Metode regulacije prometnih tokova na raskrižjima

Kraljević, Ante

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:957193

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ante Kraljević

METODE REGULACIJE PROMETNIH TOKOVA NA RASKRIŽJIMA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

METODE REGULACIJE PROMETNIH TOKOVA NA RASKRIŽJIMA
TRAFFIC FLOW REGULATION METHODS ON INTERSECTIONS

Mentor: dr. sc. Marko Ševrović
Student: Ante Kraljević, 0135213039

Zagreb, rujan, 2017

METODE REGULACIJE PROMETNIH TOKOVA NA RASKRIŽJIMA

SAŽETAK:

Raskrižja u gradovima su područja na prometnicama gdje dolazi do zagušenja. U slučaju da raskrižje nije pravilno izvedeno, tijekom vremena na njemu će se smanjivati propusna moć i povećavati repovi čekanja. Što će dovesti do većih problema kao što su prometne nezgode u kojima sudjeluju vozila, pješaci ili biciklisti. Da bi se izbjegle takve situacije, raskrižja je potrebno prilagoditi potražnji. U ovom radu će se istražiti metode regulacije prometnih tokova od kojih neke već 50-ak godina imaju primjenu u Americi i Europi, a do danas se razvijaju i prilagođavaju trenutnom stupnju motorizacije.

Metoda koja je dosta efikasna je metoda zabrane lijevih skretanja na raskrižjima. Ona će biti opisana i primjenjena na dva raskrižja u gradu Zagrebu. Četverokrako raskrižje Slavonske avenije i Kruga, te na T- raskrižju avenije Gojka Šuška i ulice Rudolfa Kolaka. Raskrižja će se prilagoditi potrebnim preusmjeravanjima prometa i denivelacijama na određenim točkama. Druga manje agresivna metoda, koja je u Hrvatskoj još donekle nepoznata, a u svijetu odavno već ima svoje mjesto, je metoda zabrane ulaska u raskrižje ako vozač nije siguran da iz njega može izaći za vrijeme zelene faze na svom prometnom toku. Ona ne zahtijeva veće rekonstrukcije niti preusmjeravanja prometa, nego se koristi horizontalna signalizacija na središtu raskrižja.

Ključne riječi: zabrana lijevih skretanja, regulacija prometnih tokova, horizontalna signalizacija

TRAFFIC FLOW REGULATION METHODS ON INTERSECTIONS

SUMMARY:

Intersections in cities are areas on roads where congestions often appear. In cases where intersections arent made by the rules, over period of time permeability will decrease and vehicles waiting to pass threw intersection will increase. That will bring more problems like traffic accidents which include vehicles, pedestrians and cyclists. To avoid those situations intersections are required to be adjusted for vehicle demand. This thesis research will carry traffic flow regulation methods that are used in America and Europe over fifty years and till today are adapting to current motorization rate.

Method that is efficient is method of left turn prohibitions. It will be described and adapted on two intersections in city of Zagreb. Crossroads of Slavonska avenija-Kruge and T junction which includes Avenija Gojka Šuška and Street of Rudolfa Kolaka. Intersections will be adapted to necessary redirections of traffic and denivelations on specific points. Other less intrusive method, that in Croatia is little known, but in other countries is used for some time is method of preventing vehicles to enter intersection if driver is not sure he can left that crossroad by the time his green phase is over. This method does not demand reconstructions or traffic redirections, but requires to put horizontal signalization inside intersection.

Key words: left turn prohibitions, traffic flow regulations, horizontal signalization

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. OSNOVNI PARAMETRI PROMETNOG TOKA 3

3. ZNAČAJKE PROMETNOG TOKA 5

4. REGULACIJA PROMETNIH TOKOVA NA RASKRIŽJU 8

4.1. Analiza stanja raskrižja 11

4.1.1. Raskrižje Slavonske avenije i ulice Kruge 11

4.1.2. Raskrižje Avenije Gojka Šuška i ulice Rudolfa Kolaka 12

4.1.3. Raskrižje Maksimirska cesta-Svetice ulica – Bukovačka cesta 13

4.2. Analiza prometnog toka 15

4.2. Primjena metoda za regulaciju prometnih tokova 18

4.2.1. Metoda horizontalne regulacije „Box junction“ 18

4.2.2. Metoda zabrane lijevog skretanja 23

5. ZAKLJUČAK 32

LITERATURA 33

POPIS SLIKA 34

POPIS GRAFIKONA I TABLICA 35

POPIS PRILOGA 36

1. UVOD

Porastom gradova i sve većim standardima života dolazi i do povećanja stupnja motorizacije u samim gradovima. Prema izvješću Državnog zavoda za statistiku u Hrvatskoj je ukupni broj registriranih vozila u 2016. godini za 3,5% veći u odnosu na prethodnu, a 29,2% veći broj prvi put registriranih vozila u odnosu na 2015. godinu. Sagledavajući te brojke jasno je da se prometna infrastruktura mora prilagođavati trendu porasta broja vozila, te je potrebno nalaziti prikladna rješenja za kontrolu prometa.

Sve gušći promet na određenim dionicama tijekom dana, kolone na raskrižjima, duže vrijeme putovanja kao i potpuni zastoji su činjenice koje ukazuju da je potrebno djelovanje kako bi se pronašli odgovori za ublažavanje, odnosno uklanjanje takvih prometnih problema. Jedan od kompleksnijih zadataka za rješavanje prometnih zagušenja javlja se na raskrižjima u gradovima. Gdje u vrijeme vršnih perioda na raskrižje dolazi veliki broj vozila koja usporavaju promet i izazivaju zastoje unutar raskrižja. Naravno, tu treba uračunati važan faktor koji utječe na takve zastoje, a to je mentalitet vozača, koji unatoč gustom prometu pokušavaju „osvojiti“ svaki metar prometnice na svom putovanju, ne sagledavajući cijeli problem u kojem se nalaze ili koji mogu sami izazvati.

Da bi pripomogli rješavanu toga problema prometni stručnjaci tijekom godina razvijali su različite metode regulacije prometnih tokova na raskrižjima. Ta istraživanja i dalje traju te se i dalje traže optimalna rješenja povećanja propusne moći na raskrižjima. Tu se mogu istaknuti metode koje zabranama kontroliraju kretanje vozila koja žele proći kroz raskrižje kao metode gdje se vozila preusmjeravaju okolnim ulicama da bi se izbjegao prolaz kroz rasrižje. Zadnjih 50-ak godina posvećena je pažnja na metodu zabrane lijevih skretanja na raskrižjima. Unatoč tome što produljuje rutu kretanja vozila, uvidjelo se da je to jedno od perspektivnijih metoda za povećanje propusne moći kroz raskrižja. Samim time što se smanjuje broj točki presijecanja i smanjuje duljina ciklusa svjetlosne signalizacije na određenim tokovima povećava se protočnost vozila kroz raskrižja i smanjuje vrijeme čekanja.

Ovaj diplomski rad podijeljen je na sedam točaka preko kojih će se analizirati metode regulacije prometnih tokova na raskrižjima:

1. Uvod;
2. Osnovni parametri prometnog toka;
3. Značajke prometnog toka;
4. Regulacija prometnih tokova na rakrižjima;
5. Zaključak;
6. Literatura;
7. Popis priloga.

U drugoj i trećoj točki nabrojane su i opisane osnovne veličine u teoriji prometnih tokova. Pomoću njih postavljaju se temelji za analizu i sagledavanje problema na raskrižjima. Kao i daljnje upute za regulaciju prometnih tokova prije i poslije raskrižja.

U četvrtom poglavlju sagledat će se trenutno stanje na izabranim raskrižjima. Koji su problemi na dotičnim raskrižjima, te zbog čega dolazi do tih problema. Rješenje će se

pokušati pronaći kroz metode koje nisu uobičajene kod reguliranja prometnih tokova na raskrižjima, a kroz zadnjih desetak godina prometni stručnjaci obraćaju veliku pozornost na njih kao jedne od efikasnijih metoda gdje se mogu primjetiti velike promjene kod propusnosti raskrižja kao i kreiranja novog mentalnog sklopa kod vozača koji će sami pridonositi kvalitetnijem odvijanju prometa.

2. OSNOVNI PARAMETRI PROMETNOG TOKA

Da bi se prometni tokovi kao i vozila koja se kreću unutar prometnih tokova mogli opisivati potrebno je znati određene veličine, odnosno pokazatelje. Ti pokazatelji nazivaju se osnovni parametri prometnog toka ili osnovne veličine prometnog toka. Prometni tok je , prema knjizi Teorija prometnog toka [1] *„Istovremeno kretanje više vozila na putu u određenom poretku“*. Kada spominjemo kretanje pojedinačnog vozila u odnosu na kretanje vozila u prometnim tokovima, temeljna razlika je u tome što na vozila koja se kreću u prometnom toku djeluje međusobna interakcija [1].

Osnovni pokazatelji za opisivanje prometnih tokova su:

- protok vozila [q];
- gustoća prometnog toka [g];
- brzina prometnog toka [v];
- vrijeme putovanja vozila u toku [t];
- jedinično vrijeme putovanja vozila u toku;
- vremenski interval slijeđenja vozila u toku;
- razmak slijeđenja vozila u toku [s].

„Protok vozila podrazumijeva broj vozila koja prođu kroz promatrani presjek prometnice u jedinici vremena u jednom smjeru za jednosmjerne prometnice ili u oba smjera za dvosmjerne prometnice“. Ovisno o načinu promatranja, sa gledišta realnih tokova, u odnosu na prostor razlikuje se [1] :

- protok vozila na presjeku ceste - *„predstavlja protok koji se ostvaruje na promatranom presjeku u jedinici vremena“;*
- protok vozila na dijelu ili dionici ceste – *„predstavlja aritmetičku sredinu protoka na n- presjeka na dijelu ili dionici“*.

Za definiciju gustoće prometnog toka može se reći da ona *„podrazumijeva broj vozila na jedinici duljine prometnice po prometnoj traci, po smjerovima za jednosmjerne prometnice, odnosno u oba smjera za dvosmjerne prometnice.“* Može ga se promatrati vremenski ili prostorno. Vremenski je vezan za trenutno stanje a prostorno za odsjek ili dionicu. [1]

Brzina prometnog toka odnosi se na srednju vrijednost brzina svih vozila u promatranom prometnom toku. Kod promatranja prometnog toka u odnosu na prostor i vrijeme, definirana su dva glavna pojma vezana za brzine prometnog toka kao odgovarajuće vrijednosti brzina svih vozila, a to su:

- srednja prostorna brzina toka, *„koja je analogno gustoći prostorno vezana za odsjek puta (S), a vremenski za trenutak;*
- Srednja vremenska brzina toka , *„koja je analogno protoku vozila prostorno vezana za presjek puta, a vremenski za period promatranja“* [1].

Srednja prostorna brzina može biti promatrana sa prostornog i sa vremenskog gledišta. Kod prostornog promatranja prestavlja brzinu na dionici ceste, a kod vremenskog promatranja trenutnu brzinu toka. Opća definicija glasi da ona *„predstavlja aritmetičku*

sredinu trenutnih brzina svih vozila u prometnom toku na promatranom odsjeku puta.“ Također, u nekim stručnim literaturama može se naći pod pojmom srednja trenutna brzina.

Srednja vremenska brzina prometnog toka *„ predstavlja aritmetičku sredinu brzina svih vozila u prometnom toku koja prolaze kroz promatrani presjek puta u određenom periodu vremena“* . Postupak mjerenja brzina vozila na presjeku puta u literaturama se nalazi pod pojmomom lokalno mjerenje ili promatranje [1].

Brzine prometnog toka se još mogu dijeliti s obzirom na vrste prometnih tokova. Gledajući to u idealnim prometnim i putnim uvijetima, u praksi srednja prostorna brzina i srednja vremenska brzina koriste nazive: brzina slobodnog toka, brzina normalnog toka i brzina zasićenog toka. Brzina slobodnog toka vezana je za slobodan tok i u njenom slučaju sva se vozila na promatranom odsjeku kreću identičnim ili bliskim uvijetima. Dok brzina normalnog toka koja se odnosi na stabilan, polustabilan i nestabilan prometni tok vezana je za djelovanje i interakciju između vozila u toku na uvijete kretanja. Brzina zasićenog toka vezana je za kretanje vozila u zasićenom toku gdje se vozila kreću istom brzinom. Pod pojmom gustoća prometnog toka podrazumijeva se broj vozila na jedinicu duljine prometnice, po prometnoj traci, po smjerovima za jednosmjerne prometnice, odnosno u oba smjera za dvosmjerne prometnice. Pojam gustoće vezan je prostorno za odsjek ili prometnu dionicu, a vremenski za trenutno stanje.

Interval slijeda vozila je jedan od glavnih pokazatelja za uočavanje međuovisnosti u prometnom toku, odnosno opisivanje uvijeta odvijanja prometa na cestama. Po definiciji prema knjizi [1.] koja je ranije spomenuta, interval slijeđenja vozila predstavlja *„vrijeme između prolaska dva uzastopna vozila kroz zamišljeni presjek promatranog odsjeka puta (čeoni prolazak vozila).“* Kao i ostali parametri promatra se u prostoru i vremenu, pa se razlikuje [1]:

- interval praćenja pojedinačno za N vozila koja u periodu vremena prođu promatrani presjek puta;
- srednju vrijednost intervala praćenja na promatranom presjeku puta za N vozila u vremenu;
- interval slijeđenja na dionici puta kao aritmetički prosjek srednjih vrijednosti intervala praćenja na m promatranih presjeka puta u vremenu.

Razmak u slijeđenju vozila predstavlja *„ prostorni razmak između dva uzastopna vozila u prometnom toku“*[1]. Mjerna jedinica mu je u metrima. Razlikuje se :

- udaljenost između pojedinih vozila u prometnom toku na promatranom odsjeku;
- srednja vrijednost trenutnih razmaka između svih vozila u prometnom toku koja su se našla na promatranom odsjeku;
- aritmetički prosjek m-srednjih trenutnih razmaka utvrđenih na promatranom presjeku u periodu vremena.

3. ZNAČAJKE PROMETNOG TOKA

Kako bi se zakonitosti kretanja vozila u prometnom toku, kao i sam prometni tok mogli opisati i proučavati potrebno je definirati određene značajke. Za sadržajnije opisivanje protoka vozila i zakonitosti kretanja vozila u prometnim tokovima na cestovnim prometnicama koristi se složenost prometnog toka, vrste i struktura prometnog toka i vremenska neravnomjernost prometnog toka [1].

Prometni tok sa stajališta broja nizova i smjerova može biti: jednostavan ili složen tok. Jednostavan prometni tok mora se sastojati od najmanje dva vozila koja se kreću u istom smjeru, a sastoji se od niza vozila koja se kreću u istom mjeru i pravcu. Složeni prometni tok prema definiciji je tok koji se sastoji od dvaju ili više jednostavnih prometnih tokova koji, s obzirom na međusobne odnose nizova i smjerova može biti:

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

Prometni tokovi u realnim situacijama pripadaju grupi složenih prometnih tokova. Zbog toga kada se govori o njima potrebno je točno definirati o kakvom prometnom toku se radi. Kada promatrano prometni tok u odnosu na uvjete odvijanja prometa on može biti: neprekinuti, neprekinuti ali djelomično ometani i povremeno prekinuti tok. Bazni (mjerodavni) tok za definiranje relacija između osnovnih parametara toka je neprekinuti prometni tok [1].

Tok na koji utječu promjene traka zbog ulijevanja i izlijevanja je neprekinuti ali djelomično ometani prometni tok. To su najčešće dionice na križanjima gdje su pravci koji se sijeku denivelirani. Na povremeno prekinute tokove utječu potrebe za vremenskom podjelom prava korištenja istih prmetnih površina. Prometna čvorišta u istoj razini pružaju povremeno prekinute tokove.

Prometni tok s obzirom na strukturu može biti homogeni ili ne homogeni. Homogeni tok se sastoji od iste vrste motornih vozila. Idealan homogeni tok ne postoji u realnim uvjetima, makar ga se uzima kod definiranja osnovnih parametara prometnog toka. Tok u kojem sudjeluju samo osobni automobili približno je idelanom toku. Realni prometni tok je nehomogen, odnosno mješovit i u njemu sudjeluje više vrsta motornih vozila [1].

„ Uvjetno homogen tok praktično ne postoji, tu je riječ o teorijskoj aproksimaciji. Naime, obzirom na činjenicu da su sva teorijska uopćavanja u teoriji prometnog toka bazirana na nepostejećem tzv. Idealnom homogenom toku, a praktična uopćavanja na toku

putničkih automobila, tj. na približno idealnom toku, to su u cilju primjene spomenutih uopćavanja na stvarne tokove, rješenja tražena u pretvaranju nehomogenog toka u tzv. uvjetno homogeni tok. „[1] Kod takve promjene koriste se određeni ekvivalenti [E] koji se množe izabranim koeficijentima temeljeni na specifikacijama vozila po unaprijed zadanim veličinama kao što je vrsta vozila, dužina vozila itd. Uvjetno homogeni tok izražava se u ekvivalentnim jedinicama osobnih automobila – EJA. Vrijednosti ekvivalenata pomoću kojih se mogu izvesti pretvorbe dijele se u 3 skupine: motocikle ($E < 1$) , osobne automobile ($E=1$) i ostala vozila
($E > 1$).

Valja napomenuti još jednu od značajki prometnog toka, vremensku neravnomjernost protoka vozila. Protok vozila je promjenljiva veličina koja ovisi o mnogim faktorima koji su također promjenljivi. Nastaje kao posljedica potrebe premještanja ljudi ili dobara. Također, može biti izazvana zbog vremenskih neprilika, novnonastalih situacija na prometnoj mreži itd. Bitno je napomenuti da faktori koji utječu na protok vozila nastaju slučajnim varijablama. U teoriji prometnog toka definirane su opće zakonitosti vremenske neravnomjernosti protoka vozila. Pomoću tih zakonitosti definirani su uvjeti koji se koriste kod planiranja i projektiranja mreža. Tu se ističu karakteristike koje su vezane sa cikličnostima kod prijevoza ljudi i dobara. Stoga, zakonitosti vremenske neravnomjernosti protoka vozila sa ovog stajališta iskazuju se kroz [1]:

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

Satna neravnomjernost protoka vozila u periodu jednog dana je variranje protoka po pojedinim satovima u jednom danu (24 sata). Dok, satna neravnomjernost u tijeku cijele godine je variranje protoka u satovima kroz cijelu godinu. Pomoću variranja protoka kroz sat vremena u godini zadani su kriteriji pri definiranju mjerodavnog satnog protoka vozila za dimenzioniranje poprečnih profila prometnica. Taj kriterij predstavlja samo orijentacijske mjere kao mjerodavni protok za planiranje, vrednovanje i projektiranje putova, a naziva se kriterij “ 30-og” sata.

Prema istraživanjima kriterij 30-og sata “ *dovodi do optimalnog odnosa između efekata u eksploataciji i troškova uloženih u prometnicu”*. S vremenom i povećanjem protoka, kao i povećanjem stupnja motorizacije tijekom godina mijenjali su se i globalni kriteriji o mjerodavnom satnom protoku, tako da sada se koriste i kriterij “50-og sata”, “80-og sata” , “100-og sata”, “150-og sata” i “200-og sata” koji i danas ima primjenu u razvijenijim zemljama.

Dnevna neravnomjernost protoka vozila u period od sedam dana definira se kao variranje protoka vozila po danu unutar jednog tjedna, odnosno 7 dana, dok je

neravnomjernost u mjesecu variranje protoka vozila po danima unutar jednog mjeseca, a neravnomjernost u periodu godine predstavlja variranje po danima u jednoj godini.

Mjesečna neravnomjernost u periodu jedne godine predstavlja variranje prosječnog dnevnog prometa po mjesecima tijekom 12 mjeseci i važan je indikator kod sagledavanja karaktera prometnih tokova i funkcije promatrane prometnice u mreži [1].

Kod stvaranja modela za praktičnu primjenu u planiranju, projektiranju i upravljanju prometom došlo je do potrebe za spoznavanjem karakteristika neravnomjernosti protoka po manjim vremenskim jedinicama od jednog sata, a za unutar vršnog sata..

4. REGULACIJA PROMETNIH TOKOVA NA RASKRIŽJU

Odnosi među prometnim tokovima na raskrižjima jedan su od uzroka smanjene propusne moći. Izbjegavanje nepotrebnih sukoba (presijecanja) i smanjenje lomljenja prometnih tokova jedan su od mogućih značajnih čimbenika koji povoljno utječu na povećanje propusne moći križanja [1].

Međusobni odnosi prometnih tokova u mreži posebice su složeni u urbanim dijelovima prometne mreže, stoga treba težiti da se sa što manje pokazatelja opišu što točnije. Svrstani su u sljedeće kategorije:

- mimoilaženje;
- presijecanje;
- preplitanje;
- ulijevanje;
- odlijevanje.

Presijecanje, ulijevanje i odlijevanje, kao najvažniji odnosi među prometnim tokovima, događaju se na raskrižjima, dok je preplitanje izraženije na dionicama između raskrižja. Takvi odnosi odvijaju se na raskrižjima u razini. Na deniveliranim raskrižjima (raskrižja u dvije i više razina) postoje samo konfliktne točke ulijevanja i odlijevanja.

Kritična točka presijecanja prometnih tokova je točka u kojoj je presijecanje pojedinačnih prometnih tokova najintezivnije. Na raskrižjima takvih točaka može biti više. Zagušenje prometnih tokova se rješava smanjenjem presijecanja prometnih tokova u kritičnoj točki.

Također, postoji i kolizijska točka. To je točka u kojoj je najčešći broj prometnih nezgoda, koju treba razlikovati od kritične točke koja predstavlja točku u kojoj se sijeku dva najintezivnija prometna toka [1].

Metode regulacije tokova na raskrižjima usko su vezane za smanjenje presijecanja prometnih tokova, čime se povećava propusnost. Metode mogu biti tehničke i informative prirode. Neke od klasičnih metoda su:

- uvođenje jednosmjernih ulica;
- uvođenje obavijesne signalizacije;
- obaviješčivanje i edukacija sudionika u prometu;
- uvođenje GPS navigacije.

Uvođenje jednosmjernih ulica povećati će protočnost prometnog toka kao i smanjiti točke presijecanja, što dovodi do sigurnijeg odvijanja prometa, a u slučaju prometne nezgode izbjeći će se čeoni sudari kao i naleti na pješake.

Obavijesna signalizacija i edukacija sudionika u prometu su metode koje se zasnivaju na kvaliteti informacije koja će se vozaču pružiti u prometu prije i za vrijeme vožnje. Obavijesna signalizacija se temelji na obavijesnim pločama koje se postavljaju u prometu sa ciljem da vozača pravovremeno obavijeste na daljnje korake. Pod tu metodu spada i

promjenljiva signalizacija koja sve više se prepoznaje kao kvalitetetan i efikasan način regulacije prometnih tokova.

GPS tehnologija je najmodernija metoda, koja zahtijeva određenu tehnologiju i opremljenost u vozilu. Pomoću lociranja vozila i unarpijed unesenih podataka te praćenja prometa moguće je vozača obavijestiti o mogućim gužvama, zastojima i smanjenju protoka na raskrižjima te ga uputiti na druge dionice [1].

Jedna od starijih, ali manje poznatih metoda je iscrtavanje žutih horizontalnih oznaka na kolnicima unutar raskrižja. Koristi se na raskrižjima u kojima dolazi do slučajeva da vozila nakon isteka zelene faze za svoj tok ne mogu izaći iz raskrižja i zasutavljaju daljnje odvijanje prometa. Cilj je sprečavanje zagušenja prometnog toka u raskrižju.

Metoda zabrane lijevih skretanja na raskrižjima u Americi i nekim europskim zemljama je zadnjih desetak godina jedan od glavnih načina regulacije prometnih tokova na raskrižjima. Michigan left ili Thru-turn je jedna od metoda zabrane lijevih skretanja koja se počela primjenjivati u Americi još od 1960 godine. Prvi koji je došao sa idejom o zabrani lijevih skretanja je prometni inženjer i sveučilišni profesor Thomas Maleck. Ime „Michigan left“ metoda je dobila po državi Michigan u Sjedinjenim Američkim državama gdje se prvo počela koristiti. Kada se upotreba metode proširila može se naći i pod nazivom Thru-Turn Postoje još nazivi boulevard left [2], boulevard turnaround [3], Michigan loon [4].

Zabrana lijevih skretanja je metoda koja se svake godine sve više usavršava i pronalaze se još efikasniji načini regulacije tokova kroz raskrižje. Tu se koriste preusmjeravanja prometnih tokova oko raskrižja ili se promet vodi podvožnjacima do smicanja prometnica kroz raskrižje za izbjegavanje upotrebe lijevog skretanja.

Kod planiranja rekonstrukcije raskrižja potrebno je uzeti u obzir okolni prostor i da li je moguće raspolagati tim prostorom kod gradnje. Također, trebaju se raskrižja planirati tako da budu što manje štetna za okoliš i da se ne narušava izgled područja ako to nije potreba. Kod toga dolazi do konflikta sa cijenom izvedbe koja je u većini slučajeva glavni faktor kod rekonstrukcija. To se može svesti na dvije glavne točke [5]:

- prilagodljivost okolišu;
- ekonomičnost rješenja.

Kada se krene u rekonstrukciju cijelog ili dijela raskrižja za procjenjivanje prilagodljivosti okolišu potrebno je uzeti u obzir sljedeće:

- narušavanje krajolika i gradskog izgleda;
- buka i onečiščenje zraka;
- okupiranost i razdvajanje gradskih površina.

Da bi se izbjeglo narušavanje krajolika i gradskog izgleda samo raskrižje treba prilagoditi prostoru na kojem se nalazi tako da se tokovi usmjeravaju na područja koja nisu od veće važnosti, kao što bi bili trgovi, povijesne poveznice i spomenička baština. Prostore koje ne utječu na preglednost i odvijanje prometa trebalo bi ozeleniti.

Buku i onečičenje zraka zapravo se ne može spriječiti, no svakako se može ublažiti. Ako se raskrižja nalaze u zonama stambenih zgrada potrebno je postaviti odgovarajuće

barijere za zaštitu od buke. Na raskrižjima uskladiti svjetlosnu signalizaciju na cijelim dionicama kako bi se izbjegla zaustavljanja i nagla kretanja [5].

U dosta slučajeva kod biranja optimalnog rješenja gdje se traži način koji zahtijeva minimalne troškove zanemaruje se činjenica da je taj trošak zapravo samo fiktivan. Jer sa manjim troškovima opada kvaliteta , sigurnost i efikasnost samog raskrižja što zahtijeva daljnja ulaganja kod održavanja, a da se ne spominju još troškovi prometnih nesreća kao i vremenski i eksploatacijski troškovi. Stoga, kod odabira potrebno je planiranje na duže vremensko razdoblje. Svako raskrižje na temelju odabranih čimbenika ima svoju razinu uslužnosti. Prema metodologiji američkog HCM-a i njemačkog HBS-a postoji šest razina usluge (A – najbolje i F – najlošije):

1) *RU-A: uvijet slobodnog toka s najviše 10 posto međusobnih utjecaja između vozila u prometnom toku, a prosječna vremena čekanja na raskrižjima su minimalna;*
2) *RU-B: oko 70 posto vozila nalazi se u uvjetima slobodnog toka, a prosječna vremena čekanja na raskrižjima nisu značajna;*
3) *RU-C: stabilni uvjeti prometa s oko 50 posto vozila u uvjetima slobodnog toka, pri čemu mogući manji povećani repovi čekanja na raskrižjima izazivaju veća prosječna vremena čekanja;*
4) *RU-D: oko 40 posto vozila nalazi se u uvjetima slobodnog toka, a malo povećanje prometnog toka izaziva povećane repove čekanja na raskrižjima s većim prosječnim vremenom čekanja;*
5) *RU-E: manje od trećine vozila su u slobodnom toku; to je stanje u kojemu je dosegnuta propusna moć ili se postiže malim povećanjem prometnog toka; prosječna vremena čekanja na raskrižjima su znakovito velika;*
6) *RU-F: prometna potražnja je iznad propusne moći, a na privozima raskrižja dolazi do zagušenja koja uzrokuju velika vremena čekanja i znatno utječu na okolnu prometnu mrežu* [5].

Za procjenu razine uslužnosti koristi se veličina prosječnog čekanja vozila-korisnika na raskrižju: d [s/voz]. Vrijednosti intervala prosječnog vremena čekanja u odnosu na razinu usluge na semaforiziranom raskrižju prikazane su u tablici 1.[5]:

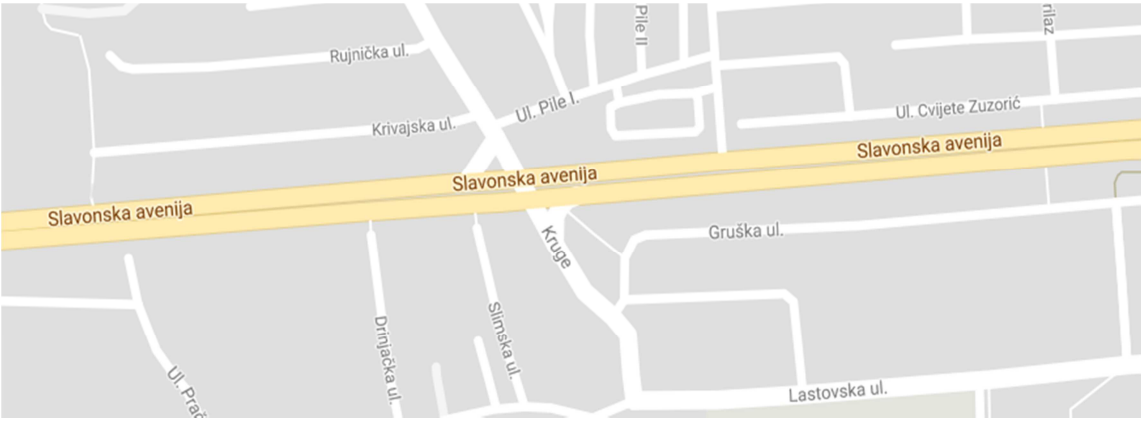
Tablica 1. Razina uslužnosti na semaforiziranom raskrižju

Razina uslužnosti	**Prosječno vrijeme čekanja d [s/voz]**
A	0 -10
B	> 10 - 20
C	> 20 – 35
D	> 35 – 55
E	> 55 – 80
F	> 80

4.1. Analiza stanja raskrižja

4.1.1. Raskrižje Slavonske avenije i ulice Kruge

Raskrižje Slavonske avenije i ulice Kruge (slika 1. i slika 2.) jedno je od opterećenijih križanja na ukupnoj dionici Slavonske avenije u vrijeme vršnih sati. Slavonska avenija proteže se u smjeru istok-zapad, a ulica Kruge pruža se u smjeru sjever-jug. Križanje je četverokrako izvedeno u jednoj razini. Slavonska avenija ima 4 prometne trake, jedna za lijevo skretanje, dvije za ravno i jedna za desno skretanje.



Slika 1. Prikaz raskrižja na karti grada Zagreba
Izvor: [10](30.08.2017)

Kruge na južnom dijelu u smjeru sjevera ima dvije trake za lijevo skretanje te jednu za ravno i desno, gdje je skretač odvojen fizički prometnim otokom i nije reguliran svjetlosnom signalizacijom. Na sjevernom dijelu, u smjeru kretanja prema jugu, postoje dvije prometne trake, jedna za lijevo skretanje i jedna za ravno i desno gdje je desni skretač također odvojen prometnim otokom, te ne ovisi o svjetlosnoj signalizaciji.

Slika 2. Satelitski prikaz raskrižja Slavonska avenija - Kruge
izvor: [10](30.08.2017)

Raskrižje je regulirano horizontalnom i vertikalnom signalizacijom, te svjetlosnom signalizacijom. Na svim privozima nalaze se pješački prelazi, a na Slavonskoj aveniji odmah poslije križanja nalaze se autobusne stanice u oba smjera.

4.1.2. Raskrižje Avenije Gojka Šuška i ulice Rudolfa Kolaka

Ulica Rudolfa Kolaka i avenija Gojka Šuška čine T – raskrižje (slika 3. i slika 4.) u istočnom dijelu grada Zagreba. Raskrižje se nalazi u Gornjoj Dubravi, sjeverno od okretišta Dubrava. Smjer kretanja vozila na aveniji je sjever-jug, dok je ulica Rudolfa Kolaka položena u smjeru zapad-istok, a vozila se kreću prema sjeveru ili jugu. Odmah poslije raskrižja avenije Gojka Šuška i ulice Rudolfa Kolaka nalazi se KBC Dubrava, a poslije bolnice na drugoj strani avenije nalazi se policijska akademija MUP-a RH.

Avenija Gojka Šuška i ulica Rudolfa Kolaka se koriste kod privremene regulacije prometa za vrijeme blagdana Svih Svetih, gdje se autobusna linija ZET-a 206, preusmjerava sa Avenije Dubrava-Grižanska na Aveniju Gojka Šuška-Ulica Rudolfa Kolaka. U to vrijeme je povećan broj autobusnih linija i promet se zbog trenutne situacije, za osobne automobile preusmjerava na druge ulice. Zbog toga što na raskrižju dolazi do zastoja i ometanja prolaska javnog prijevoza kroz raskrižje. Uzimajući u obzir prethodno navedene činjenice protočnost na raskrižju je potrebno povećati u odnosu na trenutnu situaciju.

Slika 3. Prikaz raskrižja na karti grada Zagreba
izvor: [10] (30.08.2017)

Na aveniji Gojka Šuška na prometnom toku koji se kreće prema sjeveru nalaze se tri prometne trake, od kojih dvije za ravno, jedna za desno skretanje, a kod jedne trake za ravno

je dozvoljeno polukružno okretanje vozila. U suprotnom toku nalaze se također tri prometne trake od kojih su dvije za smjer ravno i jedna za lijevo kod koje se vozila mogu također polukružno okretati.

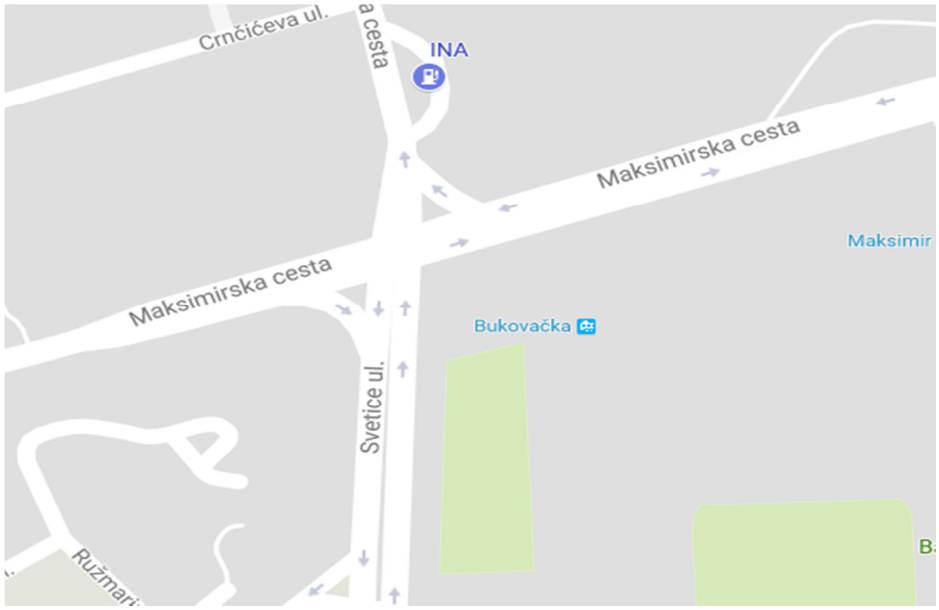
Ulica Rudolfa Kolaka ima četiri prometne trake, koje su podijeljene tako da dvije vode za desno u smjeru sjevera, a dvije za lijevo skretanje u smjeru juga. Suprotni tok koji vodi u smjeru istoka ima dvije prometne trake za ravno.

Slika 4. Satelitski prikaz raskrižja Avenija Gojka Šuška - Ulica Rudolfa Kolaka
izvor: [10] (30.08.2017)

4.1.3. Raskrižje Maksimirska cesta-Svetice ulica – Bukovačka cesta

Raskrižje se nalazi u naselju Maksimir (slika 5. i slika 6.), kod nogometnog stadiona GNK Dinamo. Bukovačka cesta je ulica koja se nastavlja na ulicu Svetice. Maksimirska cesta položena je u smjeru zapad-istok, a Bukovačka cesta/Svetice ulica sjever-jug. Bukovačka cesta spaja se na Maksimirsku cestu na sjevernom dijelu raskrižja, a ulica Svetice spajase sa Maksimirskom ceston na južnom dijelu.

U vrijeme vršnih perioda raskrižje je jako prometno, jer kroz njega osim osobnih automobila učestalo prolaze autobusi kojima se stajalište nalazi malo južnije od raskrižja na ulici Svetice, kao i 5 tramvajskih linija u oba smjera. Maksimirska cesta u smjeru zapada ima tri prometne trake te tramvajsku prugu, koja je omeđena žutim linijama i služi za vozila javnog gradskog prijevoza. Jedna traka je za desno skretanje koje je odvojeno otokom, te po jednu traku za ravno i lijevo, a isti slučaj je u smjeru istoka. Bukovačka cesta u smjeru juga ima tri prometne trake, od kojih je jedna za desni, jedna za lijevo i jedna za smjer ravno, dok u smjeru sjevera ima jednu traku za ravno i priključnu traku od desnih skretača sa Maksimirske ceste. Ulica Svetice u smjeru sjevera ima tri prometne trake, jednu za desno skretanje i dvije za ravno, a u smjeru juga dvije trake za ravno.



Slika 5. Prikaz raskrižja na karti grada Zagreba
izvor: [10] (30.08.2017)

Slika 6. Satelitski prikaz raskrižja Maksimirska cesa-Svetice ulica-Bukovačka cesta
izvor: [10] (30.08.2017)

4.2. Analiza prometnog toka

Analiza postojećeg stanja prometnog toka provodi se brojanjem prometa. Brojanje prometa je glavni ulazni podatak pri prometnom planiranju i projektiranju. Podaci dobiveni brojanjem prometa predstavljaju stvarnu sliku dinamike prometnog toka. Pomoću prikupljenih podataka je moguće odrediti buduće prometne pravce, rekonstrukcije prometne infrastrukture i reorganizaciju prometnog toka [6].

Brojanje prometa može se provoditi ručno, automatsko, kamerom, naplatno, itd. Najčešće se provodi ručnim brojanjem kao što je izvedeno na križanju Slavonske avenije i Kruga. Brojanje je provedeno u vršnom periodu od 07:30 – 08:30 za jutarnji vršni sat i 15:30-16:30 za popodnevni vršni sat. Dan koji je uzet kao reprezentativni za brojanje je ponedjeljak. Vozila su podijeljena u pet kategorija:

- Osobna vozila;
- Laka teretna vozila;
- Teška teretna vozila;
- Autobusi;
- Motocikli.

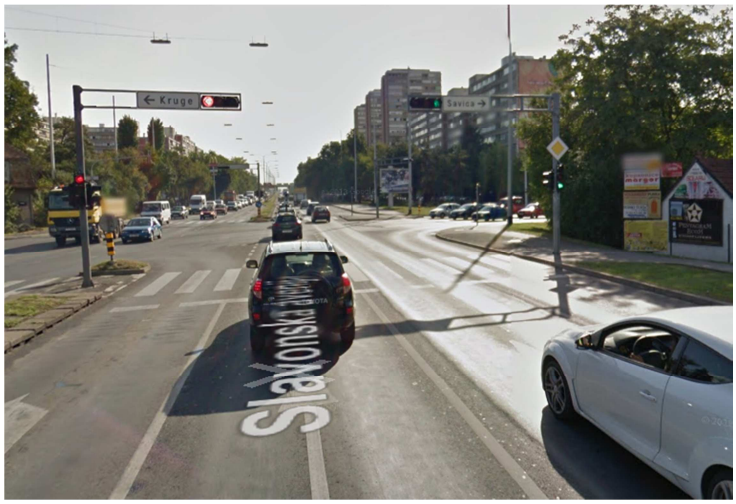
Kako bi se dobiveni podaci mogli usporediti, sve kategorije vozila moraju se svesti na ekvivalentne jedinice automobila. Svaka kategorija vozila ima svoj određeni koeficijent kojim se množi (tablica 2.) s ciljem svođenja na ekvivalentnu jedinicu osobnog automobila (EJA) [6].

Tablica 2. Ekvivalentne jedinice osobnog automobila

Kategorija vozila	Ekvivalent jedinice automobila (EJA)
Osobno vozilo	1
Teretno vozilo m < 5t	1,5
Teretno vozilo m > 5t	2.5
Autobus	2
Motocikl	0,7

Brojanje prometa provedeno je za četiri privoza. Na Slavonskoj aveniji nalaze se Istočni i Zapadni prometni tok. U istočnom prometnom toku (slika 7.) smjer kretanja vozila je prema zapadu za vozila koja idu ravno, a vozila koja skreću desno spajaju se na sjeverni prometni tok, dok vozila koja idu lijevo ulaze na južni prometni tok. Zapadni prometni tok (slika 8.) ima dvije trake za ravno kojima se vozila kreću u smjeru istoka, jednu traku za desno kojom vozila ulaze na južni prometni tok i traku za lijevo skretanje koja vodi na sjeverni prometni tok.

Slika 7. Istočni prometni tok
Izvor: [10] (30.08.2017)



Slika 8. Zapadni prometni tok
Izvor: [10] (30.08.2017)

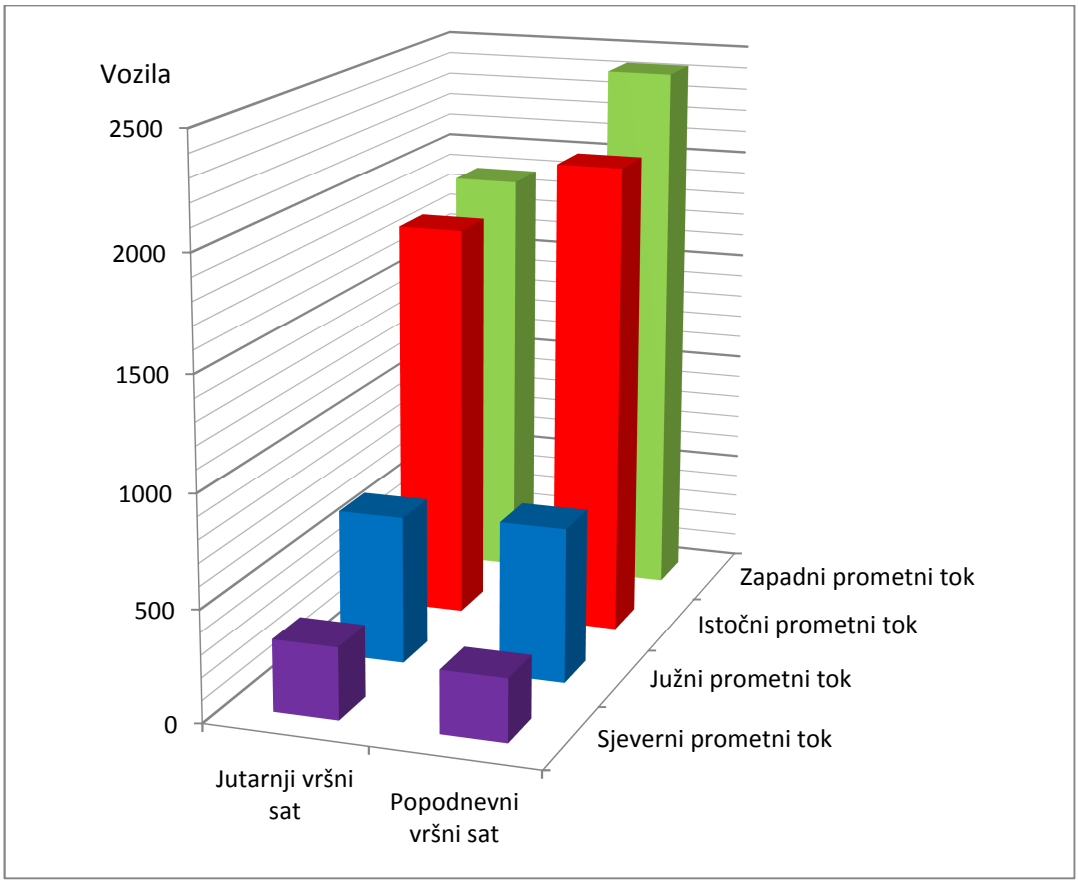
Ulica Kruge sastoji se od Sjevernog i Južnog prometnog toka. Sjeverni prometni tok (slika 9.) nalazi se sjeverno od Slavonske avenije. Vozila koja idu ravno idu prema jugu i ulaze u južni prometni tok, dok vozila koja skreću desno na Slavonsku aveniju kreću se prema zapadu. Vozila koja skreću lijevo, nakon skretanja idu po Slavonskoj aveniji prema istoku grada. Južni prometni tok (slika 10.) nalazi se na južnom dijelu raskrižja na kojem vozila koja idu desno, odnosno lijevo skreću na Slavonsku aveniju i idu u smjeru zapada ako su lijevi skretači, a u smjeru istoka ako su skrenuli desno. Vozila koja idu ravno ulaze na sjeverni prometni tok.

Slika 9. Sjeverni prometni tok
Izvor: [10] (30.08.2017)

Slika 10. Južni prometni tok
Izvor: [10] (30.08.2017)

Prema dobivenim podacima (grafikon 1.) može se vidjeti da Slavonskom avenijom prometuje i do 3 puta više vozila nego ulicom Kruge. Treba istaknuti da Slavnoskom avenijom pormetuju i teška teretna vozila, dok ulicom Kruge to nije slučaj. Značajnije prometovanje u ulici Kruge može se uočiti na južnom privozu, gdje je povećan broj vozila kod lijevih skretača. Međutim, na tom privozu ne prometuju teška teretna vozila.

Nakon što su se prikupili i obradili podaci od brojanja prometa, može se primjeti da sjeverni prometni tok ima puno više desnih skretača u odnosu na lijeve skretače i na vozila koja idu ravno. Na temelju dobivenih podataka sa brojanja može se procijeniti i prosječni godišnji dnevni promet (PGDP) na dotičnom križanju nakon što se uzme prometni tok koji je imao najviše vozila u satu i pomnoži sa koeficiojentom 13 (2 430 x 13) dobijemo da je PGDP 31 590.



Grafikon 1. Usporedba prometnih opterećenja

4.2. Primjena metoda za regulaciju prometnih tokova

Svako raskrižje specifično je zbog toga gdje je u prometnoj mreži smješteno. Zbog toga na raskrižje može utjecati cijeli niz faktora koji oblikuju prometovanje kroz njega. Od vrste motornih vozila koja ga koriste do okruženja u kojem se nalazi. Nalazi li se raskrižje u urbanom dijelu gdje prolazi javni gradski prijevoz, pješaci i biciklisti ili je pozicionirano na mirnijem dijelu grada gdje ga koriste samo osobna vozila. Svi ti slučajevi postavljaju određene uvijete kako prisptupiti rješavanju problema oko zagušenja na raskrižju.

4.2.1. Metoda horizontalne regulacije „Box junction“

Metoda je uvedena u Ujedinjenom Kraljevstvu 1967 godine., kao mjera kontrole i sprječavanja zagušenja na raskrižjima. Testirana je u Londonu (slika 11.), a zatim njena upotreba je počela diljem Ujedinjenog kraljevstva. Nakon toga počela se koristiti diljem svijeta: Cipar, Kanada, Hong Kong, Singapur, Srbija itd.

Slika 11. Prikaz horizontalnog označavanja raskrižja u u Londonu 1969. godine
Izvor: [10] (30.08.2017)

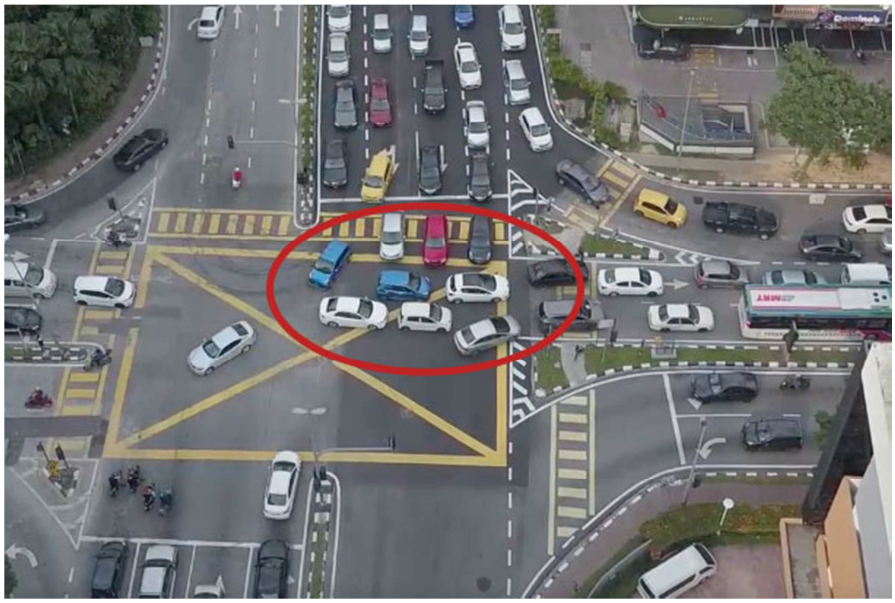
Za vozila koja se susretnu sa ovim oznakama na raskrižju (slika 13. i slika 14.) zakonom je propisano kako se moraju ponašati. Vozač koji uđe u raskrižje na područje koje je označeno žutim mrežastim kvadratom u prekršaju je kad se vozilo zaustavi unutar kvadrata ako je njegova putanja blokirana stacionarnim vozilom na prometnim trakom/vima iz suprotnog smjera ili na kolniku u željenom smjeru kretanja. Međutim, dozvoljeno je da se vozilo zaustavi unutar označenog prostora kada za vrijeme zelene faze vozač planira obaviti lijevo skretanje, te zbog prometa iz drugog smjera mora pričekati. Kao i kada se zaustavi u označenom prostoru dok čeka vozilo ispred sebe da napravi lijevo skretanje [8].

Označavanje kolnika žutim kvadratom namijenjeno je četverokokrakim raskrižjima u razini, dok se zakonom zabranjuje njihovo postavljanje na kružna raskrižja. osim u slučajevima ako se prilaz kružnom raskrižju ne kontrolira svjetlosnom signalizacijom, što je rijedak slučaj jer postavljanjem svjetlosne signalizacije na kružna raskrižja gubi njihov smisao. Da bi se postavile žute oznake na kolnik nije potrebno zakonsko odobrenje. No, trebalo bi se konzultirati sa policijskim službenicima o tome da li je na tom raskrižju zaista potrebno uvesti oznake na kolnik. Pozitivne strane ove metode su što u svim zemljama gdje se koristi, mogu se primjetiti poboljšanja na raskrižjima gdje je metoda implementirana. Kao što su smanjeni repovi vozila koja ostanu u raskrižju nakon isteka zelene faze i smanjen broj automobilskih nesreća koje uključuju pješake.

Treba napomenuti da žute oznake na kolniku nisu zamjena za prometnu signalizaciju, nego samo nadopuna na postojeću. Najbolje ih je postaviti na raskrižja koja su kontrolirana svjetlosnom signalizacijom, a imaju problem da tokom dana dolazi do zastoja prometa zbog zagušenja na raskrižju. Pojedine zemlje (kao Ujedinjeno Kraljevstvo) koje koriste metodu

označivanja kolnika uvele su i pravilnike za njihovu primjenu, te prije postavljanja potrebno je obaviti određena istraživanja. Nebi li se pronašlo neku alternativnu metodu koja bi mogla biti efikasnija od postavljanja žutih oznaka na kolnik (kao usklađivanje svjetlosne signalizacije na toj dionici, premještanje tramvajskih/autobusnih postaja itd.) [8].

Na slici 12. prikazan je primjer vozila koja se nalaze u nedozovljenoj situaciji. U ovom slučaju vozila iz dva prometna toka napravila su prekršaj zbog toga što vozila koja se kreću prema istoku su ušla u raskrižje, a nisu imala mogućnost normalnog prolaska kroz njih i nakon isteka zelene faze i dalje se nalaze u raskrižju.



Slika 12. Primjer vozila u prekršaju
izvor: [12] (30.08.2017)

Kada se upalila zelena faza za drugi prometni tok, makar nemaju prolaz kroz raskrižje vozila iz tog prometnog toka također su ušla u raskrižje i time su stvorili zastoj. U tom trenutku, kamere koje su postavljene da snimaju raskrižje, snime registarske oznake vozila i vozačima dolaze kazne na kućnu adresu.

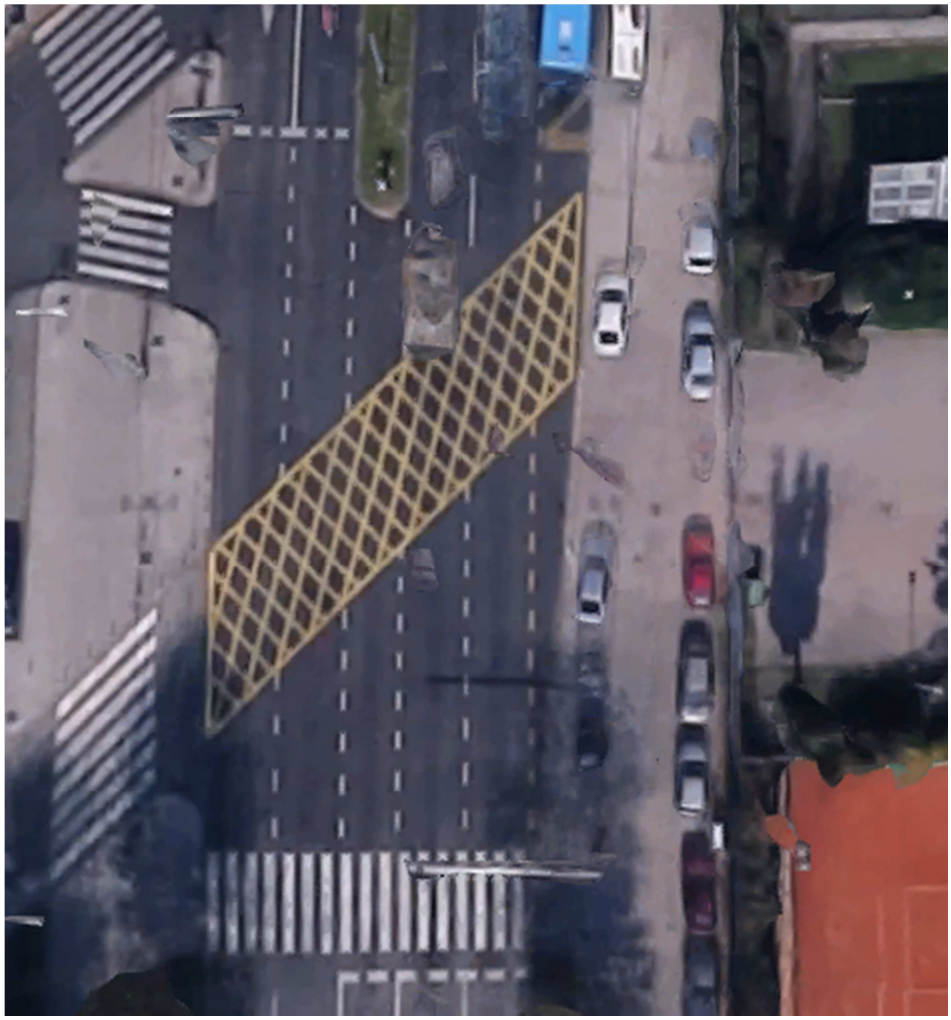
Slika 13. Prvi tip znaka za raskrižje na kojem se koristi "Box Junction

izvor: [11] (30.08.2017)

Slika 14. Vertikalna signalizacija (Tip II)
izvor: [12] (30.08.2017)

U Fullhamu prema članku portala „getwestlondon“ koji je pisao o „Box Junctionu“ vozači su se žalili na tu metodu, te su je nazivali „Money-box junction“ jer su gradske vlasti od 2010. godini do 2016. godine naplatile 12 milijuna funti, a u zadnjih 18 mjeseci izdali kazni u vrijednosti od 2,4 milijuna funti. Govoreći kako ciklusi na semaforima nisu dobro napravljeni te je doslovno prolaz kroz ta raskrižja „ruski rulet“. Dok gradske vlasti poriču malverzacije oko ciklusa kod svjetlosne signalizacije kao i bilo kakve druge negativne strane ove metode. Još ističu da se svake godine, osim što se povećala protočnost vozila na raskrižjima gdje su postavljene oznake, smanjuje i broj vozača koji pokušavaju proći raskrižje unatoč tome što im je blokiran izlazak.

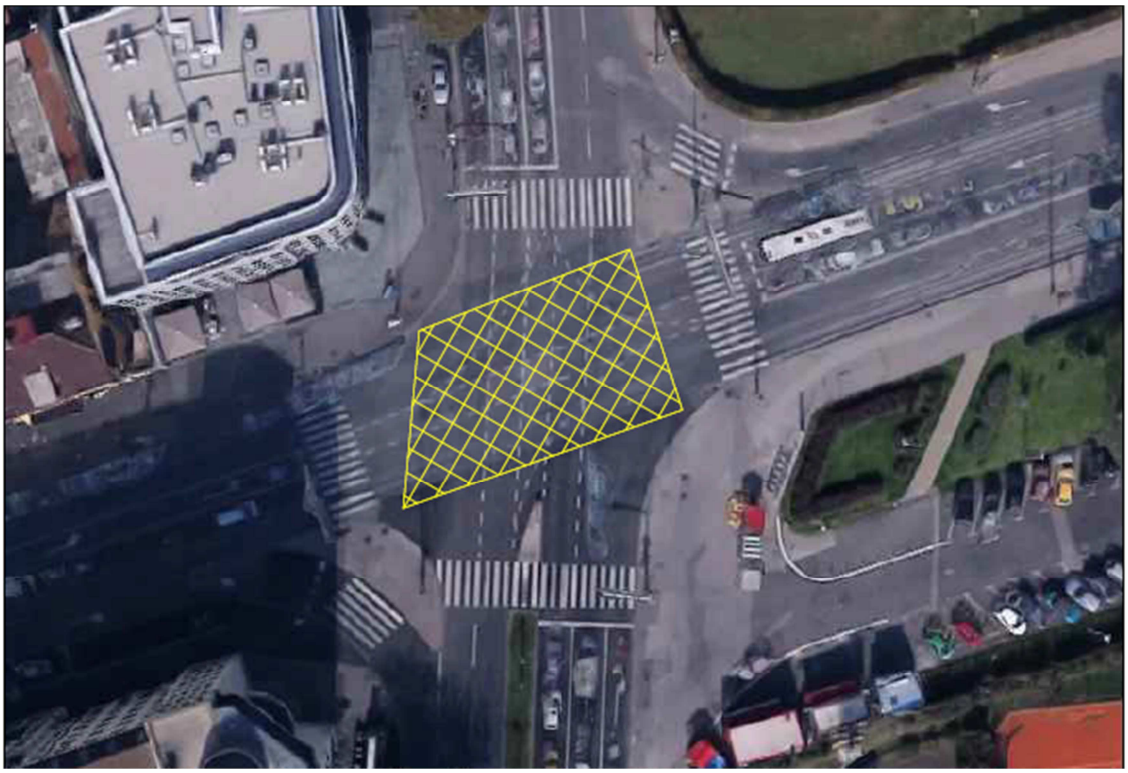
U Zagrebu se koristi u ulici Svetice (slika 15.) iz koje se skreće na Kenedyev trg (iza Ekonomskog fakulteta). Međutim od kad je horizontalna signalizacija postavljena vozači u velikom broju ne poštuju žuti kvadrat. Dijelom iz neznanja, a dijelom zbog toga jer se ne kontrolira od strane gradskih vlasti da li je vozilo ostalo u raskrižju. Stoga vozače ako i ostanu unutar kvadrata ne očekuju nikakve kazne.



Slika 15. Prikaz "Junction Box-a" u Zagrebu
Izvor: [10] (30.08.2017)

Također, jedan od razloga je što do zagušenja i slučaja da vozilo ostane u raskrižju nakon zelene faze ne dolazi na ovom raskrižju, nego na raskrižju Maksimirske ceste-Bukovačke ceste-Svetice ulice. U vršnom periodu veći broj vozila ide u smjeru sjevera, dok tek neznatan broj vozila skreće lijevo. A vozila koja ostanu u žutom kvadratu ne utječu na odvijanje prometa za vozila koja se priključuju sa okolnih ulica.

Najveći problem kod tog raskrižja je da u vrijeme vršnih perioda, vozači pokušavaju proći raskrižje makar nemaju tu mogućnost. Tada dolazi do zastoja i kolapsa na raskrižju gdje vozila po desetak minuta ne mogu proći. S time da ne samo da blokiraju prolazak osobnih automobila nego zaustavljaju protok javnog gradskog prijevoza, posebice tramvajskih vozila.



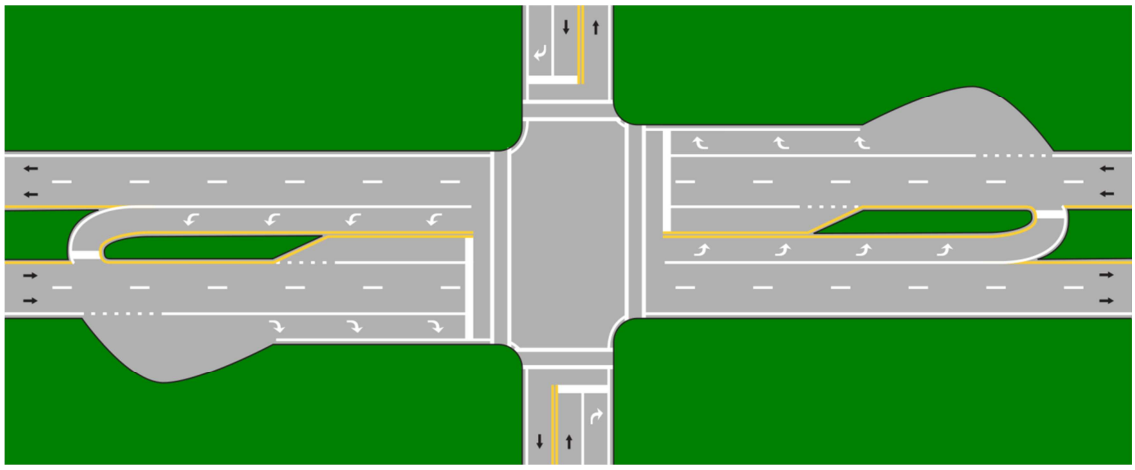
Slika 16. Implementacija "junction Box-a " na Maksimirskoj ulici
Izvor: [10] (30.08.2017)

Osim što ovo raskrižje koristi veći broj motornih vozila, također koristi ga i veliki broj pješaka i biciklista. Maksimirskom cestom prolaze tramvajske linije koje su jedina poveznica sa istočnim gradom. Stoga na tom dijelu postoji mogućnost za prometne nezgode koje uključuju pješake i bicikliste kada vozači pokušavaju na brzinu proći nakon isteka zelene faze. Šrafirano područje (slika 16.) postavljeno je da prilikom vršnih perioda kada dođe do zagušenja na raskrižju vozila ne ometaju javni gradski prijevoz. Tako da žuta traka je slobodna za prolazak vozila kada im je upaljena zelena faza. U slučaju da vozilo ostane unutar raskrižja nakon zelene faze bilo bi kažnjeno. Vozila bi se regulirala kamerama koje su postavljene oko raskrižja i koje bi bile nadzirane od strane gradskih pravnih tijela. Nakon što kamere snime registarske oznake poštom bi kazne stizale na kućnu adresu vlasnika vozila. Pješaci i biciklisti imaju bolji pregled kod prelaska i veću sigurnost. Ovom jednostavnom metodom kotrole ulaska u raskrižje, protočnost bi se trebala povećati, a zastoji na raskrižju potpuno eliminirati.

4.2.2. Metoda zabrane lijevog skretanja

Osnovni koncept metode je da vozača spriječi da radi lijeva skretanja na raskrižjima. Ova metoda ima više načina primjene, ovisno o raskrižju, količini vozila koja prolaze i prostorom oko njega na kojem se može izvesti rekonstrukcija. U radu će se analizirati vrsta zabrane lijevih skretanja tzv. „Michigan left“ način gdje se vozači polukružno okreću na glavnoj cesti i način u kojem se promet preusmjerava sporednim ulicama. Metoda „Michigan

left“ u kojoj se koriste polukružna okretanja (slika 17.) izvedeno je tako da ako vozač namjerava skrenuti lijevo na raskrižju, prvo treba proći raskrižje i onda napraviti polukružno okretanje na za to predviđenom mjestu. Ili u slučaju da vozilo dolazi sa sporedne ceste, prvo skreće desno na glavnu na kojoj se polukružno okreće i nastavlja voziti ravno po glavnoj cesti ili skrenuti desno. Na svakom privozu kada vozilo dolazi do raskrižja gdje se koristi ova metoda potrebno je postaviti odgovarajuću vertikalnu oznaku (slika 18.) koja će vozača pravovremeno obavijestiti da na raskrižje na koje dolazi je zabranjeno lijevo skretanje.



Slika 17. Prikaz raskrižja na kojemu se primjenjuje zabrana lijevog skretanja
Izvor: [13] (30.08.2017)

Prema podacima sa službene stranice vlade države Michigan, navodi se da prema istraživanjima i iskustvima prometnih službenika i stručnjaka ovakav način regulacije prometnih tokova dovodi do smanjenja zagušenja i povećanja sigurnosti u vožnji, tako što se sa tom metodom smanjuje broj težih prometnih nezgoda. U to može uračunati i smanjeni broj vozila koja čekaju lijevo skretanje te povećanje protočnosti u odnosu na broj vozila koja su radila direktna lijeva skretanja i to za 20-50%.

Pozitivna strana metode je što nema velikih mana kod primjene. Može se integrirati na bilo koje raskrižje na kojem ima prostora za rekonstrukciju odnosno primjenu. Isto se može koristiti kod bilo koje veličine raskrižja i neovisno o propusnosti. Jedini problem koji treba istaknuti javlja se tijekom zime kod zaleđenih kolnika, gdje na mjestu za polukružno okretanje dolazi do proklizavanja vozila, te manjih šteta.

Slika 18. Dvije vrste oznaka za raskrižje na kojem je zabranjeno lijevo skretanje
Izvor: [14] (30.08.2017)

Treba istaknuti da Michigan left najviše dolazi do izražaja kod većih raskrižja gdje je povećan broj lijevih skretača, naravno to ne znači da ta metode neće imati koristi kod primjene na manjim raskrižjima. Međutim, značajno povećanje propusnosti i smanjenje nezgoda može se vidjeti na raskrižjima kroz koja prolazi veći broj motornih vozila.

Kod aplikacije metode „Michigan left“ na raskrižju Slavonske avenije i Kruge (slika 19.) nije potrebno izvoditi velike radove na raskrižju. Metoda je izvediva unutar postojećih gabarita raskrižja, no potrebno je preurediti razdjelne otoke između zapadnog i istočnog prometnog toka za polukružna okretanja. Kao i proširiti južni prometni tok, tako da se traka za lijevo prenamijeni u traku za desno skretanje, a razdjelni otok prilagodi trenutnoj situaciji sa dva prometna traka za desno i jednim prometnim trakom za ravno. Pošto se brojanjem prometa utvrdilo da na južnom prometnom toku veći broj vozila izvodi lijeva skretanja, a sa trenutnom situacijom stvarali su se repovi čekanja. Na zapadnom prometnom toku nakon raskrižja u smjeru istoka bi dvije trake vodile za ravno, a dvije za polukružno okretanje na istočni prometni tok, gdje dvije trake i dalje ostaju za ravno i jedna za desno skretanje. Na tom dijelu potrebno je prilagoditi rubni kolnik proširivanjem tako da vozila imaju dovoljno mjesta za polukružno okretanje i priključivanje u promet

Slika 19. Prilog 1. Primjer metode "Michigan left" na raskrižju Slavonska avenija-Kruge
izvor: [10] (30.08.2017)

Nakon raskrižja na istočnom prometnom toku u smjeru zapada, dvije trake vode u smjeru ravno i jedna priključna traka od desnih skretača sa sjevernog prometnog toka. Na tom dijelu potrebno je jednu traku dodati i namijeniti u traku za polukružno okretanje. Također na ovom polukružnom okretanju rubni kolnik na zapadnom prometnom toku treba proširiti za vozila kako bi mogla neometano skrenuti. Kod mjesta gdje se vozilo treba polukružno okrenuti, promet iz suprotnog smjera regulira se svjetlosnom signalizacijom kako bi se dalo dovoljno vremena da vozila naprave skretanje.

Drugi način primjene metode zabrane lijevih skretanja je preusmjeravanjem prometa. Ovaj podhvat je malo kompliciraniji jer traži veći prostor na kojem bi se mogao napraviti. Kod rekonstrukcije raskrižja ovakvog tipa potrebno je prvo vidjeti da li je moguće to izvesti. Treba provjeriti mogu li sporedne ulice preuzeti promet na sebe i mogu li se neometano kretati vozila. Ova metoda je implementirana na raskrižje Slavonske avenije i ulice Kruge.

Pošto u vrijeme vršnog perioda ovim raskrižjem prolazi veliki broj vozila, potrebno je istražiti više rješenja te pronaći ono optimalno uzimajući u obzir kriterije koji su ranije navedeni kod rekonstrukcija i planiranja raskrižja.

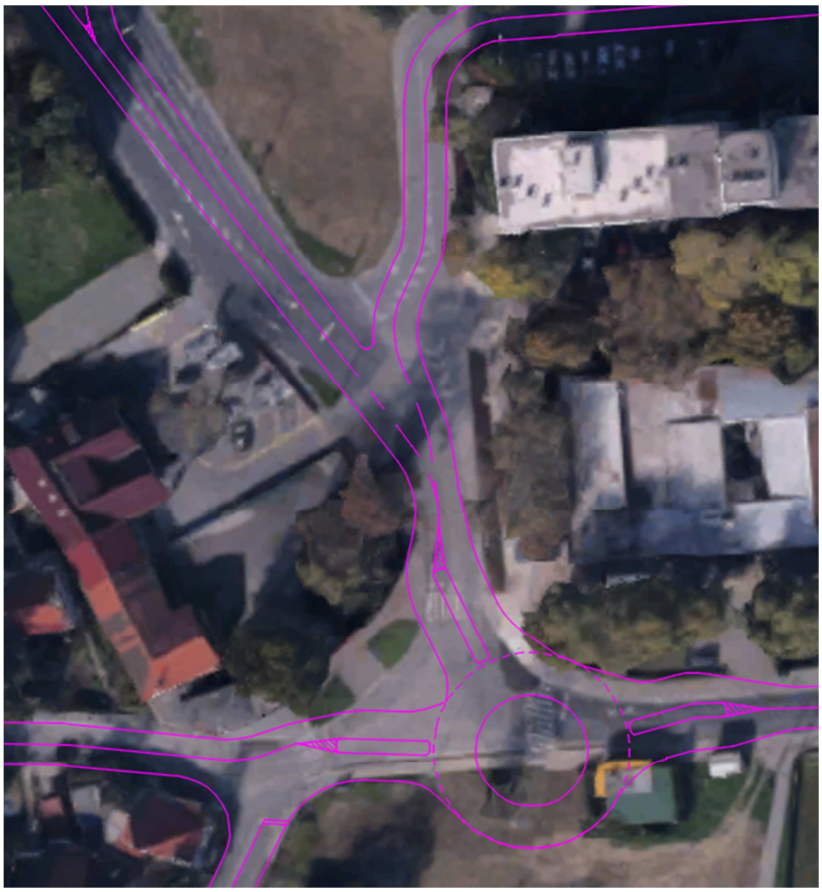
Izvedeno je tako da se na križanje Drinske ulice –Križne ceste – Lastovske ulice postavi mini urbano kružno raskrižje (slika 20.). Da se Križna cesta koja je prethodno ulazila u raskrižje preusmjeri da se spaja u Drinsku ulicu koja ima prilaz kružnom raskrižju, kao i Lastovska ulica i Ulica Kruge. Ulica Kruge se prema južnom toku na raskrižju razdvaja na Grušku ulicu koja služi za preusmjeravanje vozila koja su planirala ići ravno ili skrenuti lijevo na raskrižju Slavonske avenije i ulice Kruge.

Mini urbana kružna raskrižja namijenjena su za urbane sredine s namjerom smirivanja prometa. Očekuje se prosječna brzina vožnje od oko 25 km/h, a postavljaju se na prostorima gdje je okvirni kapacitet do 10 000 voz/dan. Zbog malih dimenzija takvih tipova kružnih raskrižja, razdjelni otoci mogu biti montažni, općenito dimenzije su manje od najmanjih dopuštenih dimenzija za mala i srednje velika kružna raskrižja. *„U usporedbi sa drugim nesemaforiziranim raskrižjem, mini kružno raskrižje ima u pravilu, veću propusnu moć i zantno veći stupanj prometne sigurnosti svih sudionika u prometu, a ujedno i manje troškove izvedbe“* [8].

Pozitivna strana kružnih raskrižja je što se drastično smanjuje broj konfliktnih točaka na raskrižju. Dok klasično četverokrako raskrižje ima 32. potencijalne konfliktne točke (16 križanja, 8 izlijevanja i 8 ulijevanja) , a četverokrako kružno raskrižje sa jednim trakom ima 8 potencijalnih konfliktnih točaka (4 ulijevanja i 4 izlijevanja). Prometna sigurnost nemotoriziranih sudionika, pješaka i biciklista u zoni kružnog raskrižja ovise isključivo o pravilnoj izvedbi raskrižja gdje je omogućena kvalitetna preglednost i pravilno postavljeni prelazi gdje su pješaci i biciklisti dijelom zaštićeni razdjelnim otokom.

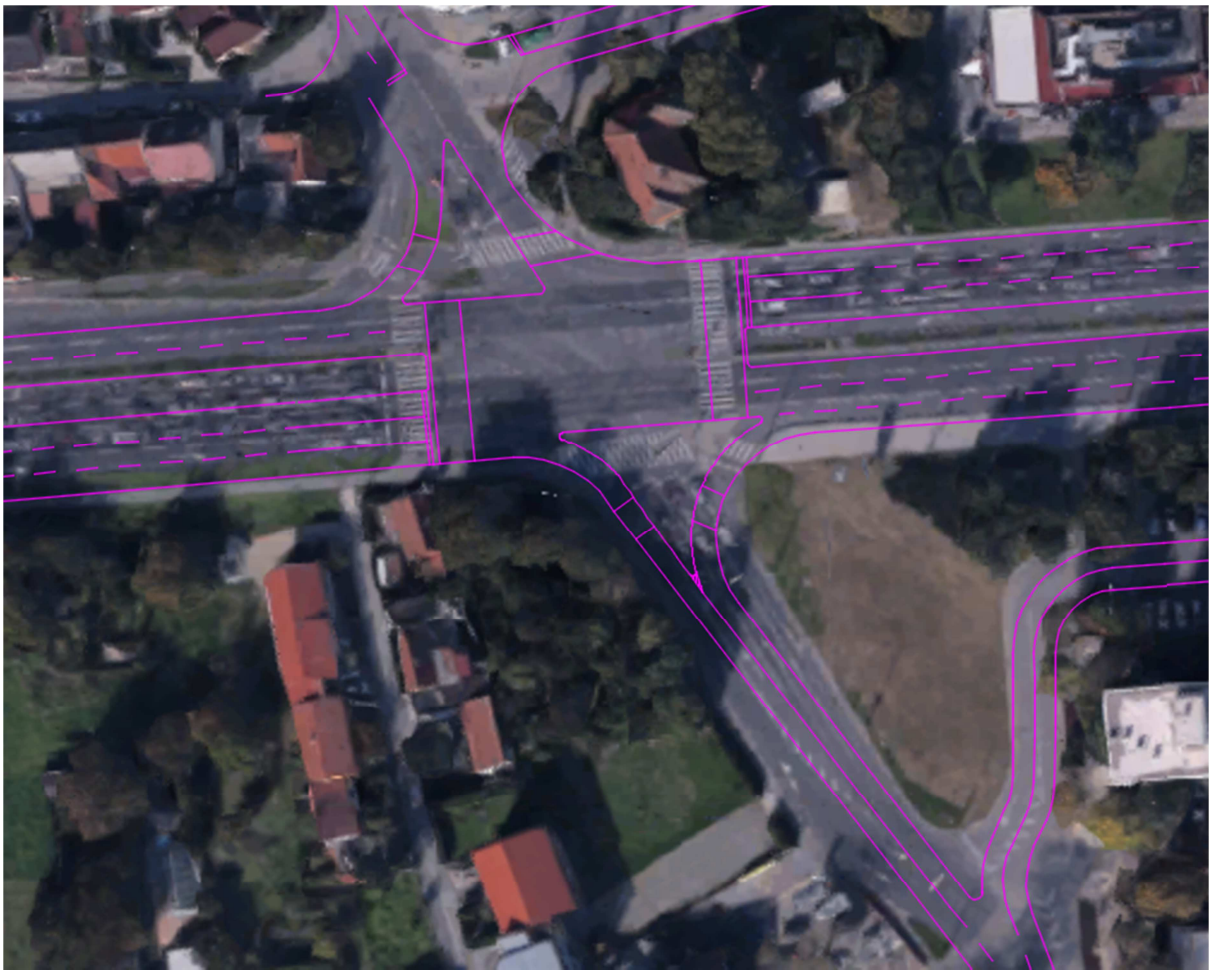
Negativna strana kružnih raskrižja je što se u njima javlja nekoliko vrsta prometnih nesreća koje nisu karakteristične običnim tipovima raskrižja, a posljedice prometnih nezgoda koje se događaju u kružnim raskrižjima razlikuju se od onih na klasičnim raskrižjima. Prometne nezgode u kružnim raskrižjima uglavnom su bez smrtno stradalih i teže ozlijeđenih osoba, gdje vozila i vozači imaju lakše posljedice od onih na običnim raskrižjima. To treba pripisati tome što su sa na kružnim raskrižjima izbjegnuti čeoni sudari kod kojih su najteže posljedice. U njima se događaju sudari gdje vozila nalijeću sa stražnje strane ili bočni sudari pod oštrim kutom [8].

Implementacijom metode zabrane lijevih skretača sa preusmjeravanjem prometa okolnim cestama potrebno je napraviti neka preuređenja na četverokrakom raskrižju Slavonske avenije i ulice Kruge Slika 21.). Preusmjeravanje prometa bi utjecalo na zapadni i istočni prometni tok tako da se trake za lijeve skretače maknu i na tom dijelu bi se proširio razdjelni otok, koji je prije rekonstrukcije tog križanja bio manji jer je postojala dodatna traka za lijeve skretače. Trake za vozila koja idu ravno i za desne skretače ne treba mijenjati niti prilagođavati. Na sjevernom prometnom toku miče se traka za lijeve skretače i traka za smjer ravno, dok traka za desne skretače ostaje, ali je treba prilagoditi. Pošto se uklanjaju dvije trake od smjera za ravno i za lijevo, prilaz sjevernom toku sa Slavonske avenije je potrebno smanjiti. Ideja je da se proširi kolnik za pješake i bicikliste između razdijelnog otoka i desnih skretača i da se razdijelni otok prilagodi tako da ostane samo traka za desne skretače sa Slavonske avenije.



Slika 20. Prilog 2. Rekonstrukcija prilaza južnom prometnom toku
izvor: [10] (30.08.2017)

Poviše na sjevernom toku bila bi traka za lijeve skretače koja je namijenjena za vozila koja planiraju ići prema južnom toku u ulicu Kruge ili za vozila koja su željela skrenuti lijevo na Slavonsku aveniju. Za njih je predviđeno da skrenu u Ulicu Pile I. koja ih vodi novom rutom do Ulice Cvijete Zuzorić. Traka za desne skretače ostaje, ali je pomaknuta zbog proširenja kolnika za pješake i bicikliste. Za južni prometni tok predviđene su iste promjene. Zbog uklanjanja trake za lijeve skretače i trake za smjer ravno, prilaz južnom toku se smanjuje. Tako da ostaje jedna traka od desnih skretača za vozila koja skreću sa Slavonske avenije u ulicu Kruge i jedna traka od desnih skretača koji idu iz ulice Kruge na Slavonsku aveniju. Razdijeli otok se proširuje i prilagođava novonastaloj situaciji.



Slika 21. Prilog 3. Rekonstrukcija raskrižja Slavonska avenija - Kruge
izvor: [10] (30.08.2017)

Za vozače koji su planirali lijevo skrenuti sa južnog prometnog toka na Slavonsku aveniju predviđena je nova ruta kretanja (slika 22.). Nakon prolaska kroz kružno raskrižje koje je postavljeno niže od južnog prometnog toka nastavljaju u Grušku ulicu, koja ih vodi do podvožnjaka. Na mjestu gdje bi se trebao nalaziti podvožnjak za automobile, trenutno se nalazi pothodnik za pješake. Taj pothodnik prema prijedlogu treba prenamijeniti u podvožnjak kojim bi vozila prešla na sjevernu stranu Slavonske avenije. Sjeverno od Slavonske avenije priključuju se u Ulicu Cvijete Zuzorić. Ulicom nastavljaju u smjeru zapada do prvog mogućeg desnog skretanja. Ako vozači ne skrenu desno ravno se nalazi slijepa ulica, koju dijeli par metara od spajanja sa dijelom ulice koja se spaja na Slavonsku aveniju.

Međutim u tom slučaju se ne može osigurati dovoljan prostor za skretanje većih vozila. Nako što vozači skrenu desno, idu ravno do raskrižja Ulie Pile I. i Ulice Cvijete Zuzorić. Na tom raskrižju ako se žele priključiti na Slavonsku aveniju, skreću lijevo, a ako su željeli doći do sjevernog prometnog toka idu u smjeru ravno. Makar ovaj prijedlog od vozača zahtijeva da idu dužim putem nego bi to u trenutnoj situaciji bilo, istraživanja prometnih stručnjaka pokazala su da je vrijeme putovanja u nekim slučajevima čak i kraće.

Slika 22. Prilog 4. Prijedlog nove rute kretanja vozila
izvor: [10] (30.08.2017)

Treći način primjene zabrane lijevih skretanja je potpuna rekonstrukcija raskrižja. Tako da se lijevi skretači odvajaju posebnim prometnim trakom koji se rampom spušta da vozila mogu proći ispod nadvožnjaka i broj presijecanja se svodi na jedno. Ovaj način primjene metode zabrane lijevih skretača je iskorišten na T-križanju Avenije Gojka Šuška i ulice Rudolfa Kolaka (slika 23.).

Avenija Gojka Šuška odvojena tako da se izgradi nadvožnjak koji bi omogućio neometan prolaz vozilima koja se kreću dvjema trakama ravno u smjeru sjevera. Nadvožnjak kojom prolazi avenija Gojka Šuška nalazi se od donjeg ruba konstrukcije na 4,5 metara visine, što omogućuje većim vozilima prolazak ispod nadvožnjaka. Desni skretači imaju odvojene dvije trake koje se spuštaju rampom koja je pod nagibo od pet posto i regulirane su vertikalnom signalizacijom kao sporedna cesta te se priključuju na dvije trake za ravno na ulici Rudolfa Kolaka. Vozila koja se kreću od sjevera prema jugu, a žele skrenuti lijevo iz avenije Gojka Šuška spuštaju se odvojenom trakom po rampi koja je regulirana svjetlosnom signalizacijom. Prometna traka prolazi ispod nadvožnjaka i spaja sa ulicom Rudolfa Kolaka. Vozači koji se kreću ulicom Rudolfa Kolaka i žele skrenuti desno, penju se odvojenom trakom na rampi koja se spaja sa avenijom Gojka Šuška. A vozila koja se žele spojiti sa avenijom u smjeru juga, imaju dvije trake koje su regulirane svjetlosnom signalizacijom. Prometne trake prolaze ispod nadvožnjaka te se nastavljaju na rampu koja ih spaja sa avenijom Gojka Šuška.

Slika 23. Prilog 5. Rekonstrukcija T-raskrižja
izvor: [10] (30.08.2017)

5. ZAKLJUČAK

Raskrižja se mogu mogu opisati kao točke u mreži prometnica gdje se prometni tokovi spajaju ili razdvajaju. Zbog svih prometnih radnji koje se odvijaju u njima kao i konflikti koji se mogu javiti, u raskrižja su naglašeni problemi sigurnosti prometa i propusne moći. Javljaju se u više oblika i vrsta.

Da bi mogli pristupiti rješavanju problema kod smanjenja propusne moći i sigurnosti na raskrižju moramo definirat neke od osnovnih parametara i značajki. Kada se ti podaci pribave dobit ćemo objektivnu sliku stanja na temelju tih podataka. Imajući to u vidu možemo pristupiti problemu rješavanja problematičnih situacija na raskrižju zbog kojih dolazi do zagušenja i smanjenja propusne moći.

U ovom radu korištene su metode regulacije prometnih tokova koje se u Americi i Europi koriste par desetljeća, a kod nas nemaju veliku i značajniju primjenu. Neke od njih zahtijevaju veće izmjene na raskrižjima od građevinskih zahvata do preusmjeravanja prometa okolnim cestama, dok ima i manje agresivnih metoda koje jednostavnim označivanjem kolnika daju vrlo dobre rezultate.

Metoda zabrane lijevih skretanja implementirana je na raskrižje Slavonske avenije i ulice Kruge. Predložena je kroz tri načina regulacije prometnih tokova. Prvi slučaj koji se može nazvati i jednostavnijim zbog toga što ne zahtijeva veće građevinske radove je metoda „Michigan left“. Kojom se postavljanjem razdijelnih otoka prilagođenim za polukružno okretanje vozilima omogućava manje zahtijevan prolazak kroz raskrižje. Gdje se smanjuje broj presijecanja i uklanjaju čekanja na lijevo skretanje koja mogu izazvati zastoje. Tim što je uklonjeno zadržavanje povećava se protočnost vozila i smanjuju zagađenja okoliša zbog ispušnih plinova. Drugi način je u radu prikazan kroz preusmjeravanje prometa sa sporednih privoza na okolne ceste. I time se potpuno uklanja dio vozila koja prolaze raskrižjem. Na taj način dobili smo veću protočnost vozila glavnom cestom, reducirali drastično broj presijecanja što dovodi do toga da smo smanjili i vjerovatnost prometnih nezgoda. Preusmjeravanjem na okolne ceste također je uklonjeno čekanje i stvaranje repova vozila na semaforu što omogućava kraće vrijeme putovanja unatoč dužoj ruti kretanja. Isti efekt postignut je i na križanju avenije Gojka Šuška i ulice Rudolfa Kolaka na kojem su denivelirane prometnice kako bi se glavnoj cesti omogućio neometano prometovanje a sporednim cestama lakše i brže uključivanje na glavnu cestu.

Metodom označivanja kolnika žutim oznakama dan je prijedlog regulacije prometa na raskrižju Maksimirske ceste-ulice Svetice-Bukovačke ceste. U kojoj bi zabranom ulaska u raskrižje ako se kroz njega ne može proći u zelenoj fazi semafora vozače kažnjavalo, što dovodi do veće opreznosti prilikom prilaska raskrižju i smanjenja mogućnosti prometnih nezgoda i zagušenja. U tom slučaju javni prijevoz bi mogao neometano prometovati kroz vršne periode jer bi se kroz raskrižja tokom cijelog dana moglo prolaziti bez zastoja.

LITERATURA

[1] Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: TEORIJA PROMETNOG TOKA , Fakultet prometnih zanosti, Zagreb,2014.

[2] City of Farmington Hills, Michigan (October 18, 2001). "Minutes, Planning Commission Public Hearing, September 20, 2001" (PDF). City of Farmington Hills, Michigan. Archived from the original (PDF) on September 27, 2007.

[3] Hughes, Warren; Chappell, Debra; Chen, Shyuan-Ren (Clayton) (January 2005). "Geometric Design Treatments". Innovative Intersection Safety Improvement Strategies and Management Practices: A Domestic Scan. Federal Highway Administration.

[4] Indiana Department of Transportation. "Traffic Operations: Median U-Turns". Indiana Department of Transportation.

[5] Legac, I. i koautori: GRADSKE PROMETNICE, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.

[6] Slavulj, M.: Brojanje prometa, prezentacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.

[7] Department for Transport, Traffic signs manual chapter 5 road markings (2003) URL: https://www.gov.uk/government/publications/traffic-signs-manual (pristupljeno: kolovoz 2017.)

[8] Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, SMJERNICE ZA PROJEKTIRANJE KRUŽNIH RASKRIŽJA NA DRŽAVNIM CESTAMA, Rijeka , srpanj 2014.

[9] URL: https://www.google.hr/maps (pristupljeno: kolovoz 2017.)

[10] URL: http://says.com/my/news/traffic-jam-damansara-perdana (pristupljeno: kolovoz 2017.)

[11] URL: http://lbbspending.blogspot.hr/2016/06/yellowboxfever.html (pristupljeno: kolovoz 2017.)

[12] URL: http://feellikeyoubelong.com/blog/2013/02/05/getting-comfortable-in-michigan-chapter-two-making-left-hand-turns (pristupljeno: kolovoz 2017.)

[13] URL: http://www.michiganhighways.org/indepth/michigan_left.html (pristupljeno: kolovoz 2017.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz raskrižja na karti grada Zagreba 11
Slika 2. Satelitski prikaz raskrižja Slavonska avenija - Kruge 11
Slika 3. Prikaz raskrižja na karti grada Zagreba 12
Slika 4. Satelitski prikaz raskrižja Avenija Gojka Šuška - Ulica Rudolfa Kolaka 13
Slika 5. Prikaz raskrižja na karti grada Zagreba 14
Slika 6. Satelitski prikaz raskrižja Maksimirska cesa-Svetice ulica-Bukovačka cesta 14
Slika 7. Istočni prometni tok 16
Slika 8. Zapadni prometni tok 16
Slika 9. Sjeverni prometni tok 17
Slika 10. Južni prometni tok 17
Slika 11. Prikaz horizontalnog označavanja raskrižja u u Londonu 1969. godine 19
Slika 12. Primjer vozila u prekršaju 20
Slika 13. Prvi tip znaka za raskrižje na kojem se koristi "Box Junction 20
Slika 14. Vertikalna signalizacija (Tip II) 21
Slika 15. Prikaz "Junction Box-a" u Zagrebu 22
Slika 16. Implementacija "junction Box-a " na Maksimirskoj ulici 23
Slika 17. Prikaz raskrižja na kojemu se primjenjuje zabrana lijevog skretanja 24
Slika 18. Dvije vrste oznaka za raskrižje na kojem je zabranjeno lijevo skretanje 25
Slika 19. Prilog 1. Primjer metode "Michigan left" na raskrižju Slavonska avenija-Kruge 26
Slika 20. Prilog 2. Rekonstrukcija prilaza južnom prometnom toku 28
Slika 21. Prilog 3. Rekonstrukcija raskrižja Slavonska avenija - Kruge 29
Slika 22. Prilog 4. Prijedlog nove rute kretanja vozila 30
Slika 23. Prilog 5. Rekonstrukcija T-raskrižja 31

POPIS GRAFIKONA I TABLICA

Grafikoni

Grafikon 1. Usporedba prometnih opterećenja 18

Tablice

Tablica 1. Razina uslužnosti na semaforiziranom raskrižju 10
Tablica 2. Ekvivalentne jedinice osobnog automobila 15

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Primjer metode "Michigan left" na raskrižju Slavonska avenija-Kruge

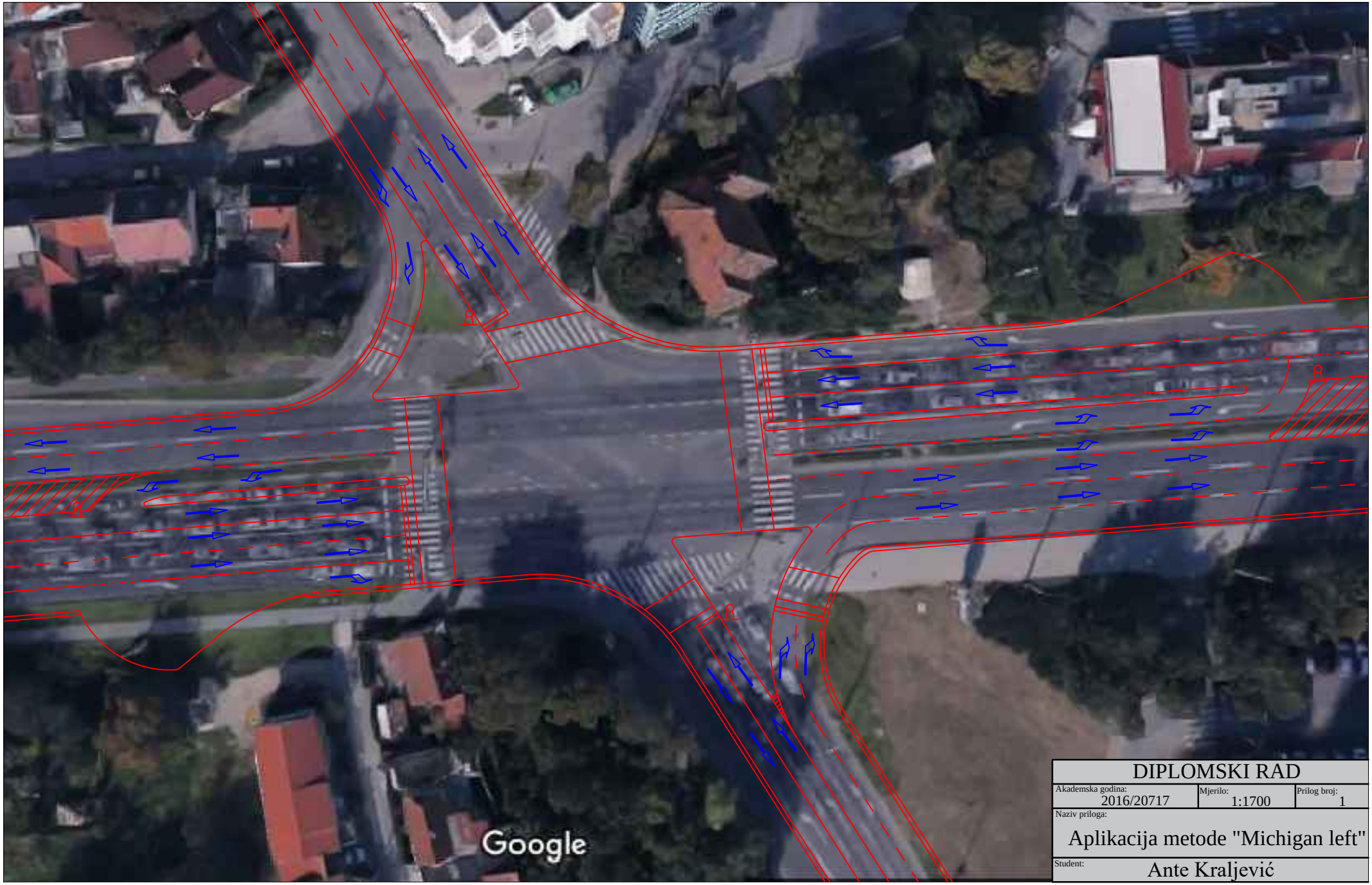
Prilog 2. Rekonstrukcija prilaza južnom prometnom toku

Prilog 3. Rekonstrukcija raskrižja Slavonska avenija – Kruge

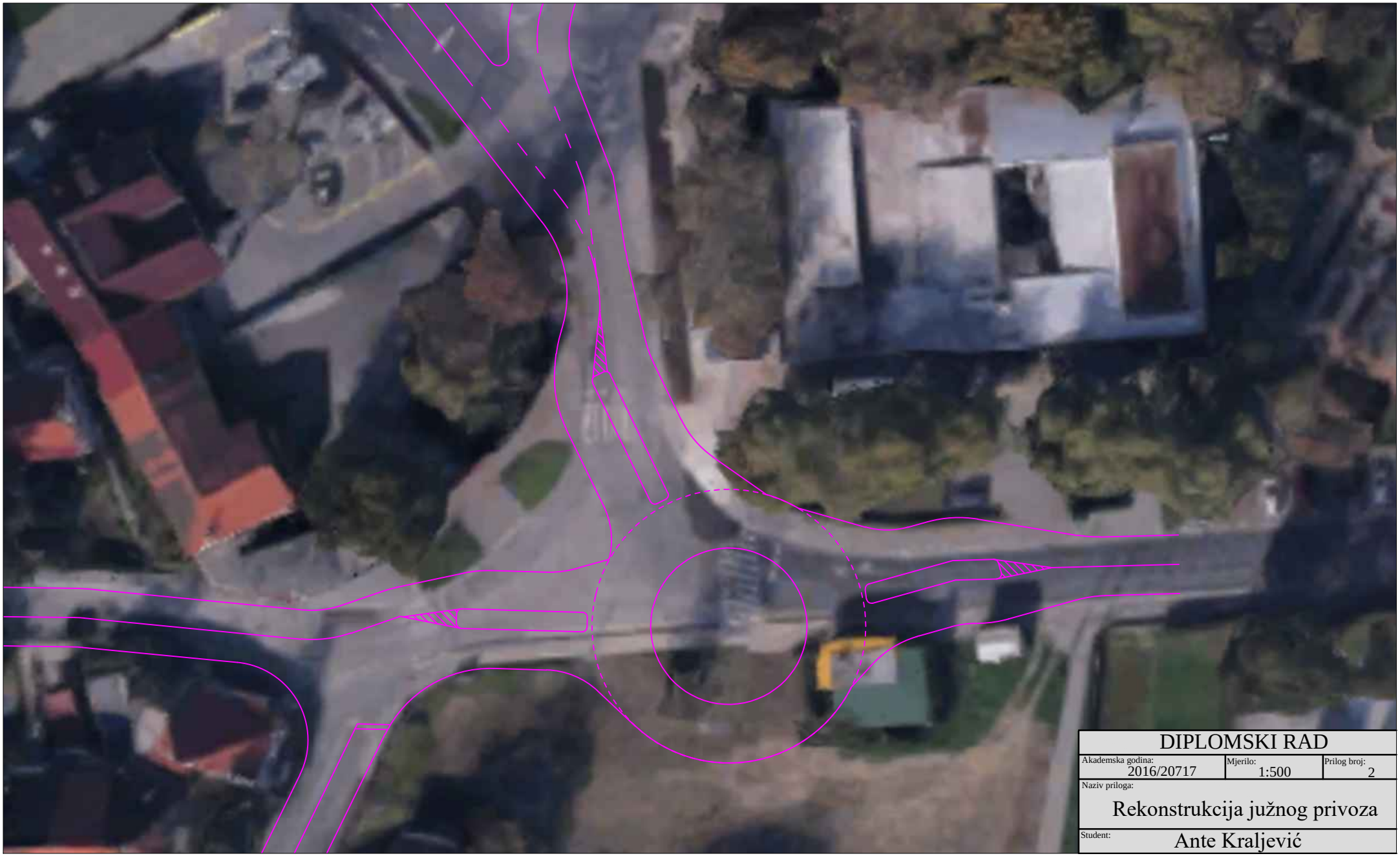
Prilog 4. Prijedlog nove rute kretanja vozila

Prilog 5. Rekonstrukcija T-raskrižja

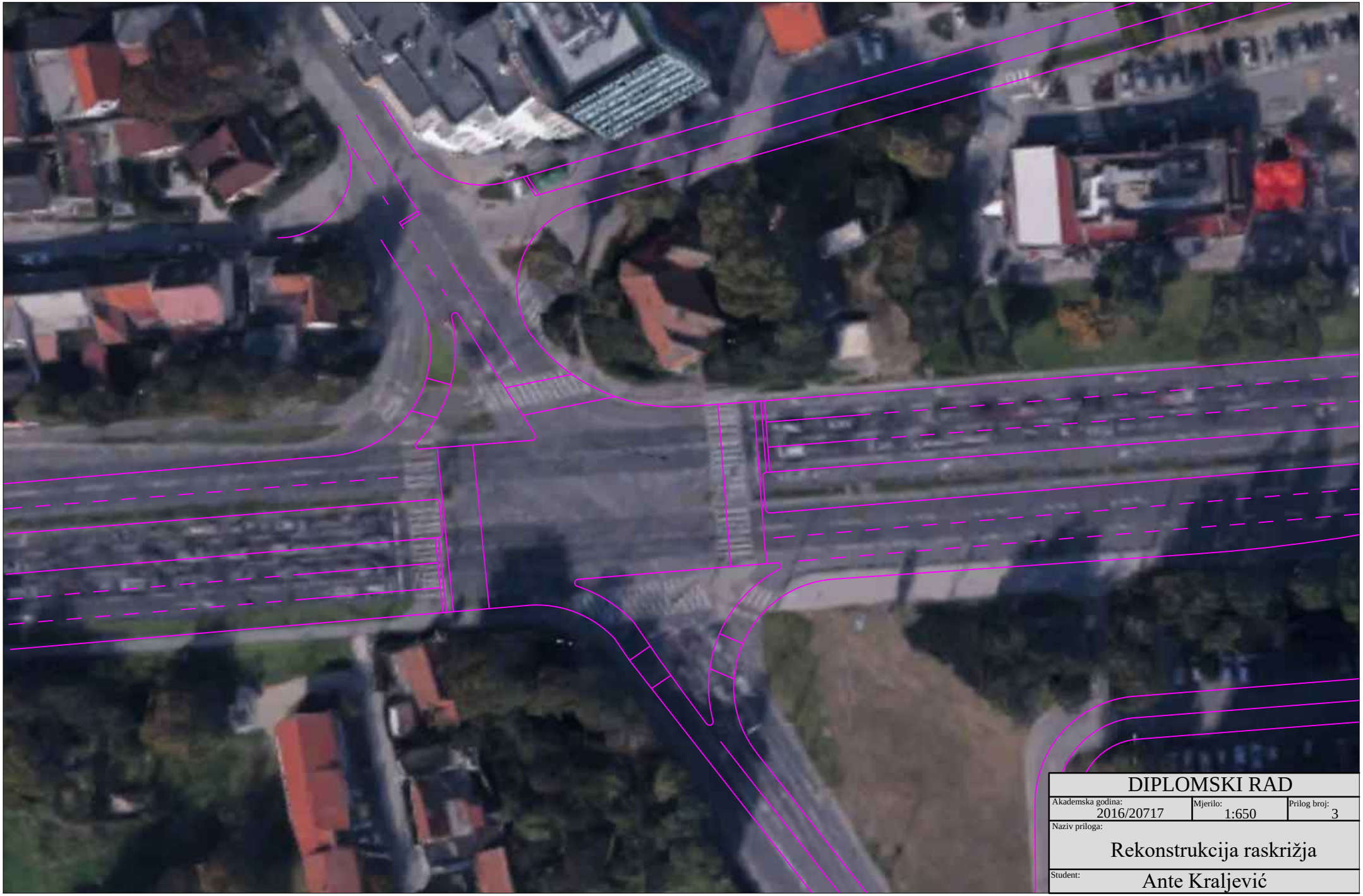
Prilog 6. Prijedlog rješenja Slavonska avenija-Kruge



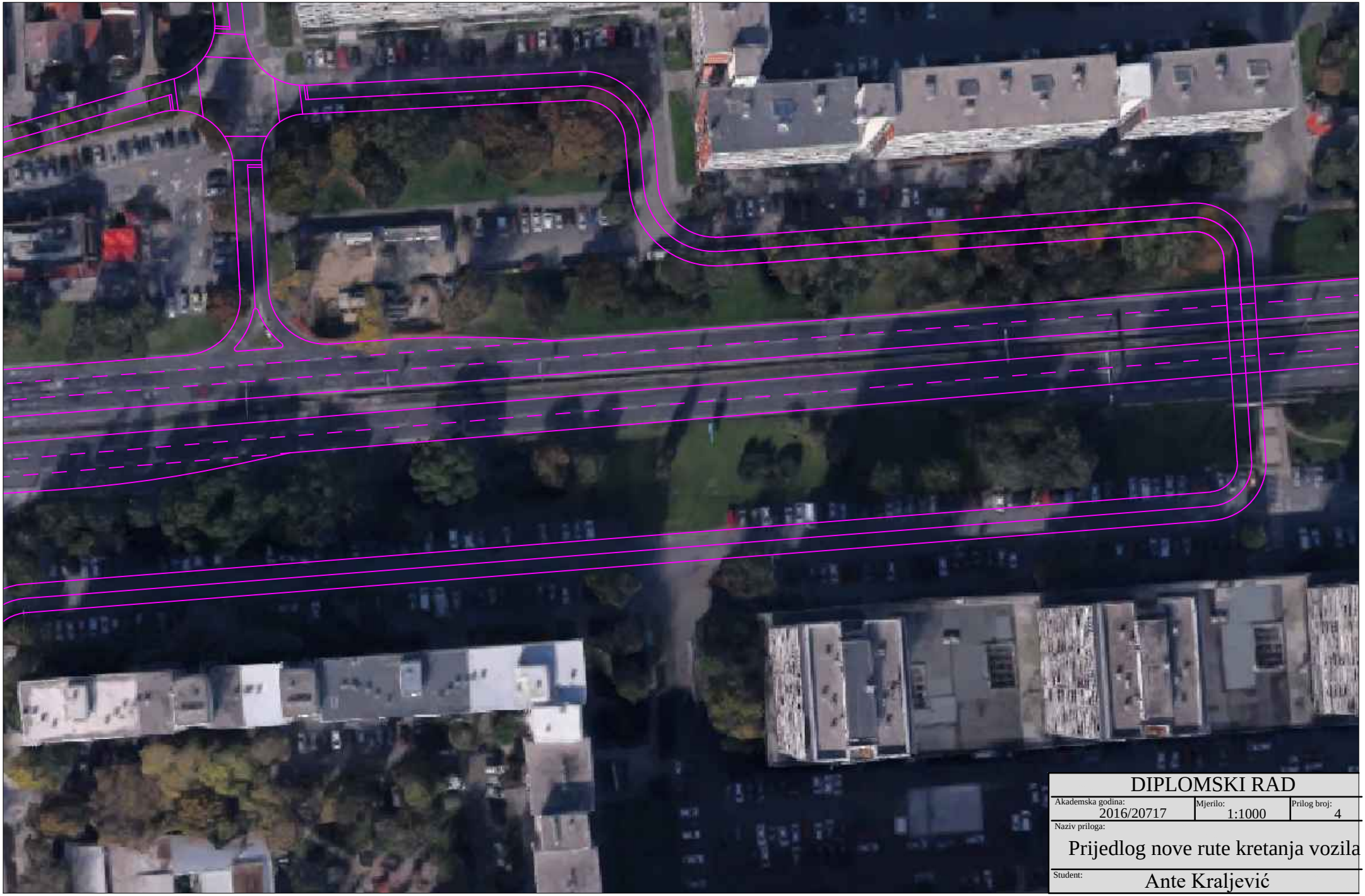
DIPLOMSKI RAD		
Akademska godina: 2016/20717	Mjerilo: 1:1700	Prilog broj: 1
Naziv priloga: Aplikacija metode "Michigan left"		
Student: Ante Kraljević		



DIPLOMSKI RAD		
Akademska godina: 2016/20717	Mjerilo: 1:500	Prilog broj: 2
Naziv priloga: Rekonstrukcija južnog privoza		
Student: Ante Kraljević		



DIPLOMSKI RAD		
Akademska godina: 2016/20717	Mjerilo: 1:650	Prilog broj: 3
Naziv priloga: Rekonstrukcija raskrižja		
Student: Ante Kraljević		



DIPLOMSKI RAD

Akademska godina:	Mjerilo:	Prilog broj:
2016/20717	1:1000	4

Naziv priloga:

Prijedlog nove rute kretanja vozila

Student: Ante Kraljević

DIPLOMSKI RAD		
Akademska godina: 2016/2017	Mjerilo: 1:1000	Prilog broj: 5
Naziv priloga: Rekonstrukcija T-raskrižja		
Student: Ante Kraljević		

DIPLOMSKI RAD

Akademska godina:	Mjerilo:	Prilog broj:
2016/20717	1:1450	6

Naziv priloga:

Prijedlog rješenja Slavonska Avenija - Kruge

Student:

Ante Kraljević

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 **Metode regulacije prometnih tokova na raskrižjima**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 18.09.2017

(potpis)