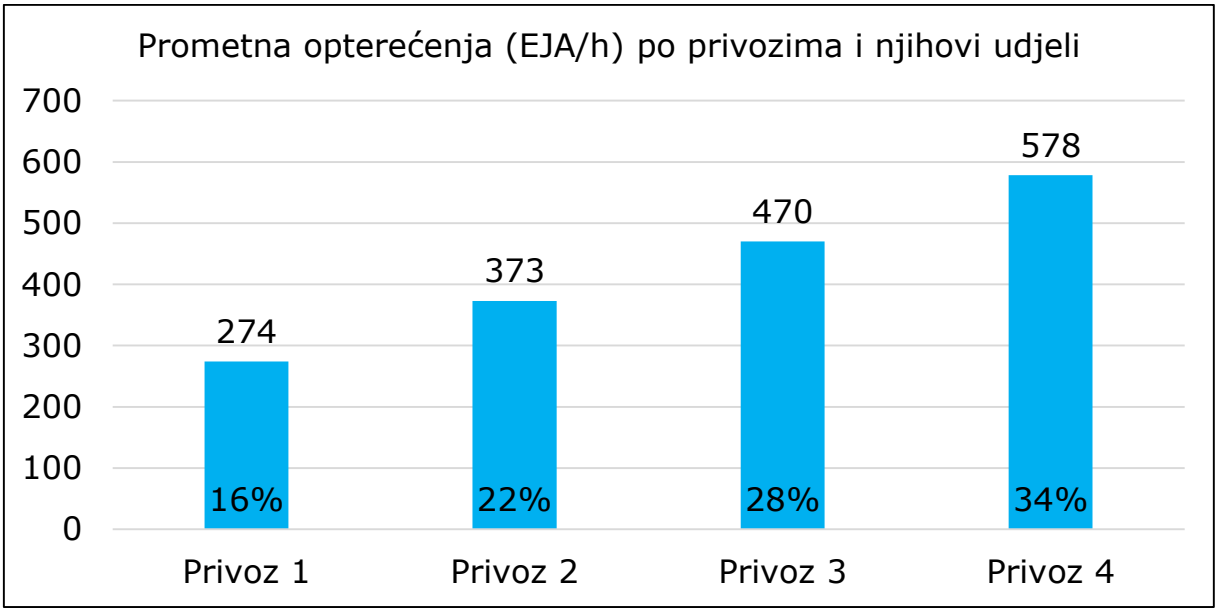


Slika 4.17. Prikaz prometnog opterećenja raskrižja

Izvor: [13]

Prometni tokovi privoza 1 označeni su žutom bojom, privoza 2 zelenom, privoza 3 plavom i privoza 4 crvenom bojom.

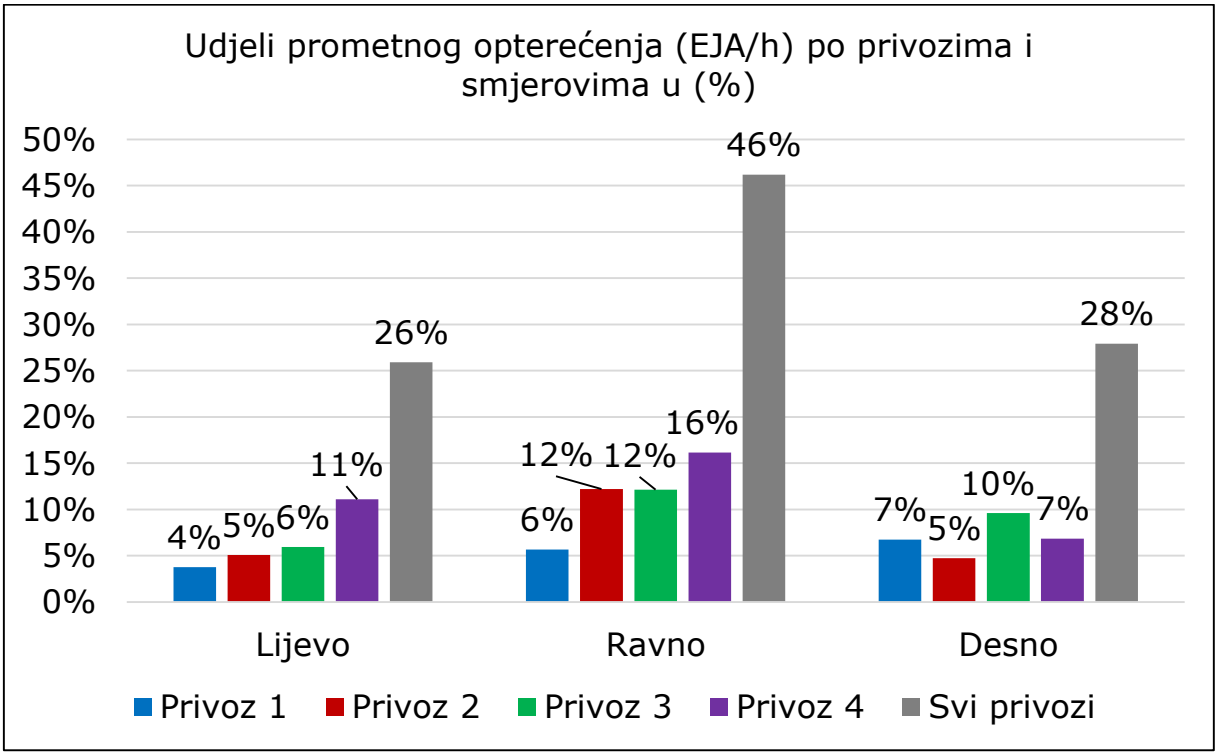
Najveće dolazno opterećenje u raskrižje na privozu 4 je 578 EJA/h, a najveće odlazno opterećenje iz raskrižja na privozu 2 iznosi 501 EJA/h. Najopterećeniji prometni tok je iz privoza 4 u privoz 2 i iznosi 274 EJA/h. Grafikon 4.1. prikazuje prometna opterećenja (EJA/h) po privozima i njihove udjele. Najveći udio opterećenja od 34% cijelog raskrižja otpada na privoz 4 dok je privoz 1 opterećen sa svega 16%.



Grafikon 4.1 Prometna opterećenja (EJA/h) po privozima i njihovi udjeli

Izvor: [13]

Na grafikonu 4.2. prikazani su udjeli prometnog opterećenja (EJA/h) po privozima i smjerovima u (%).



Grafikon 4.2. Udjeli prometnog opterećenja po privozima i smjerovima

Izvor: [13]

Od cjelokupnog prometa raskrižjem (EJA/h) 46% se odnosi na provoz vozila (ravno), skretanje udesno ima udio 28%, a najmanji udio skretanja je ulijevo i iznosi 26%.

- ***Analiza strukture cestovnog motornog prometa***

U tablici 4.6. je prikazan broj vozila prema kategorijama po privozima u promatranom vršnom satu i njihov udio u odnosu na sva izbrojana vozila po privozu.

Tablica 4.6. Broj vozila prema kategorijama u vršnom satu

Privoz	OA	%	T	%	BUS	%	MOT	%	BIC	%
1	204	85,4	33	13,8	2	0,8	0	0	0	0
2	285	86,1	40	12,1	3	0,9	3	0,9	0	0
3	388	90,2	35	8,1	5	1,2	2	0,5	0	0
4	540	95,9	14	2,5	4	0,7	2	0,4	3	0,5
Σ	**1417**	**90,7**	**122**	**7,8**	**14**	**0,9**	**7**	**0,4**	**3**	**0,2**

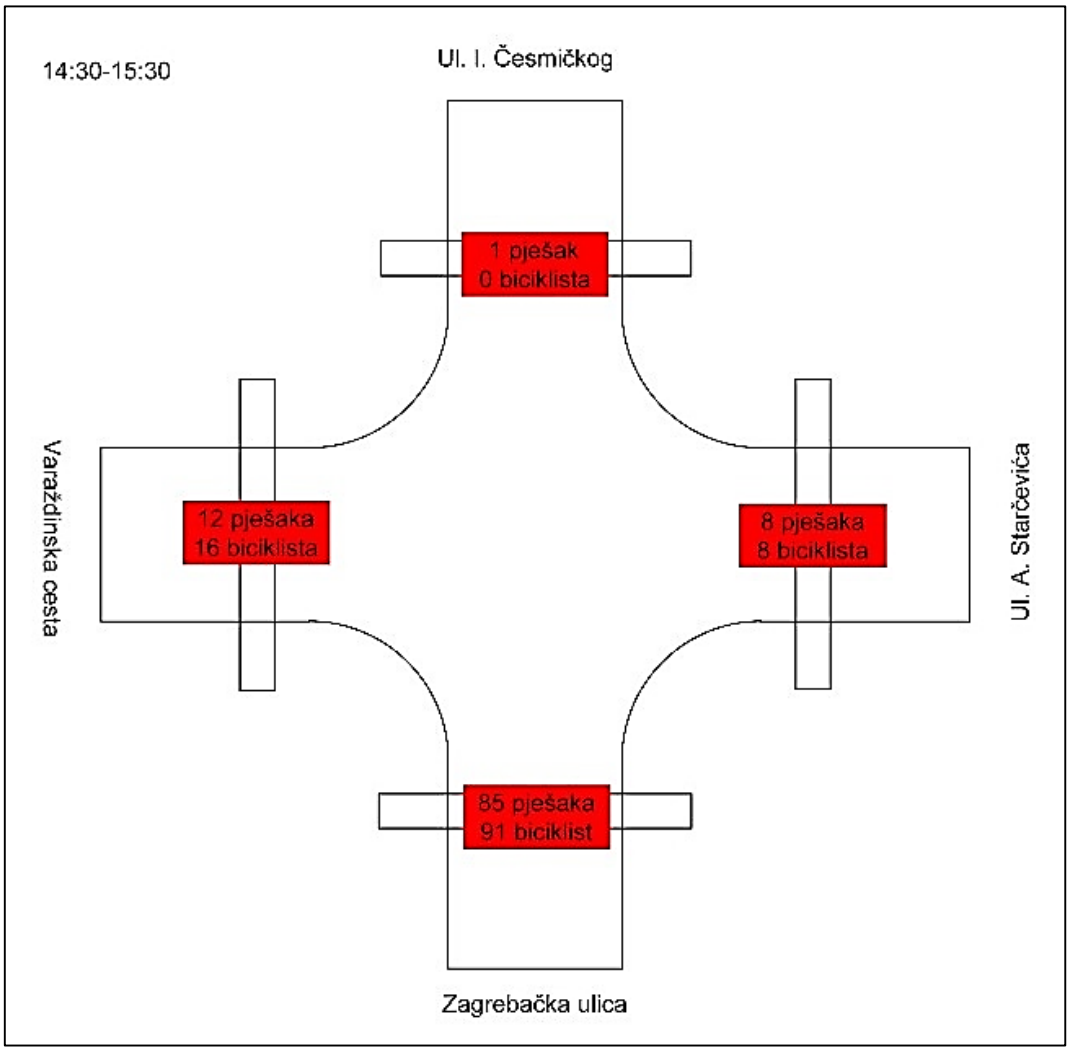
Izvor: [13]

Prema kategorizaciji vozila, najviše osobnih automobila prolazi raskrižjem. Najviše ih prolazi privozom 4 iz smjera Varaždinske ceste (540 voz/h) što čini udio od 95,9% u odnosu na sva vozila privoza, a najmanje privozom 1 iz smjera Ul. I. Česmičkog (204 voz/h) što čini udio od 85,4% svih vozila tog privoza.

Najviše teretnih vozila (40 voz/h) dolazi iz Ulice A. Starčevića (privoz 2) što čini udio od 12,1% ukupnog prometa tog privoza. Udio autobusa, motocikala i bicikala je puno niži od spomenutih kategorija vozila i iznosi svega 1,5% u ukupnom prometu raskrižja promatranog vršnog sata.

- ***Analiza pješačkih i biciklističkih tokova***

Pješaci i biciklisti na pješačkim prijelazima brojani su po satnim intervalima od 14:30 do 15:30 i 15:30 do 16:30 sati. Obzirom da je vrijeme analize ovoga raskrižja od 15:00 do 16:00 sati, odabran je interval koji ima sveukupno više pješaka i biciklista. Taj interval je u razdoblju od 14:30 do 15:30 sati. Rezultat ručnog brojanja pješačkog i biciklističkog prometa prikazan je na slici 4.18.



Slika 4.18. Opterećenje pješačkih i biciklističkih prijelaza u razdoblju od 14:30 do 15:30 sati, [13]

U promatranom vremenu na svim pješačkim prijelazima prolazi 106 pješaka i 115 biciklista. Najviše je opterećen pješački prijelaz na privozu 3

(176 pješaka i biciklista), dok su ostali znatno manjeg intenziteta. Ovaj pješački prijelaz čini glavni prolaz između centra grada i prigradskih naselja smještenih na sjeverozapadu Koprivnice. U prosjeku, po svakom semaforskom ciklusu, na ovom prijelazu, za vrijeme popodnevnog vršnog sata, prođu dvije osobe. Preko pješačkog prijelaza privoza 1 najmanje je pješaka (samo jedan) i niti jedan biciklista.

Slika 4.19. prikazuje pješački prijelaz na privozu 3 iz smjera Zagrebačke ceste i pješački prijelaz na privozu 4 iz smjera Varaždinske ceste.



Slika 4.19. Pješački prijelazi privoza 3 i privoza 4, [5]

5. PRIJEDLOZI RJEŠENJA ZA OPTIMIZACIJU FUNKCIONALNE UČINKOVITOSTI

U ovom radu, oblikovna rješenja izrađena su na razini idejnog rješenja čime se daju osnovna inženjerska, prostorna i funkcionalna rješenja građevine. Idejno rješenje izrađuje se na temelju projektnog zadatka i parametara koji proizlaze iz prethodno izrađene prometne studije prostorno-planske dokumentacije ili ostale postojeće projektne dokumentacije u zoni objekta za koji se radi idejno prometno rješenje. Idejnim prometnim rješenjem prikazuje se tehničko rješenje prometnog objekta usklađeno s propisima, uvjetima konkretne lokacije i pravilima struke tako da uvjetima budu ispunjeni zahtjevi od javnog interesa. Izabrano idejno rješenje je podloga za daljnju razradu projektne dokumentacije. Idejno rješenje može se izrađivati za nekoliko varijanti te poslužiti kao podloga za izbor najprikladnije varijante [10].

Zbog neodgovarajućih značajki vođenja prometa uz pomoć prometnih svjetala (semafora) na promatranom raskrižju i velike prometne potražnje, potrebna je rekonstrukcija raskrižja. Zbog toga, na analiziranom raskrižju promet regulira ovlaštena osoba (policijski službenik) za vrijeme jutarnjeg i popodnevnog vršnog sata svim radnim danima. Iz tog razloga, izvršit će se reprogramiranje, odnosno izmjena signalnog plana semaforskog uređaja kako bi se provjerila razina usluge u tom slučaju.

U sljedećim poglavljima navedeni su i prijedlozi oblikovnih rješenja promatranog raskrižja. Kao moguća rješenja odabrana su dvojna kružna raskrižja. Predstavljeno je pet mogućih rješenja raskrižja s kružnim tokom prometa što je izvedivo zbog dimenzija, odnosno prostornog oblika raskrižja. Izrada prijedloga oblikovanja prometne infrastrukture za optimizaciju funkcionalne učinkovitosti raskrižja u ovom radu obuhvaća:

- cestovnu infrastrukturu i opremu ceste
- pješačke nogostupe
- biciklističke staze.

Varijantna oblikovna rješenja raskrižja u ovom prijedlogu su preoblikovana u dvojna mala i mini kružna raskrižja koja predstavljaju dva uzastopna jednotračna trokraka kružna raskrižja na maloj međusobnoj udaljenosti, a to su:

- Varijanta 1 - dvojno malo kružno raskrižje
- Varijanta 2 - izduženo malo kružno raskrižje
- Varijanta 3 - dvojno mini kružno raskrižje s tri obilazna desna skretanja
- Varijanta 4 - dvojno mini kružno raskrižje s dva obilazna desna skretanja
- Varijanta 5 - dvojno mini kružno raskrižje s jednim obilaznim desnim skretanjem.

Prema lokaciji, raskrižje se nalazi u prijelaznom području (ulaz u urbanu sredinu), a obzirom na namjenu, svrstava se u kružna raskrižja za smirivanje prometa i za postizanje veće propusne moći uz dostatnu prometnu sigurnost. Nije razmotrena implementacija turbo kružnog raskrižja zbog nedovoljnog prostora na ulaznom dijelu raskrižja zbog infrastrukture (privatne kuće, ograde) i privatnog zemljišta. Problem je što turbo kružno raskrižje zahtjeva barem dvije trake za ulaz u raskrižje. U dalje navedenim i predloženim varijantnim rješenjima ne postoji potreba otkupa privatnog vlasništva.

U tablici 5.1. su prikazane osnovne podjele raskrižja s obzirom na veličinu vanjskog polumjera te okvirni kapaciteti različitih tipova kružnih raskrižja. Navedeni kapaciteti predstavljaju okvirne vrijednosti za jednotračna kružna raskrižja s jednoliko opterećenim privozima. Podaci iz tablica mogu se smatrati informativnim za rješavanje konkretnog primjera [14].

Tablica 5.1. Empirijski podaci o propusnoj moći različitih tipova kružnih raskrižja

Tip kružnog raskrižja	Vanjski polumjer (m)	Okvirni kapacitet (voz/dan)
Mini urbano	7,0 – 12,5	10.000 – 15.000
Malo urbano	11,0 – 17,5	15.000 – 18.000
Srednje veliko urbano	15,0 – 20,0	20.000 – 22.000

Izvor: [14]

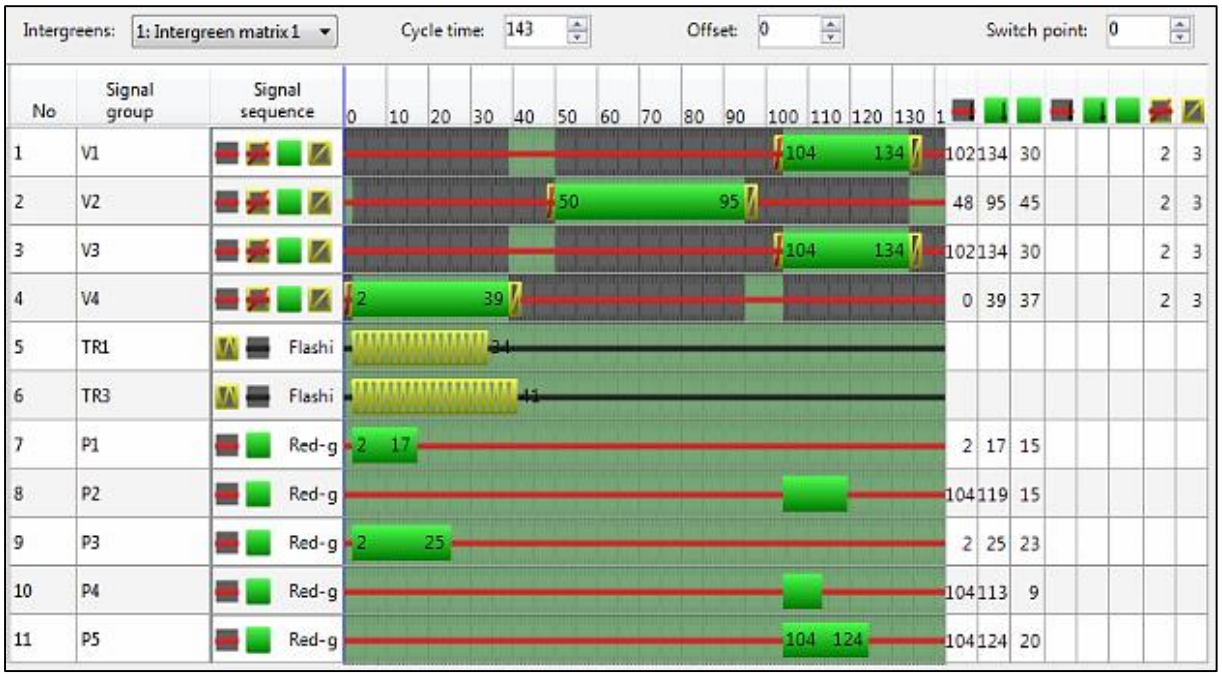
Varijanta 1 i Varijanta 2 u ovom radu bit će izvedena kao mala kružna raskrižja, a Varijanta 3, 4 i 5 kao mini kružna raskrižja. Sukladno tome, u nastavku su analizirani projektno-oblikovni elementi najprije malih kružnih raskrižja, a potom mini kružnih raskrižja.

Varijantna rješenja su izrađena na način da se maksimalno iskoristi postojeća javna površina uz raskrižje. Obzirom da se za određivanje razine usluge kao glavnog mjerila propusne moći koristio mikrosimulacijski programski alat Vissim bilo je potrebno napraviti što više varijantnih rješenja kako bi se dobilo što bolje i kvalitetnije oblikovno rješenje raskrižja.

5.1 Reprogramiranje semaforskog uređaja

Reprogramiranje semaforskog uređaja praktički se dešava kad ovlaštena osoba – policijski službenik ručno upravlja semaforima. Vizualnim pregledom na raskrižju ustanovilo se da policijski službenik uglavnom upravljanje semaforom vrši na način da zelene faze mijenja tek kada se određeni privoz „isprazni" od vozila (osim kod izrazito dugih kolona npr. pri lošim vremenskim uvjetima). Dakle, svaki policijski službenik prema vlastitom znanju i iskustvu subjektivno određuje duljine trajanja zelenih faza u ovisnosti od prometa. U skladu s gore navedenim, u računalnom programu Vissim-u, izvršeno je podešavanje duljina faza i ciklusa na taj način da su se zelene faze mijenjale nakon pražnjenja privoza. To je bilo vidljivo promatranjem izvođenja simulacije tijekom izvođenja programa na

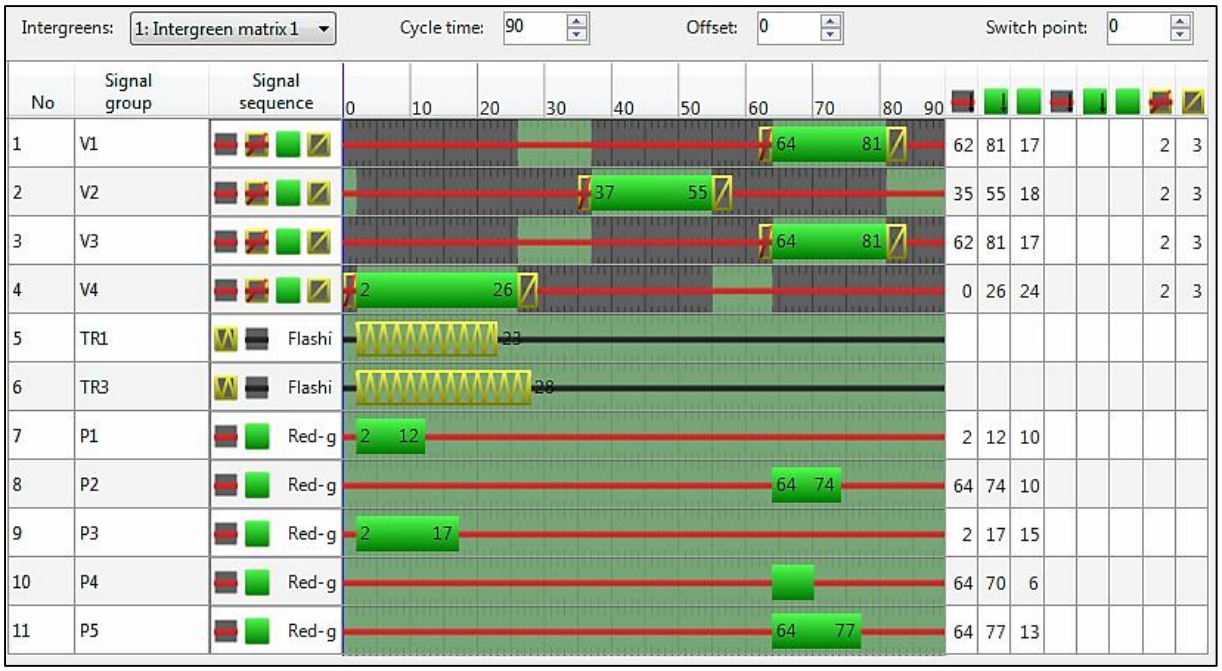
ekranu računala. Slika 5.1. prikazuje okvirni signalni plan situacije kada semaforom upravlja policijski službenik.



Slika 5.1. Okvirni izgled signalnog plana kada upravlja ovlaštena osoba, izrađeno u Vissim-u

Nakon višekratnog izvođenja simulacija ovaj signalni plan najviše odgovara stanju prometa kada kontrolu semaforskim uređajima vrši policijski službenik. Trajanje ciklusa i svih zelenih faza je povećano i upisano u tablici 5.2. Zbog povećanja ciklusa smanjen je udio izgubljenog vremena s 32,6% na 21,7%.

Računskom metodom određuje se optimalni signalni plan semaforskog uređaja ovisno o prometnim uvjetima i geometriji raskrižja, ali u ovom radu korišten je računalni program Vissim. U kratkom vremenu program izvršava simulaciju i na temelju nje izračun prosječnog vremena čekanja po vozilu. Iz tog razloga, pristupilo se višestrukom ponavljanju simulacija pri korištenju različitih signalnih planova te se na taj način utvrdio optimalni signalni plan koji je prikazan na slici 5.2.



Slika 5.2. Optimizirani signalni plan izrađen u Vissim-u

Ciklus signalnog plana smanjio se s 95 sekundi na 90 sekundi. Sukladno tome, duljina trajanja zelenih faza vozačkih grupa smanjena su, dok su zaštitna međuvremena i prijelazna vremena (žuto te žuto i crveno) ostala ista. Prema ovom signalnom planu zabilježeno je najkraće ukupno prosječno vrijeme čekanja svih vozačkih grupa.

Tablica 5.2. prikazuje usporedbu duljine trajanja ciklusa i zelenih faza vozačkih signalnih grupa:

- postojećeg stanja
- upravljanja s policijskim službenikom
- optimiziranog signalnog plana.

Tablica 5.2. Usporedba duljine trajanja ciklusa i zelenih faza

Signalna grupa	Postojeće stanje (s)	S policijskim službenikom (s) i promjena (%)		Optimalni (s) i promjena (%)	
V1	20	30	50%	17	-15%
V2	30	45	50%	18	-40%
V3	20	30	50%	17	-15%
V4	16	37	131%	24	50%
Ciklus	**95**	**143**	**51%**	**90**	**-5%**

Policijski službenik povećava zelene faze prve tri signalne grupe za 50%, a četvrtu za 131% te ciklus za 51%. Optimalni signalni plan zahtjeva smanjenje trajanja prve tri zelene faze signalnih grupa i povećanje četvrte faze s najvećim prometnim opterećenjem što smanjuje ukupno trajanje ciklusa za 5%.

5.2 Analiza projektno-oblikovnih elemenata varijantnih rješenja malih kružnih raskrižja

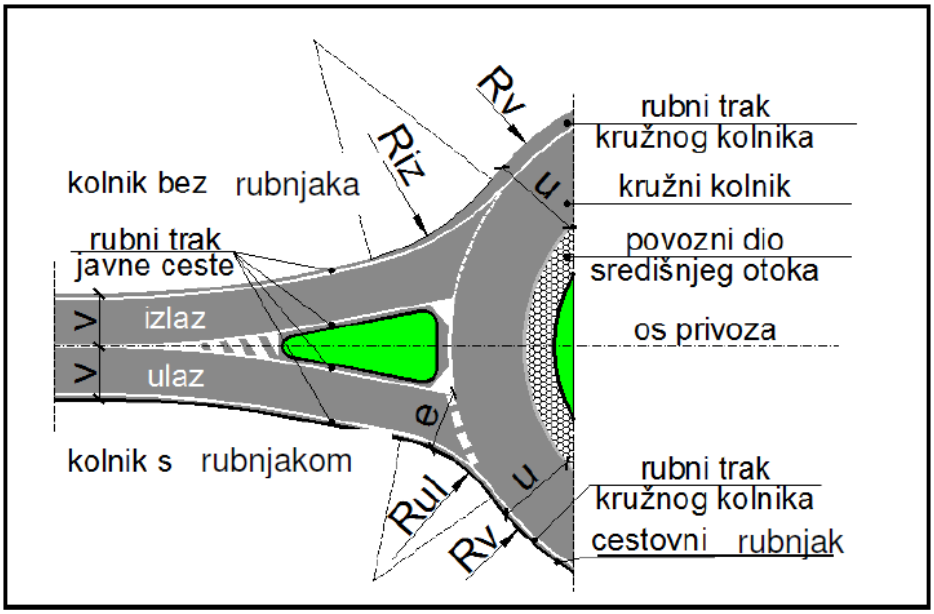
Mala kružna raskrižja u pravilu se izvode samo u urbanim sredinama. Očekivana brzina vožnje kroz mala kružna raskrižja je do 30 km/h. Takva kružna raskrižja se često izvode na ulazima u manja naselja, gdje osim upozorenja vozačima o promjeni uvjeta vožnje, nude i velike mogućnosti arhitektonskog i drugog oblikovanja okolice i središnjeg otoka [14].

U izradi varijantnih rješenja promatranog raskrižja u ovom radu korišteni su projektno-tehnički elementi navedeni u Smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama [14]. Tablica 5.3. prikazuje granične i preporučene vrijednosti geometrijskih elemenata za jednotračna mala i srednje velika kružna raskrižja u granicama koje proizlaze iz prometno-tehničkih ili sigurnosnih uvjeta, a slika 5.3. njihov položaj na raskrižju.

Tablica 5.3. Granične i preporučene vrijednosti geometrijskih elemenata za jednotračna mala i srednje velika kružna raskrižja

ELEMENT	SIMBOL (jedinica)	GRANIČNO	PREPORUČENO
Vanjski polumjer	Rv (m)	11,0 – 25,0	13,5 – 22,5
Širina kružnog kolnika	u (m)	4,0 – 9,0	4,5 – 6,0
Širina ulaza/izlaza	e (m)	3,6 – 10,0	4,0 – 7,0
Širina voznog traka	v (m)	2,50 – 7,0	3,0 – 3,5
Ulazni polumjer	Rul (m)	6 – 25	8 – 20
Izlazni polumjer	Riz (m)	8 – 50	10 – 25
Duljina razdjelne površine	m (m)	7 – 10	15 – 50

Izvor: [14]



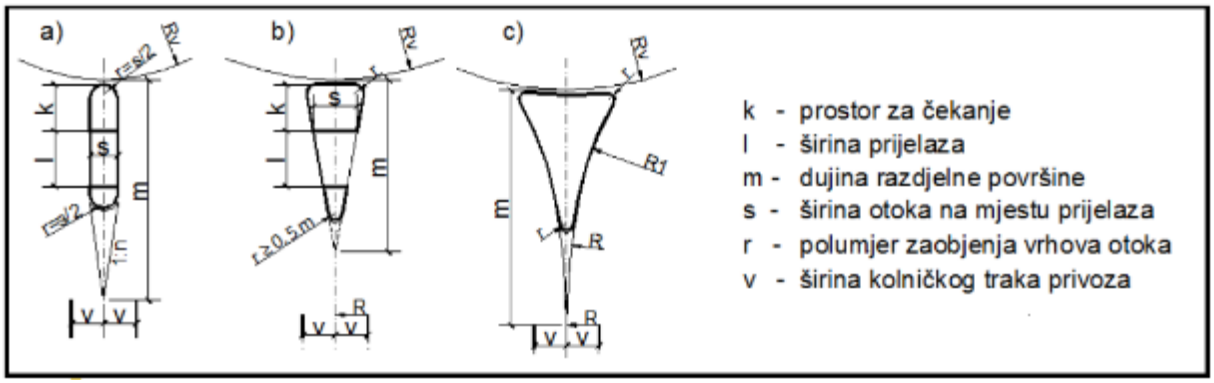
Slika 5.3. Položaj geometrijskih elemenata za jednotračna mala i srednje velika kružna raskrižja, [14]

Određene značajke oblikovnih elemenata varijantnih rješenja mini kružnih raskrižja slična su rješenjima malih kružnih raskrižja pa će biti navedene u ovom poglavlju. Kružni kolnik je prostor opisan polumjerima vanjskog (Rv) i unutarnjeg (Ru) ruba kolnika. Vanjski polumjer i širina

kružnog kolnika „u" su međusobno vezane veličine izborom mjerodavnog vozila. Zadaća kružnog kolnika je da omogući provoznost mjerodavnog vozila. Povozni dio središnjeg otoka je prometna površina u pravilu denivelirana i drugačije površinske obrade od kružnog kolnika s kojim graniči. Na državnim cestama izvedba povoznog dijela središnjeg otoka je obvezna na malim i srednje velikim kružnim raskrižjima.

U Varijanti 1 i Varijanti 2 implementirana je, prema smjernicama, minimalna širina povoznog dijela središnjeg otoka od jednog metra. Izlazni polumjer Riz osigurava primjerenu propusnost i sigurnost pri izlaznoj brzini. Izlazni polumjer treba biti veći ili jednak ulaznom Rul, a u pravilu ne manji od ulaznog polumjera (Riz ≥ Rul). Širina kolničkog traka „V" prema slici 5.3. pred kružnim raskrižjem, značajan je element kojim se bitno utječe na propusnost ulaza. Širina kolničkog traka ne smije biti manja od širine voznog traka prilazne ceste. Središnji otok je u pravilu kružnog tlocrtnog oblika s vanjskim povoznim pojasom konstantne širine [14]. Ove smjernice su se poštivale u svim varijantnim rješenjima. Za zaustavljanje biciklista i osoba s kolicima preporuča se širina otoka od najmanje 2 metra na mjestu zaustavljanja pješaka i biciklista [14]. Ova širina razdjelnog otoka je implementirana na svim oblikovnim varijantnim rješenjima, osim kod trećeg, gdje, zbog prostornih ograničenja, širina na privozu 2 iznosi 1,5 metara, a na privozu 3 je 2,5 metara.

Na slici 5.4. prikazani su elementi vezani za razdjelni otok koji su korišteni u varijantnim rješenjima.



Slika 5.4. Kapljasti (izduženi) (a), trokutasti (b) i ljevkasti (c) oblik razdjelnog otoka, [14]

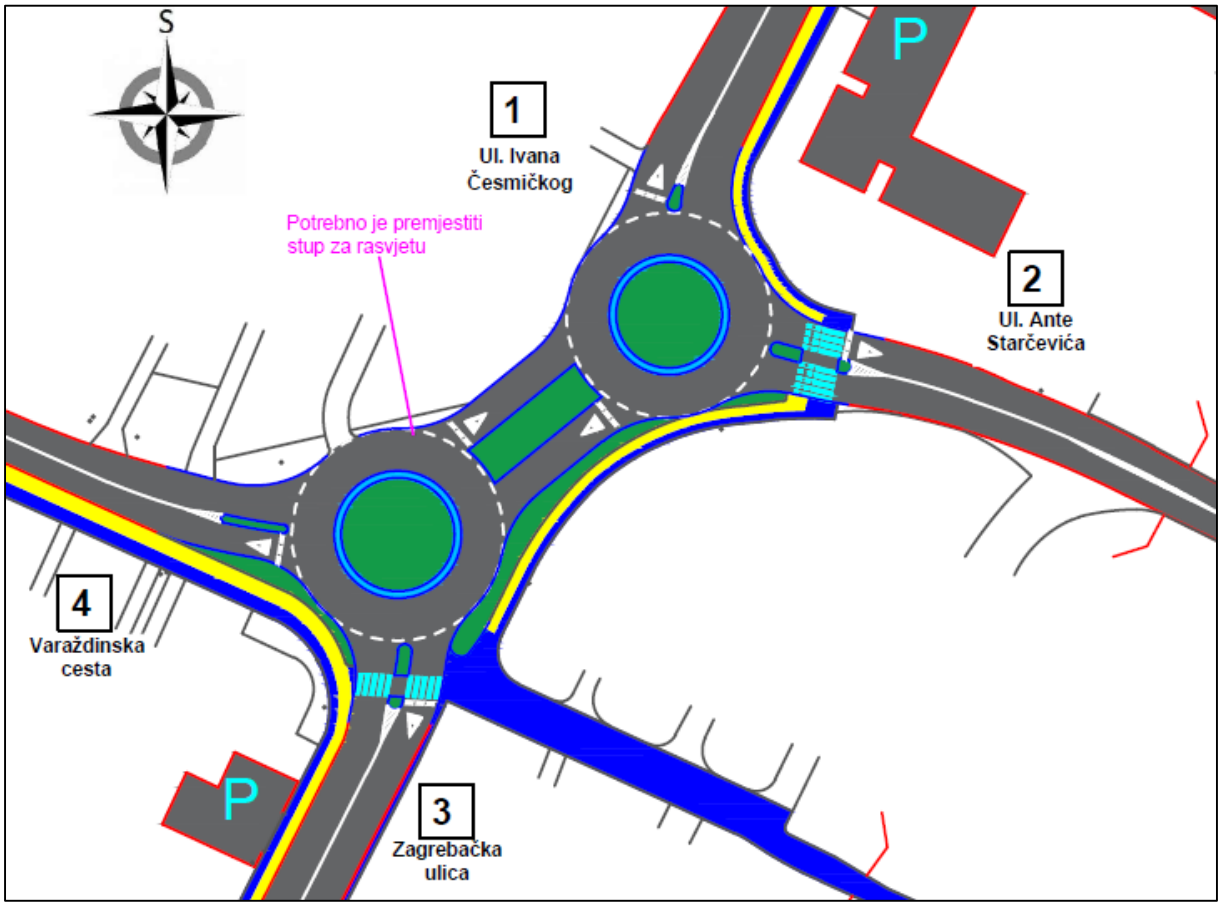
Pješački prijelaz treba biti izmaknut najmanje 5 metara od produžetka vanjskog ruba kružnog dijela kolnika u raskrižju što je na slici označeno kao prostor za čekanje. Ovo izmicanje je potrebno kako bi se osigurao prostor za najmanje jedno vozilo koje pri izlasku iz raskrižja čeka prelazak pješaka preko pješačkog prijelaza [14].

Varijanta 1 i Varijanta 2 na privozu 3 imaju prostor za čekanje od 4,8 metara zbog prostornih ograničenja, a na ostalim varijantama udaljenost je 5 metara.

Jedna od glavnih pretpostavki prilikom proračuna propusnosti ulaza je da se promet neometano odvija iz kružnog raskrižja. Da bi se to postiglo, izlaz mora biti dovoljne širine i primjerene zakrivljenosti. Širina izlaza veća od 6 m omogućava obilaženje vozila što je potrebno spriječiti oblikovanjem površine za razdvajanje prometa odnosno razdjelnog otoka. Veće širine izlaza na urbanim kružnim raskrižjima su nepovoljne za pješački promet, ali prihvatljive ako to zahtijevaju uvjeti provoznosti mjerodavnog vozila [14]. Zbog provoznosti mjerodavnog vozila u varijantnim rješenjima 1, 2 i 5 širina izlaza mora prelaziti 6 metara, dok kod rješenja 3 i 4 širina iznosi manje od 6 metara.

- ***Varijanta 1 - dvojno malo kružno raskrižje***

Slika 5.5. prikazuje oblikovno rješenje Varijante 1 dvojnog malog kružnog raskrižja.



Slika 5.5. Varijanta 1 - dvojno malo kružno raskrižje

Legenda: 1, 2, 3, 4 – oznaka broja privoza; P – parking površina; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup; svjetloplavo osjenčano – povozna površina; zeleno osjenčano – nepovozna površina

Na svakom privozu jedna je prometna traka za ulazak i jedna za izlazak iz raskrižja (dvotračni dvosmjerni privozi). U odnosu na postojeće stanje, potrebno je proširenje kolnika. Potrebna površina za proširenje, prema Izvatku iz zemljišnih knjiga i Posjedovnog lista [15] nalazi se u javnom vlasništvu te stoga nije potreban otkup privatnog zemljišta. Na zemljištu se ne nalaze građevinski objekti, osim jednog stupa za rasvjetu, označenog na slici, koji bi se trebao pomaknuti prema sjeveru. Plavom

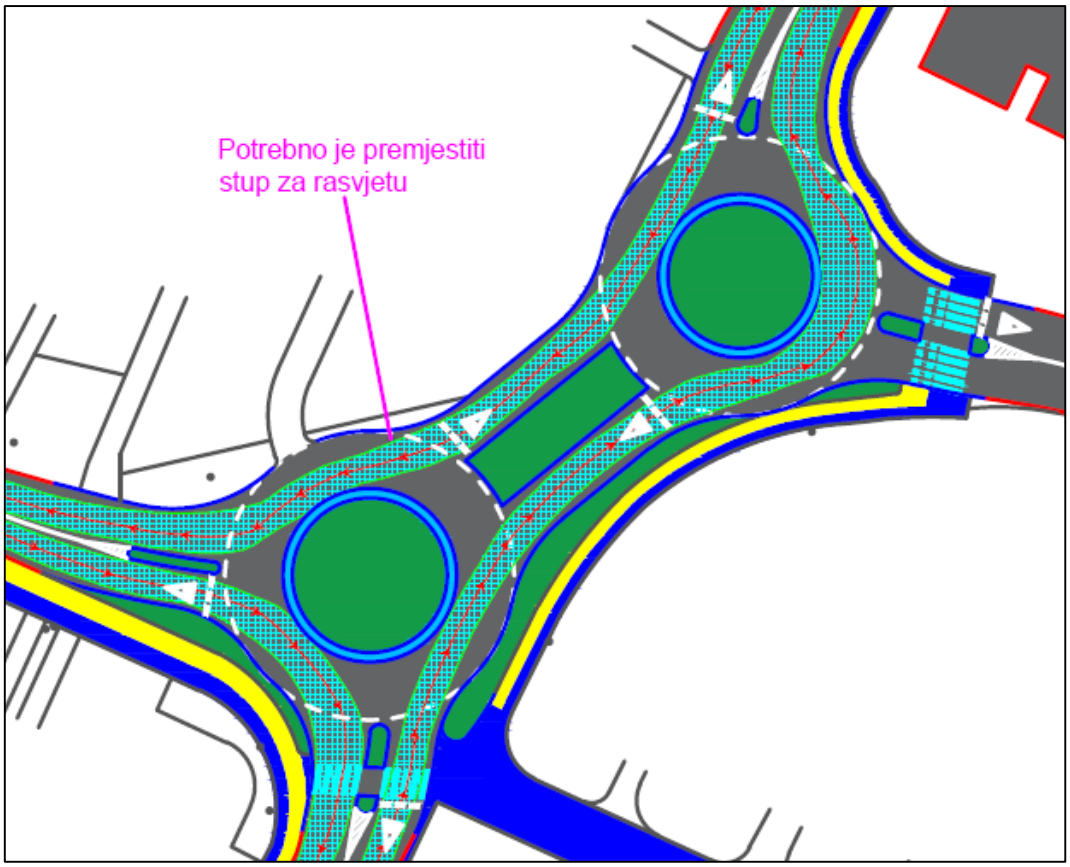
bojom označeni su pješački nogostupi, a žutom bojom biciklističke staze, zelenom bojom nepovozni razdjelni i središnji otoci, svijetloplavom bojom povozni dio središnjeg otoka te sivim linijama privozi i ograde privatnih objekata. Sve ostale varijante označene su istim bojama.

Središnji otoci su djelomično povozni, a pet razdjelnih otoka nije povozno. Razdjelni otoci kod pješačkih i biciklističkih prijelaza su širine 2 metra kako bi biciklisti, pješaci s dječjim kolicima itd. mogli stajati na otoku radi propuštanja vozila. Na privozima 1 i 4 širina razdjelnih otoka je 1,2 metara što je dostatno za postavljanje prometnih znakova. Na sjeverozapadnom dijelu raskrižja vozila iz dva privoza privatnih objekata ne mogu direktno skrenuti ulijevo zbog blizine raskrižja te su prisiljena na desno skretanje.

Sve relevantne dimenzije oblikovnih elemenata raskrižja prikazane su u prilogu P.2.

U svim varijantama predlaže se ukidanje pješačkog nogostupa na sjevernom dijelu raskrižja i pješački prijelazi preko privoza 1 i privoza 4. Time je dobiven potreban prostor za implementaciju većih dimenzija raskrižja kako bi bila što veća propusna moć cjelokupnog raskrižja i zadovoljena provoznost mjerodavnog vozila. Osim toga, budući da je na ovim privozima zabilježen mali broj pješaka, vozači koji svakodnevno prolaze ovim raskrižjem mogli bi previdjeti nailazak pješaka jer ih ne očekuju, što bi smanjilo sigurnost.

Slika 5.6. prikazuje potrebnu površinu za kretanje mjerodavnog vozila pojedinih smjerova na raskrižju.



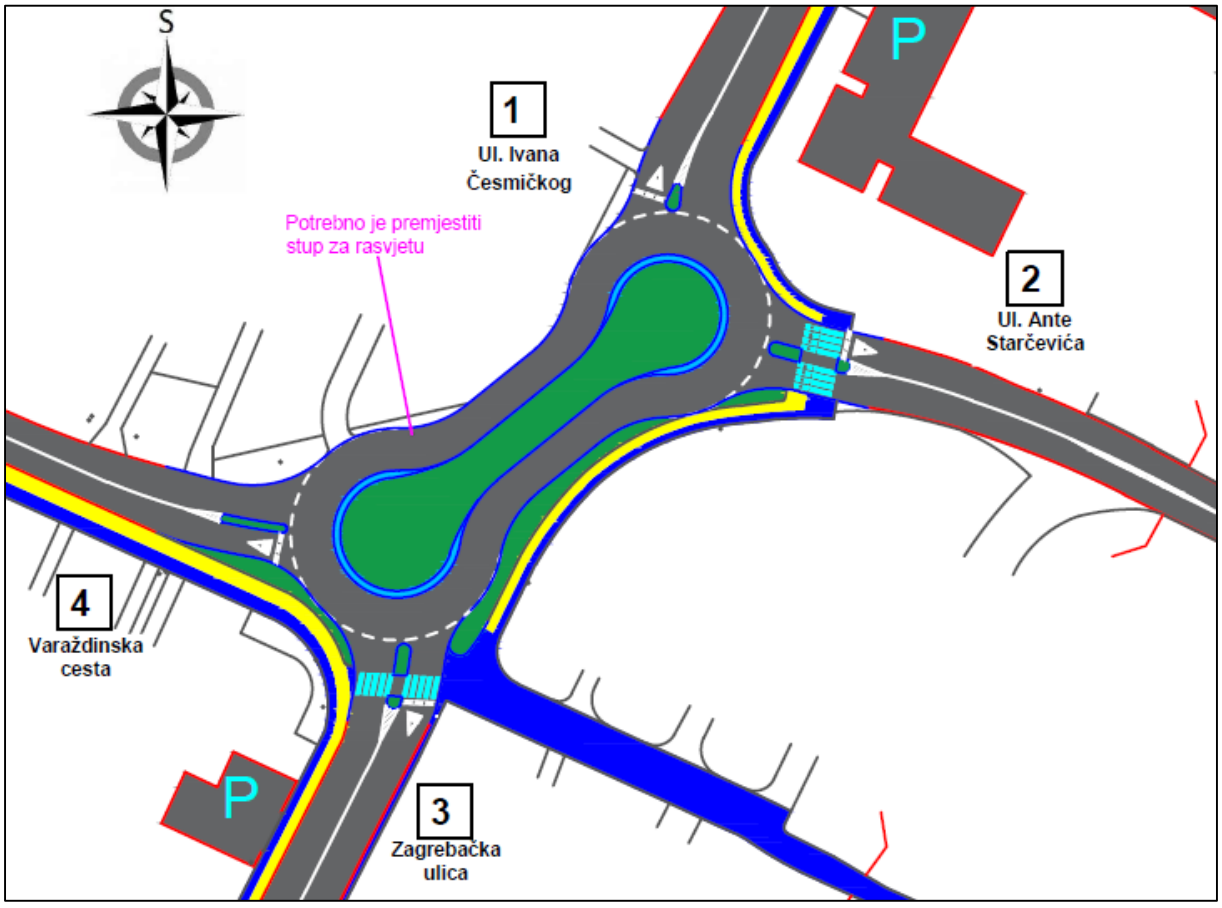
Slika 5.6. Pregled pojedinih trajektorija mjerodavnog vozila Varijante 1

Legenda: svjetloplavi kvadratići – trajektorija mjerodavnog vozila; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup; svjetloplavo osjenčano – povozna površina; zeleno osjenčano – nepovozna površina

Trajektorija mjerodavnog vozila izrađena je na način da je bočni razmak između gabarita vozila i rubnog kamena kroz veći dio raskrižja barem 0,5 metara.

- ***Varijanta 2 - izduženo malo kružno raskrižje***

Varijanta 2 (slika 5.7.) prikazuje izduženo kružno raskrižje kao dva spojena mala kružna raskrižja.



Slika 5.7. Varijanta 2 - izduženo malo kružno raskrižje

Legenda: 1, 2, 3, 4 – oznaka broja privoza; P – parking površina; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup; svjetloplavo osjenčano – povozna površina; zeleno osjenčano – nepovozna površina

Sve dimenzije oblikovnih elemenata Varijante 2 jednake su Varijanti 1. Jedina razlika ovog rješenja u odnosu na prvo rješenje je sprječavanje direktnog lijevog skretanja iz privoza 1 i privoza 3, odnosno potrebno je voziti kroz oba raskrižja ako se želi obaviti lijevo skretanje. Iz tog razloga, ovo rješenje se može smatrati kao jedno veliko kružno raskrižje umjesto dva mala kružna raskrižja. Pregledniji prikaz ove Varijante predočen je u prilogu P.3.

Ono ima dva uplitanja i dva isplitanja manje u odnosu na prethodno rješenje što može povećati prosječnu brzinu kretanja raskrižjem, a time i propusnu moć. Ovo rješenje je nepovoljno sa stanovišta vozila koja se kreću ulijevo iz privoza 1 (prometuje 44 voz/h čiji je udio po privozu 22%) i privoza 3 (prometuje 93 voz/h čiji je udio po privozu 18%). Prema vrijednostima udjela lijevih skretača, koji su manji od jedne četvrtine, može se pretpostaviti da će taj nedostatak slabije utjecati na propusnu moć raskrižja.

5.3 Analiza projektno-oblikovnih elemenata varijantnih rješenja mini kružnih raskrižja

Mini kružno raskrižje je jednotračno kružno raskrižje s provoznim središnjim otokom, u kojem mala vozila voze kao u kružnom raskrižju, a duga vozila (autobusi, teretna vozila...) prolaze kao kroz uobičajena raskrižja u jednoj razini. Malo uzdignuti središnji otok prisiljava mala vozila (malih dimenzija pneumatika) da se udalje od njega odnosno da ga obilaze. Velikim i dugim vozilima (velikih dimenzija pneumatika) uzdignuti središnji otok ne predstavlja prepreku pa ga jednostavno prevoze [16]. Od kružnoga prometnog traka građevinski se razlikuje po upotrijebljenom materijalu i boji (npr. granitne kocke) [14]. Ova vrsta kružnih raskrižja skoro isključivo se primjenjuje u većim naseljima, ali se na njih nailazi i na javnim cestama u njihovom prolasku kroz manja naselja [2]. U pravilu je mini kružno raskrižje trajno projektno rješenje izvedeno unutar gabarita postojećeg klasičnog raskrižja. Izvedeno je s elementima, prometnom signalizacijom i opremom koja je u skladu s zakonskom regulativom i prometno-sigurnosnim zahtjevima za kružna raskrižja. Mini kružna raskrižja mogu se izvesti samo na onim cestama unutar naselja, na kojima je najveća dozvoljena brzina 50 km/h ili manje. Prilikom tlocrtnog oblikovanja mini kružnog raskrižja u pravilu se moraju zadovoljiti isti zahtjevi kao i kod urbanih jednotračnih kružnih raskrižja [14].

Mini kružno raskrižje je pogodno rješenje u slučaju rekonstrukcije postojećih raskrižja i to:

- raskrižja nepovoljnih rasporeda privoza (oblika)
- raskrižja oblika "F" i "H" (dva trokraka ''T'' raskrižja na maloj međusobnoj udaljenosti)
- u slučaju približno jednakog prometnog opterećenja na glavnom i sporednom prometnom smjeru
- u slučaju kada semaforizacija nije opravdana, a kapacitet nesemaforiziranog raskrižja je premašen
- kada nema dovoljno prostora za izvedbu urbanog jednotračnog kružnog raskrižja
- kada smjer glavnog ili prevladavajućeg prometnog toka nije usklađen s postojećom geometrijom (tipom) raskrižja [14].

Prema analizi postojećeg stanja može se zaključiti da svi gore naznačeni uvjeti za implementaciju mini kružnog raskrižja zadovoljavaju situaciji promatranog raskrižja.

Mini kružno raskrižje nije pogodno rješenje u situaciji kada se na nekoj lokaciji očekuje značajniji udio većih motornih vozila, teretnih vozila i/ili autobusa [14]. Na promatranom raskrižju, za vrijeme popodnevnog vršnog sata, zabilježeno je 136 teretnih vozila i autobusa, od sveukupno 1563 vozila. Prema tome, cjelokupni udio teretnih vozila i autobusa je 8,7% što predstavlja pogodnost za implementaciju mini kružnog raskrižja.

Središnji otok (Dn) mora biti izveden uzdignuto i u obliku kupole, pri čemu je vanjski rub otoka uzdignut za 2 - 3 cm s obzirom na visinu kružnog kolnika, a na sredini je kupola visine 10 - 12 cm [14]. Preporučene vrijednosti određenih geometrijskih elemenata za mini kružna raskrižja iz Smjernica [14] prikazani su u tablici 5.4.

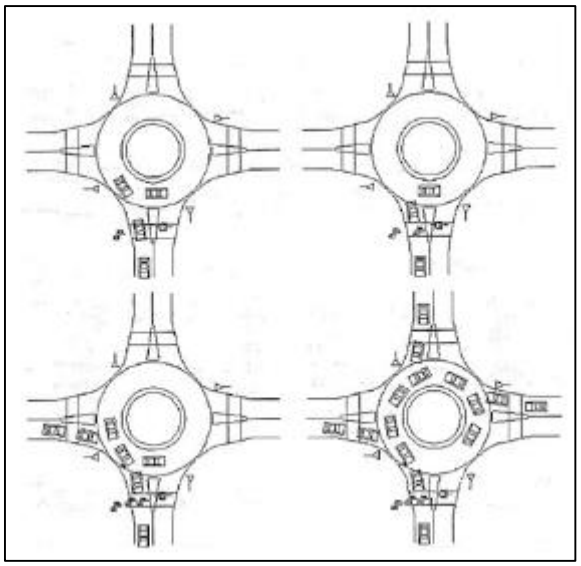
Tablica 5.4. Preporučene vrijednosti geometrijskih elemenata za mini kružna raskrižja

ELEMENT	SIMBOL (jedinica)	PREPORUČENO
Vanjski polumjer	Rv (m)	6,5 – 12,5
Širina kružnog kolnika	u (m)	4,5 – 5,0
Širina ulaza/izlaza	e (m)	2,75 – 3,3
Polumjer središnjeg otoka	Dn (m)	3,5 – 4,5

Izvor: [14]

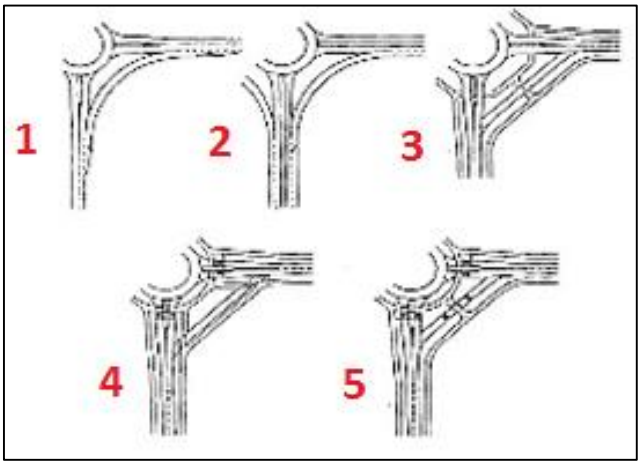
U kružnim raskrižjima s jednim voznim trakom u kružnom toku moguće je da zbog intenzivnog toka pješaka i biciklista nastaju problemi punjenja i pražnjenja kružnog raskrižja. Kad je duljina vozila u koloni na izlazu iz kružnog raskrižja tako velika da dostigne prethodni ulaz, pojavljuju se problemi s punjenjem kružnog raskrižja. Blokada kružnog raskrižja može, ali i ne mora nastati, što ovisi o intenzitetu prometnog toka i načinu (raspodjeli) dolazaka pješaka i biciklista u kružno raskrižje. Kolona vozila na ulazu može se pojaviti i zbog gustog kružnog toka (koji ne dopušta uključivanje sa sporednih smjerova) [16].

Na slici 5.8. prikazan je primjer blokade kružnog raskrižja zbog velikog broja pješaka na donjem pješačkom prijelazu što u velikoj mjeri ometa izlazak vozila.



Slika 5.8. Nastanak blokade kružnog raskrižja, [16]

Blokada varijantnog kružnog raskrižja očekuje se na privozu 3. Zbog toga su izrađena varijantna rješenja s mini kružnim raskrižjima na kojima su izvedeni odvojeni trakovi za desne skretače. Vođenje prometnog toka mimo kružnog raskrižja moguće je jedino u slučaju desnih skretača. Neki primjeri prikazani su na slici 5.9.

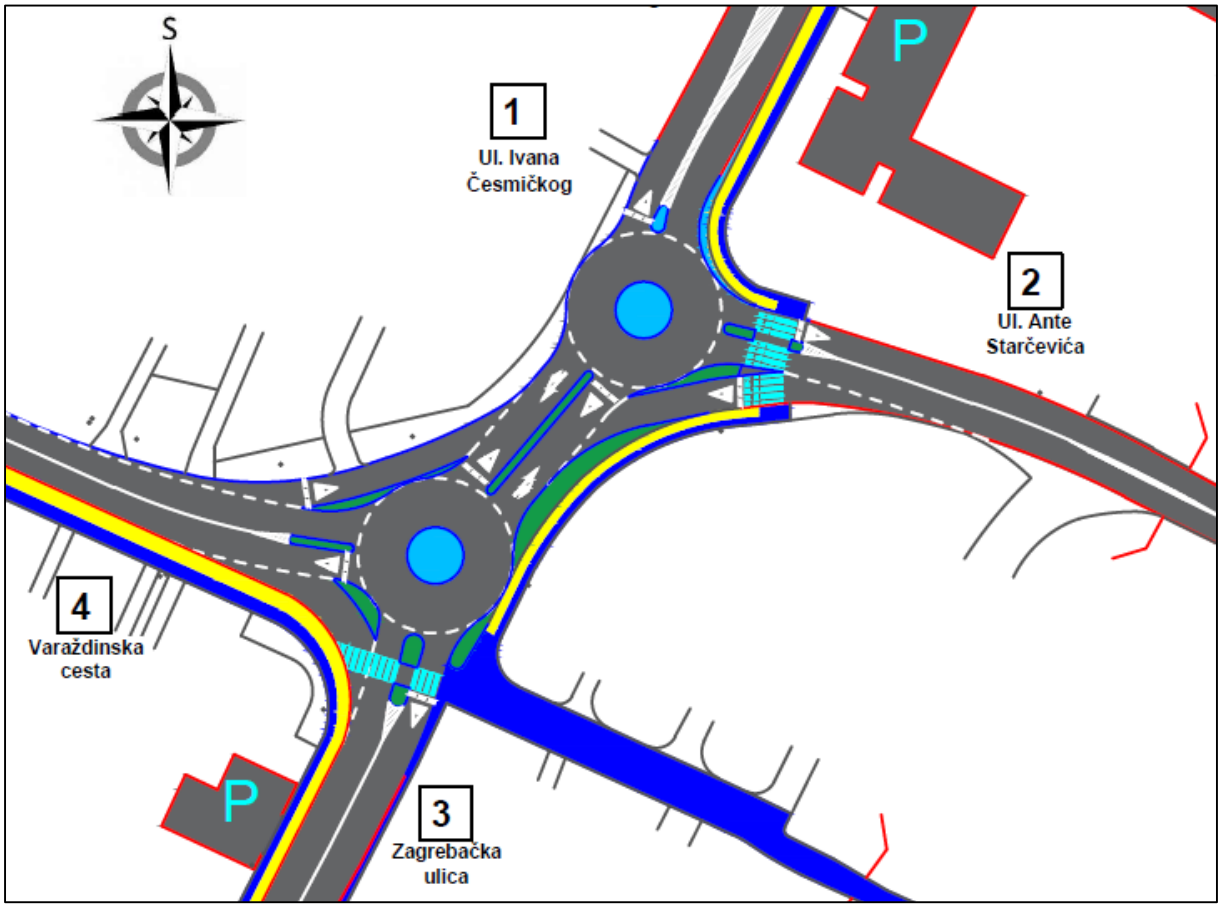


Slika 5.9. Vođenje desnih skretača mimo kružnog raskrižja (izravno vođenje), [16]

Prvo i drugo rješenje vođenja desnih skretača prikazano na slici 5.9. korišteno je u svim varijantama mini kružnih raskrižja.

- ***Varijanta 3 - dvojno mini kružno raskrižje s tri obilazna desna skretanja***

Oblikovno rješenje Varijante 3 izvedeno kao dvojno mini kružno raskrižje s tri obilazna desna skretanja vidljivo je na slici 5.10. i detaljnije prikazano u prilogu P.4.



Slika 5.10. Varijanta 3 - dvojno mini kružno raskrižje s tri obilazna desna skretanja

Legenda: 1, 2, 3, 4 – oznaka broja privoza; P – parking površina; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup; svjetloplavo osjenčano – povozna površina; zeleno osjenčano – nepovozna površina

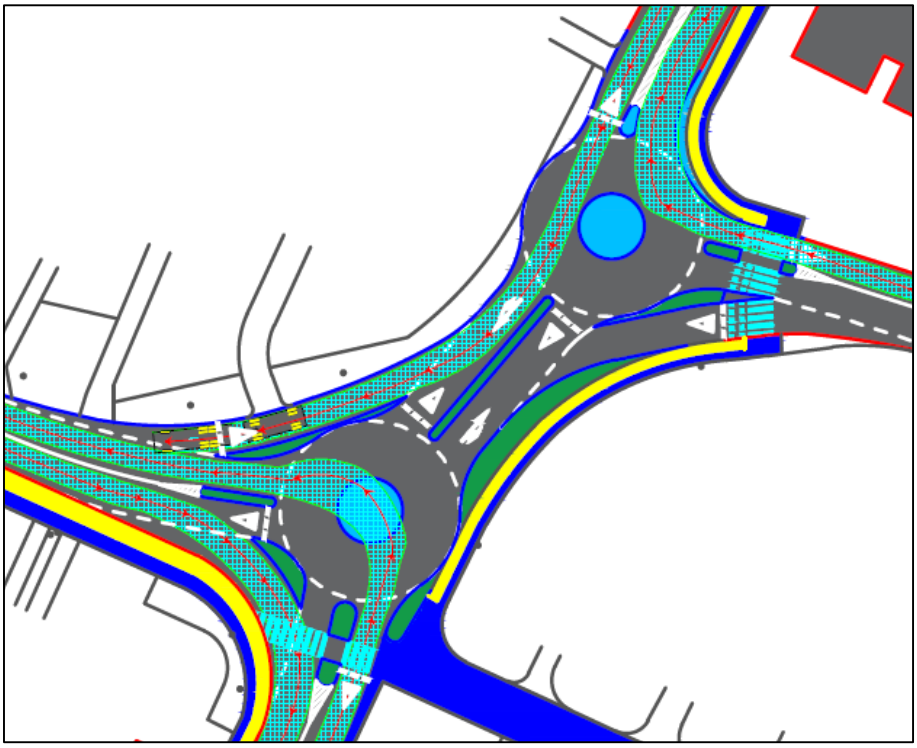
Obzirom da su polumjeri kružnog kolnika manji u odnosu na prethodne varijante, dobilo se na prostoru koji omogućuje dodavanje tri posebne trake za desna skretanja. Iako je prosječna brzina kretanja vozila raskrižjem, zbog manjih dimenzija, manja u odnosu na rješenja Varijante 1

i Varijante 2, smatra se da će posebno odvajanje prometnih tokova kompenzirati taj nedostatak što može rezultirati boljim rješenjem. Osim toga, manja brzina smanjuje i posljedice prometnih nesreća.

Posebne trake za desno skretanje omogućuju obilazak jednog od dva kružna kolnička traka raskrižja (slika 5.10. i prilog P.4.) za vozila iz:

- privoza 1 prema privozu 4
- privoza 2 prema privozu 4
- privoza 3 prema privozu 2
- privoza 4 prema privozu 2
- privoza 4 prema privozu 3.

Slika 5.11. prikazuje pojedine trajektorije kojima se kreće mjerodavno vozilo. Na slici je vidljivo, da u slučaju skretanja ulijevo, mjerodavno vozilo mora prelaziti središnji otok u cijeloj površini.



Slika 5.11. Pregled pojedinih trajektorija Varijante 3

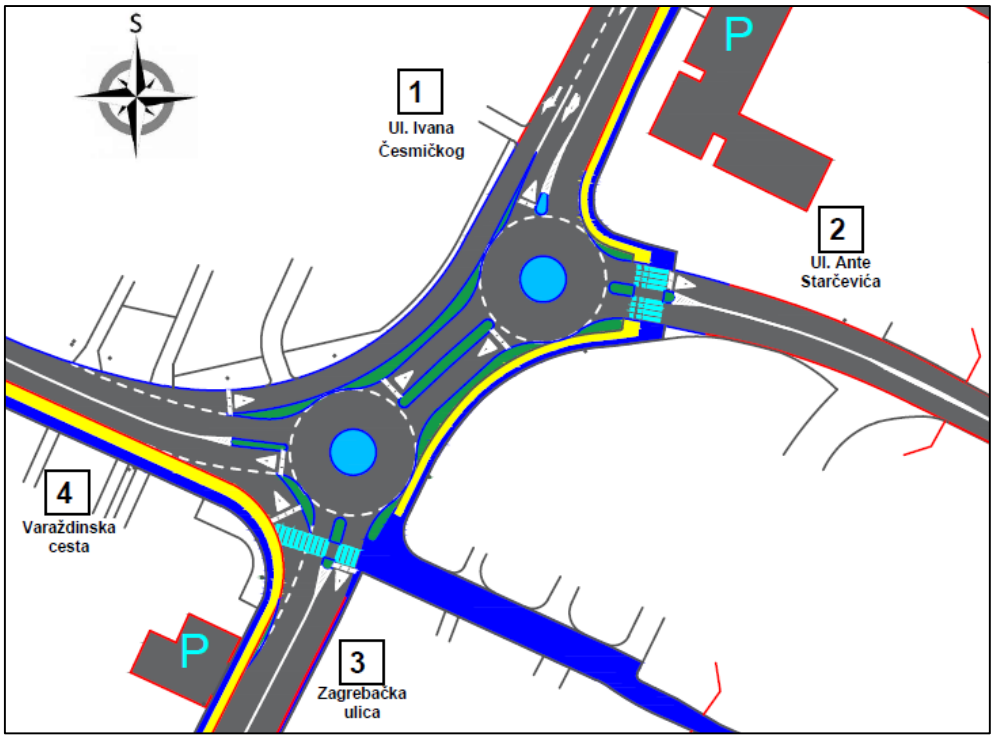
Legenda: svjetloplavi kvadratići – trajektorija mjerodavnog vozila; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup; svjetloplavo osjenčano – povozna površina; zeleno osjenčano – nepovozna površina

Središnji otok izveden je uzdignuto i u obliku kupole u skladu sa Smjernicama [14]. Ova uzdignuća smanjuju želju vozača osobnih vozila i motocikala da se kreću preko središnjeg otoka.

Na privozu 1 nalazi se prevozni razdjelni otok (na slici 5.11. označen svijetloplavom bojom) izrađen od materijala istog kao i središnji otok. Mjerodavno vozilo je prisiljeno svojim gabaritima prolaziti tik uz njega. Na ostalim privozima nalaze se uzdignuti razdjelni otoci.

- ***Varijanta 4 - dvojno mini kružno raskrižje s dva obilazna desna skretanja***

Slika 5.12. prikazuje oblikovno rješenje Varijante 2 dvojnog mini kružnog raskrižja s dva obilazna desna skretanja (prilog P.5.).

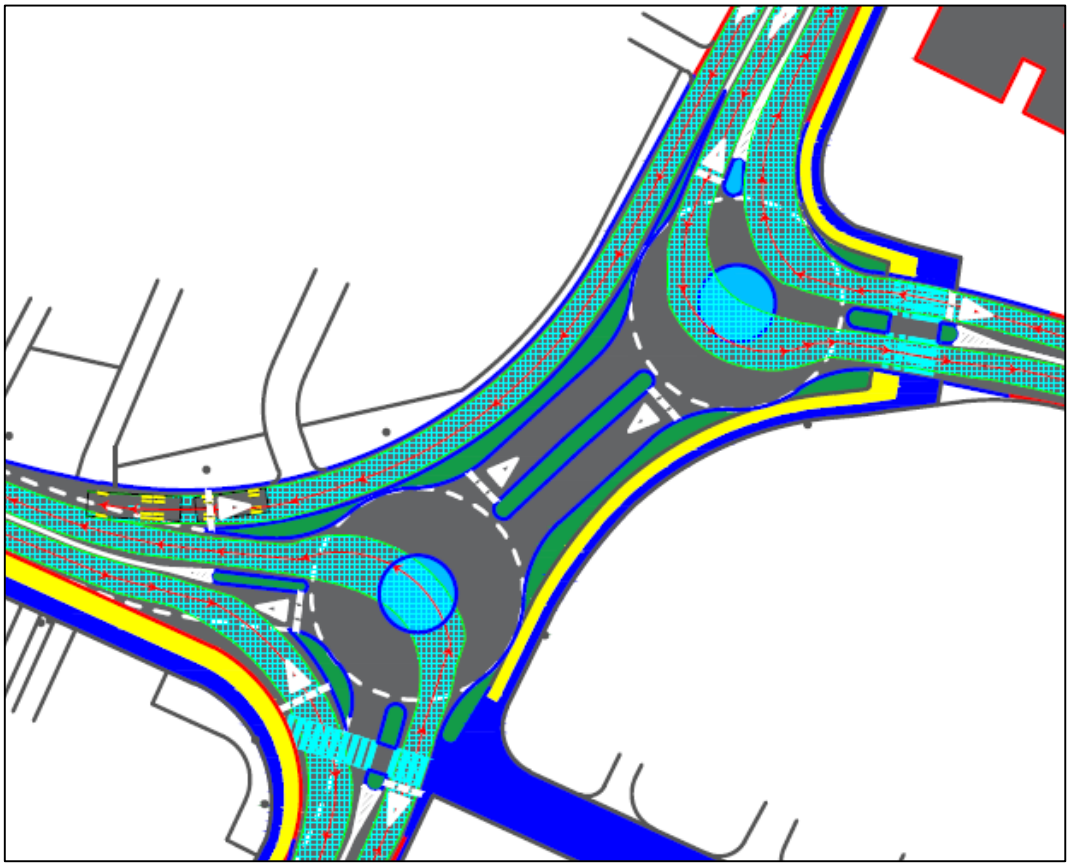


Slika 5.12. Varijanta 4 - dvojno mini kružno raskrižje s dva obilazna desna skretanja

Legenda: 1, 2, 3, 4 – oznaka broja privoza; P – parking površina; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup; svjetloplavo osjenčano – povozna površina; zeleno osjenčano – nepovozna površina

Ovo oblikovno rješenje sadrži dvije posebne prometne trake za desno skretanje iz privoza 1 koje obilazi oba kružna raskrižja i iz privoza 4 koje obilazi jedno kružno raskrižje. Ovo rješenje je uzeto u obzir zbog prostornih mogućnosti, prije svega, zbog velike širine postojećeg kolnika na privozu 1.

Na slici 5.13. su prikazane trajektorije mjerodavnog vozila. Kao što je vidljivo, oba središnja otoka i razdjelni otok na privozu 1 su provozni.

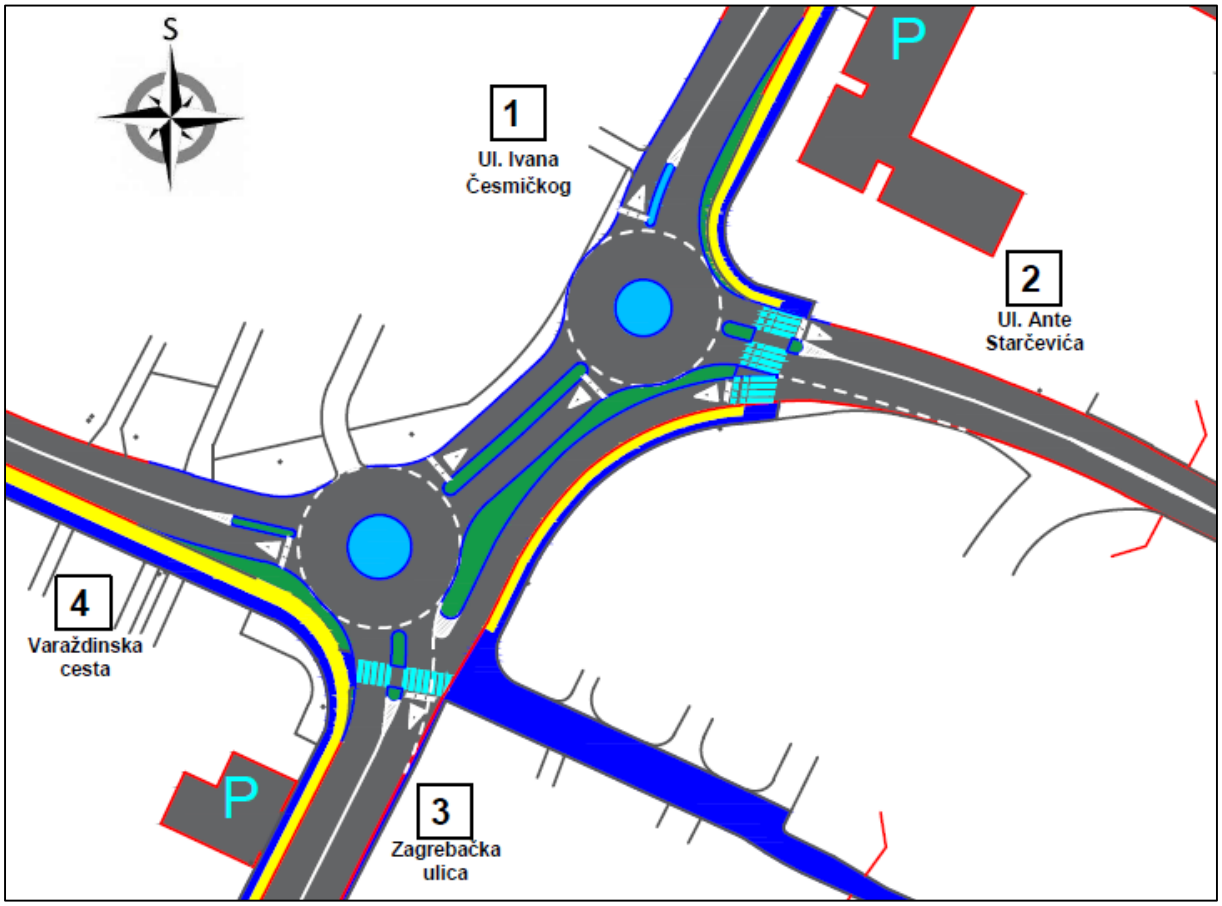


Slika 5.13. Pregled pojedinih trajektorija Varijante 4

Legenda: svjetloplavi kvadratići – trajektorija mjerodavnog vozila; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup; svjetloplavo osjenčano – povozna površina; zeleno osjenčano – nepovozna površina

- ***Varijanta 5 - dvojno mini kružno raskrižje s jednim obilaznim desnim skretanjem***

Varijanta 5. prikazuje dvojno mini kružno raskrižje s jednom desnom obilaznom prometnom trakom iz privoza 3 prema centru Koprivnice (privoz 2). Varijanta 5. je prikazana na slici 5.14. i detaljnije u prilogu P.6.

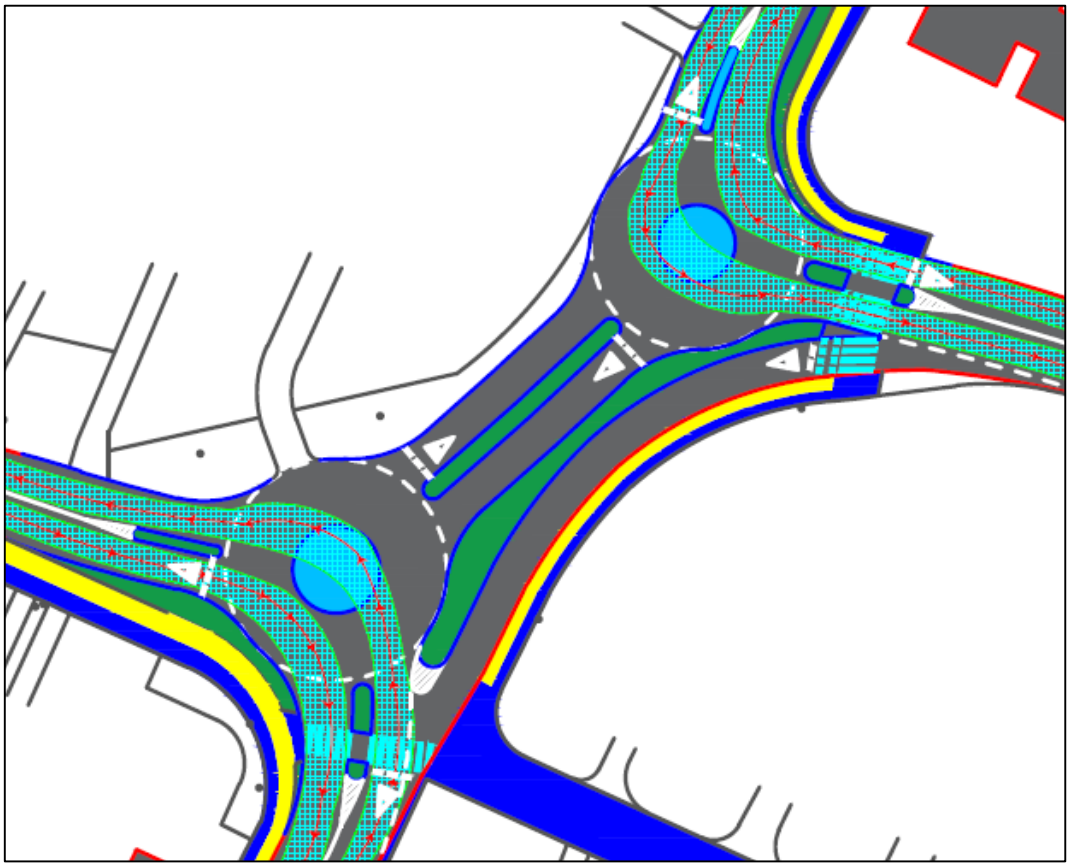


Slika 5.14. Varijanta 5 - dvojno mini kružno raskrižje s jednim obilaznim desnim skretanjem

Legenda: 1, 2, 3, 4 – oznaka broja privoza; P – parking površina; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup; svjetloplavo osjenčano – povozna površina; zeleno osjenčano – nepovozna površina

Sva vozila iz privoza 3 koja skreću udesno, ovim rješenjem obilaze oba kružna raskrižja. Pri ulazu u ovaj prometni trak vozila su dužna propustiti jedino pješake na pješačkom prijelazu. Pri izlazu iz prometnog traka moraju propustiti vozila koja izlaze iz kružnog raskrižja te pješake i

bicikliste koji prelaze privoz 2. Prema prikazu trajektorija mjerodavnog vozila (slika 5.15.) vidljiva je mala širina prometnih traka na privozu 2 što rezultira bočnom razmaku od gabarita vozila do rubnog kamena samo 25 cm do 45 cm.



Slika 5.15. Pregled pojedinih trajektorija Varijante 5

Legenda: svjetloplavi kvadratići – trajektorija mjerodavnog vozila; žuto osjenčano – biciklistička staza; plavo osjenčano – pješački nogostup; svjetloplavo osjenčano – povozna površina; zeleno osjenčano – nepovozna površina

5.4 Usporedba geometrijskih elemenata varijantnih rješenja raskrižja

Dimenzije pojedinih geometrijskih elemenata raskrižja prikazane su u tablici 5.5., a ostale nenavedene dimenzije predočene su u prilozima P.2. do P.6.

Tablica 5.5. Dimenzije pojedinih geometrijskih elemenata varijantnih rješenja

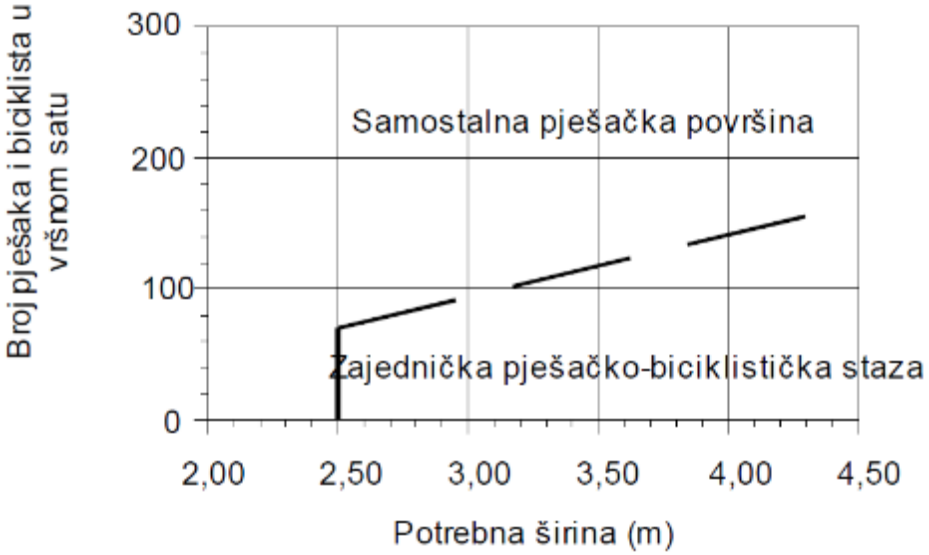
SIMBOL (jedinica)	V1	V2	V3	V4	V5
Rv (m)	14,5/15	14,5/15	11/11	11/11	11/11,5
u (m)	6	6	7	7	7
e (m)	4,82-5,54	4,82-5,54	3,92-5,42	3,79-4,57	4,09-4,76
v (m)	3,06-3,50	3,06-3,50	3,06-3,50	3,06-3,50	3,06-3,50
Rul (m)	12-15	12-15	8-12	6-12	8-12
Riz (m)	12-15	12-15	10-12	12	12-15
m (m)	15	15	15	15	15

Vanjski polumjer „Rv" (m) za Varijantu 1 i Varijantu 2 iznosi 14,5 metara za sjeverno i 15,0 metara za južno kružno raskrižje, a za ostale 11,0 metara i 11,5 metara. Širina kružnog kolnika „u" (m) za jedan je metar veća na mini kružnim raskrižjima i iznosi 7 metara u odnosu na mala kružna raskrižja. Širina ulaza/izlaza „e" (m) u prosjeku je veća na malim kružnim raskrižjima u odnosu na mini kružna raskrižja. Širina voznog traka „v" (m) kod svih varijanti je jednaka i u preporučenim veličinama iz Smjernica. Ulazni polumjer „Rul" (m) jedino u Varijanti 4 na privozu 4 nije u preporučenim vrijednostima, no međutim, to je zato što postoji posebni odvojeni trak za desna skretanja s dovoljno velikim polumjerom od 17,14 metara. Izlazni polumjeri „Riz" (m) su u preporučenim granicama. Duljina razdjelnih površina „m" (m) u svim varijantama je podjednaka te iznosi otprilike 15 metara. U skladu s gore navedenim proizlazi da su geometrijski elementi (dimenzije) povoljniji u varijantnim rješenjima malih kružnih raskrižja u odnosu na varijantna rješenja mini kružnih raskrižja.

U nastavku su analizirane širine pješačkih nogostupa i biciklističkih staza te prijelaza.

Prema prijedlogu Pravilnika o uvjetima za projektiranje i izgradnju biciklističkih staza i traka (članak 21.) [17] potrebna širina zajedničke

pješačko – biciklističke staze ovisi o broju pješaka i biciklista u vršnom satu, a određuje se prema dijagramu na slici 5.16.



Slika 5.16. Dijagram odnosa potrebne širine i broja pješaka i biciklista u vršom satu, [17]

Širine pješačkih nogostupa i biciklističkih staza jednake su u svim varijantnim rješenjima osim uz privoz 3 na Varijanti 3. Tablica 5.6. prikazuje širine pješačkih nogostupa i biciklističkih staza po privozima za postojeće stanje i nova varijantna rješenja koja su u skladu s gore prikazanim dijagramom.

Tablica 5.6. Usporedba širina pješačkih nogostupa i biciklističkih staza po privozima

Privoz	Širina pješačkog nogostupa s desne strane (m)		Širina biciklističke staze s desne strane (m)		Širina pješačkog nogostupa s lijeve strane (m)		Širina biciklističke staze s lijeve strane (m)	
	Post.	Novo	Post.	Novo	Post.	Novo	Post.	Novo
1	1,5	0	0	0	1,7	1,25	1,8	1,25
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,85	0,85	0	0	1,4	1,4	1,4	1,4
4	2,15	2,15	2,15	2,15	0	0	0	0

U svim varijantnim rješenjima privoza 1 predlaže se ukidanje pješačkog nogostupa s desne strane. Razlog je mali broj pješaka koji prolazi ovim nogostupom. Između dva susjedna prijelaza, od kojih se jedan nalazi na udaljenosti 300 metara, a drugi 150 metara od promatranog raskrižja, nalazi se 15 kuća. Ako se broj kuća pomnoži s prosječnim brojem generiranih pješaka od 1,5 iznosi 30 pješaka što u oba smjera predstavlja samo 60 pješaka dnevno. Na istom privozu s lijeve strane, predlaže se smanjenje širine zajedničke pješačko-biciklističke staze s 3,5 metara na 2,5 metara zbog potrebe proširenja kolnika. Uz privoz 2 ne predlaže se izgradnja pješačko-biciklističkih staza već ostaje kao i u postojećem stanju. S desne strane privoza 3 u Varijanti 3, povećana je širina pješačkog nogostupa s 0,85 metara na 1,01 metar kao posljedica rekonstrukcije kolnika, dok u ostalim varijantnim rješenjima nema promjene. Širine pješačko - biciklisitčkih staza s desne strane privoza 4 nisu mijenjane. Širina pješačkog prijelaza preko privoza 3 iznosi 3 metra, a širina pješačkog i biciklističkog prijelaza preko privoza 2 iznosi 5,3 metra. Pješački prijelazi preko privoza 1 i privoza 4 predlažu se ukinuti u svim varijantnim rješenjima.

6. ANALIZA STANJA SIGURNOSTI

U cestovnom prometu dolazi do mnogih konfliktnih situacija. Da bi se povećala sigurnost cestovnog prometa i smanjile opasnosti potrebno je provesti mnoge mjere, od kojih je prva, detaljna analiza uzroka i posljedica prometnih nesreća na prometnicama. Iskustva razvijenih zemalja potvrđuju da je istraživanje problema sigurnosti na cestama isplativ način sprečavanja prometnih nesreća. To je bitno i za gospodarski razvoj budući da troškovi prometnih nesreća čine znatan postotak bruto domaćeg proizvoda [10]. U ovom poglavlju ukratko je analizirana sigurnost postojećeg stanja na raskrižju i za sva oblikovna varijantna rješenja.

Izvršena je analiza:

- broja prometnih nesreća koje su se dogodile na promatranom raskrižju u razdoblju 2010. – 2014. godine
- prosječne brzine kretanja vozila na pojedinim dijelovima raskrižja i u cijelom raskrižju
- broja konfliktnih točaka postojećeg stanja i svake varijante
- preglednosti raskrižja.

6.1 Analiza prometnih nesreća

Podaci o prometnim nesrećama zabilježenim od strane Policijske uprave Koprivničko-križevačke na promatranom raskrižju, za razdoblje 2010.-2014. godine [18], prikazani su u tablici 6.1.

Tablica 6.1. Broj prometnih nesreća s posljedicama

Godina	Prometne nesreće			
	Poginule osobe	Ozlijeđene osobe	Materijalna šteta	Ukupno
2010.	0	2	1	3
2011.	0	1	1	2
2012.	0	1	0	1
2013.	0	0	2	2
2014.	0	0	1	1
Ukupno	**0**	**4**	**5**	**9**

Izvor: [18]

U promatranom razdoblju 2010. – 2014. godine na raskrižju je ukupno zabilježeno devet prometnih nesreća. Dobra je okolnost što nije bilo smrtnih posljedica već samo ozlijeđenih osoba i materijalne štete. Od ukupno četiri ozlijeđene osobe dvije su osobe teško ozlijeđene 2011. i 2012. godine, a dvije lakše ozlijeđene 2010. godine. Na raskrižju je zabilježeno pet prometnih nesreća samo s materijalnom štetom. U tablici 6.2. prikazane su vrste prometnih nesreća zabilježene na ovom raskrižju.

Tablica 6.2. Vrste prometnih nesreća na raskrižju

Godina	Vrste prometnih nesreća				
	Bočni sudar	Nalet na pješaka	Nalet na biciklistu	Vožnja u slijedu	Slijetanje vozila s ceste
2010.	1	1	1	0	0
2011.	1	0	0	1	0
2012.	0	1	0	0	0
2013.	0	0	1	0	1
2014.	1	0	0	0	0
Ukupno	**3**	**2**	**2**	**1**	**1**

Izvor: [18]

Tokom analiziranog petogodišnjeg razdoblja najčešća vrsta prometnih nesreća bili su bočni sudari. Zabilježena su tri bočna sudara, po dva naleta vozila na pješaka i biciklista, jedan nalet vozila na vozilo ispred sebe te jedno slijetanje vozila s ceste.

6.2 Prosječne brzine kretanja vozila

Pri izradi modela promatranog raskrižja u Vissimu, izrađene su točke mjerenja prosječnih brzina kretanja vozila. Tablica 6.3. prikazuje izmjerene brzine na pojedinim dijelovima raskrižja i cijelom raskrižju.

Tablica 6.3. Brzine kretanja vozila kroz raskrižje pomoću Vissim-a

Situacija	Izmjerena brzina kretanja vozila (km/h)				
	Ulaz	Izlaz	Krug	Provoz	Prosjek
Postojeće	25	42	-	32	33
S policijom	28	42	-	31	34
Optimizirano	27	42	-	32	33
Dvije faze	25	42	-	32	33
Varijanta 1	18	39	29	30	29
Varijanta 2	17	42	32	40	33
Varijanta 3	17	32	23	27	25
Varijanta 4	16	36	22	26	25
Varijanta 5	15	35	22	23	24

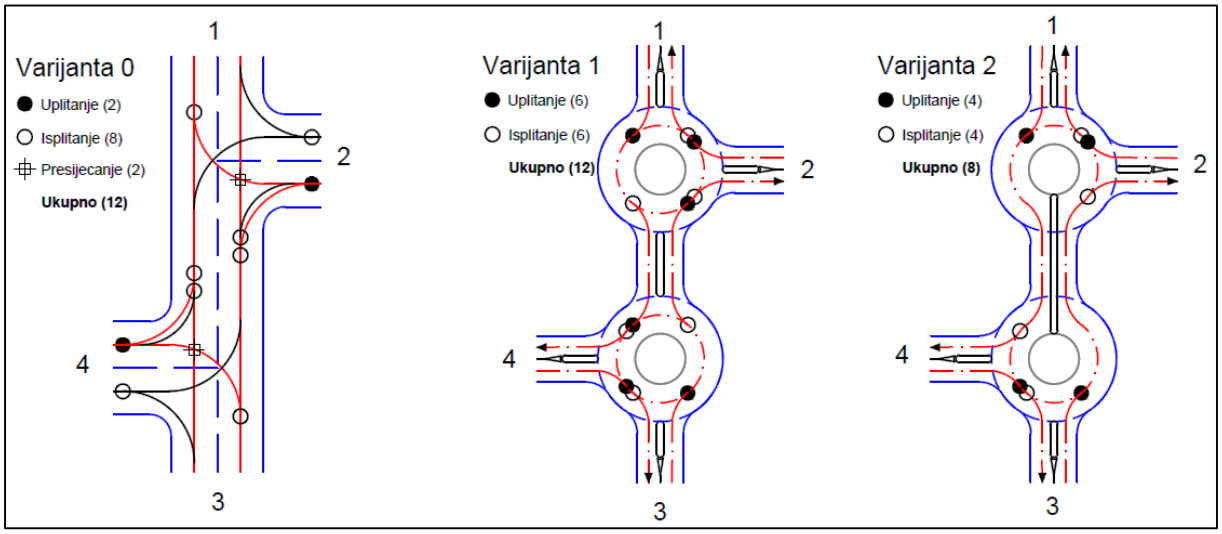
U tablici, „ulaz" označava prosječnu brzinu na sva četiri ulaza u raskrižje, a „izlaz" prosječnu brzinu na svim izlaznim dijelovima. „Krug" označava prosječnu brzinu izmjerenu u oba kružna kolnička traka varijantnih rješenja. „Provoz" označava dio ceste između dva „T" raskrižja ili dva kružna raskrižja. „Prosjek" predstavlja aritmetičku sredinu svih navedenih brzina.

U simulacijama je utvrđeno da su vozila najsporija na ulazu, a najbrža na izlazu. U raskrižju sa semaforima ulazna brzina u raskrižje je veća za otprilike 10 km/h u odnosu na kružna raskrižja. I u ostalim dijelovima

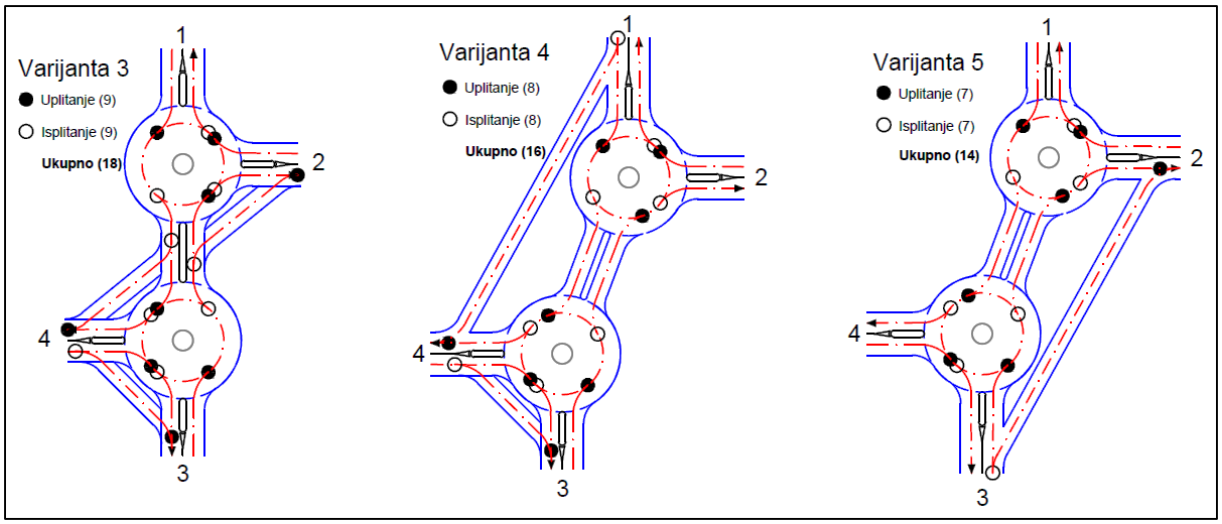
raskrižja prikazanih u tablici, uglavnom je najveća brzina na semaforiziranim raskrižjima, nešto niža na malim kružnim, a najmanja je na mini kružnim raskrižjima. Iznimka je malo dvojno kružno raskrižje Varijante 2 gdje je prosječna brzina i brzina na izlazu jednaka kao na semaforiziranim raskrižjima, a veća na provoznom dijelu za 8 – 9 km/h. Prema tome, može se zaključiti da su dvojna mini kružna raskrižja, obzirom na brzinu, koja predstavlja važan faktor sigurnosti u prometu, sigurnija u odnosu na dvojna mala kružna raskrižja i varijanti semaforiziranog raskrižja.

6.3 Konfliktne točke

Konfliktna situacija može se definirati kao zbroj svih konfliktnih točaka koje su uzrokovane prometnim radnjama isplitanja, uplitanja, preplitanja i križanja (presijecanja) prometnih tokova na površini raskrižja. Broj konfliktnih točaka ovisi samo o vrsti/tipu i obliku raskrižja, a stvaran broj konflikata u znatnoj mjeri ovisan je o geometrijskom oblikovanju, o slobodnoj vidljivosti, o prometnom opterećenju i sl [2]. Teoretske konfliktne točke postojećeg stanja i oblikovnih varijantnih rješenja prikazane su na slici 6.1. i slici 6.2.



Slika 6.1. Konfliktne točke Varijante 0, Varijante 1 i Varijante 2



Slika 6.2. Konfliktne točke Varijante 3, Varijante 4 i Varijante 5

Prometna radnja preplitanja ne postoji niti u jednom rješenju dok su na semaforiziranom raskrižju dva presijecanja. Ta se radnja smatra najopasnijom. Obzirom da je postojeće raskrižje semaforizirano, ima samo 12 konfliktnih točaka (nesemaforizirano četverokrako raskrižje ima 32 konfliktne točke). Većina konfliktnih točaka nastaje pri zelenoj fazi za tokove vozila između privoza 1 i privoza 3, dok zelene faze privoza 2 i privoza 4 uzrokuju svaka po dvije konfliktne točke isplitanja.

Prema ukupnom broju konfliktnih točaka može se odrediti stupanj sigurnosti po sljedećem redoslijedu:

- Varijanta 2 = (8)
- Varijanta 0 = (12)
- Varijanta 1 = (12)
- Varijanta 5 = (14)
- Varijanta 4 = (16)
- Varijanta 3 = (18).

Po broju konfliktnih točaka optimalna je Varijanta 2 koja ima samo 8 konfliktnih točaka, a neodgovarajuća Varijanta 3 s 18 konfliktnih točaka.

7. OPTIMIZACIJA FUNKCIONALNE UČINKOVITOSTI POMOĆU MIKROSIMULACIJSKOG PROGRAMSKOG ALATA VISSIM

Optimizacija funkcionalne učinkovitosti odnosno odabir optimalne varijante će se izvršiti na temelju ulaznih podataka, simuliranjem modela na računalu i analizom prikupljenih izlaznih podataka nakon izvršene simulacije korištenjem mikrosimulacijskog programskog alata Vissim. Simulacija je metoda ili način modeliranja ponašanja nekog stvarnog sustava na računalu, radi eksperimentiranja i testiranja reakcija statičkog i dinamičkog karaktera na određene unijete promjene ili radi praćenja ponašanja sustava tijekom vremena u cilju rješavanja konkretnih problema [19]. Vissim je mikrosimulacijski alat za modeliranje gradske prometne mreže i operacija javnog gradskoga prijevoza te tokova pješaka. Točnost i vjerodostojnost simulacijskog modela najviše ovisi o kvaliteti modeliranja ponašanja vozila u simuliranoj prometnoj mreži. Za razliku od ostalih simulacijskih alata koji koriste konstantne brzine vozila i deterministička logiku slijeđenja, Vissim koristi psihofizički model ponašanja vozača kojeg je razvio Rainer Wiedemann 1974. godine na Sveučilištu u Karlsruheu. Osnovni koncept Wiedemannovog modela je taj da vozač bržeg vozila (u jednom prometnom traku, bez mogućnosti izlaska iz mreže), počinje usporavati kada percipira sporije vozilo u istom prometnom traku. Budući da vozač u bržem vozilu ne može točno utvrditi brzinu sporijeg vozila, on usporava ispod brzine sporijeg vozila te postepeno počinje ubrzavati do brzine sporijeg vozila [20]. Mikrosimulacijski program Vissim može izračunati, na temelju ulaznih podataka i simulacije, razne izlazne podatke vezane za promet. U ovom radu uzeto je u obzir i analizirano samo prosječno vrijeme čekanja (razina usluge), duljina repa čekanja i brzina kretanja vozila.

Prosječna brzina kretanja vozila navedena je u 6. poglavlju „Analiza stanja sigurnosti". Razina usluge (RU, *eng. level of service* – LOS) je

kvalitativna mjera koja opisuje operativne uvjete prometnog toka prema percepciji odnosno opažanjima korisnika, a određuje se prema izračunatim i izmjerenim prosječnim vremenima čekanja za pojedine prometne trakove. Točne vrijednosti intervala prosječnog vremena čekanja za različite razine usluge na semaforiziranim i nesemaforiziranim raskrižjima prikazane su u tablici 7.1. [2].

Tablica 7.1. Određivanje razine usluge na temelju prosječnog vremena čekanja

Semaforizirano raskrižje		Nesemaforizirano raskrižje	
Razina usluge	Prosječno vrijeme čekanja (s/voz)	Razina usluge	Prosječno vrijeme čekanja (s/voz)
A	0 – 10	A	0 – 10
B	> 10 – 20	B	> 10 – 15
C	> 20 – 35	C	> 15 – 25
D	> 35 – 55	D	> 25 – 35
E	> 55 – 80	E	> 35 – 50
F	> 80	F	> 50

Izvor: [2]

Razina usluge se procjenjuje kroz šest stupnjeva (A-najbolje, F-najlošije), prema američkoj metodologiji (*eng. Highway Capacity Manual - HCM*) i njemačkoj (*njem. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen - HBS*) [2].

7.1 Evaluacija postojećeg stanja

U mikrosimulacijskom alatu Vissim napravljena je simulacija i evaluacija za vremenski interval 15:00 – 16:00 sati. Evaluacijom su dobiveni brojni podaci od kojih je najvažnije prosječno vrijeme čekanja iz kojeg se određuje razina usluge, prosječna brzina i duljina repova čekanja.

Policijski službenik u vrijeme vršnih sati uglavnom upravlja semaforima, a kada nije prisutan prometni tokovi odvijaju se na temelju predodređenog signalnog plana. U ovom poglavlju analizirana je funkcionalna učinkovitost raskrižja, odnosno razina usluge i prosječna duljina repa čekanja postojećeg stanja u slučaju kada nema službene ovlaštene osobe i kada ona upravlja prometnim svjetlima. Na slici 7.1. je vizualni prikaz (animacija) izvođenja simulacije odnosno odvijanja prometa na raskrižju u slučaju kada nema policijskog službenika.



Slika 7.1. Izvođenje simulacije postojećeg stanja u Vissim-u

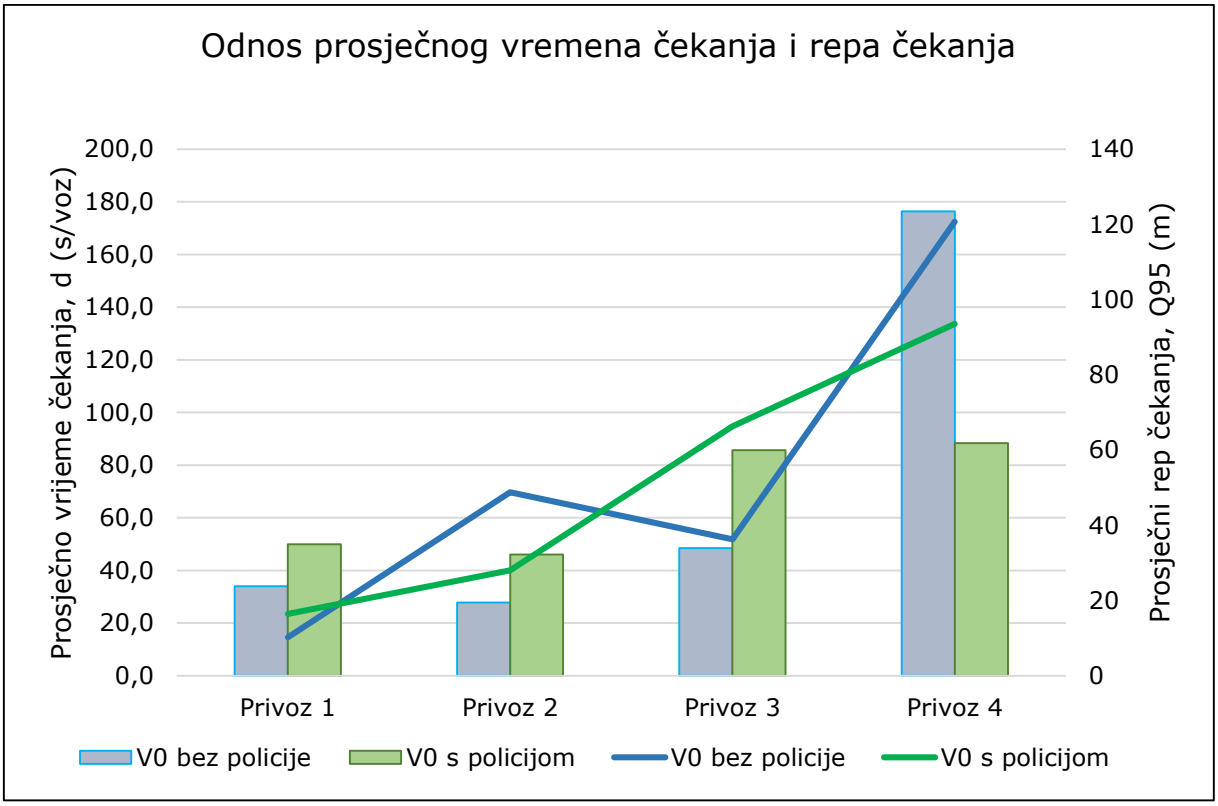
Prema slici 7.1. vidljivo je da je započela vozačka zelena faza privoza 4 na kojem je nastao veći rep čekanja i zelena faza za pješake preko pješačkog prijelaza privoza 1 i privoza 3.

U tablici 7.2. prikazano je prosječno vrijeme čekanja i razina usluge po privozima Varijante 0 bez ovlaštene osobe i s ovlaštenom osobom.

Tablica 7.2. Prosječno vrijeme čekanja i razina usluge

Privoz	Prosječno vrijeme čekanja i razina usluge (s/voz)			
	Varijanta 0 bez policije		Varijanta 0 s policijom	
1	34,1	C	50,0	D
2	27,8	C	46,0	D
3	48,5	D	85,7	F
4	176,4	F	88,4	F
Prosjek	**71,7**	**E**	**67,5**	**E**

Prosječno vrijeme čekanja u slučaju kada ovlaštena osoba ne regulira prometnim svjetlima je kraće na privozima 1, 2 i 3 u odnosu na privoz 4 na kojem se prosječno čeka gotovo 3 minute što ne može biti prihvatljivo. Iz tog razloga, ovlaštena osoba povećava duljinu trajanja svih zelenih faza, a naročito privoza 4 (objašnjeno u poglavlju 6.1 „Reprogramiranje semaforskog uređaja") u skladu s prometnom situacijom. Rezultati pokazuju smanjenje razine usluge za prva tri privoza (s razine usluge C na razinu usluge D i s razine usluge D na razinu usluge F), uz istovremeno smanjenje prosječnog vremena čekanja za vozila privoza 4 s 174,4 s/voz na 88,4 s/voz. Prosječno vrijeme čekanja cijelog raskrižja sa službenom osobom se smanjilo u odnosu na situaciju bez ovlaštene osobe za 4,2 sekunde. Grafikon 7.1. prikazuje prosječno vrijeme čekanja (stupčasti prikaz) i prosječni rep čekanja (linijski prikaz) te njihov odnos.



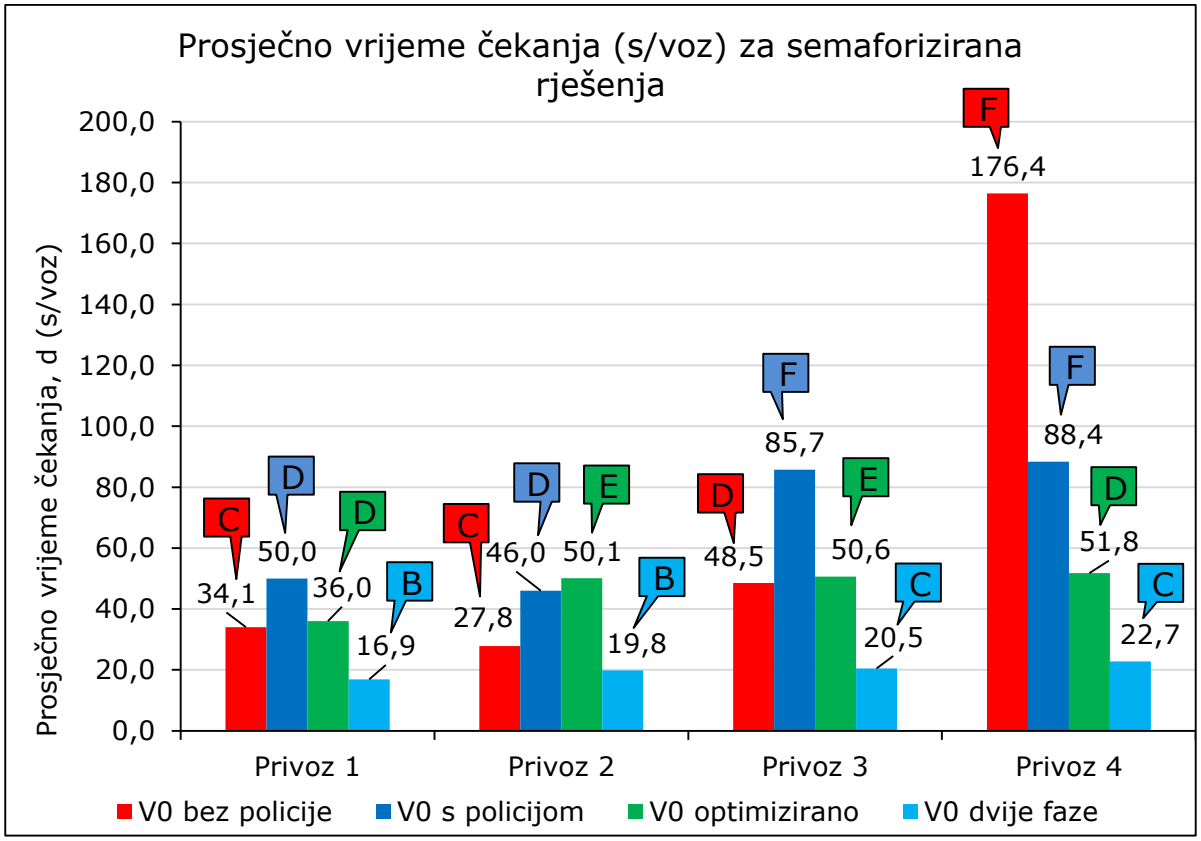
Grafikon 7.1. Prosječno vrijeme čekanja i prosječni rep čekanja Varijante 0

Prosječni repovi čekanja su između 10 i 120 metara te su u proporcionalnom odnosu prosječnom vremenu čekanja. Iznimka je na privozu 2 gdje se pri povećanju prosječnog vremena čekanja rep čekanja smanjuje. Razlog tome je što ovlaštena osoba povećava duljinu trajanja ciklusa, a zelenu fazu privoza 2 produljuje do prolaska svih vozila.

7.2 Usporedba idejnih prometnih rješenja raskrižja i postojećeg stanja raskrižja

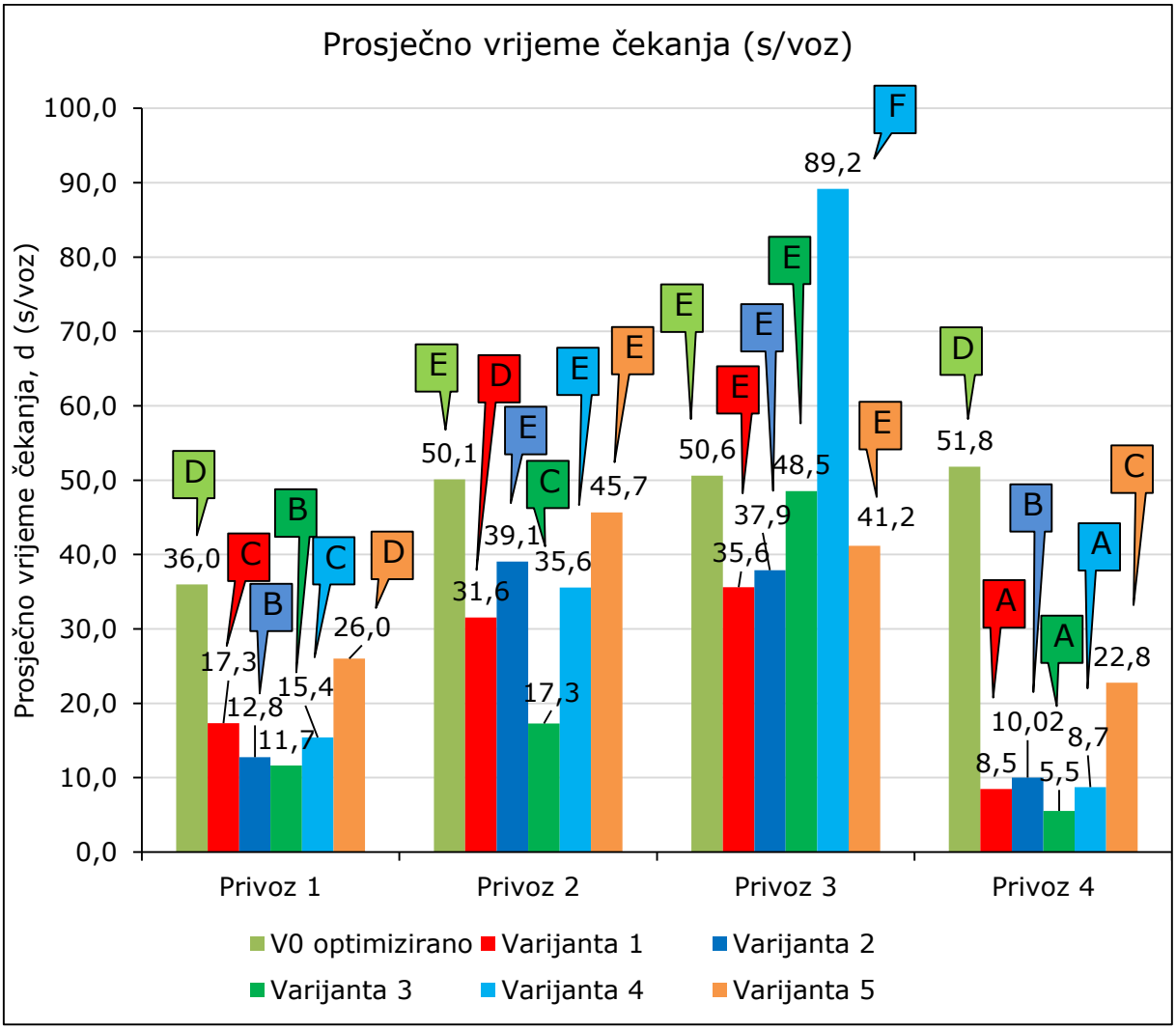
Grafikon 7.2. prikazuje prosječno vrijeme čekanja po privozima za sve varijante pri korištenju semafora u popodnevnom vršnom satu:

- postojeće stanje s predefiniranim signalnim planom
- s policijom odnosno ovlaštenom službenom osobom
- s optimiziranim signalnim planom
- s implementirane dvije faze.



Grafikon 7.2. Prosječno vrijeme čekanja po privozima za sve varijante pri korištenju semafora

Prosječno vrijeme čekanja sa signalnim planom s dvije faze je najkraće te je s obzirom na propusnu moć, najpovoljnije rješenje. Ovo vođenje prometa je neprovedivo zbog oblika raskrižja, odnosno zbog preniske razine sigurnosti odvijanja prometa. Postojeće stanje bez ovlaštene osobe u vršnom satu nije održivo zbog velikog prosječnog čekanja na privozu 4. Uspoređujući Varijantu 0 s ovlaštenom osobom i uz korištenje optimiziranog signalnog plana, može se ustanoviti da je optimizirano rješenje mnogo povoljnije. Na privozu 2 s ovlaštenom osobom kraće je prosječno vrijeme čekanja od optimiziranog, ali na ostalim privozima optimizirano rješenje daje mnogo bolje rezultate. Na grafikonu 7.3. provedena je usporedba rezultata izvršenih simulacija optimiziranog signalnog plana (kao najboljeg rješenja za signalizirano raskrižje) i oblikovnih rješenja kružnih raskrižja.



Grafikon 7.3. Prosječno vrijeme čekanja po privozima za sva varijantna rješenja

Iz grafikona se može uočiti da je rješenje Varijante 0 s optimiziranim signalnim planom lošije u odnosu na ostale varijante, osim kod privoza 3 u Varijantnom rješenju 4. Varijanta 4 neprihvatljiva je zbog velikog prosječnog vremena čekanja na privozu 3 od gotovo 90 sekundi.

Gotovo na svim privozima Varijanta 5 daje najlošije rezultate. Budući da su gore navedene varijante znatno nepovoljnije u nastavku će se analizirati Varijante 1, 2, 3 i Varijanta 0 s optimiziranim signalnim planom zbog razlike u ocjenjivanju razine usluge između semaforiziranih i nesemaforiziranih raskrižja. Podaci su prikazani u tablici 7.3.

Tablica 7.3. Prosječno vrijeme čekanja (s/voz) i razina usluge Varijante 1, 2, 3 i Varijante 0 s optimiziranim signalnim planom

Privoz	Prosječno vrijeme čekanja (s/voz) i razina usluge							
	Varijanta 0 optimizirano		Varijanta 1		Varijanta 2		Varijanta 3	
1	36,0	D	17,3	C	12,8	B	11,7	B
2	50,1	E	31,6	D	39,1	E	17,3	C
3	50,6	E	35,6	E	37,9	E	48,5	E
4	51,8	D	8,5	A	10,02	B	5,5	A
Prosjek	**47,1**	**D**	**23,3**	**C**	**24,9**	**C**	**20,7**	**C**

Prema ocjenama razine usluge za semaforizirano raskrižje, rješenje s optimiziranim signalnim planom se pokazalo lošijim u odnosu na varijantna rješenja kružnih raskrižja. Prosječna razina usluge cijelog raskrižja s optimiziranim signalnim planom je D (47,1 s). Najkraće prosječno vrijeme čekanja cijelog raskrižja ima Varijanta 3 koje iznosi 20,7 sekundi po vozilu (RU C). Međutim, uspoređujući Varijantu 1 i Varijantu 3, Varijanta 3 je u operativnom smislu optimalna, ali je razlika u prosječnom vremenu čekanja po vozilu relativno mala. Iz tog razloga u sljedećem potpoglavlju izvršiti će se prognoza prometa i evaluacija pri većem intenzitetu prometa kako bi se utvrdila kvaliteta usluge i u tim uvjetima.

7.3 Prognoza prometa

Prognoza prometa je predviđanje budućih prometnih zahtjeva, odnosno budućeg intenziteta strukture i raspodjele prometnih tokova. U praksi postoje razni matematički, statistički i ekspertni modeli za izradu prognoze prometa temeljem navedenih ulaznih podataka. Najčešće korišteni model je „model jednakih budućih faktora rasta za sve promatrane cestovne presjeke u zoni obuhvata, na bazi višekriterijske trend analize vremenske serije" [10]. U tablici 7.4. prikazana su prometna opterećenja

za petogodišnja razdoblja na način da je procijenjen rast prometnog opterećenja u popodnevnom vršnom satu linearno za 1,5% godišnje.

Tablica 7.4. Prometna opterećenja za petogodišnja razdoblja

Privoz	Prometno opterećenje (voz/h)				
	2016. godina	Za 5 godina	Za 10 godina	Za 15 godina	Za 20 godina
1	239	257	277	299	322
2	331	357	384	414	446
3	430	463	499	538	579
4	563	607	653	704	758

U programskom alatu Vissim napravljena je simulacija i evaluacija za sva četiri petogodišnja razdoblja na osnovi gore navedenih podataka.

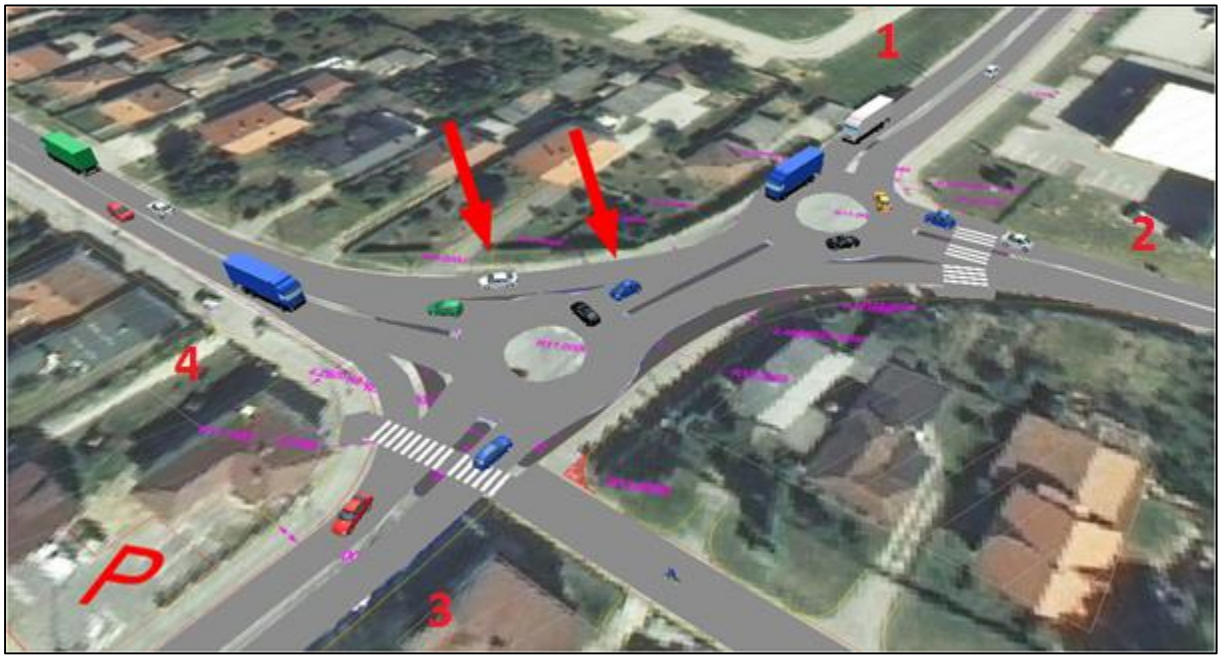
Rezultati prosječnog vremena čekanja i razine usluge Varijante 1 i Varijante 3 prikazani su u tablici 7.5.

Tablica 7.5. Rezultati prosječnog vremena čekanja i razine usluge Varijante 1 i Varijante 3

Varijanta	Period	Prosječno vrijeme čekanja (s/voz) i razina usluge							
		Privoz 1		Privoz 2		Privoz 3		Privoz 4	
1	5	22,7	C	25,5	D	92,7	F	11,3	B
3		18,2	C	25,1	D	99,2	F	7,5	A
1	10	30,2	D	32,6	D	120,6	F	18,4	C
3		22,9	C	25,5	D	117,7	F	11,2	B
1	15	33,0	D	42,4	E	135,1	F	40,9	E
3		33,6	D	36,1	E	134,2	F	15,1	C
1	20	52,2	F	38,7	E	153,6	F	49,98	E
3		30,8	D	38,8	E	150,4	F	19,3	C

Zelenom bojom označeno je kraće prosječno vrijeme čekanja po vozilu. Prema gore navedenim podacima proizlazi da je Varijanta 3 povoljnija od Varijante 1 kroz gotovo sva razdoblja i sve privoze.

Prema tome, može se zaključiti da je Varijanta 3 optimalno oblikovno varijantno rješenje iz aspekta propusne moći odnosno funkcionalne učinkovitosti.



Slika 7.2. Izvođenje simulacije u Vissim-u Varijante 3

Slika 7.2. prikazuje isječak animacije izvođenja simulacije odnosno odvijanja prometa na raskrižju Varijante 3. Na slici se može uočiti istovremeno čekanje plavog i bijelog osobnog automobila (označeni crvenim strelicama) za prolaz kružnim raskrižjem. Posebna traka za desno skretanje omogućuje da oba automobila istovremeno prođu raskrižjem. Na taj način prometna površina je bolje iskorištena u odnosu na ostale varijante.

Varijanta 1 je optimalna prema manjem broju konfliktnih točaka (12 točaka) u odnosu na Varijantu 3 (18 točaka), dok je Varijanta 3 optimalna obzirom na manju prosječnu brzinu kretanja raskrižjem (za 4 km/h) te kvalitetniju razinu usluge u odnosu na Varijantu 1. Prema tome Varijanta 3 ima bolje pokazatelje u odnosu na Varijantu 1 što je sveukupno čini optimalnim rješenjem.

8. ZAKLJUČAK

U ovom radu provedena je sveobuhvatna analiza postojećeg stanja izrazito važnog četverokrakog raskrižja u razini na ulazu u grad Koprivnicu kako bi se mogla izvršiti optimizacija funkcionalne učinkovitosti raskrižja. Zbog neodgovarajućih značajki vođenja prometa uz pomoć prometnih svjetala, ovlaštena osoba (policijski službenik) mora regulirati promet za vrijeme jutarnjeg i popodnevnog vršnog sata. Postojeće stanje bez ovlaštene osobe u vršnom satu nije održivo zbog velikog prosječnog čekanja npr. na privozu 4 od čak 176 sekundi, a s ovlaštenom osobom problem je djelomično ublažen zbog smanjenog udjela izgubljenog vremena s 32,6% na 21,7% u ukupnom vremenu.

Problem za sigurnost prometa predstavlja i neodgovarajuća širina pojedinih kolničkih traka pa iz tog razloga mjerodavno vozilo mora kod skretanja svojim gabaritima prelaziti na suprotan trak.

Osim reprogramiranja semafora, predloženo je pet idejnih varijantnih rješenja raskrižja s kružnim tokom prometa što je izvedivo zbog dimenzija, odnosno prostornog oblika raskrižja. Varijantna rješenja izrađena su na način da ne postoji potreba otkupa privatnog vlasništva. Varijanta 1 i Varijanta 2 u ovom radu izvedena su kao mala kružna raskrižja, a Varijante 3, 4 i 5 kao mini kružna raskrižja. To su sljedeća varijantna rješenja:

- Varijanta 1 - dvojno malo kružno raskrižje
- Varijanta 2 - izduženo malo kružno raskrižje
- Varijanta 3 - dvojno mini kružno raskrižje s tri obilazna desna skretanja
- Varijanta 4 - dvojno mini kružno raskrižje s dva obilazna desna skretanja
- Varijanta 5 - dvojno mini kružno raskrižje s jednim obilaznim desnim skretanjem.

Odabir optimalne varijante izvršio se na temelju ulaznih podataka, simuliranjem modela na računalu i analizom prikupljenih izlaznih podataka

nakon izvršene simulacije korištenjem mikrosimulacijskog programskog alata Vissim te analizom stanja sigurnosti postojećeg stanja i predloženih varijanti.

Analizom dobivenih podataka može se zaključiti da su optimalni rezultati vezani uz Varijantu 3 - dvojnog mini kružnog raskrižja s tri obilazna desna skretanja. Ova je Varijanta optimalno oblikovno rješenje na svim privozima i u svim budućim petogodišnjim razdobljima (do 2036 godine). Najkraće prosječno vrijeme čekanja cijelog raskrižja kod ove Varijante iznosi 20,7 s/voz (RU C) što je čini optimalnom iz aspekta propusne moći odnosno funkcionalne učinkovitosti od svih promatranih varijanti. Bez obzira što Varijanta 3 ima 18 konfliktnih točaka u odnosu na sljedeću povoljnu Varijantu 1 koja ima 12 konfliktnih točaka, zbog manje prosječne brzine kretanja raskrižjem od 4 km/h u odnosu na Varijantu 1, prihvatljiva je i sa sigurnosnog aspekta. Iz svega navedenog proizlazi da je Varijanta 3 - dvojno mini kružno raskrižje s tri obilazna desna skretanja optimalni odabir u rekonstrukciji promatranog raskrižja.

Literatura

[1] Legac, I.: Gradske prometnice, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.

[2] Legac, I.: Raskrižja javnih cesta/Cestovne prometnice II., Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.

[3] Pilko, H.: Optimiziranje oblikovne i sigurnosne komponente raskrižja s kružnim tokom prometa (doktorska disertacija), Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2014.

[4] Odluka o razvrstavanju javnih cesta, Narodne novine br. 66/2015, Zagreb, 2015.

[5] https://www.google.hr/maps (pristupljeno: srpanj 2016.)

[6] Izmjene i dopune GUP-a grada Koprivnice, 2014. (mreža društvenih i gospodarskih djelatnosti)

[7] https://map.hak.hr (pristupljeno: srpanj 2016.)

[8] http://geoportal.dgu.hr/viewer (pristupljeno: srpanj 2016.)

[9] Izmjene i dopune GUP-a grada Koprivnice, 2012. (mreža društvenih i gospodarskih djelatnosti)

[10] Brlek, P.; Dadić, I.; Šoštarić, M.: Prometno tehnološko projektiranje (autorizirana predavanja), Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2012.

[11] AutoTURN 9.0, Uputstva za upotrebu, Transoft Solutions Inc., Richmond, Kanada, 2014.

[12] Poslovna dokumentacija hrvatskih cesta, Hrvatske ceste d.o.o. Zagreb, Poslovna jedinica Varaždin, Tehnička ispostava Varaždin, Varaždin, 2016.

[13] Analiza postojećeg stanja prometnog sustava Grada Koprivnice, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prometno planiranje, Zagreb, 2014.

[14] Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2014.

[15] http://e-izvadak.pravosudje.hr/

[16] Tollazzi, T.: Kružna raskrižja, IQ plus, Rijeka, 2007.

[17] Pravilnik o uvjetima za projektiranje i izgradnju biciklističkih staza i traka (prijedlog), Zagreb, 2013.

[18] Podaci o prometnim nesrećama, Policijska uprava Koprivničko-križevačka, Koprivnica, 2015.

[19] Peraković, D.: Simulacije u prometu (autorizirana predavanja), Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2015.

[20] PTV Vissim 7 User manual, Karlsruhe, Germany, 2015.

Popis slika

Slika 2.1. Klasični svojstveni tipovi raskrižja u razini, [2] 5
Slika 3.1. Dispozicija raskrižja i prometni položaj grada Koprivnice, [5] ... 6
Slika 3.2. Dispozicija raskrižja s obzirom na mrežu društvenih i gospodarskih djelatnosti, [6] 7
Slika 4.1. Dispozicija raskrižja u prometnoj mreži grada Koprivnice 10
Slika 4.2. Prometna regulacija susjednih raskrižja, [8] 11
Slika 4.3. Dispozicija analiziranog raskrižja (crveni krug) i planirana zapadna obilaznica, [9] 12
Slika 4.4. Varijanta 0 – tlocrt postojećeg oblikovnog stanja raskrižja 14
Slika 4.5. Dimenzije mjerodavnog vozila – LASTZUG, [11] 16
Slika 4.6. Trajektorija mjerodavnog vozila iz privoza 2 u privoz 1 17
Slika 4.7. Trajektorija mjerodavnog vozila iz privoza 4 u privoz 3 17
Slika 4.8. Ulaz u centar Koprivnice iz privoza 2, smjer zapad, [5] 18
Slika 4.9. Izlaz iz centra Koprivnice na privoz 2, [5] 18
Slika 4.10. Položaj pješačkih nogostupa, biciklističkih staza i prijelaza ... 19
Slika 4.11. Postojeće stanje raskrižja – slikano iz smjera privoza 1, [5] . 21
Slika 4.12. Postojeće stanje raskrižja – slikano iz smjera privoza 3, [5] . 21
Slika 4.13. Plan redoslijeda faza 23
Slika 4.14. Središnje osi privoza 24
Slika 4.15. Trajanje signalnih planova tokom dana, [12] 25
Slika 4.16. Signalni plan od 15:00 do 16:00 sati 26
Slika 4.17. Prikaz prometnog opterećenja raskrižja 30
Slika 4.18. Opterećenje pješačkih i biciklističkih prijelaza u razdoblju od 14:30 do 15:30 sati, [13] 33
Slika 4.19. Pješački prijelazi privoza 3 i privoza 4, [5] 34
Slika 5.1. Okvirni izgled signalnog plana kada upravlja ovlaštena osoba, izrađeno u Vissim-u 38
Slika 5.2. Optimizirani signalni plan izrađen u Vissim-u 39
Slika 5.3. Položaj geometrijskih elemenata za jednotračna mala i srednje velika kružna raskrižja, [14] 41

Slika 5.4. Kapljasti (izduženi) (a), trokutasti (b) i ljevkasti (c) oblik razdjelnog otoka, [14] 43
Slika 5.5. Varijanta 1 - dvojno malo kružno raskrižje 44
Slika 5.6. Pregled pojedinih trajektorija mjerodavnog vozila Varijante 1 46
Slika 5.7. Varijanta 2 - izduženo malo kružno raskrižje 47
Slika 5.8. Nastanak blokade kružnog raskrižja, [16] 51
Slika 5.9. Vođenje desnih skretača mimo kružnog raskrižja (izravno vođenje), [16] 51
Slika 5.10. Varijanta 3 - dvojno mini kružno raskrižje s tri obilazna desna skretanja 52
Slika 5.11. Pregled pojedinih trajektorija Varijante 3 53
Slika 5.12. Varijanta 4 - dvojno mini kružno raskrižje s dva obilazna desna skretanja 54
Slika 5.13. Pregled pojedinih trajektorija Varijante 4 55
Slika 5.14. Varijanta 5 - dvojno mini kružno raskrižje s jednim obilaznim desnim skretanjem 56
Slika 5.15. Pregled pojedinih trajektorija Varijante 5 57
Slika 5.16. Dijagram odnosa potrebne širine i broja pješaka i biciklista u vršom satu, [17] 59
Slika 6.1. Konfliktne točke Varijante 0, Varijante 1 i Varijante 2 64
Slika 6.2. Konfliktne točke Varijante 3, Varijante 4 i Varijante 5 65
Slika 7.1. Izvođenje simulacije postojećeg stanja u Vissim-u 68
Slika 7.2. Izvođenje simulacije u Vissim-u Varijante 3 75

Popis tablica

Tablica 4.1. Širine prilaznih prometnih trakova 15
Tablica 4.2. Širine pješačkih nogostupa i biciklističkih staza 20
Tablica 4.3. Zaštitna međuvremena i izgubljena vremena 27
Tablica 4.4. Razdoblja ručnog brojanja prometa 29
Tablica 4.5. Proračun vozila u ekvivalentne jedinice putničkih automobila 29
Tablica 4.6. Broj vozila prema kategorijama u vršnom satu 32
Tablica 5.1. Empirijski podaci o propusnoj moći različitih tipova kružnih raskrižja 37
Tablica 5.2. Usporedba duljine trajanja ciklusa i zelenih faza 40
Tablica 5.3. Granične i preporučene vrijednosti geometrijskih elemenata za jednotračna mala i srednje velika kružna raskrižja 41
Tablica 5.4. Preporučene vrijednosti geometrijskih elemenata za mini kružna raskrižja 50
Tablica 5.5. Dimenzije pojedinih geometrijskih elemenata varijantnih rješenja 58
Tablica 5.6. Usporedba širina pješačkih nogostupa i biciklističkih staza po privozima 60
Tablica 6.1. Broj prometnih nesreća s posljedicama 62
Tablica 6.2. Vrste prometnih nesreća na raskrižju 62
Tablica 6.3. Brzine kretanja vozila kroz raskrižje pomoću Vissim-a 63
Tablica 7.1. Određivanje razine usluge na temelju prosječnog vremena čekanja 67
Tablica 7.2. Prosječno vrijeme čekanja i razina usluge 69
Tablica 7.3. Prosječno vrijeme čekanja (s/voz) i razina usluge Varijante 1, 2, 3 i Varijante 0 s optimiziranim signalnim planom 73
Tablica 7.4. Prometna opterećenja za petogodišnja razdoblja 74
Tablica 7.5. Rezultati prosječnog vremena čekanja i razine usluge Varijante 1 i Varijante 3 74

Popis grafikona

Grafikon 4.1 Prometna opterećenja (EJA/h) po privozima i njihovi udjeli 31
Grafikon 4.2. Udjeli prometnog opterećenja po privozima i smjerovima . 31
Grafikon 7.1. Prosječno vrijeme čekanja i prosječni rep čekanja Varijante 0 70
Grafikon 7.2. Prosječno vrijeme čekanja po privozima za sve varijante pri korištenju semafora 71
Grafikon 7.3. Prosječno vrijeme čekanja po privozima za sva varijantna rješenja 72

Popis priloga

Prilog 1. Varijanta 0 - postojeće stanje raskrižja
Prilog 2. Varijanta 1 - dvojno malo kružno raskrižje
Prilog 3. Varijanta 2 - izduženo malo kružno raskrižje
Prilog 4. Varijanta 3 - dvojno mini kružno raskrižje s tri obilazna desna skretanja
Prilog 5. Varijanta 4 - dvojno mini kružno raskrižje s dva obilazna desna skretanja
Prilog 6. Varijanta 5 - dvojno mini kružno raskrižje s jednim obilaznim desnim skretanjem.
Prilog 7. Prikaz tablica brojanja prometa promatranog raskrižja
Prilog 8. Izbrojana vozila u vremenskom razdoblju 15-16 h i razlika izbrojanih vozila i broja vozila u simulaciji Vissim-a prema varijantama i smjerovima

1
Ul. Ivana Češmičkog

2
Ul. Ante Starčevića

3
Zagrebačka ulica

4
Varaždinska cesta

P

S

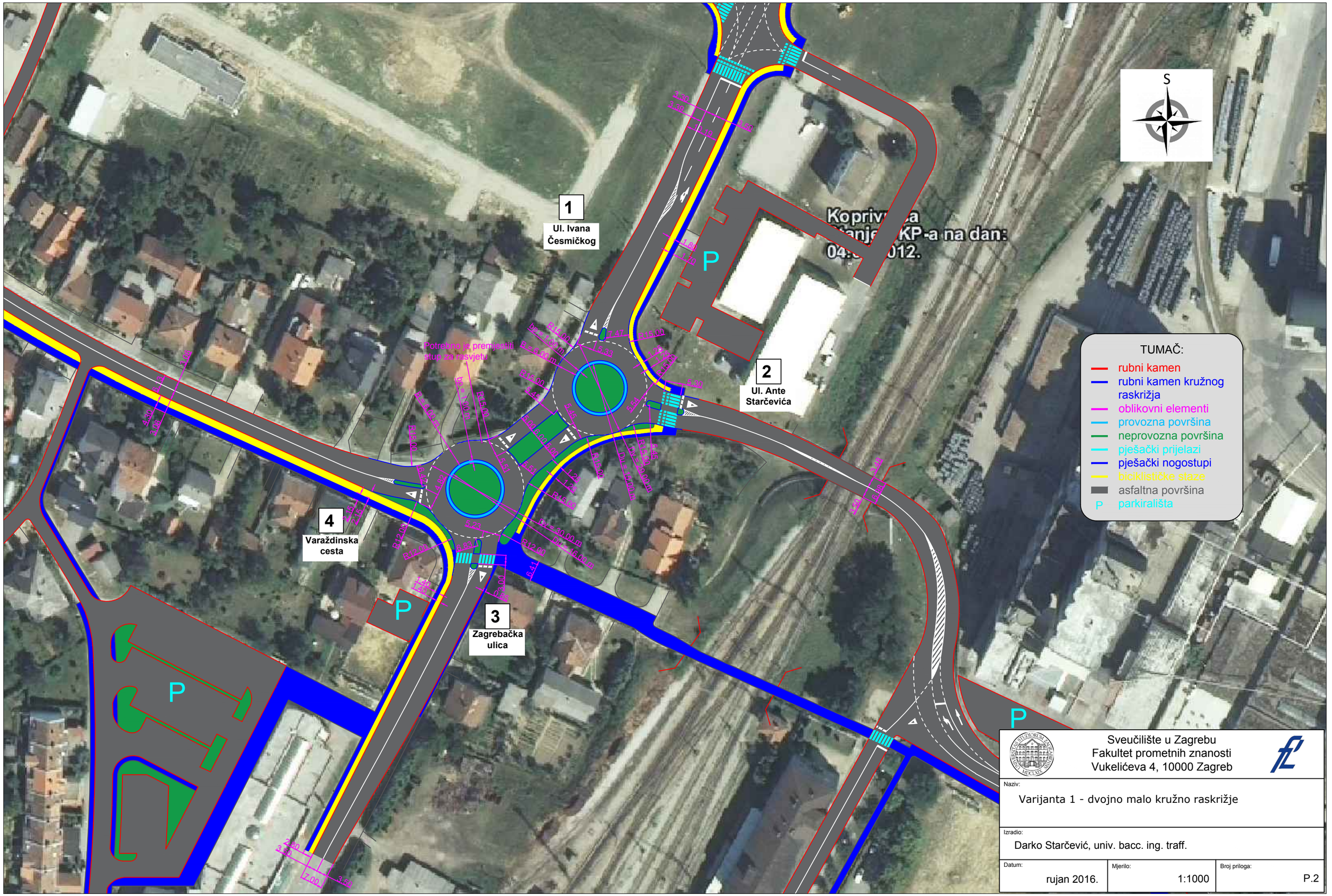
TUMAČ:
- rubni kamen
- oblikovni elementi
- pješački prijelazi
- pješački nogostupi
- biciklističke staze
- asfaltna površina
- semaforske lanterne
- P parkirališta

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

Naziv:
Varijanta 0 - postojeće stanje raskrižja

Izradio:
Darko Starčević, univ. bacc. ing. traff.

Datum:	Mjerilo:	Broj priloga:
rujan 2016.	1:1000	P.1

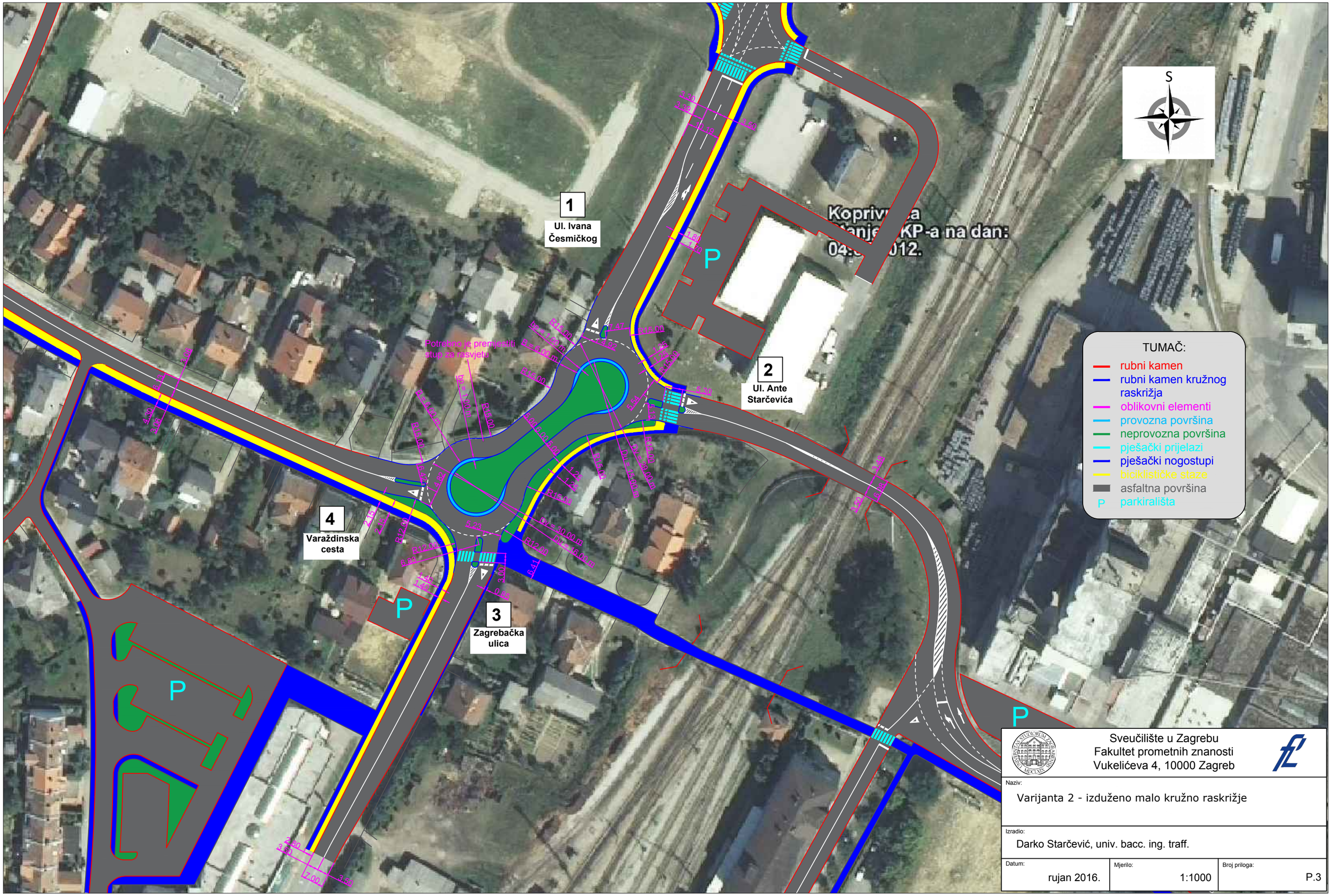


Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

Naziv:
Varijanta 1 - dvojno malo kružno raskrižje

Izradio:
Darko Starčević, univ. bacc. ing. traff.

Datum:	Mjerilo:	Broj priloga:
rujan 2016.	1:1000	P.2

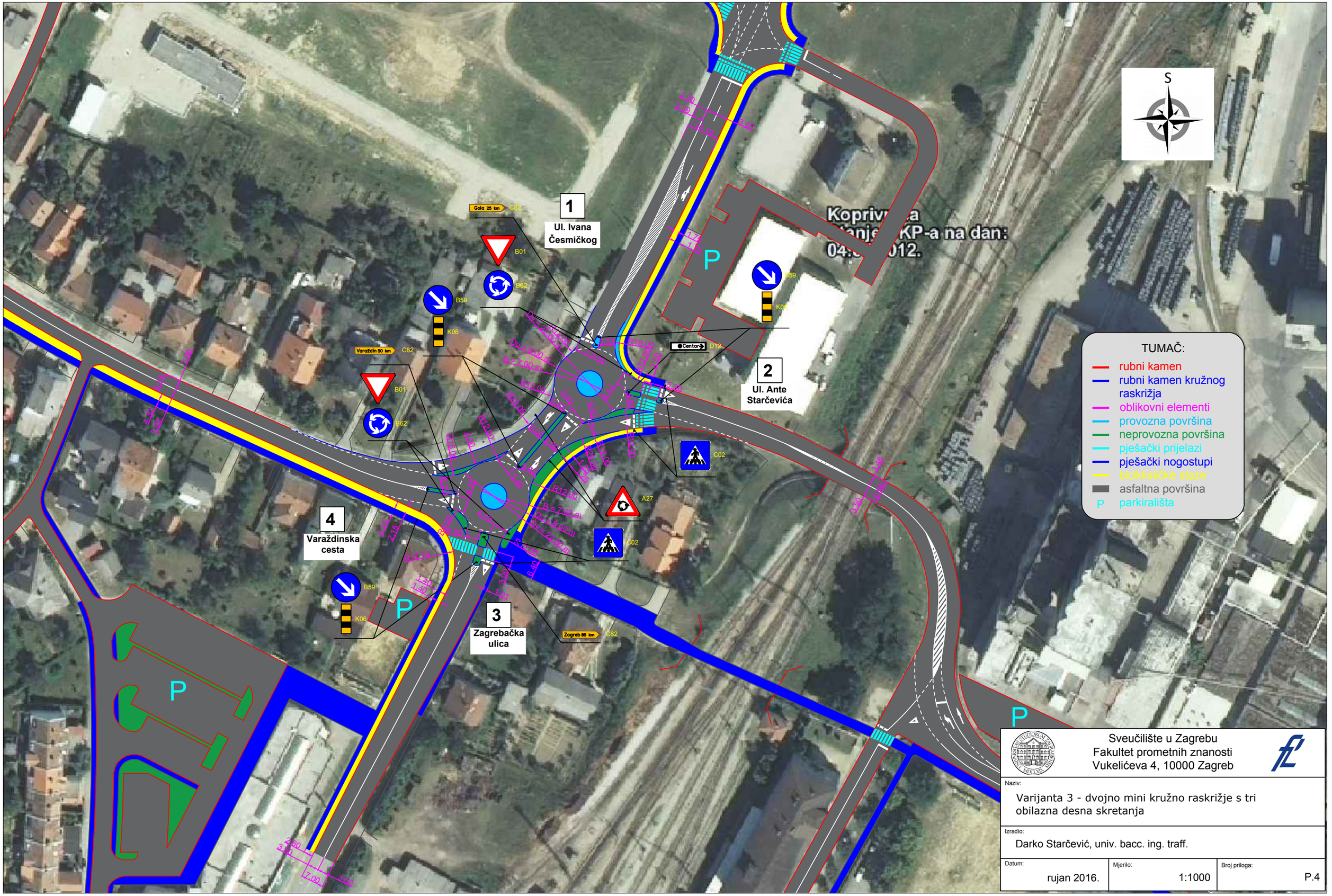


Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

Naziv:
Varijanta 2 - izduženo malo kružno raskrižje

Izradio:
Darko Starčević, univ. bacc. ing. traff.

Datum:	Mjerilo:	Broj priloga:
rujan 2016.	1:1000	P.3

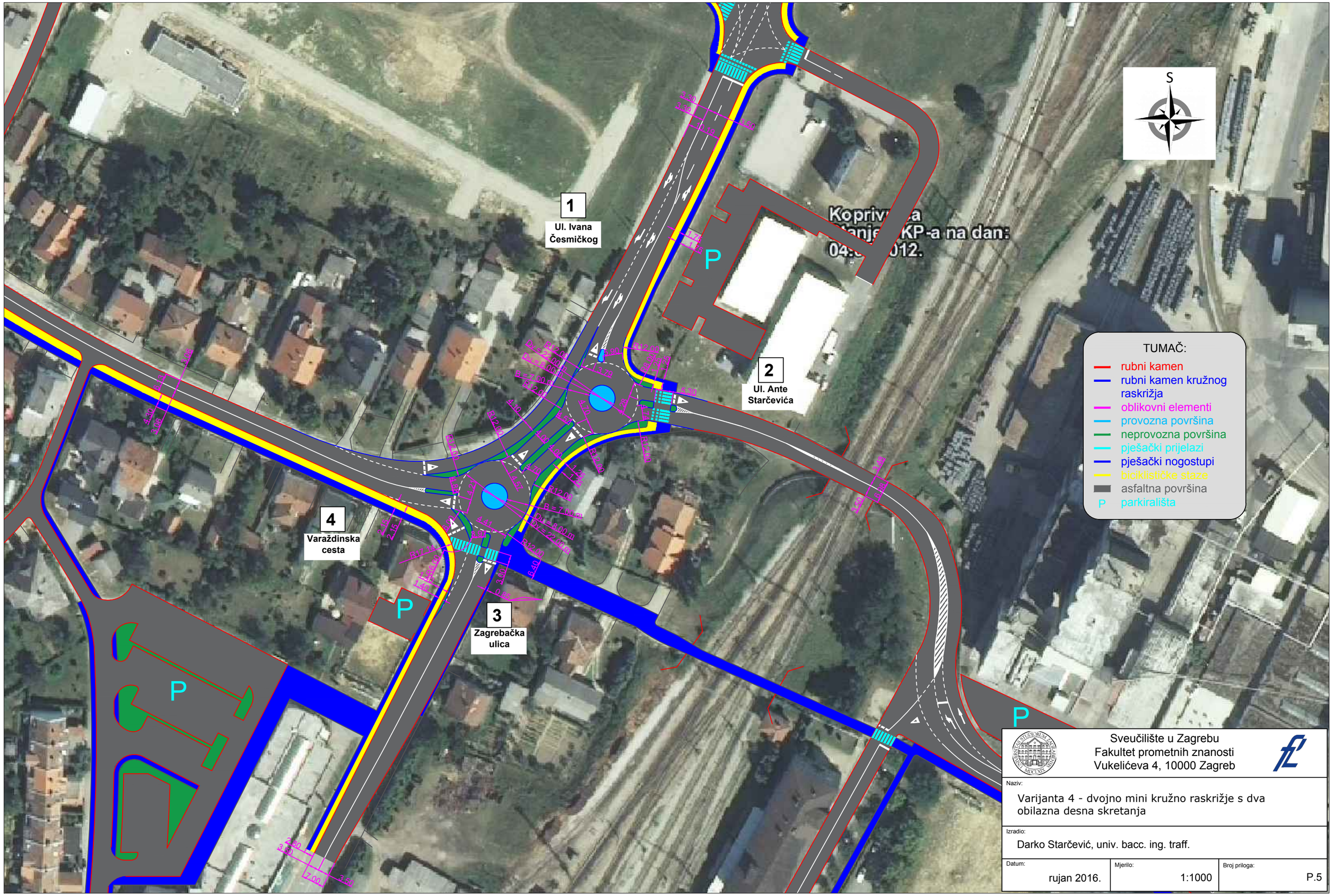


Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

Naziv:
Varijanta 3 - dvojno mini kružno raskrižje s tri obilazna desna skretanja

Izradio:
Darko Starčević, univ. bacc. ing. traff.

Datum:	Mjerilo:	Broj priloga:
rujan 2016.	1:1000	P.4

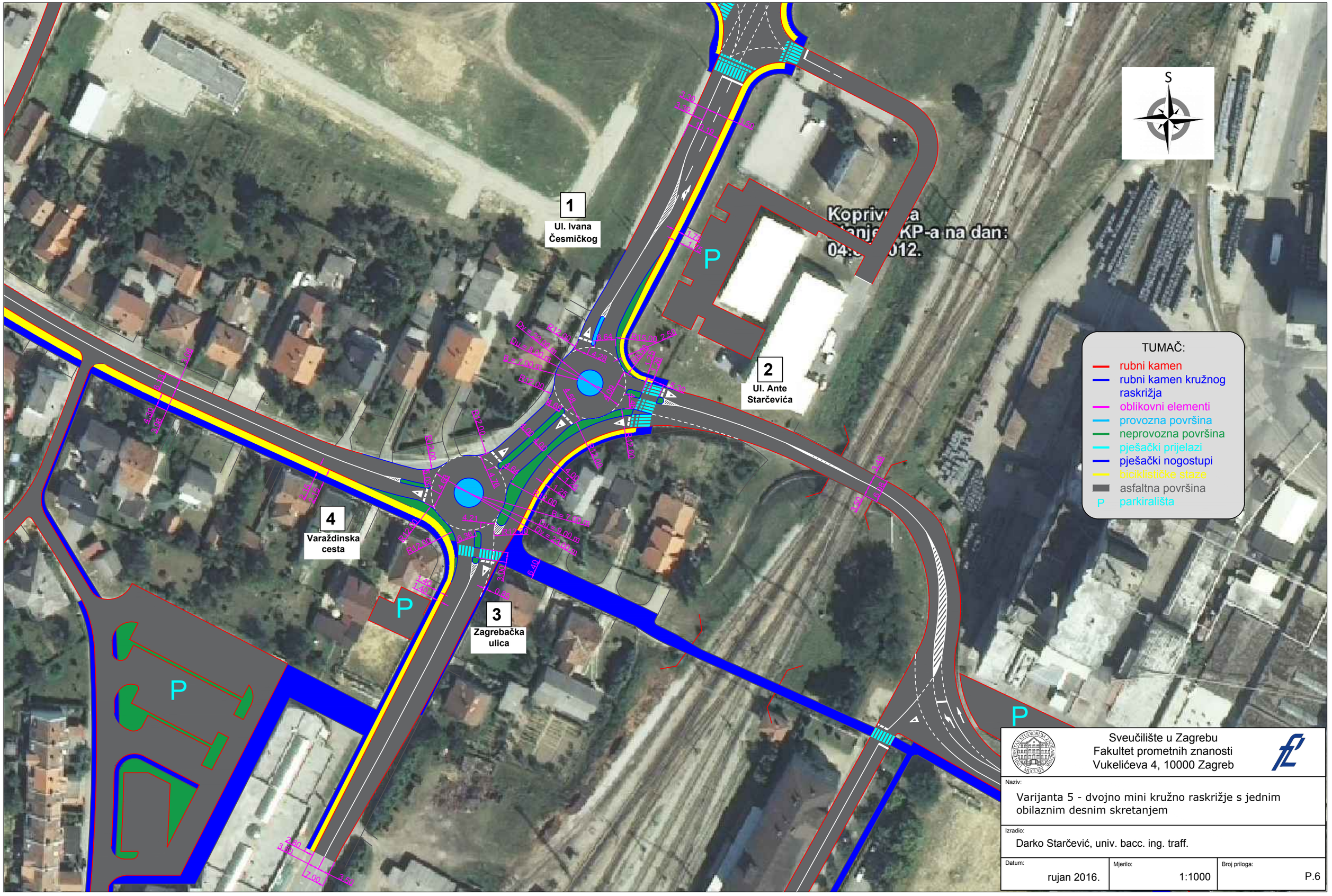


Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

Naziv:
Varijanta 4 - dvojno mini kružno raskrižje s dva obilazna desna skretanja

Izradio:
Darko Starčević, univ. bacc. ing. traff.

Datum:	Mjerilo:	Broj priloga:
rujan 2016.	1:1000	P.5



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

Naziv:
Varijanta 5 - dvojno mini kružno raskrižje s jednim obilaznim desnim skretanjem

Izradio:
Darko Starčević, univ. bacc. ing. traff.

Datum:	Mjerilo:	Broj priloga:
rujan 2016.	1:1000	P.6

Prilog 7. Prikaz tablica brojanja prometa promatranog raskrižja

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
06:30 - 07:30	12	0-15'	8	1	0	0	0
		15'-30'	8	6	0	0	0
		30'-45'	5	1	0	0	0
		45'-60'	5	4	0	0	0
		ukupno	26	12	0	0	0
		EJA	26	24	0	0	0
		sveukupno	**50**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
14:30 - 15:30	12	0-15'	10	5	0	0	0
		15'-30'	10	2	0	0	0
		30'-45'	6	6	0	0	0
		45'-60'	5	1	0	0	0
		ukupno	31	14	0	0	0
		EJA	31	28	0	0	0
		sveukupno	**59**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
06:30 - 07:30	31	0-15'	10	4	0	0	0
		15'-30'	20	1	2	2	0
		30'-45'	19	5	0	0	0
		45'-60'	12	8	0	0	0
		ukupno	61	18	2	2	0
		EJA	61	36	4	1,4	0
		sveukupno	**102**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
14:30 - 15:30	31	0-15'	26	10	0	0	0
		15'-30'	67	7	0	1	0
		30'-45'	70	9	0	0	0
		45'-60'	42	5	0	0	0
		ukupno	205	31	0	1	0
		EJA	205	62	0	0,7	0
		sveukupno	**268**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
06:30 - 07:30	43	0-15'	12	2	1	0	0
		15'-30'	13	1	0	0	0
		30'-45'	12	1	0	0	0
		45'-60'	15	2	1	0	0
		ukupno	52	6	2	0	0
		EJA	52	12	4	0	0
		sveukupno	**68**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
14:30 - 15:30	43	0-15'	35	0	2	0	0
		15'-30'	31	2	0	0	0
		30'-45'	18	1	0	0	0
		45'-60'	25	0	0	0	2
		ukupno	109	3	2	0	2
		EJA	109	6	4	0	0,6
		sveukupno	**120**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
07:30 - 08:30	12	0-15'	5	8	0	0	0
		15'-30'	5	2	0	0	0
		30'-45'	2	8	0	0	0
		45'-60'	7	11	0	0	0
		ukupno	19	29	0	0	0
		EJA	19	58	0	0	0
		sveukupno	**77**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
15:30 - 16:30	12	0-15'	5	8	0	0	0
		15'-30'	8	4	1	0	0
		30'-45'	6	9	0	0	0
		45'-60'	12	2	0	0	0
		ukupno	31	23	1	0	0
		EJA	31	46	2	0	0
		sveukupno	**79**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
07:30 - 08:30	31	0-15'	15	3	0	0	0
		15'-30'	5	2	0	0	0
		30'-45'	14	10	0	0	0
		45'-60'	20	4	0	1	0
		ukupno	54	19	0	1	0
		EJA	54	38	0	0,7	0
		sveukupno	**93**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
15:30 - 16:30	31	0-15'	30	3	0	1	0
		15'-30'	23	3	0	0	0
		30'-45'	18	5	0	1	0
		45'-60'	21	0	0	0	0
		ukupno	92	11	0	2	0
		EJA	92	22	0	1,4	0
		sveukupno	**115**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
07:30 - 08:30	43	0-15'	17	0	1	0	0
		15'-30'	25	2	0	1	0
		30'-45'	9	4	1	1	1
		45'-60'	13	2	0	0	0
		ukupno	64	8	2	2	1
		EJA	64	16	4	1,4	0,3
		sveukupno	**86**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
15:30 - 16:30	43	0-15'	36	0	1	0	0
		15'-30'	26	3	0	0	1
		30'-45'	28	2	0	0	0
		45'-60'	18	0	0	0	0
		ukupno	108	5	1	0	1
		EJA	108	10	2	0	0,3
		sveukupno	**120**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
11:00 - 12:00	12	0-15'	8	6	0	0	0
		15'-30'	6	8	0	0	0
		30'-45'	12	7	0	0	0
		45'-60'	7	4	0	0	0
		ukupno	33	25	0	0	0
		EJA	33	50	0	0	0
		sveukupno	**83**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
19:00 - 20:00	12	0-15'	6	2	1	0	0
		15'-30'	5	3	0	0	0
		30'-45'	5	3	0	0	0
		45'-60'	3	3	0	0	0
		ukupno	19	11	1	0	0
		EJA	19	22	2	0	0
		sveukupno	**43**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
11:00 - 12:00	31	0-15'	21	4	0	0	0
		15'-30'	16	6	0	0	0
		30'-45'	15	12	0	0	0
		45'-60'	19	4	0	1	0
		ukupno	71	26	0	1	0
		EJA	71	52	0	0,7	0
		sveukupno	**124**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
19:00 - 20:00	31	0-15'	15	1	0	0	0
		15'-30'	19	2	0	0	0
		30'-45'	7	0	1	0	0
		45'-60'	18	0	0	0	0
		ukupno	59	3	1	0	0
		EJA	59	6	2	0	0
		sveukupno	**67**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
11:00 - 12:00	43	0-15'	27	4	1	0	0
		15'-30'	18	4	0	1	0
		30'-45'	39	5	0	0	0
		45'-60'	23	2	1	1	0
		ukupno	107	15	2	2	0
		EJA	107	30	4	1,4	0
		sveukupno	**142**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
19:00 - 20:00	43	0-15'	21	2	1	0	0
		15'-30'	10	0	0	0	0
		30'-45'	21	1	1	0	0
		45'-60'	12	0	0	0	0
		ukupno	64	3	2	0	0
		EJA	64	6	4	0	0
		sveukupno	**74**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
06:30 - 07:30	32	0-15'	8	0	0	0	0
		15'-30'	14	2	1	0	0
		30'-45'	15	0	0	0	0
		45'-60'	8	5	0	0	0
		ukupno	45	7	1	0	0
		EJA	45	14	2	0	0
		sveukupno	**61**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
14:30 - 15:30	32	0-15'	24	2	0	2	0
		15'-30'	2	1	0	0	0
		30'-45'	47	3	2	0	0
		45'-60'	44	1	0	0	0
		ukupno	117	7	2	2	0
		EJA	117	14	4	1,4	0
		sveukupno	**136**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
06:30 - 07:30	41	0-15'	5	2	2	0	0
		15'-30'	16	3	0	0	0
		30'-45'	20	3	1	0	0
		45'-60'	11	5	2	0	0
		ukupno	52	13	5	0	0
		EJA	52	26	10	0	0
		sveukupno	**88**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
14:30 - 15:30	41	0-15'	42	3	0	0	0
		15'-30'	45	1	0	0	0
		30'-45'	51	1	0	0	0
		45'-60'	51	0	0	1	0
		ukupno	189	5	0	1	0
		EJA	189	10	0	0,7	0
		sveukupno	**200**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
06:30 - 07:30	14	0-15'	33	0	0	0	0
		15'-30'	54	2	0	0	0
		30'-45'	29	3	0	0	0
		45'-60'	37	3	1	0	0
		ukupno	153	8	1	0	0
		EJA	153	16	2	0	0
		sveukupno	**171**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
14:30 - 15:30	14	0-15'	28	2	0	0	0
		15'-30'	26	2	1	1	0
		30'-45'	18	0	1	0	0
		45'-60'	28	0	0	0	0
		ukupno	100	4	2	1	0
		EJA	100	8	4	0,7	0
		sveukupno	**113**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
07:30 - 08:30	32	0-15'	13	5	0	0	0
		15'-30'	13	1	0	0	0
		30'-45'	11	3	0	0	0
		45'-60'	7	2	0	0	0
		ukupno	44	11	0	0	0
		EJA	44	22	0	0	0
		sveukupno	**66**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
15:30 - 16:30	32	0-15'	22	4	0	0	0
		15'-30'	26	2	0	0	0
		30'-45'	22	3	0	0	0
		45'-60'	24	2	0	0	0
		ukupno	94	11	0	0	0
		EJA	94	22	0	0	0
		sveukupno	**116**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
07:30 - 08:30	41	0-15'	34	6	2	0	0
		15'-30'	13	6	0	0	0
		30'-45'	28	2	0	1	0
		45'-60'	24	2	0	1	0
		ukupno	99	16	2	2	0
		EJA	99	32	4	1,4	0
		sveukupno	**136**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
15:30 - 16:30	41	0-15'	37	2	1	1	0
		15'-30'	38	1	0	0	0
		30'-45'	53	0	0	0	0
		45'-60'	24	0	0	0	0
		ukupno	152	3	1	1	0
		EJA	152	6	2	0,7	0
		sveukupno	**161**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
07:30 - 08:30	14	0-15'	51	3	0	1	0
		15'-30'	46	3	0	0	0
		30'-45'	32	4	2	0	0
		45'-60'	29	5	1	0	0
		ukupno	158	15	3	1	0
		EJA	158	30	6	0,7	0
		sveukupno	**195**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
15:30 - 16:30	14	0-15'	33	1	0	0	0
		15'-30'	29	1	0	0	0
		30'-45'	28	2	0	1	0
		45'-60'	24	0	0	0	0
		ukupno	114	4	0	1	0
		EJA	114	8	0	0,7	0
		sveukupno	**123**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
11:00 - 12:00	32	0-15'	10	5	0	0	0
		15'-30'	19	6	0	0	0
		30'-45'	11	2	0	0	0
		45'-60'	17	6	0	1	0
		ukupno	57	19	0	1	0
		EJA	57	38	0	0,7	0
		sveukupno	**96**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
19:00 - 20:00	32	0-15'	14	1	0	0	0
		15'-30'	15	3	0	0	0
		30'-45'	14	1	0	0	0
		45'-60'	15	0	0	0	0
		ukupno	58	5	0	0	0
		EJA	58	10	0	0	0
		sveukupno	**68**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
11:00 - 12:00	41	0-15'	37	2	0	0	0
		15'-30'	24	1	0	0	0
		30'-45'	30	1	0	0	0
		45'-60'	36	6	1	0	0
		ukupno	127	10	1	0	0
		EJA	127	20	2	0	0
		sveukupno	**149**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
19:00 - 20:00	41	0-15'	26	3	1	1	0
		15'-30'	23	1	0	0	0
		30'-45'	35	1	1	0	0
		45'-60'	18	0	0	0	0
		ukupno	102	5	2	1	0
		EJA	102	10	4	0,7	0
		sveukupno	**117**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
11:00 - 12:00	14	0-15'	31	5	0	0	0
		15'-30'	26	3	0	0	0
		30'-45'	29	1	0	0	0
		45'-60'	20	0	0	0	0
		ukupno	106	9	0	0	0
		EJA	106	18	0	0	0
		sveukupno	**124**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
19:00 - 20:00	14	0-15'	28	0	0	0	0
		15'-30'	17	1	1	0	0
		30'-45'	19	0	0	0	0
		45'-60'	15	1	0	0	0
		ukupno	79	2	1	0	0
		EJA	79	4	2	0	0
		sveukupno	**85**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
06:30 - 07:30	42	0-15'	18	0	0	1	0
		15'-30'	24	4	0	0	0
		30'-45'	24	2	0	1	0
		45'-60'	17	4	1	1	0
		ukupno	83	10	1	3	0
		EJA	83	20	2	2,1	0
		sveukupno	**107**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
14:30 - 15:30	42	0-15'	51	3	0	0	0
		15'-30'	61	2	0	0	0
		30'-45'	95	3	0	0	0
		45'-60'	53	1	0	0	0
		ukupno	260	9	0	0	0
		EJA	260	18	0	0	0
		sveukupno	**278**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
06:30 - 07:30	13	0-15'	55	3	0	0	0
		15'-30'	48	4	0	0	2
		30'-45'	16	4	0	0	0
		45'-60'	12	3	0	0	0
		ukupno	131	14	0	0	2
		EJA	131	28	0	0	0,6
		sveukupno	**160**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
14:30 - 15:30	13	0-15'	37	6	0	0	0
		15'-30'	30	12	1	1	0
		30'-45'	22	3	0	0	0
		45'-60'	17	2	0	0	0
		ukupno	106	23	1	1	0
		EJA	106	46	2	0,7	0
		sveukupno	**155**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
06:30 - 07:30	24	0-15'	76	2	0	0	0
		15'-30'	92	0	1	0	0
		30'-45'	45	8	1	0	0
		45'-60'	48	7	1	0	0
		ukupno	261	17	3	0	0
		EJA	261	34	6	0	0
		sveukupno	**301**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
14:30 - 15:30	24	0-15'	42	1	1	0	0
		15'-30'	43	1	0	1	0
		30'-45'	50	0	1	0	0
		45'-60'	37	5	0	0	0
		ukupno	172	7	2	1	0
		EJA	172	14	4	0,7	0
		sveukupno	**191**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
07:30 - 08:30	42	0-15'	37	5	0	0	0
		15'-30'	12	2	0	0	0
		30'-45'	29	6	1	0	0
		45'-60'	20	7	0	0	0
		ukupno	98	20	1	0	0
		EJA	98	40	2	0	0
		sveukupno	**140**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
15:30 - 16:30	42	0-15'	49	2	2	0	0
		15'-30'	61	0	0	0	0
		30'-45'	67	1	1	0	0
		45'-60'	47	2	0	0	0
		ukupno	224	5	3	0	0
		EJA	224	10	6	0	0
		sveukupno	**240**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
07:30 - 08:30	13	0-15'	16	6	0	0	0
		15'-30'	13	9	0	0	1
		30'-45'	12	6	0	0	1
		45'-60'	13	5	0	0	0
		ukupno	54	26	0	0	2
		EJA	54	52	0	0	0,6
		sveukupno	**107**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
15:30 - 16:30	13	0-15'	14	4	0	0	0
		15'-30'	19	3	0	0	0
		30'-45'	18	4	0	0	0
		45'-60'	25	2	0	0	0
		ukupno	76	13	0	0	0
		EJA	76	26	0	0	0
		sveukupno	**102**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
07:30 - 08:30	24	0-15'	78	3	2	0	0
		15'-30'	63	5	0	0	0
		30'-45'	47	1	0	0	0
		45'-60'	41	6	0	0	0
		ukupno	229	15	2	0	0
		EJA	229	30	4	0	0
		sveukupno	**263**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
15:30 - 16:30	24	0-15'	52	2	0	0	0
		15'-30'	50	1	0	0	0
		30'-45'	53	2	1	0	0
		45'-60'	54	1	0	0	0
		ukupno	209	6	1	0	0
		EJA	209	12	2	0	0
		sveukupno	**223**	76	2		

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
11:00 - 12:00	42	0-15'	47	11	1	0	0
		15'-30'	37	2	1	2	0
		30'-45'	42	3	0	1	0
		45'-60'	34	6	0	0	0
		ukupno	160	22	2	3	0
		EJA	160	44	4	2,1	0
		sveukupno	**210**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
15:30 - 16:30	42	0-15'	46	1	1	0	0
		15'-30'	41	0	0	0	0
		30'-45'	47	0	0	0	0
		45'-60'	34	1	1	0	0
		ukupno	168	2	2	0	0
		EJA	168	4	4	0	0
		sveukupno	**176**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
11:00 - 12:00	13	0-15'	18	8	0	0	0
		15'-30'	16	8	0	0	1
		30'-45'	21	3	0	0	0
		45'-60'	11	7	0	0	0
		ukupno	66	26	0	0	1
		EJA	66	52	0	0	0,3
		sveukupno	**118**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
19:00 - 20:00	13	0-15'	20	1	0	0	0
		15'-30'	7	2	0	0	0
		30'-45'	7	1	0	0	0
		45'-60'	12	2	0	0	0
		ukupno	46	6	0	0	0
		EJA	46	12	0	0	0
		sveukupno	**58**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
11:00 - 12:00	24	0-15'	61	7	0	0	0
		15'-30'	40	7	1	1	0
		30'-45'	34	2	0	0	0
		45'-60'	26	0	1	1	0
		ukupno	161	16	2	2	0
		EJA	161	32	4	1,4	0
		sveukupno	**198**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
19:00 - 20:00	24	0-15'	56	1	0	0	0
		15'-30'	36	1	0	2	0
		30'-45'	30	2	0	0	0
		45'-60'	34	1	0	0	0
		ukupno	156	5	0	2	0
		EJA	156	10	0	1,4	0
		sveukupno	**167**	76	2		

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
06:30 - 07:30	21	0-15'	6	0	0	0	0
		15'-30'	1	9	0	0	0
		30'-45'	4	5	0	0	0
		45'-60'	4	2	0	0	0
		ukupno	9	22	0	0	0
		EJA	9	44	0	0	0
		sveukupno	**53**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
14:30 - 15:30	21	0-15'	9	5	0	0	0
		15'-30'	6	6	0	0	0
		30'-45'	3	2	1	0	0
		45'-60'	8	5	0	0	0
		ukupno	26	18	1	0	0
		EJA	26	36	2	0	0
		sveukupno	**64**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
06:30 - 07:30	23	0-15'	41	0	2	0	0
		15'-30'	38	4	0	0	0
		30'-45'	21	0	0	0	0
		45'-60'	11	0	0	0	0
		ukupno	111	4	2	0	0
		EJA	111	8	4	0	0
		sveukupno	**123**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
14:30 - 15:30	23	0-15'	31	2	1	0	0
		15'-30'	20	4	0	0	0
		30'-45'	11	2	0	1	0
		45'-60'	17	2	0	1	0
		ukupno	79	10	1	2	0
		EJA	79	20	2	1,4	0
		sveukupno	**102**				

sat	smjer	15'-int	OA	T	BUS	MOT	BIC
06:30 - 07:30	34	0-15'	3	0	0	0	0
		15'-30'	11	1	2	0	0
		30'-45'	16	0	0	0	0
		45'-60'	12	3	0	0	0
		ukupno	42	4	2	0	0
		EJA	42	8	4	0	0
		**sveuk

Prilog 8. Izbrojana vozila u vremenskom razdoblju 15-16 h i razlika izbrojanih vozila i broja vozila u simulaciji Vissim-a prema varijantama i smjerovima

Smjer	Izbrojano	V0 bez policije	V0 s policijom	V0 optimizirano	Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 3	Varijanta 4	Varijanta 5
Po privozima	voz/h	voz/h razlika	voz/h razlika	voz/h razlika	voz/h razlika	voz/h razlika	voz/h razlika	voz/h razlika	voz/h razlika
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	44	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
13	84	-13	-14	-13	-15	-14	-15	-14	-12
14	111	2	2	1	1	2	1	2	3
21	56	0	1	0	1	1	-1	1	1
23	77	-15	-15	-15	-16	-16	-16	-16	-16
24	198	0	-4	0	-1	0	-2	-1	2
31	186	-15	-18	-17	-18	-16	-14	-21	-18
32	151	-12	-15	-13	-15	-15	-12	-17	-15
34	93	3	2	3	2	2	3	1	1
41	184	-70	1	3	6	5	5	5	4
42	266	-97	-4	3	7	8	6	6	5
43	113	-40	-8	-4	-2	-2	-2	-2	-4
Ukupno	**1563**	**-263**	**-78**	**-58**	**-56**	**-51**	**-53**	**-62**	**-55**

TUMAČ:

stupac 0 - prva brojka je oznaka privoza iz kojega tok dolazi u raskrižje; druga brojka je njegov odlazni smjer iz raskrižja

stupac 1 - izbrojana vozila u vremenskom razdoblju 15-16 h

stupac 2 do 9 - razlika izbrojanih vozila i broja vozila u simulaciji Vissim-a prema varijantama i smjerovima

METAPODACI

Naslov rada: ___OPTIMIZACIJA FUNKCIONALNE UČINKOVITOSTI RASKRIŽJA ULICA ZAGREBAČKA – VARAŽDINSKA – A. STARČEVIĆA – I. ČESMIČKOG U KOPRIVNICI_____
Student: _____DARKO STARČEVIĆ_____

Mentor: _____DR. SC. HRVOJE PILKO_____

Naslov na drugom jeziku (hrvatski): __OPTIMIZATION OF THE FUNCTIONAL EFFICIENCY OF THE INTERSECTION OF STREETS ZAGREBAČKA – VARAŽDINSKA – A. STARČEVIĆA – – I. ČESMIČKOG IN KOPRIVNICA_____

Povjerenstvo za obranu:

- _ Izv. prof. dr. sc. Dubravka Hozjan _____ predsjednik
- _ Dr. sc. Hrvoje Pilko_____ mentor
- _ Dr. sc. Luka Novačko _____ član
- _ Doc. dr. sc. Danijela Barić ____ zamjena

Ustanova koja je dodijelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: _Zavod za cestovni promet_____

Vrsta studija: __diplomski_____

Studij: _____Promet_____(npr. Promet, ITS i logistika, Aeronautika)

Datum obrane diplomskog rada:____27.9.2016._____

Napomena: pod datum obrane diplomskog rada navodi se prvi definirani datum roka obrane.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

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

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

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom **OPTIMIZACIJA FUNKCIONALNE UČINKOVITOSTI RASKRIŽJA ULICA ZAGREBAČKA - VARAŽDINSKA - A. STARČEVIĆA - I. ČESMIČKOG U KOPRIVNICI** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 30.8.2016

(potpis)