

Analiza s prijedlogom poboljšanja raskrižja Međimurske i Koprivničke ulice u Gradu Varaždinu

God, Nikola

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:119:331769>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-02**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Nikola God

**ANALIZA S PRIJEDLOGOM POBOLJŠANJA RASKRIŽJA
MEĐIMURSKE I KOPRIVNIČKE ULICE U GRADU
VARAŽDINU**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

Zagreb, 3. travnja 2018.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4760

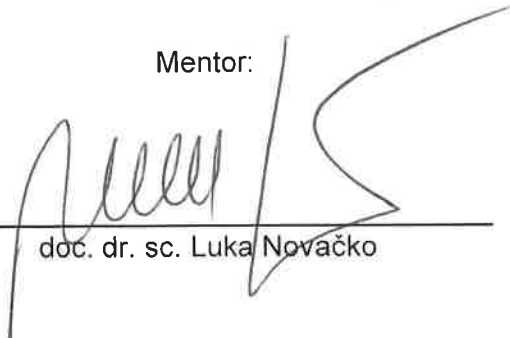
Pristupnik: **Nikola God (0135232225)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Analiza s prijedlogom poboljšanja raskrižja Međimurske i Koprivničke ulice u Gradu Varaždinu**

Opis zadatka:

U diplomskom radu student će analizirati postojeću regulativu za projektiranje prometnica i raskrižja. U nastavku rada dat će se pregled prostornih i prometnih planova grada Varaždina te opisati analizirano raskrižje. Na odabranom raskrižju nakon provedenog brojanja prometa primjenom simulacijskog alata evaluirat će se pomoću prometnih parametara postojeće stanje. Nadalje u svrhu poboljšanja postojećeg stanja na razini idejnog rješenja predložiti će se nekoliko varijantnih rješenja. Primjenom simulacijskog alata PTV Vissim evaluirat će se predložena varijantna rješenja i predložiti optimalno.

Mentor:



doc. dr. sc. Luka Novačko

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

ANALIZA S PRIJEDLOGOM POBOLJŠANJA RASKRIŽJA
MEĐIMURSKE I KOPRIVNIČKE ULICE U GRADU
VARAŽDINU

ANALYSIS WITH IMPROVEMENT PROPOSALS OF
INTERSECTION MEĐIMURSKA STREET AND KOPRIVNIČKA
STREET IN THE CITY OF VARAŽDIN

Mentor: doc. dr. sc. Luka Novačko

Student: Nikola God
JMBAG: 0135232225

Zagreb, rujan 2018.

SAŽETAK

Raskrižja kao najsloženiji dijelovi cestovne mreže moraju omogućiti smisleno i sigurno odvijanje prometa. Cilj ovog diplomskog rada je analizirati postojeće stanje raskrižja i usporediti varijantna rješenja primjenom mikrosimulacijskog prometnog modela. Uspoređeno je postojeće četverokrako semaforizirano raskrižje s predloženim varijantama na razini idejnog rješenja. Postojeće raskrižje nalazi se u gradu Varaždinu na križanju gradskih i državnih cesta (D2 i D3) na kojima se stvaraju repovi čekanja u vršnim satima, a u izvanvršnim periodima dolazi do dugih i nepotrebnih čekanja zbog ustaljenog (fiksno) četverofaznog načina upravljanja prometnim svjetlima. Predložena su tri varijantna rješenja: dvotračno kružno raskrižje, kružno raskrižje sa spiralnim tokom prometa - turbo kružno raskrižje i uvođenje adaptivnog upravljanja prometom na postojećem raskrižju, a sve s ciljem povećanja sigurnosti, smanjenja zagađenja okoliša i stvaranja buke te povećanje protočnosti raskrižja odabirom optimalnog oblika raskrižja. Adaptivnim upravljanjem prometom može se zadovoljiti potreba upravljanja prometnim tokovima pri velikim dnevnim varijacijama prometne potražnje. Raskrižja s kružnim tokom prometa pozitivno utječu na protočnost i sigurnost prometa na prijelazu u urbanu sredinu. Turbo kružno raskrižje svojim načinom kanaliziranja prometa može dati bolje iskorištenje trakova u samom kružnom toku. Za izradu mikrosimulacije koristi se programski alat PTV Vissim. Kao krajnji rezultat rada predlaže se optimalno prometno rješenje.

KLJUČNE RIJEČI: mikrosimulacijski model, adaptivno upravljanje prometom, raskrižje s kružnim tokom prometa, PTV Vissim

SUMMARY

Crossroads as the most complicated parts of road network, must provide adequate and safe traffic flow. Main goal of this thesis is to analyze current state of existing crossroad placed in city of Varaždin and compare variant solutions by applying micro-simulation traffic model. Comparison has been made between existing four - way traffic light controlled intersection and suggested crossroad variants on conceptual solution level. Target crossroad is placed on intersection of country and city roads (D2 and D3) where traffic jams are happening in upper hours, while in non upper hours there are unnecessary waiting time caused by classic (fixed) quadrature traffic management mode. Thesis will cover three suggested variant solutions: two - lane roundabouts, turbo roundabouts and implementing adaptive traffic management mode on existing crossroad. Optimal solution should provide safer traffic flow, reduction of environmental pollution, reduction of noise pollution and should make better traffic flow. Adaptive management mode can provide better traffic management in huge daily variations of traffic demand. Crossroads with circular flow are great solution when there is transition from non urban to urban environment because of increase in safety and traffic flow. Turbo roundabouts with it is special canalization system, makes better usage of lane through the whole roundabout. Microsimulation is created in computer software called PTV Vissim. Final thesis result is optimal solution for the intersection.

KEY WORDS: microsimulation tool, adaptive traffic management, roundabouts, PTV VISSIM

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	PREGLED ZAKONSKE REGULATIVE IZ PODRUČJA PROJEKTIRANJA PROMETNICA I RASKRIŽJA U REPUBLICI HRVATSKOJ	3
2.1.	Zakon o sigurnosti prometa na cestama	4
2.2.	Zakon o cestama	4
2.3.	Zakon o prostornom uređenju i Zakon o gradnji.....	5
2.4.	Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa.....	5
3.	ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA RASKRIŽJA	7
3.1.	Analiza geoprometnog položaja.....	7
3.2.	Analiza dosadašnjeg razvitka prometnog sustava grada Varaždina.....	9
3.3.	Analiza prostorno – prometne dokumentacije grada Varaždina	12
3.4.	Analiza postojeće cestovne infrastrukture raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice u gradu Varaždinu	18
3.5.	Analiza prometnih tokova	20
3.6.	Analiza signalnog plana	25
4.	ANALIZA PODATAKA O BROJANJU PROMETA I PROMETNIM NESREĆAMA	32
4.1.	Analiza podataka o brojanju prometa.....	32
4.2.	Analiza podataka o prometnim nesrećama.....	39
5.	PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA POSTOJEĆEG STANJA	42
5.1.	Varijanta 1 – Raskrižje u razini s adaptivnim upravljanjem prometa	47
5.2.	Varijanta 2 – Raskrižje s kružnim tokom prometa.....	55
5.3.	Varijanta 3 – Kružno raskrižje sa spiralnim tokom kružnog kolnika	63
6.	IZRADA SIMULACIJSKOG MODELA VARIJANTNIH RJEŠENJA.....	69
7.	EVALUACIJA I ODABIR OPTIMANOG VARIJANTNOG RJEŠENJA	72
7.1.	Evaluacija postojećeg stanja raskrižja	75
7.2.	Evaluacija varijante 1 – Raskrižje u razini s adaptivnim upravljanjem prometa.....	78
7.3.	Evaluacija varijante 2 – Dvotračno kružno raskrižje	79
7.4.	Evaluacija varijante 3 – Turbo kružno raskrižje	82
8.	ZAKLJUČAK	85
	LITERATURA	87
	POPIS TABLICA	89
	POPIS SLIKA	89
	POPIS GRAFIKONA.....	91

1. UVOD

Svrha prometnog sustava je obavljanje transporta, ljudi, robe i informacija. Kvalitetan prometni sustav je temelj gospodarskog razvoja svake države. Republika Hrvatska je država s konstantnim razvitkom, posebice ka kvalitetnom i učinkovitom prometnom sustavu, a posebno se ističe cestovna grana prometa koja ima mnogobrojne probleme u zadovoljavanju prijevozne potražnje. Uzrok tome je nagli porast broja vozila i neplansko širenje prometne mreže. Raskrižja predstavljaju točke u cestovnoj mreži gdje dolazi do spajanja dviju ili više prometnica, a prometni tokovi se spajaju, razdvajaju, križaju ili prepliću te dolazi do promjena smjerova kretanja vozila što uzrokuje konfliktne situacije koje rezultiraju problemima vezanim za propusnost i sigurnost odvijanja prometa.

U urbanim sredinama zbog čestih prometnih zagušenja koja se sastoje od čestih pojava kreni-stani vožnje, kašnjenja, nepotrebnih stajanja što uzrokuje povećanje emisija štetnih plinova i buke čime pada kvaliteta života.

Plansko upravljanje osnovnom prometnom mrežom na razini grada zasniva se na demografskim i ekonomskim pokazateljima u prostoru pretočenim u prostorne planove koji su usklađeni s krovnim planskim razvojnim dokumentima na razini Republike Hrvatske u jasnim zakonskim okvirima. Kvalitetne prometne veze su temeljna pretpostavka demografskog, gospodarskog, turističkog i svakog drugog napretka na lokalnoj, regionalnoj i državnoj razini.

Prometni sustav grada (u prvome redu cestovni promet) s dugom tradicijom stvaran je istovremeno sa samim gradom. Grad Varaždin svoj dosadašnji razvitak u najvećoj mjeri zahvaljuje geoprometnom položaju. Raskrižje koje je predmet ovog rada nalazi se na sjeveroistoku grada, na križanju prometnih tokova državnih cesta D2 i D3 s gradskom ulicom. Ovo raskrižje je najopterećenije u prometnoj mreži grada, ali i cijele županije jer se nalazi na dva iznimno značajna koridora: Podravsko-kvarnerski i Alpsko-dravski koridor te ga karakterizira tranzitni promet.

Svrha ovog rada je analiziranje stanja u prometu koje se događa u vršnim prometnim opterećenjima i ukazivanje na važnost primjene simulacijskih alata u procesu odabira optimalnog prometnog rješenja s ciljem poboljšanja protočnosti raskrižja odabirom optimalnog oblika raskrižja, povećanja sigurnosti na raskrižju, smanjenja buke i zagađenja okoliša, te smanjenja troškova održavanja. Diplomski rad ima cilj da se temeljem primijenjenih metoda procijeni zakonska usklađenost, prometno-sigurnosna opravdanost poboljšanja postojećeg stanja raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice u gradu Varaždinu.

U izradi rada korišteni su podaci o prometu prikupljeni na spomenutom raskrižju tijekom mjeseca lipnja 2018. godine, kao i podaci o prometnim nesrećama u periodu od 2011. do 2017. godine. Rad je podijeljen u osam cjelina:

1. Uvod
2. Pregled zakonske regulative iz područja projektiranja prometnica i raskrižja u Republici Hrvatskoj
3. Analiza postojećeg stanja raskrižja
4. Analiza podataka o brojanju prometa i prometnim nesrećama
5. Prijedlozi poboljšanja postojećeg stanja
6. Izrada simulacijskog modela varijantnih rješenja
7. Evaluacija i odabir optimalnog varijantnog rješenja
8. Zaključak

U drugom poglavlju navedeni su pozitivni zakonski propisi i pravilnici kojima se regulira područje projektiranja cesta i raskrižja u Republici Hrvatskoj s pojašnjenjem sadržaja i najvažnijih pojmova. Dostupnom prostornom dokumentacijom grada Varaždina u trećem poglavlju analiziran je prometni značaj cestovne mreže grada u ukupnoj mreži javnih cesta Varaždinske županije i Republike Hrvatske kao i povezanost s europskom cestovnom mrežom te su navedeni ciljevi razvoja cestovne mreže na području grada. Analizirano je postojeće stanje svih elemenata relevantnih za odvijanje prometnog procesa na širem području obuhvata. Analizom podataka o brojanju prometa tijekom lipnja 2018. godine na promatranom raskrižju, u četvrtom poglavlju prezentiran je osnovni projektni element za analizu raskrižja, kao i podaci o prometnim nesrećama u zadnjih sedam godina. Nakon analize postojećeg stanja, u petom poglavlju slijedi prijedlog poboljšanja kroz tri prometna rješenja. U šestom poglavlju izrađen je model postojećeg stanja i modeli varijantnih rješenja kako bi se dobio realan uvid u parametre prometnog toka svake varijante. Nakon analize izlaznih podataka, na kraju rada sedmo poglavlje donosi evaluaciju navedenih rješenja i odabir optimalnog rješenja za analizirano raskrižje.

2. PREGLED ZAKONSKE REGULATIVE IZ PODRUČJA PROJEKTIRANJA PROMETNICA I RASKRIŽJA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Raskrižja se mogu opisati kao točke u cestovnoj mreži u kojima se povezuju dvije ili više cesta, prometni tokovi se spajaju, razdvajaju, križaju ili prepliću. Zbog prometnih radnji i mogućih konflikata, koji se ne pojavljuju na otvorenim potezima ceste, na raskrižjima su izrazito naglašeni problemi propusnosti i sigurnosti prometa [1].

Planersko – razvojna faza cestovnog sustava i odgovarajućih postupaka zasniva se na pravnim, regulatornim i upravljačkim principima. Planiranje cesta i mreže cesta podrazumijeva korištenje višedisciplinarnih statističkih podataka, posebno onih koji su povezani s veličinom i svojstvima prometa, sigurnosti prometa, prognoznim procjenama. Projektna pak zasnovanost temelji se na analizi podsustava vozač – vozilo – cesta, odnosno na dinamici i geometriji vožnje te na određivanju mjerodavnih vozila. Planersko – razvojnu fazu može se uvjetno poistovjetiti s modeliranjem ceste u mreži, a projektnu s razradom i detaljiranjem u postupku optimiziranja oblikovnih elemenata ceste [2].

Opća zakonska regulativa i stručno-regulativna zasnovanost javnih cesta određena je Zakonom o cestama, Zakonom o sigurnosti prometa na cestama te stručnom regulativom. Republika Hrvatska nema regulatornog akta iz područja oblikovanja, odnosno projektiranja raskrižja [1].

Okvirna domaća i strana regulativa iz područja projektiranja raskrižja i prometnica je slijedeća [1]:

- Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN 108/17);
- Zakon o cestama (NN 92/14);
- Zakon o prostornom uređenju (NN 153/13);
- Zakon o gradnji (NN 20/17);
- Zakon o zaštiti okoliša (NN 12/18);
- Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 105/04);
- Pravilnik o sadržaju, mjerilima kartografskih prikaza, obveznim prostornim pokazateljima i standardu elaborata prostornih planova;
- Naputak o prometno-tehničkim pravilima i uvjetima za daljinsko usmjeravanje i vođenje prometa na državnim cestama.

U hrvatskim prilikama predmetna problematika neposredno se oslanja na samo dva bitna akta prometno-tehničke regulative [1]:

- Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN 110/01);
- Smjernice za projektiranje raskrižja u naseljima sa stajališta sigurnosti prometa, FPZ i HC/PGZ, Zagreb, 2004 (prijedlog, interno izdanje).

2.1. Zakon o sigurnosti prometa na cestama

Ovim Zakonom utvrđuju se temeljna načela međusobnih odnosa, ponašanja sudionika i drugih subjekata u prometu na cestama, osnovni uvjeti kojima moraju udovoljavati ceste glede sigurnosti prometa, pravila prometa na cestama, sustav prometnih znakova i znakova koje daju ovlaštene osobe, dužnosti u slučaju prometne nesreće, osposobljavanje kandidata za vozače, polaganje vozačkog ispita i uvjeti za stjecanje prava na upravljanje vozilima, vuča vozila, uređaji i oprema koje moraju imati vozila, dimenzije, ukupna masa i osovinsko opterećenje vozila te uvjeti kojima moraju udovoljavati vozila u prometu na cestama. Prometom na cesti, prema ovom Zakonu, podrazumijeva se promet vozila, pješaka i drugih sudionika u prometu na javnim cestama i nerazvrstanim cestama koja se koriste za javni promet [3].

2.2. Zakon o cestama

Ovim se Zakonom uređuje pravni status javnih cesta i nerazvrstanih cesta, način korištenja javnih cesta i nerazvrstanih cesta, razvrstavanje javnih cesta, planiranje građenja i održavanja javnih cesta, upravljanje javnim cestama, mjere za zaštitu javnih i nerazvrstanih cesta i promet na njima, koncesije, financije i nadzor javnih cesta. Pojedini izrazi u smislu ovoga Zakona imaju sljedeće značenje [4]:

- *»javne ceste«* su ceste razvrstane kao javne ceste sukladno ovom Zakonu, koje svatko može slobodno koristiti na način i pod uvjetima koji su određeni ovim Zakonom i drugim propisima,
- *»autoceste«* su javne ceste s tehničkim karakteristikama autoceste određenim propisima kojima se uređuje sigurnost prometa na cestama, koje imaju funkciju povezivanja Republike Hrvatske u europski prometni sustav, ostvarivanja kontinuiteta E-cesta (međunarodnim i međudržavnim sporazumima određena kao europska cesta), prometnog povezivanja regija Republike Hrvatske, omogućavanja tranzitnog prometa, a koje su razvrstane kao autoceste sukladno ovom Zakonu,
- *»državne ceste«* su javne ceste koje imaju funkciju povezivanja Republike Hrvatske u europski prometni sustav, ostvarivanja kontinuiteta E-cesta prometnog povezivanja regija Republike Hrvatske, prometnog povezivanja sjedišta županija međusobno, povezivanja sjedišta županija s većim regionalnim sjedištima susjednih država (gradovi veći od 100.000 stanovnika), omogućavanja tranzitnog prometa, koje čine cestovnu okosnicu velikih otoka i kojima se ostvaruje kontinuitet državnih cesta kroz gradove, a koje su razvrstane kao državne ceste sukladno ovom Zakonu,
- *»županijske ceste«* su javne ceste koje povezuju sjedišta županija s gradovima i općinskim sjedištima, koje povezuju sjedišta gradova i općina međusobno, preko kojih se ostvaruje veza grada ili gradskih dijelova s državnim cestama, a koje su razvrstane kao županijske ceste sukladno ovom Zakonu,

- »*lokalne ceste*« su javne ceste koje povezuju sjedište grada, odnosno općine s naseljima s više od 50 stanovnika unutar grada ili općine, ceste u urbanom području koje povezuju gradske četvrti sa županijskim cestama, ceste koje povezuju susjedne gradske četvrti međusobno, a koje su razvrstane kao lokalne ceste sukladno ovom Zakonu,
- »*nerazvrstane ceste*« su ceste koje se koriste za promet vozilima, koje svatko može slobodno koristiti na način i pod uvjetima određenim ovim Zakonom i drugim propisima, a koje nisu razvrstane kao javne ceste u smislu ovoga Zakona.

2.3. Zakon o prostornom uređenju i Zakon o gradnji

Ovim Zakonima uređuje se sustav prostornog uređenja i gradnja, nadležnost tijela državne vlasti i tijela jedinica lokalne i područne samouprave u upravnim i drugim postupcima, te upravni i inspekcijski nadzor. Sustav prostornog uređenja čine subjekti, dokumenti, akti i postupci kojima se osigurava praćenje stanja u prostoru, određivanje uvjeta i načina izrade, donošenja i provođenja dokumenata prostornog uređenja te uređenja građevinskog zemljišta. Prostornim uređenjem ostvaruju se pretpostavke za unaprjeđenje gospodarskih, društvenih, prirodnih, kulturnih i ekoloških polazišta održivog razvitka u prostoru Republike Hrvatske kao osobito vrijednom i ograničenom nacionalnom dobru na načelu integralnog pristupa prostornom planiranju. Gradnja u smislu ovog Zakona smatra se projektiranje, građenje, uporaba i uklanjanje građevina, a sve se to obavlja prema odredbama ovoga Zakona i propisa donesenih na temelju tih zakona, hrvatskih normi i pravila struke. Odredbe ovoga Zakona koje se odnose na gradnju nove građevine na odgovarajući se način primjenjuju na rekonstrukciju, uklanjanje i održavanje građevine [5].

2.4. Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa

Ovim Pravilnikom propisuju se osnovni uvjeti kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa. Podjela javnih cesta provodi se prema različitim osnovama i značajkama. Prema društvenom i gospodarskom značenju unutar Zakona o cestama, javne ceste dijele se na [6]:

- autoceste,
- državne ceste,
- županijske ceste,
- lokalne ceste.

Prema vrsti prometa kojemu su namijenjene, javne ceste se dijele na [6]:

- ceste za promet motornih vozila,
- ceste za mješoviti promet.

Ceste za motorni promet vozila dijele se na [6]:

- autoceste,
- ceste rezervirane za promet motornih vozila (brze ceste).

Brza cesta je cesta rezervirana za promet motornih vozila, koja ima sva raskrižja s drugim prometnicama u dvije razine, ima jedan ili dva kolnička traka, u pravilu nema zaustavnih trakova i kao takva je označena propisanim prometnim znakom. Broj prometnih trakova i izbor poprečnog profila ovisi o kategoriji ceste i predvidivom prometnom opterećenju. Prema veličini motornog prometa na kraju planskog razdoblja izraženog prosječnim godišnjim dnevnim prometom (PGDP) javne ceste dijele se na autoceste i pet razreda cesta (tablica 1). PGDP je prosječni godišnji dnevni promet u oba smjera.

Tablica 1. Podjela javnih ceste prema veličini motornog prometa

Razred ceste	Veličina motornog prometa PGDP [voz/dan]
Autoceste/brze ceste	>14000
1. razred	>12000
2. razred	7000 - 12000
3. razred	3000 - 7000
4. razred	1000-3000
5. razred	<1000

Izvor: [6]

Prema zadaći povezivanja u cestovnoj mreži ovisno o srednjoj duljini putovanja ceste se dijele na autoceste i pet kategorija cesta (tablica 2).

Tablica 2. Podjela cesta prema zadaći povezivanja u cestovnoj mreži ovisno o srednjoj duljini putovanja

Kategorija ceste	Društveno - gospodarsko značenje	Vrsta prometa	Veličina prometa [voz/dan]	Zadaća povezivanja	Srednja duljina putovanja [km]
AC	Državna	Promet motornih vozila	>14000	Međudržavno i državno	> 100
1. kategorija	Državna	Promet motornih vozila	>12000	Međudržavno i državno - regionalno	50 - 100
2. kategorija	Državna	Promet motornih vozila, mješoviti promet	7000-12000	Državno i županijsko	20 - 50
3. kategorija	Državna, županijska	Mješoviti promet	3000-7000	Meduopćinsko	5 - 50
4. kategorija	Županijska, lokalna	Mješoviti promet	1000-3000	Općinsko	5 - 20
5. kategorija	Lokalna	Mješoviti promet	<1000	Općinsko - lokalno	< 5

Izvor: [6]

3. 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 [7].

3.1. Analiza geoprometnog položaja

Varaždin se nalazi na 16°20'33" istočne zemljopisne dužine i 46°18'29" sjeverne zemljopisne širine. Razvio se na rubnim dijelovima Panonske nizine alpskog sustava. Nadmorska visina varira između 169 i 173 [m]. Grad se nalazi u sjeverozapadnoj Hrvatskoj uz rijeku Dravu, u plodnoj aluvijalnoj ravnici koja se spušta prema Dravi u smjeru jugozapad - sjeveroistok. Grad se nalazi na vrlo važnom zemljopisnom području te se s pravom naziva "sjeverozapadnim vratima Hrvatske" [8].

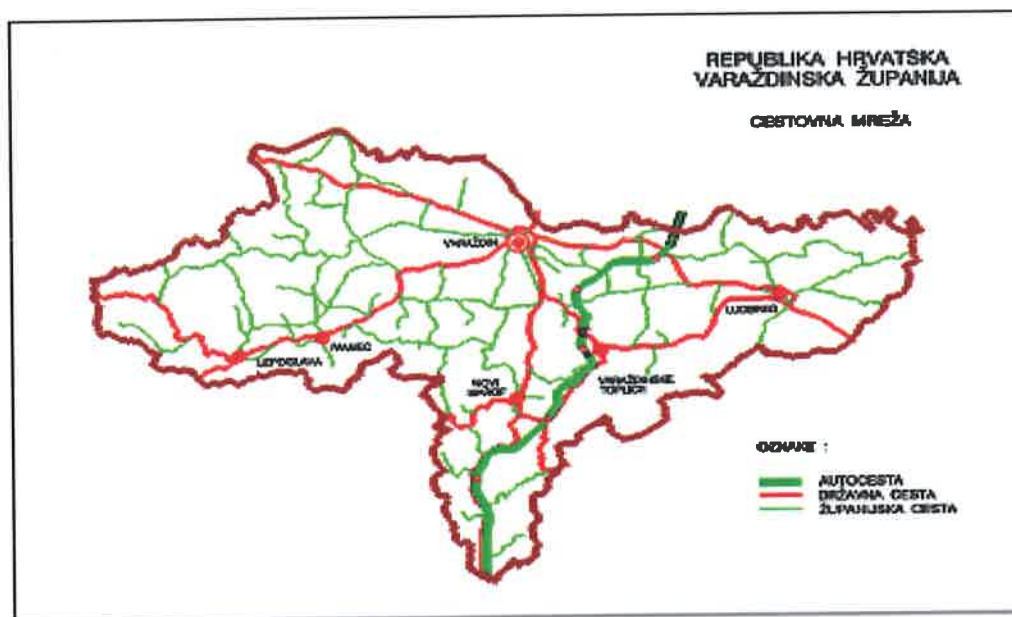
Geografski smještaj Varaždina bitno utječe na njegov prometni značaj. Varaždin se nalazi na raskrižju dvaju prometnih koridora, a to su Podravsko-kvarnerski i Alpsko-dravski koridor. Od najvećeg je značaja Podravsko-kvarnerski koridor koji se proteže u smjeru istok – zapad od Slovenije preko Varaždina prema istočnim prometnicama južno od rijeke Drave. Kroz Varaždin prolazi i koridor u smjeru sjever – jug koji od Budimpešte u Mađarskoj vodi prema Zagrebu. Navedeni prometni pravci Varaždin čine značajnim raskrižjem europskih, državnih i regionalnih prometnih pravaca preko kojih se odvijaju značajni tranzitni tokovi cestovnim i željezničkim prometom. Povoljan geoprometni položaj utječe i na razvoj gospodarstva.

Grad Varaždin je središte Varaždinske županije koja na sjeverozapadu graniči s Republikom Slovenijom, na sjeveru je omeđena s Međimurskom županijom, istočno s Koprivničko-križevačkom županijom, na jugu se dotiče s Zagrebačkom županijom, a na jugoistoku s Krapinsko-zagorskom županijom. Izvrstan prometni položaj velika je prednost Varaždina: od Zagreba je udaljen 80 [km], od Graza (Austrija) 140 [km], od Ljubljane (Slovenija) 180 [km], od glavne hrvatske luke – Rijeke 250 [km], od Budimpešte (Mađarska) i Trsta (glavne talijanske luke) 280 [km], a od Beča (Austrija) 330 [km] (slika 1) [8].

Prema popisu stanovništva 2011. godine Varaždin imao je 46.946 stanovnika te je bio 11. grad u Hrvatskoj, a sa 6.300 eura po glavi stanovnika treći grad po BDP-u u Hrvatskoj (iza Rovinja i Zagreba) [8].



Slika 1. Prostorni smještaj grada Varaždina u odnosu na Varaždinsku županiju i Republiku Hrvatsku
Izvor: [8]

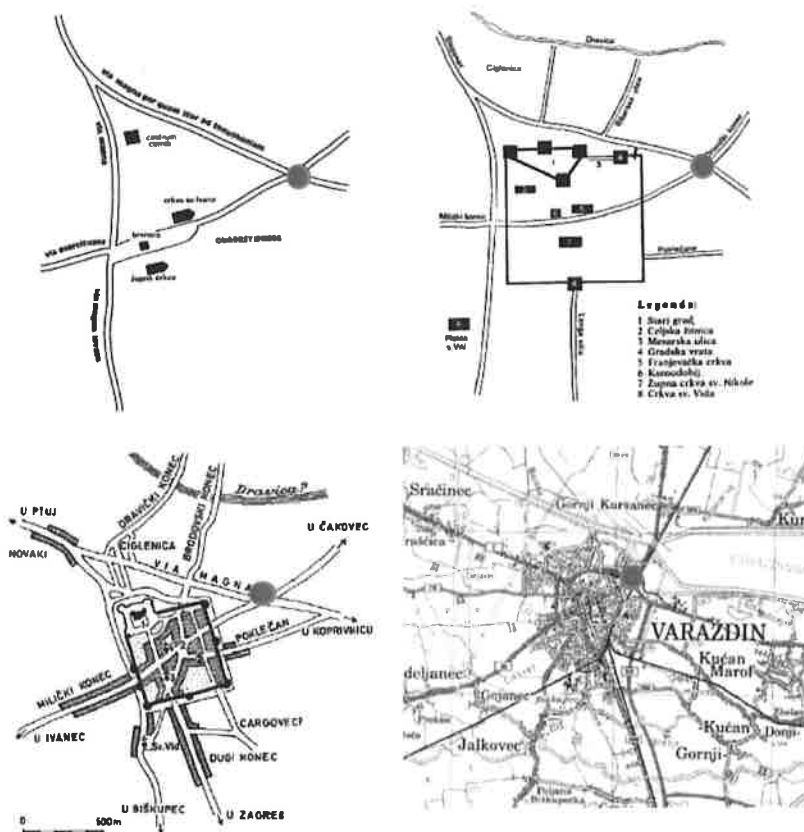


Slika 2. Cestovna mreža Varaždinske županije
Izvor: [15]

3.2. Analiza dosadašnjeg razvitka prometnog sustava grada Varaždina

Prometni sustavi gradova (u prvome redu cestovni promet) s dugom tradicijom stvarani su istovremeno sa samim gradovima. Gradovi na kopnu najčešće su nastajali na raskrižjima značajnih putova, dok su primorski (lučki) gradovi stvarani na mjestima dodira (završetaka) plovnih i kopnenih putova. Glavna značajka tih gradova jest njihovo širenje oko prvotnih središta, u kojima su stare gradske jezgre sačuvane u gotovo u izvornom obliku [12].

Na slici 3 je primjer razvitka grada i prometnica u Varaždinu, a crvenom točkom označeno je današnje raskrižje Koprivničke i Međimurske ulice u gradu Varaždinu koje je tema analiziranja u ovom radu. Grad Varaždin se u povijesnim izvorima prvi put spominje 1181. godine i jedan je od najstarijih hrvatskih gradova. Današnji grad Varaždin svoj dosadašnji razvitak svakako u najvećoj mjeri zahvaljuje geoprometnom položaju. Ceste su se u ovom prostoru razvijale u skladu s općim civilizacijskim razvitkom i bile su prilagođene zaprežnom prometu sve do masovnije pojave motornih vozila polovicom 20. stoljeća. U drugoj polovici 20. stoljeća pa sve do danas zamjećuje se intenzivan razvitak cestovne mreže [12].



Slika 3. a) situacijski položaj glavnih cesta u Varaždinu u 12. i 13. stoljeću, b) situacijski položaj glavnih cesta u Varaždinu u 15. stoljeću, c) situacijski položaj glavnih cesta krajem srednjeg vijeka, d) današnji izgled Varaždina
Izvor: [12]

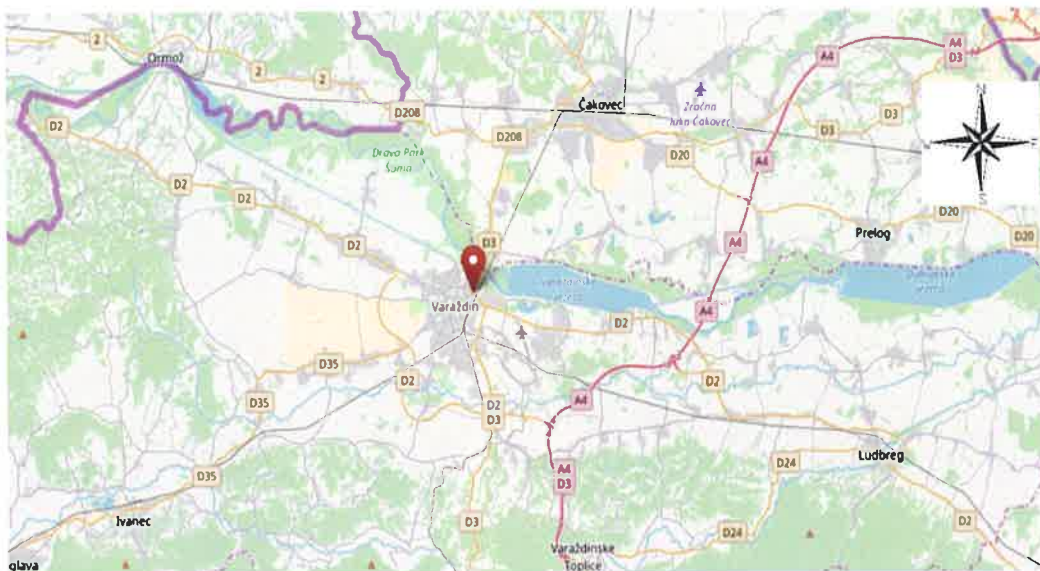
Prometna cestovna infrastruktura središta grada je „naslijeđena“, odnosno vidljiv je razvitak grada oko prvotnog postavljenog raskrižja najznačajnijih putova. Središte grada i danas ima glavne koridore postavljene prije više od osam stoljeća, kada se odvijao pješački i zaprežni promet [12].

Brojne cestovne prometnice na području Grada Varaždina razvrstane su prema važnosti u osnovnu mrežu javnih cesta Republike Hrvatske ovisno o državnoj, županijskoj i lokalnoj razini. Prema važećem Prostornom planu uređenja Grada (PPUG) cestovni promet se na području Grada Varaždina sastoji od državnih cesta (autocesta, brze ceste i ostalih državnih cesta), županijskih cesta i lokalnih cesta. 2012. godine temeljem Odluke o razvrstavanju cesta (»Narodne novine«, broj 44/12) i Odluke o cestama na području velikih gradova koje prestaju biti razvrstane u javne ceste (»Narodne novine«, broj 44/12), županijske i lokalne ceste na području velikih gradova, pa tako i Varaždina, postaju nerazvrstane ceste. Grad Varaždin je 2012. g. od Županijske uprave za ceste preuzeo njihovo upravljanje i održavanje. 2013. godine temeljem Odluke o razvrstavanju javnih cesta (»Narodne novine«, broj 66/13), razvrstane ceste na području Grada Varaždina su autoceste i državne ceste. Slijedom navedenog, zaključno sa stanjem 2013. godine osnovnu mrežu javnih cesta na području Grada Varaždina čine autoceste, državne ceste i nerazvrstane ceste (tablica 3). Autocestama upravljaju HAC - Hrvatske autoceste d.o.o., državnim cestama upravljaju HC - Hrvatske ceste d.o.o., županijskim cestama upravljaju ŽUC-Županijska uprava za ceste Varaždinske županije, a nerazvrstanim cestama Grad Varaždin [9].

Tablica 3. Ceste na području grada Varaždina

VRSTA	NAZIV		DULJINA [km]	UDIO [%]
autocesta	A4	GP Goričan (granica s Republikom Mađarskom) - Varaždin - Zagreb (čvor Ivanja Reka, A3)	1,1	1,17
državna cesta	D2	GP Dubrava Križovljanska (granica s Republikom Slovenijom) - Varaždin - Virovitica - Našice - Osijek - Vukovar - GP Ilok (granica s Republikom Srbijom)	18,6	19,87
	D3	GP Goričan (granica s Republikom Mađarskom) - Čakovec - Varaždin - Breznički Hum - Zagreb - Karlovac - Rijeka (D8)		
	D35	Varaždin (D2) - Lepoglava - Sveti Križ Začretje (D1)		
	D528	Varaždin (D2) - čvor Varaždin (A4)		
nerazvrstane ceste	ostale prometnice na području grada Varaždina		73,93	78,06
Gustoća cestovne mreže (duljina ceste/površina području)			1,57 km/m ²	
UKUPNO			93,63	100

Izvor: [11]



Slika 4. Makrolokacija raskrižja Međimurske i Koprivničke ulice u gradu Varaždinu
Izvor: [13]

Cestovni prometni sustav Varaždina danas je gotovo u cijelosti orijentiran na državne ceste smjera sjever-jug D3 (G.P. Goričan - Rijeka) i istok-zapad D2 (G.P. Ilok – G.P. Dubrava Križovljanska) (slika 4). Crvena točka označava lokaciju promatranog raskrižja u ovom radu. Raskrižje Koprivničke i Međimurske ulice nalazi se na jedinom cestovnom pravcu prema Međimurskoj županiji. Karakterizira ga tranzitni promet jer se nalazi na dijelu Podravske magistrale i državne ceste D3 koja povezuje GP Goričan (granica s Republikom Mađarskom) - Čakovec - Varaždin - Breznički Hum - Zagreb - Karlovac - Rijeka (D8).

Postojeća cestovna mreža Varaždina i okolice prati već spomenute prometne koridore koji preko grada Varaždina povezuju Budimpeštu i Zagreb te Maribor i Ptuj s Koprivnicom i dalje u podravskoj nizini s istokom Hrvatske. U grad ulazi 11 cesta od kojih su pet državne ceste i to iz smjera autoceste i prigradskih naselja ili okolnih općina (Trnovec, Sračinec, Nedeljanec, Gojanec, Poljana Biškupečka, Turčin, Gornji Kućan, Kućan Marof, Petrijanec) te državna cesta D3 iz smjera Međimurske županije. Promet se iz smjera Čakovca prema Zagrebu najčešće odvija upravo preko Varaždina, iako je izgrađena autocesta od Goričana do Zagreba, što otežava promet u samom gradu. Naime, brojenjem prometa na cestama u razdoblju od 1997. do 2003. godine zaključeno je da su ceste koje povezuju Varaždin s Čakovcem te Novim Marofom i Zagrebom nakon izgradnje autoceste i dalje preopterećene i promet na njima raste, dok onaj na autocesti stagnira. Takvom stanju, smatra se, pogoduje naplata cestarine na autocesti. Nadalje, kako bi se rasteretio tranzitni promet kroz središte grada, izgrađena je tzv. Istočna obilaznica koja omogućuje vezu od Mađarske i Čakovca prema Zagrebu. Osim nje postoji i obilaznica na zapadnom dijelu grada koja povezuje prigradska naselja Hrašćicu i Gojanec. Posljednja je izgrađena Jugozapadna obilaznica 2007. godine koja spaja Nedeljanec s Knežincem, čime je dodatno rasterećeno gradsko središte, a spojen je zapadni prigradski i gradski dio s istočnim [11].

U gradu se nalazi 21 semaforizirano raskrižje, osam raskrižja s kružnim tokom prometa te 392 raskrižja regulirana prometnim znakovima. Prometna mreža je djelomično razvijena, ali također ima prostora za njezino poboljšanje. Potrebno je izvršiti rekonstrukciju dijela državnih, županijskih, lokalnih i nerazvrstanih cesta kako bi na njima bili stvoreni uvjeti za sigurno i nesmetano odvijanje prometa, posebno u smislu osiguranja uvjeta za odvijanje javnog prijevoza putnika. U gradu je potrebno izgraditi i urediti pješačke staze, biciklističke staze, poboljšati stanje u pogledu pokrivenosti javnom rasvjetom i prometnom signalizacijom. Osim rekonstrukcije i dogradnje postojećih prometnica veliku pažnju treba posvetiti realizaciji planiranih odnosno novih prometnih dionica u svrhu stvaranja cjelovite prometne mreže koja će zadovoljiti prometne potrebe užeg i šireg gradskog područja.

3.3. Analiza prostorno – prometne dokumentacije grada Varaždina

Analiza prometne infrastrukture u prostorno planskoj i projektnoj dokumentaciji obuhvaća analizu važećih dokumenata prostornog uređenja te postojećih projekata iz područja prometa. Dokumenti prostornog uređenja su dokumenti kojima se osigurava praćenje stanja u prostoru te definiraju pravila djelovanja u prostoru. Dokumenti prostornog uređenja donose se na državnoj razini te kao prostorni planovi na područnoj (regionalnoj) i lokalnoj razini. Prostorni planovi imaju snagu i pravnu prirodu podzakonskog propisa [7].

U nastavku se detaljnije obrađuje prostorno-prometna dokumentacija grada Varaždina, a dva važna dokumenta koja će se obraditi su:

- Plan prostornog uređenja grada Varaždina 2005. godina,
- Generalni urbanistički plan grada Varaždina 2006. godina.

U Gradu Varaždinu trenutno je na snazi Generalni urbanistički plan prihvaćen u prosincu 2006. godine, a izradio ga je Urbanistički zavod grada Zagreba. Osnova za donošenje GUP-a Grada Varaždina bio je Prostorni plan uređenja Grada Varaždina kojim je Varaždin određen kao županijsko, regionalno te povijesno središte.

Varaždin je sa svoje južne i zapadne strane omeđen jugozapadnom obilaznicom – cestovnom prometnicom koja u prometnom sustavu Grada ima izuzetnu ulogu. Ta je prometnica dio sustava Hrvatskih cestovnih koridora. Razvoj ulične mreže grada Varaždina zaostaje za razvojem prometne potražnje te je stoga na pojedinim pravcima u vršna vremena promet izuzetnog opterećenja [14].

Najizraženiji problem u prometu na gradskom području je tranzitni promet državnom cestom D2 koja na području grada pripada u nerazvrstane cesta od 2012. godine. Ostatak gradske prometne mreže u vršnim periodima je na granici kapaciteta što znači smanjenje sigurnosti i propusne moći.

Temeljni ciljevi Generalnog urbanističkog plana jednako su važni za sam grad Varaždin i za Varaždinsku županiju. Temeljni ciljevi su [14]:

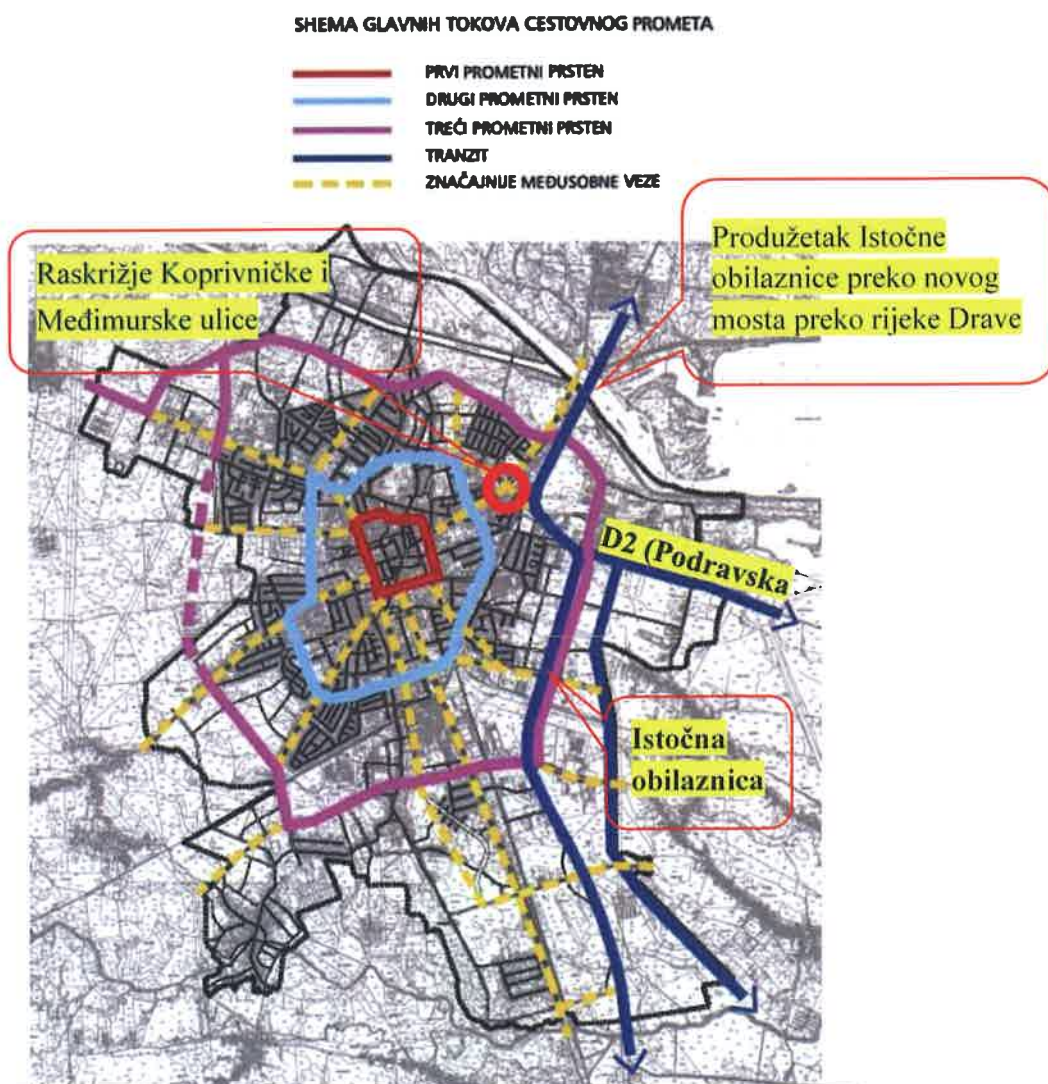
- omogućivanje daljnjeg razvoja i važnosti Varaždina u regiji,
- razvoj sustava naselja koji će smanjiti migracije u sam grad,
- poticanje razvoja gospodarske zone radi stranih i domaćih ulaganja te veće konkurentnosti na tržištu,
- razvoj radnih zona,
- razvoj kvalitetnog prometnog sustava,
- omogućavanje demografskog razvoja,
- razvijanje prepoznatljivog visokoobrazovnog središta,
- zaštita rijeke Drave, kao i povijesne jezgre grada.

Među temeljnim ciljevima u razvoju prometa je uklanjanje tranzitnog prometa iz središta grada, što se djelomično učinilo izgradnjom jugozapadne obilaznice. Smanjenje tranzitnog prometa u gradskom središtu planira se riješiti izgradnjom novih ulica te organizacijom tzv. prometnih prstena i poluprstena. Biciklistički promet trebao bi dobiti na važnosti jer je Planom određeno proširenje i uređenje biciklističkih staza. Biciklističke staze moraju biti sigurne za bicikliste, a planirana je i izgradnja biciklističkih staza koje će grad povezivati s okolicom. Posebna prednost toj vrsti prometa planirana je u središnjem gradskom prostoru, a uz njega planiraju se povećati i proširiti postojeće pješačke zone [14].

Prema Generalnom urbanističkom planu grada Varaždina neki od ciljeva razvoja cestovnog prometa su [14]:

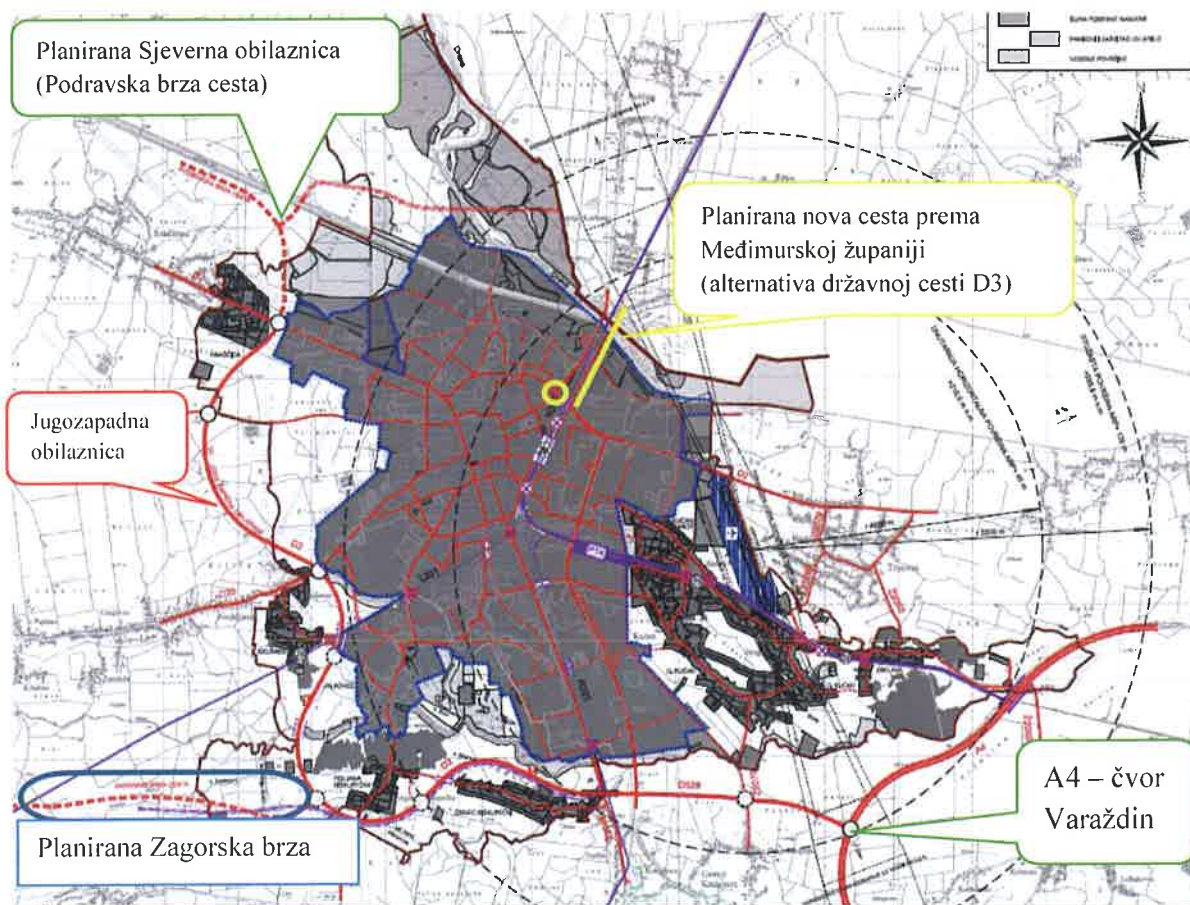
- dovršenje sustava tranzitnih brzih cesta državnog značenja u varaždinskom cestovnom čvoru vodeći računa o tome da one ne ometaju život stanovnika grada,
- osiguravanje prostora za formiranje cestovnog sustava radi rasterećenja gradskog područja i poboljšanja prometne povezanosti pojedinih dijelova grada i okolice,
- postupno isključivanje automobilske prometa iz dijela gradskog središta,
- osigurati prometnu povezanost svih gradskih područja u skladu s postojećim i planiranim razvojnim područjima,
- planski treba predvidjeti prostore za prometnu infrastrukturu koja omogućuje sigurnost svih sudionika u prometu,
- treba postići zadovoljenje što kraćeg vremena putovanja u svim vidovima prometa i po svrhama (kuća-posao, rekreacija, kupovina...),
- u razvoju prometnog sustava što manji štetni utjecaj na okolinu znači povećanje kvalitete.

Promet u središtu grada definiran je obodnim prstenom glavnih ulica, proizašlih iz nekadašnje ulice koja se pružala uz tadašnje bedeme grada. To je tzv. prvi gradski prometni prsten, a čine ga sljedeće ulice: Ulica A. Cesarca, P. Preradovića, V. Nazora te S. Vraza. Na njega se nadovezuju glavni gradski radijalni pravci (Optujska ulica, Ulica I. K. Sakcinskog, Ulica kralja Petra Krešimira IV., Kolodvorska ulica, Anina ulica, Ulica Zrinskih i Frankopana, Ulica braće Radić te Hallerova aleja). Slijedi drugi prometni prsten koji na sjeveru započinje Koprivničkom ulicom, nastavlja se na Optujsku ulicu na zapadu, a na jugu se proteže do Ulice M. Krleže. Treći prometni prsten postoji samo djelomično jer se sastoji od postojećih ulica te GUP-om Grada Varaždina planiranih prometnica, a započinje na tzv. istočnoj obilaznici te završava na granici GUP-a. Unutar sustava gradske jezgre, odnosno prvog prometnog prstena, odvija se lokalni promet, dostava te biciklistički i pješački promet. Cestovni promet je u tom dijelu jednosmjernan (Ulica A. Cesarca, P. Preradovića, V. Nazora, A. Šenoe, Pavlinska ulica, Ulica A. Stepinca te dijelom Ulica I. K. Sakcinskog, Lj. Gaja, A. K. Miošića, I. Cesarca te A. Opolski) i dvosmjernan (slika 5) [14].



Slika 5. Shema glavnih tokova cestovnog prometa
Izvor: [14]

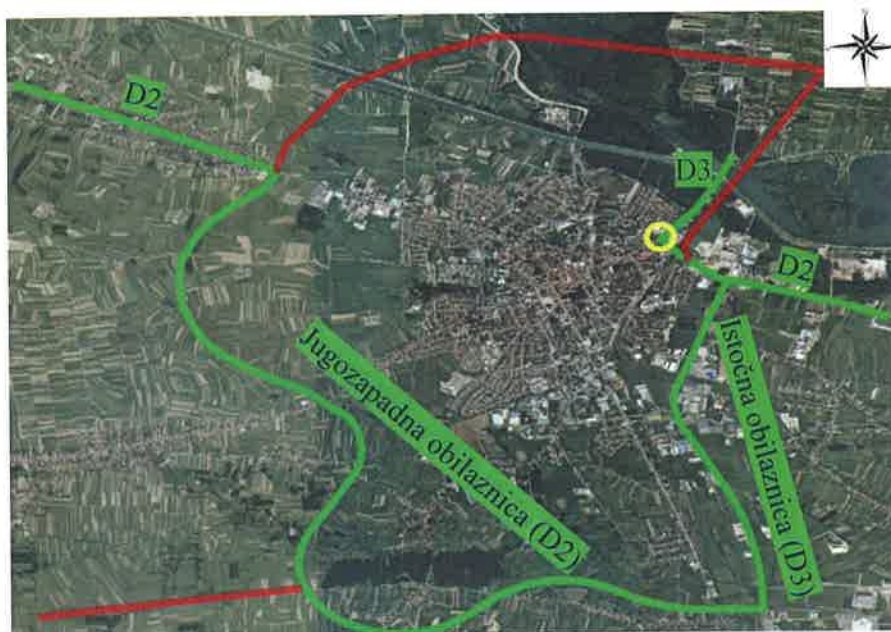
Osnovni koncept rješenja cestovnog prometa u gradu Varaždinu je rasterećenje gradskog centralnog prostora od prometa koji tu nema ni cilj, a niti ishodište. To se može postići izgradnjom novih ulica, gušćom mrežom gradskih ulica. Realizacija Jugozapadne obilaznice pomaže da se tranzitni promet izmjesti izvan područja grada, ali potrebno je izgraditi nove ceste radi veza sa Čakovcem i Koprivnicom, a to je nastavak Istočne obilaznice. Planira se izgradnja novog mosta preko rijeke Drave, kao nova cesta uz Istočnu obilaznicu sa spojem na autocestu A4. Također planira se izgraditi brza cesta Varaždin – Ivanec – Lepoglava – Bednja – Krapina sa spojem na Jugozapadnu obilaznicu koja će omogućiti bolje povezivanje regionalnih središta županija kao i cijelu sjeverozapadnu Hrvatsku, smanjiti vrijeme putovanja i povećati sigurnost. Ova brza cesta bila bi u funkciji međusobnog povezivanja europskih pravaca od Zagreba prema Budimpešti i Beču. Planira se dovršetak Jugozapadne obilaznice od naselja Hrašćica prema sjeveru preko rijeke Drave. Taj dio obilaznice zvao bi se Sjeverna obilaznica koja će ujedno biti i Podravska brza cesta kojom bi se odvijao tranzitni promet koji je do sada išao kroz grad ili po Jugozapadnoj obilaznici (slika 6).



Slika 6. Prostorni plan uređenja grada Varaždina, namjena: Promet
Izvor: [10]

Uz pretpostavku da će se sve navedeno izgraditi kao što je prikazano na slici 7 prema prostorno-planskoj dokumentaciji grada Varaždina, na promatranom raskrižju ovog diplomskog rada može se pretpostaviti da će doći do pada prometnog opterećenja zato što će se tranzit obavljati prstenom obilaznica, postojećom Istočnom i Jugozapadnom obilaznicom te budućom Sjevernom obilaznicom što je zapravo Podravska brza cesta u smjeru istok – zapad.

Na slici 7 žutom bojom označena je lokacija promatranog raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice, crveno su označene planirane trase obilaznica grada Varaždina, a zeleno su postojeće obilaznice (Jugozapadna i Istočna obilaznica).



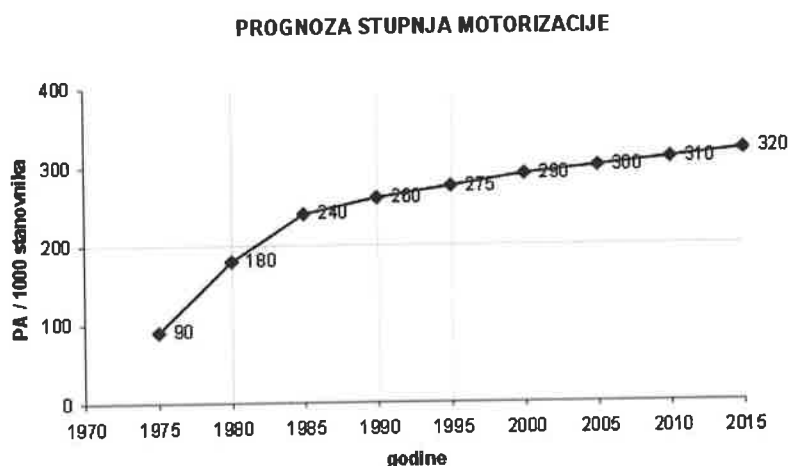
Slika 7. Brze ceste oko grada Varaždina
Izvor: [13]

Kako je promet jedan od najvažnijih elemenata u planiranju grada, zahtjeva se racionalan pristup planiranja. Pritom razvoj mora biti u funkciji unaprjeđenja i poboljšanja kvalitete života u gradu. Povezivanje grada sa širim prostorom, međusobno povezivanje njegovih cjelovitih prostora i dijelova, povezivanje njegovih ukupnih aktivnosti, humanizacije prostora i života u njemu bili su osnovni ciljevi predloženog prometnog sustava u Generalnom urbanističkom planu. Postavljeni ciljevi determiniraju i osnovne pravce razvoja prometnog sustava [14]:

- postići sigurnost svih sudionika u prometu,
- prošiti postojeću prometnu mrežu s tim da je to povezano s oblikovanjem prostora gradskog karaktera,
- racionalno upotrijebiti zemljište za potrebe prometa,
- osigurati funkcioniranje prometnog sustava u izvanrednim prilikama,
- smanjiti trajanje putovanja,
- postići što niže investicijske i operativne troškove.

Prema Generalnom urbanističkom planu iz 2006. godine planiranje prometne mreže grada Varaždina zasniva se na prognozi broja stanovnika na području obuhvata i prognoziranom stupnju motorizacije.

Kod izrade prognoze stupnja motorizacije važni podaci koji služe za njeno utvrđivanje su praćenje razvoja motorizacije u dužem vremenskom razdoblju uz usporedbu s porastom broja stanovnika na promatranom području kao i porastom društvenog proizvoda i prihoda stanovništva. Praćenjem ovih parametara proizlazi da se značajan porast motorizacije dogodio u razdoblju od 1975. g. do 1990. godine kada je dostignut stupanj od 270 putničkih automobila na 1000 stanovnika. Iz projekcije Demografske studije Grada Varaždina očekivani broj stanovnika u samom Varaždinu do 2015. g. iznosi 47.900 stanovnika (prema popisu 2011. godine Varaždin je imao 46.946 stanovnika). Uz očekivani porast predlaže se da stupanj motorizacije za kraj planskog perioda (do 2015. godine) iznosi 1:3.1, odnosno 350 putničkih automobila na 1000 stanovnika (slika 8.) [14].



Slika 8. Prognoziran stupanj motorizacije u gradu Varaždinu
Izvor: [14]

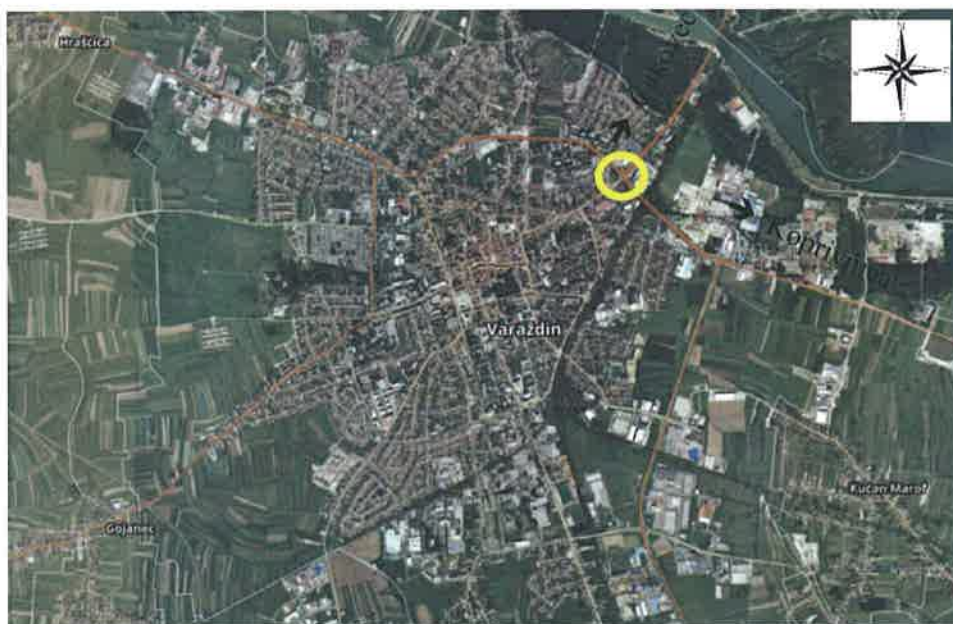
Procjena generacije putovanja izvršena je na osnovi planiranog broja stanovnika, koeficijenta radno – sposobnog stanovništva te faktora vršne smjene. Kako je jutarnji vršni period najopterećeniji vremenski period u toku dana, procjena se vrši za to vrijeme [14].

Od ukupnog broja stanovnika (47.900 stanovnika) procjenjuje se da je njegov aktivno dio 42%, što daje 20.118 aktivnih stanovnika koji rade tijekom cijelog dana. Prva smjena, kao najveća radna smjena procjenjuje se na 75% te se tako dobiva da će u to vrijeme kretati na rad 15.088 stanovnika. Jutarnji vršni period sastoji se od tri računsa sata koji su period dolaska na posao. Unutar ovog perioda pretpostavlja se da je vršno opterećenje jednog sata 65%. To daje 9.800 aktivnih stanovnika koji će se kretati na rad u najopterećenijem satu jutarnjeg perioda. Odluka o načinu dolaska na posao, odnosno izboru sredstva kretanja ovisi o brojnim faktorima kao što su udaljenost do radnog mjesta, ponuda javnog prijevoza, nivo dohotka, stupanj motorizacije [14].

3.4. Analiza postojeće cestovne infrastrukture raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice u gradu Varaždinu

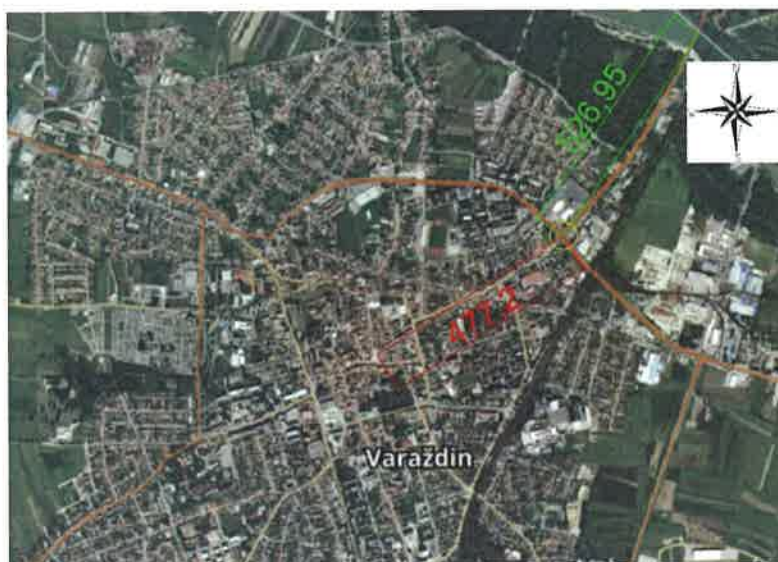
Raskrižje Međimurske i Koprivničke ulice nalazi se na sjeveroistoku grada Varaždina (slika 9). Nalazi se na jedinom cestovnom pravcu (D3) prema Međimurskoj županiji preko rijeke Drave i na koridoru istok – zapad, tzv. Podravske magistrale. Raskrižje je izgrađeno prije 40 godina na području križanja nekadašnjih putova.

Izvedeno je kao četverokrako semaforizirano raskrižje. Postojeće raskrižje sastoji se od četiri privoza, dva s državne ceste D3 i dva s gradskih ulica (Međimurska i Koprivnička ulica), nalazi se u ravničarskom terenu, os raskrižja nalazi se u nivou s okolnim terenom, a državna cesta od križanja prema jugoistoku spušta se u usjek zbog prelaska (podvožnjak) ispod željezničke pruge Varaždin - Čakovec.



Slika 9. Makrolokacija analiziranog raskrižja
Izvor: [13]

Predmetno raskrižje nalazi se na obodu grada, 477 metara od samog središta grada i 527 metara od granice grada Varaždina prema Generalnom urbanističkom planu grada Varaždina iz 2006. godine, što je ujedno i granica između Varaždinske i Međimurske županije (slika 10).



Slika 10. Položaj raskrižja u odnosu na središte i granice grada Varaždina
Izvor: [13]

U blizini navedenog raskrižja nalazi se industrijska zona i stambene zone koje predstavljaju značajne atraktore putovanja na ovom području, (slika 11). U okruženju analiziranog raskrižja nalazi se stambena zona tzv. Banfica – 6. mjesni odbor s otprilike 2.500 stanovnika, trgovački centar „Spar“, „Hrvatske vode“, tvrtka „COLAS Hrvatska d.d.“ (nekadašnje Ceste – Varaždin) jedna je od vodećih tvrtki u hrvatskoj niskogradnji, tvrtka „Zagorje – Tehnobeton d.d.“ koja se bavi visokogradnjom, niskogradnjom, vlastitom proizvodnjom armirano betonskih montažnih elemenata, betona, betonske galanterije, zatim prehrambena tvrtka „Vindija“ te stanica za tehnički pregled vozila „Autoservisni centar d.d.“



Slika 11. Mikrolokacija raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice
Izvor: [13]

3.5. Analiza prometnih tokova

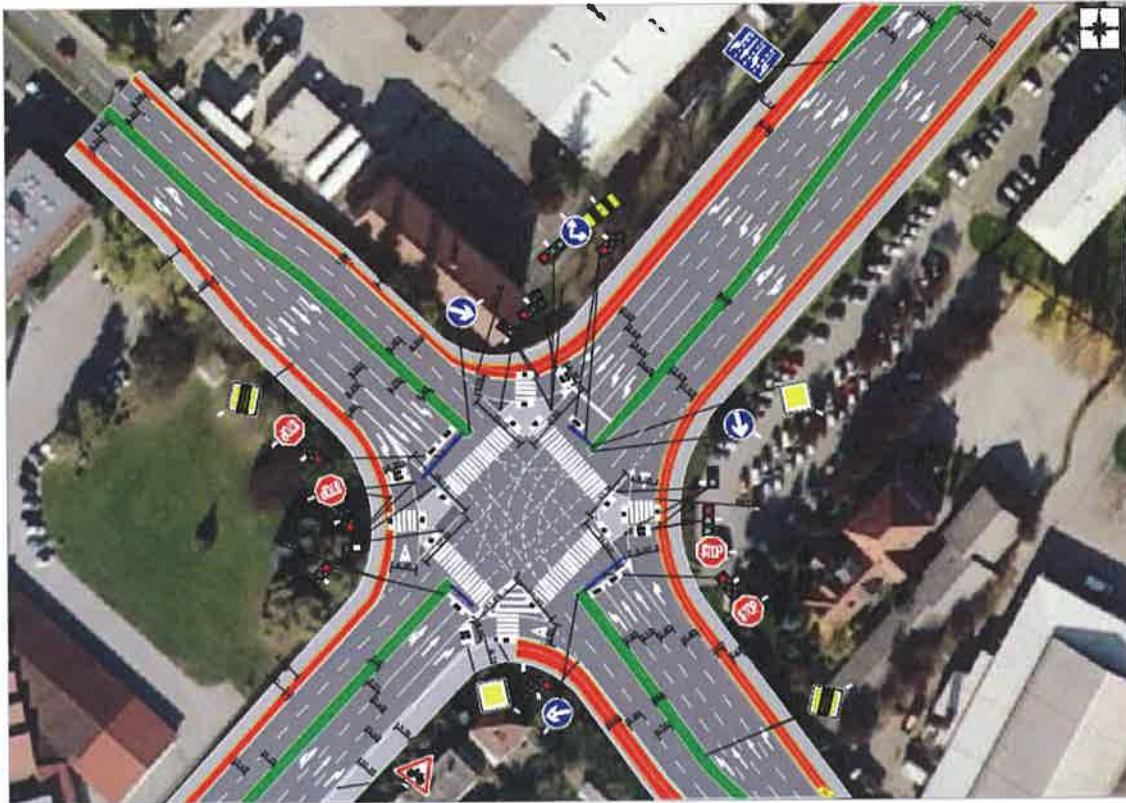
Raskrižje u razini, sastoji se od četiri privoza, od kojih se glavni smjer kretanja vozila proteže od sjeveroistoka prema jugozapadu i obrnuto odnosno glavna ulica je Međimurska ulica (slika 13). Osi raskrižja prikazane su na slici 12. Raskrižje se ne nalazi u centralnom dijelu grada Varaždina stoga je koncentracija nemotoriziranog prometa manja. Na svim privozima uređeni su i fizički odvojeni nogostupi. Biciklistička infrastruktura nije adekvatna što rezultira malim brojem biciklista koji prometuju raskrižjem. Raskrižje je opremljeno svjetlosnim znakovima (semaforima) s vremenski ustaljenim upravljanjem cjelokupnim prometom, te pripadnom horizontalnom i vertikalnom signalizacijom za vođenje prometa. Dopuštena brzina u zoni raskrižja je 40 [km/h]. Postojeće stanje raskrižja prikazano je na slici 14.



Slika 12. Osi raskrižja
Izvor: [13]

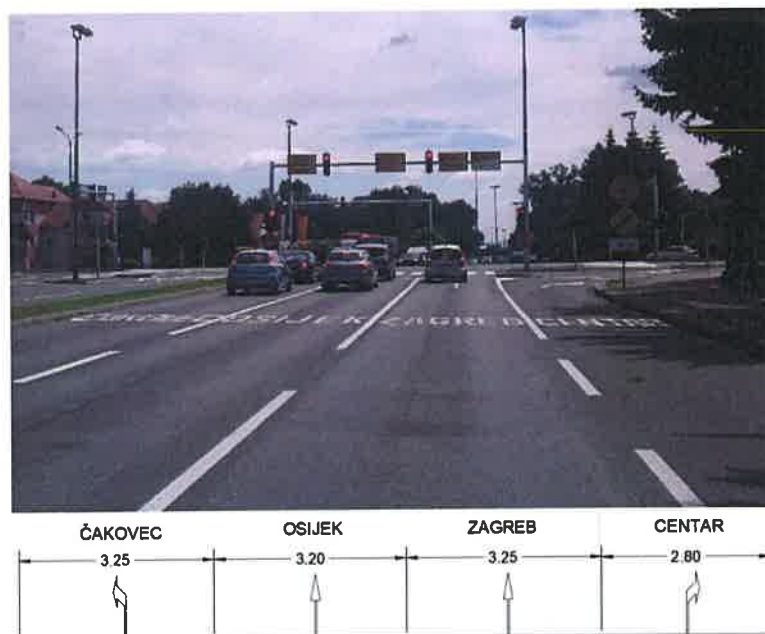


Slika 13. Glavna pravac raskrižja Međimurske i Koprivničke ulice u Varaždinu
Izvor: [13]



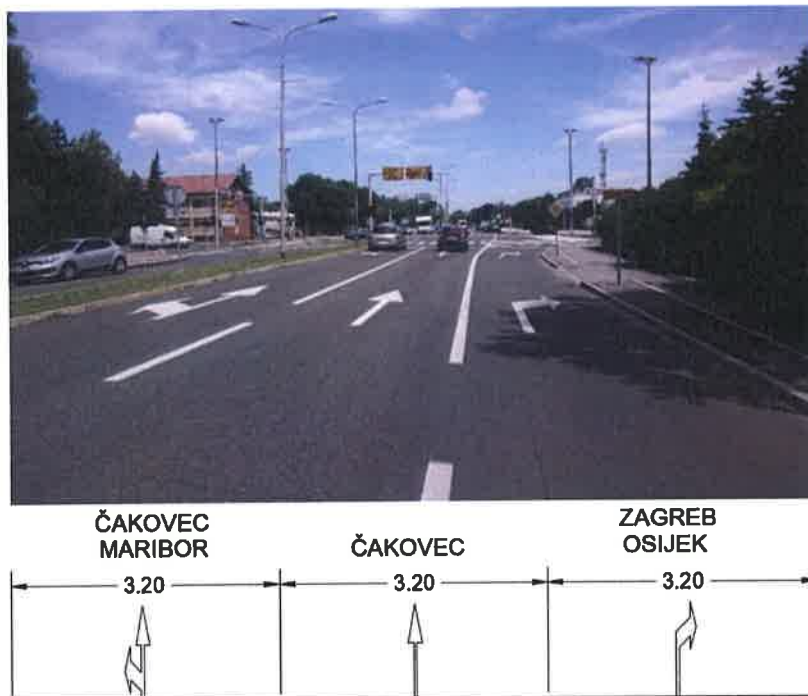
Slika 14. Postojeće stanje raskrižja Međimurske i Koprivničke ulice u Varaždinu

Koprivnička ulica iz smjera sjeverozapada (privoz 1) sastoji se od četiri prometne trake u zoni raskrižja. Jedna prometna traka za lijevo skretanje u privoz 4 širine 3,25 [m], dvije prometne trake za ravno u privoz 3 širine 3,25 i 3,20 [m] i jedna prometna traka za desno skretanje u privoz 2 širine 2,80 [m] u smjeru centra grada, a u kružnom luku prometna traka je širine 5,00 [m] između ruba kolnika i ruba trokutastog otoka kojim je odijeljena (slika 15).



Slika 15. Privoz 1 – iz smjera sjeverozapada, Koprivnička ulica, sporedni pravac

Međimurska ulica iz smjera jugozapada (privoz 2) sastoji se od tri prometne trake u zoni raskrižja. Jedna prometna traka je širine 3,20 [m] za lijevo skretanje u privoz 1 i za ravno u privoz 4. Prometna traka samo za ravno u privoz 4 širine je 3,20 [m] (slika 16) Prometna traka za desno skretanje u privoz 3 je na prilaznom dijelu širine 3,20 [m], a u kružnom luku između iscrtanog trokutastog otoka i ruba kolnika široka je 5,00 [m] (slika 17).



Slika 16. Privoz 2 – iz smjera jugozapada, Međimurska ulica



Slika 17. Desno skretanje iz privoza 2 u privoz 3, iz Međimurske ulice u Koprivničku ulicu

Koprivnička ulica iz smjera jugoistoka (privoz 3) sastoji se od četiri prometne trake u zoni raskrižja. Prometna traka za lijevo u privoz 2 prema centru grada široka je 2,90 [m] u dužini od 50,00 [m]. Od dvije trake za ravno u privoz 1, jedna prometna traka je širine 3,10 [m] dok je druga širine 3,40 [m] (slika 18). Dodatni trak za odvajanje u desno skretanje izveden je u dužini od 90,00 [m] širine 3,40 [m], a proširenje u zavoju je na 5,50 [m] s radijusom većim od R35 [m] uz trokutasti prometni otok (slika 19).

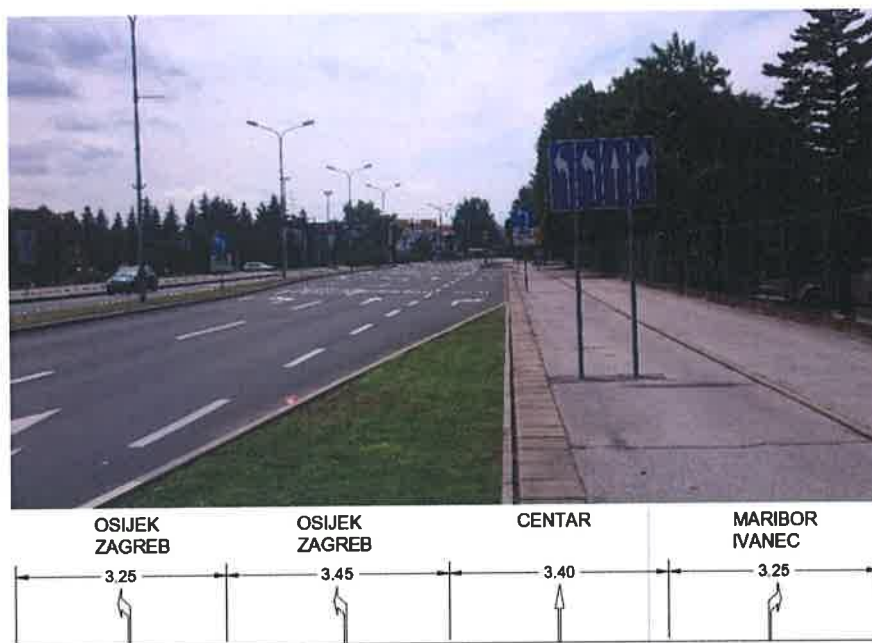


Slika 18. Privoz 3 – smjer jugoistok, Koprivnička ulica



Slika 19. Desno skretanje iz privoza 3 u privoz 4, iz Koprivničke ulice u Međimursku ulicu

Međimurska ulica iz smjera sjeverozapada (privoz 4) sastoji od četiri prometne trake u zoni raskrižja. Dvije prometne trake su širine 3,25 i 3,45 [m] za lijevo skretanje u privoz 3 u smjeru Zagreba, Koprivnice i Osijeka. Jedna prometna traka je prolazni trak za ravno i širine je 3,40 [m] u smjeru centra (privoz 2) (slika 20). Desno skretanje izvedeno je kao dodatni trak u duljini od 100 [m] širine 3,25 [m], a u između trokutastog prometnog otoka i ruba kolnika prometni trak je širok 4,50 [m].



Slika 20. Privoz 4 - iz smjera sjeverozapada, Međimurska ulica

Biciklističke staze se djelomično nadziru s nejasno definiranim smjerom, mjestimično su dvosmjerne i nedovoljno označene. Prijelazi biciklističke staze preko privoza nisu definirani uz pješačke prijelaze. S obzirom na blizinu Dravske park šume i rekreacijskih sadržaja uz rijeku Dravu vikendom i praznicima javlja se pojačan broj biciklista koji koriste biciklističku infrastrukturu.

3.6. Analiza signalnog plana

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

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

Ulazne veličine za analizu semaforiziranog raskrižja su [1]:

- Geometrijski uvjeti:
 - tip područja u kojem se raskrižje nalazi,
 - broj trakova na privozima,
 - širina trakova,
 - uzdužni nagib privoza,
 - posebni ili zajednički trakovi za lijevo i desno skretanje,
 - prostor za parkiranje u zoni raskrižja,

- Prometni uvjeti:
 - brojanje prometa,
 - osnovni zasićeni tok,
 - faktor vršnog sata,
 - utjecaj teških (teretnih) vozila,
 - pješачki promet,
 - biciklistički promet,
 - stajališta javnog prometa u području raskrižja,
 - broj parkiranja u području raskrižja,
 - način dolaska vozila na raskrižje,
 - broj vozila koja dolaze na početku zelene faze,
 - dozvoljena prilazna brzina,

- Semaforizacija:
 - duljina ciklusa,
 - broj i raspored odvijanja faza,
 - zeleno svjetlo,
 - zaštitno vrijeme,
 - tip upravljanja prometom,
 - minimalna zelena vremena za pješake.

Ciklus (duljina trajanja ciklusa) kao osnovna vremenska jedinica puno govori o procesima u raskrižju. Obzirom na jedinstvenost prometnog procesa nemoguće je definirati univerzalno pravilo određivanja duljine ciklusa na tip/oblik, veličinu i položaj raskrižja pa se temeljem iskustva može s dostatnom pouzdanošću prihvatiti tablica 4.

Tablica 4. Uobičajene duljine ciklusa za određeni broj faza

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

Izvor: [1]

Zaštitno međuvrijeme je vremensko razdoblje između završetka propuštanja jednog prometnog toka i početka vremena propuštanja drugog prometnog toka, odnosno to je vrijeme između kraja zelenog svjetla jedne signalne grupe i početka zelenog svjetla druge signalne grupe koja je u koliziji s prethodnom. Ono omogućuje sigurno napuštanje raskrižja vozila koje je ušlo u raskrižje na kraju zelenog vremena u odnosu na vozilo koje će dobiti dozvolu za prolaz. Minimalno potrebno međuvrijeme (t_z) određuje se iz vremena prolaza (t_u), vremena napuštanja (t_r) i vremena ulaza (t_e) [16]:

$$t_z = t_u + t_r - t_e \text{ [s]} \quad (1)$$

Za utvrđivanje međuvremena najprije treba odrediti puteve napuštanja (s_r) puteve prilaza (s_e). Kao referentne linije za utvrđivanje dužine u pravilu se koriste središnje linije vozni i pješačkih traka uključenih prometnih tokova [16].

Put napuštanja (s_r) sastoji se iz osnovnog puta napuštanja (s_o) i fiktivne dužine vozila (l_{fz}). Osnovni put napuštanja kod vozila je put između linije zaustavljanja i sjecišta s prilaznim putem započetog prometnog toka (točke konflikta). Kod pješaka put napuštanja je put između početka prijelaza i završetka površine konflikta [16].

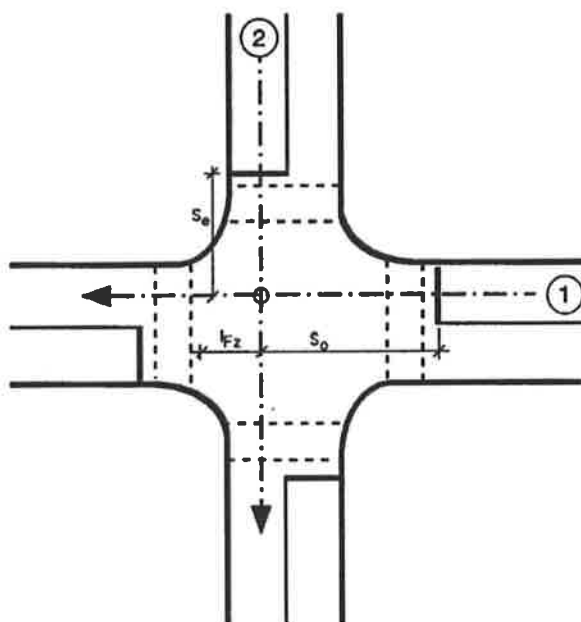
Fiktivne dužine vozila (l_{fz}) [16]:

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

Prilazni put (s_e) kod vozila je put od linije zaustavljanja do sjecišta s putem napuštanja toka vozila koji izlazi iz raskrižja ili do prijelaza (slika 21). Kod pješaka to je put između početka prijelaza i početka konflikte površine. Ukoliko se konfliktna površina nalazi neposredno iza točke pokretanja, put prilaza izjednačava se s nulom.

Vrijeme prolaza (t_u) je vremensko razdoblje za izračunavanje međuvremena između završetka vremena propuštanja i početka vremena napuštanja. Vrijeme napuštanja (t_r) je vremensko razdoblje za prelaženje puta napuštanja (s_r) brzinom napuštanja (v_r) [16].

$$t_r = \frac{s_r}{v_r} [s] \quad (2)$$



Slika 21. Primjer za slučaj konflikata: motorno vozilo koje napušta (1) i motorno vozilo koje ulazi u raskrižje (2)
Izvor: [16]

Upravljanje prometnim svjetlima na raskrižjima može biti [16]:

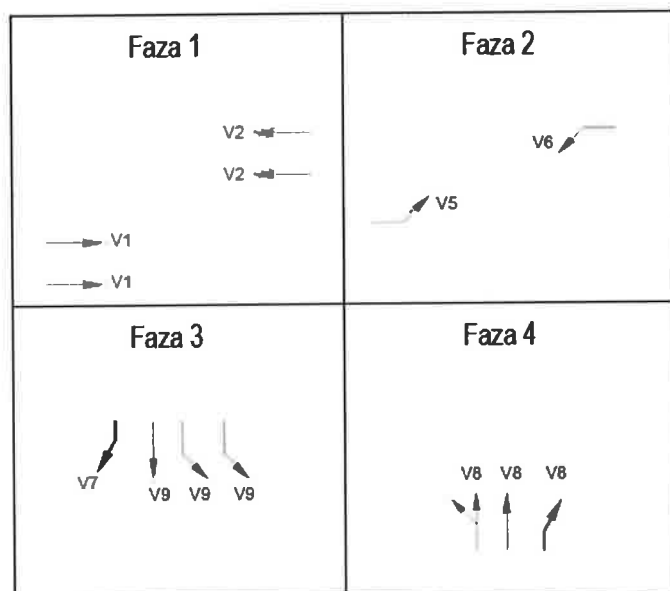
- vremenski ustaljeno upravljanje,
- upravljanje poluovisno o prometu,
- upravljanje potpuno ovisno o prometu.

Kod vremenski ustaljenog upravljanja svi elementi signalnog plana imaju unaprijed određenu vremensku duljinu trajanja ciklusa, slijeda faza, zelenih vremena pojedinih signalnih grupa, intervala i prijelaznih vremena. Prometna potražnja zadovoljava se na način da se tijekom dana izmjenjuje nekoliko signalnih programa. Vremenski ustaljeno upravljanje koristi se na izoliranim raskrižjima, sinkroniziranim potezima u prometnog mreži [16].

Upravljanje poluovisno o prometu upotrebljava se na raskrižjima gdje se promet na sporednom privozu pojavljuje u bitno manjem broju u odnosu na glavni pravac i samo povremeno. Glavni pravac ima stalno zeleno, a sudionici na sporednom pravcu svoju najavu za zelenim svjetlom moraju detektirati putem detektora [16].

Upravljanje potpuno ovisno o prometu omogućuje trenutnu prilagodbu signalnog programa prometnoj potražnji. Sva kretanja na raskrižju su detektirana. Sve signalne grupe imaju određena minimalna i maksimalna trajanja zelenih vremena. Nema krute podjele na faze već postoji niz skupova mogućih kretanja. Upravljanje se izvršava na temelju programiranog algoritma, koji putem detektora i pješačkih tipki analizira postojeću situaciju na raskrižju i kroz niz uvjeta upravlja prometnim svjetlima [16].

Promatrano raskrižje Koprivničke i Međimurske ulice u Varaždinu upravljano je svjetlosnom prometnom signalizacijom i vremenski je ustaljeno. Promet na analiziranom raskrižju odvija se u četiri faze kako je prikazano na slici 22, a trajanje ciklusa iznosi 116 [s].



Slika 22. Raspored signalnih grupa

Sljedeća faza je sljedeći: (slika 23)

1. faza prolaz:

- vozila V1 (smjer ravno iz Koprivničke ulice u smjeru Koprivnice),
- vozila V2 (smjer ravno iz Koprivničke ulice u smjeru Dubrave Križovljanske),
- vozila V3 (traka za desno skretanje iz Koprivničke ulice u smjeru centra Varaždina),
- vozila V4 (traka za desno skretanje iz Koprivničke ulice u smjeru Čakovca),
- vozila S19 (dopunska strelica za desno skretanje iz trake za desno skretanje na Međimurskoj ulici u smjeru Dubrave Križovljanske),
- pješaci P11 (pješaci preko Međimurske ulice iz smjera Koprivnice do razdjelnog otoka)
- pješaci P12 (pješaci preko Međimurske ulice – bez prolaska preko traka za desno skretanje na Međimurskoj i Koprivničkoj ulici);
- pješaci P13 (pješaci preko trake za desno skretanje na Međimurskoj ulici u smjeru Dubrave Križovljanske).

2. faza prolaz:

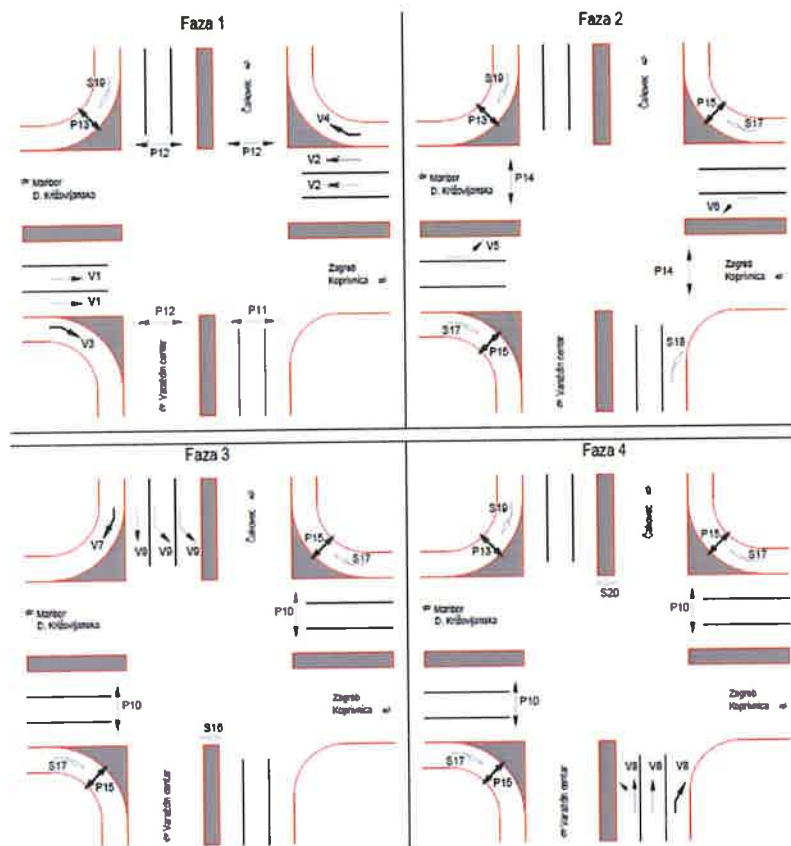
- vozila V5 (lijevi skretač iz Koprivničke ulice u smjeru Čakovca),
- vozila V6 (lijevi skretač iz Koprivničke ulice u smjeru centra Varaždina),
- vozila S17 (dopunska strelica za desno skretanje iz traka za desno skretanje na Koprivničkoj ulici u smjeru centra Varaždina i u smjeru Čakovca),
- vozila S18 (dopunska strelica za desno skretanje iz trake za desno skretanje na Međimurskoj ulici u smjeru Koprivnice),
- vozila S19 (dopunska strelica za desno skretanje iz trake za desno skretanje na Međimurskoj ulici u smjeru Dubrave Križovljanske),
- pješaci P14 (pješaci iz smjera centra Varaždina preko Koprivničke ulice do razdjelnog otoka i pješaci iz smjera Čakovca preko Koprivničke ulice do razdjelnog otoka),
- pješaci P15 (pješaci preko traka za desno skretanje na Koprivničkoj ulici u smjeru centra Varaždina i u smjeru Čakovca).

3. faza prolaz:

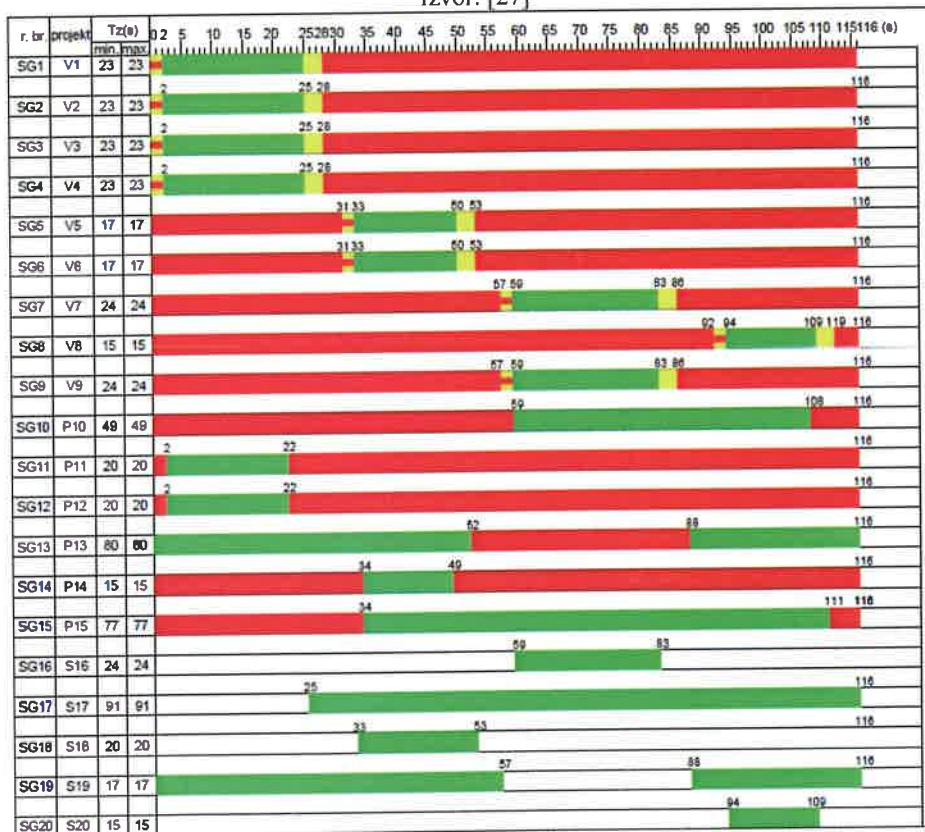
- vozila V7 (traka za desno skretanje iz Međimurske ulice u smjeru Dubrave Križovljanske),
- vozila V9 (smjer lijevo i ravno iz Međimurske ulice u smjeru centra Varaždina),
- vozila S16 (dopunska strelica za lijevo skretanje iz Međimurske ulice u smjeru Koprivnice),
- vozila S17 (dopunska strelica za desno skretanje iz traka za desno skretanje na Koprivničkoj ulici u smjeru centra Varaždina i u smjeru Čakovca),
- pješaci P10 (pješaci iz smjera centra Varaždina preko Koprivničke ulice od razdjelnog otoka preko privoza s vozilima V2 i V6, pješaci iz smjera Čakovca preko Koprivničke ulice od razdjelnog otoka preko privoza s vozilima V1 i V5),
- pješaci P15 (pješaci preko traka za desno skretanje na Koprivničkoj ulici u smjeru centra Varaždina i u smjeru Čakovca).

4. faza prolaz:

- vozila V8 (smjerovi lijevo, desno i ravno iz Međimurske ulice u smjeru Čakovca);
- vozila S17 (dopunska strelica za desno skretanje iz traka za desno skretanje na Koprivničkoj ulici u smjeru centra Varaždina i u smjeru Čakovca);
- vozila S19 (dopunska strelica za desno skretanje iz trake za desno skretanje na Međimurskoj ulici u smjeru Dubrava Križovljanske);
- vozila S20 (dopunska strelica za lijevo skretanje iz Međimurske ulice u smjeru Dubrave Križovljanske);
- pješaci P10 (pješaci iz smjera centra Varaždina preko Koprivničke ulice od razdjelnog otoka preko privoza s vozilima V2 i V6, pješaci iz smjera Čakovca preko Koprivničke ulice od razdjelnog otoka preko privoza sa vozilima V1 i V5).



Slika 23. Slijed odvijanja faza
Izvor: [27]



Slika 24. Postojeći signalni plan
Izvor: [27]

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

Mjerodavna međuvremena za određene signalne grupe ujedinjaju se u matricu međuvremena. Za utvrđivanje međuvremena najprije treba odrediti puteve napuštanja i puteve prilaza. Kao referentne linije za utvrđivanje dužine u pravilu se koriste središnje linije voznih ili pješačkih traka uključenih prometnih tokova. Matrica zaštitnih međuvremena prikazana je u tablici 5.

Tablica 5. Matrica zaštitnih međuvremena

		NALET														
		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
PRAŽNJE	V1					5		7	5	5					8	
	V2					5		7	5	6	5				9	
	V3									5						5
	V4								5							5
	V5		5						5	6	5		8			
	V6	6							7	5	5		8			
	V7		5											5		
	V8	6	7		7	8	5			6		5	9		9	
	V9	8	5	8		5	8		11				9		9	
	P10	10	10			10	10									
	P11								13							
	P12					5	5		5	10						
	P13							5								
	P14	10	5						13	10						
	P15			5	5											

Za tokove vozila promjena sa zelenog na crveno svjetlo zbog voznodinamičkih razloga prikazuje se prijelaznim signalom žuto. Prijelazno vrijeme žuto (t_z) određuje se prema dopuštenoj maksimalnoj brzini na prilaznom putu te iz toga slijedi:

- $t_z = 3$ s pri $V = 50$ km/h,
- $t_z = 4$ s pri $V = 60$ km/h,
- $t_z = 5$ s pri $V = 70$ km/h,
- $t_z = **$ s pri $V = > 70$ km/h (ovisno o vremenu zaustavljanja pri V_{doz} kod forsiranog kočenja) [16].

Između konfliktnih prometnih grupa je unutar zaštitnog vremena predviđeno „sve crveno“ u trajanju od tri sekunde između faze 1 i faze 2, četiri sekunde između faze 2 i faze 3, 6 sekundi između faze 3 i faze 4 te 5 sekundi između faze 4 i faze 1.

4. ANALIZA PODATAKA O BROJANJU PROMETA I PROMETNIM NESREĆAMA

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 mogu se 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 [7].

Učinkovito planiranje cestovne mreže te kratkoročne i dugoročne aktivnosti usmjerene na razvijanje i unaprjeđenje cestovnog prometa zahtijevaju iscrpne baze podataka koje, uz one o stanovništvu i gospodarstvu, obuhvaćaju i bazu podataka o prometnom sustavu i tokovima. Među bitnim pokazateljima stupnja pa i čimbenika razvoja neke države, izgrađenost je cjeline prometne infrastrukture, koja u cestovnom prometu obuhvaća cestovnu mrežu sastavljenu od cesta svih vrsta, uključujući ulice, te druge cestovne građevine [17].

4.1. Analiza podataka o brojanju prometa

Brojanje prometa na analiziranom raskrižju provedeno je u karakterističnom danu u utorak (19. lipnja 2018. godine) u vremenskom periodu popodnevnog vršnog sata od 14:30 do 15:30 sati po 15 minutnim intervalima. Popodnevni vršni period je opterećeniji nego jutarnji jer se ne obavljaju samo radna putovanja kao što je to slučaj za jutarnji vršni sat. Podaci dobiveni ručnim brojanjem prometa prikazani su u sljedećim slikama i grafikonima.

Podjela i oznake privoza su:

- privoz 1 – sjeverozapadni privoz – Koprivnička ulica,
- privoz 2 – jugozapadni privoz – Međimurska ulica,
- privoz 3 – jugoistočni privoz – Koprivnička ulica,
- privoz 4 – sjeveroistočni privoz – Međimurska ulica.

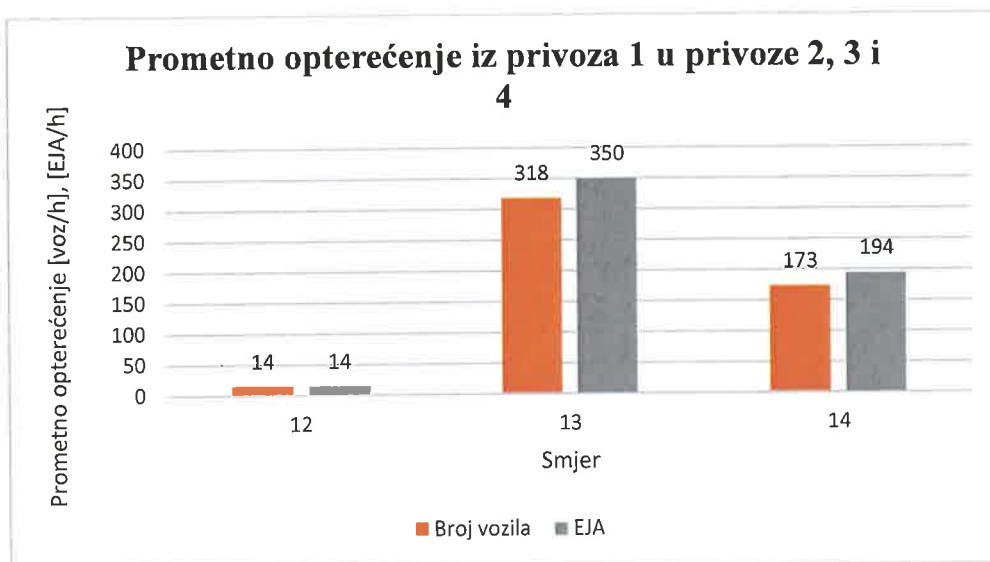
Kod oznake smjera prva brojka je oznaka privoza iz kojega tok dolazi u raskrižje, a druga brojka označava njegov odlazni smjer iz raskrižja. Izbrojana vozila preračunavaju se u ekvivalentnu jedinicu putničkog automobila (EJA) prema tablici 6.

Tablica 6. Preračun vozila u ekvivalentne jedinice putničkih automobila

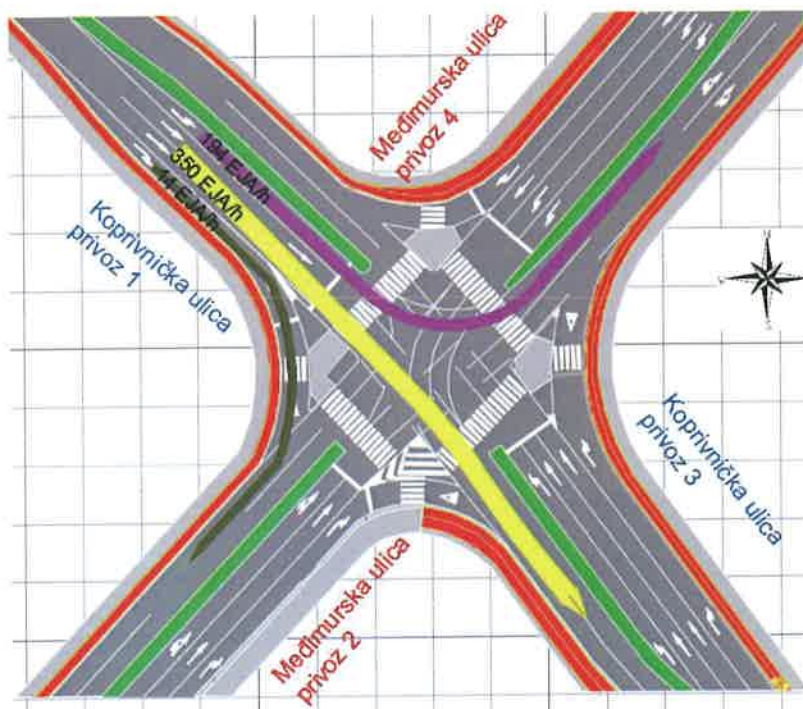
KATEGORIJA	KOEFICIJENT za pretvaranje broja vozila u EJA
Osobni automobil (OA)	1,0
Lako teretno vozilo (LT)	1,5
Teško teretno vozilo (TT)	2,0
Autobus (BUS)	2,0
Motocikl (MOT)	0,7
Bicikl (BIC)	0,3

Izvor: [7]

Prometno opterećenje sporednog privoza 1 - Koprivničke ulice iz smjera sjeverozapada prikazano na grafikonu 1 i slici 25. Vidljiv je broj vozila i ekvivalentna jedinica putničkog automobila u svaki privoz iz privoza 1 u jednom satu. U popodnevnom vršnom periodu između 14:30 i 15:30 ukupno 14 vozila skreće desno (smjer 12), 350 [EJA/h] prolazni u dva prolazna traka za ravno u privoz 3 (smjer 13) te 194 [EJA/h] skreće lijevo u privoz 4 (smjer 14).

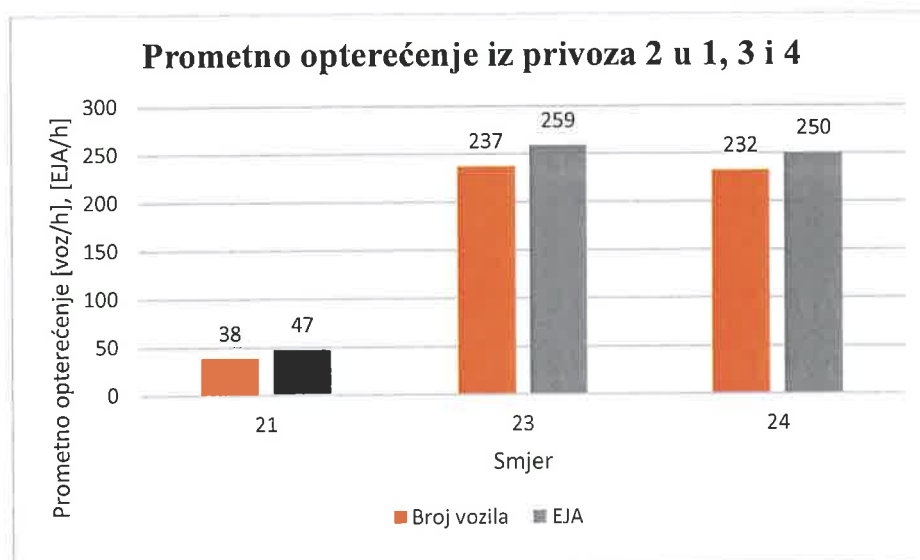


Grafikon 1. Prometno opterećenje iz privoza 1 u privoze 2, 3 i 4

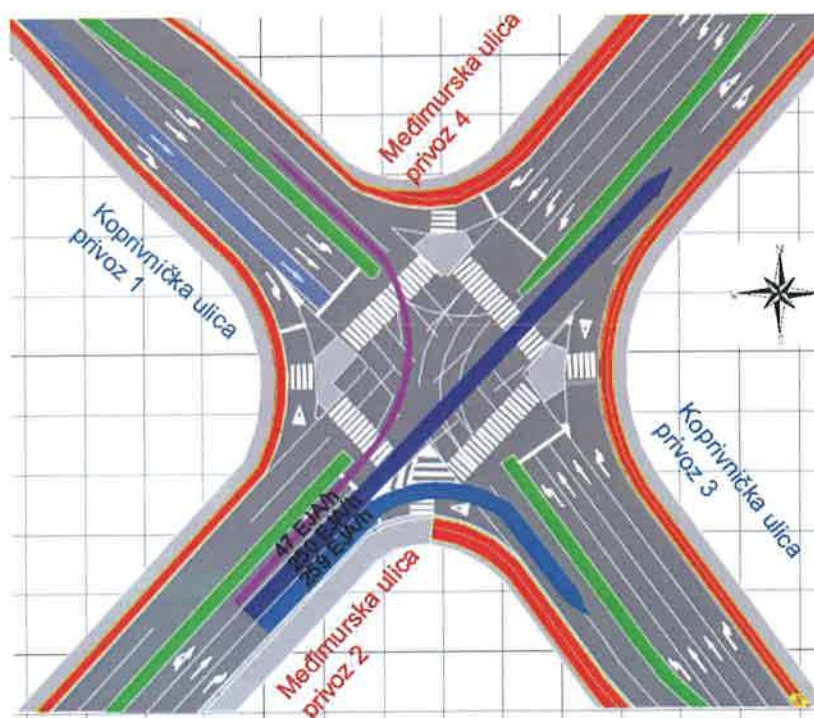


Slika 25. Prometno opterećenje iz privoza 1 u privoze 2, 3 i 4

Prometno opterećenje glavnog privoza 2 – Međimurska ulica iz smjera jugozapada prikazano na grafikonu 2 i slici 26. Prikazan je broj vozila i ekvivalentna jedinica putničkog automobila u svaki privoz iz privoza 2 u jednom satu. U popodnevnom vršnom periodu između 14:30 i 15:30 ukupno 47 [EJA/h] skreće lijevo (smjer 21), 250 [EJA/h] prolazi ravno u privoz 4 (smjer 24) te 259 [EJA/h] skreće desno u privoz 3 (smjer 23).

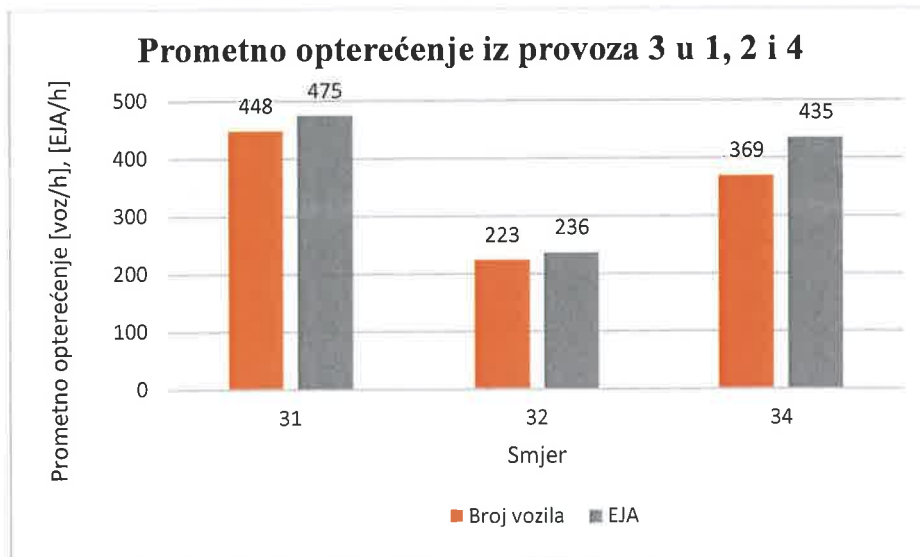


Grafikon 2. Prometno opterećenje privoza 2 u privoze 1,3 i 4

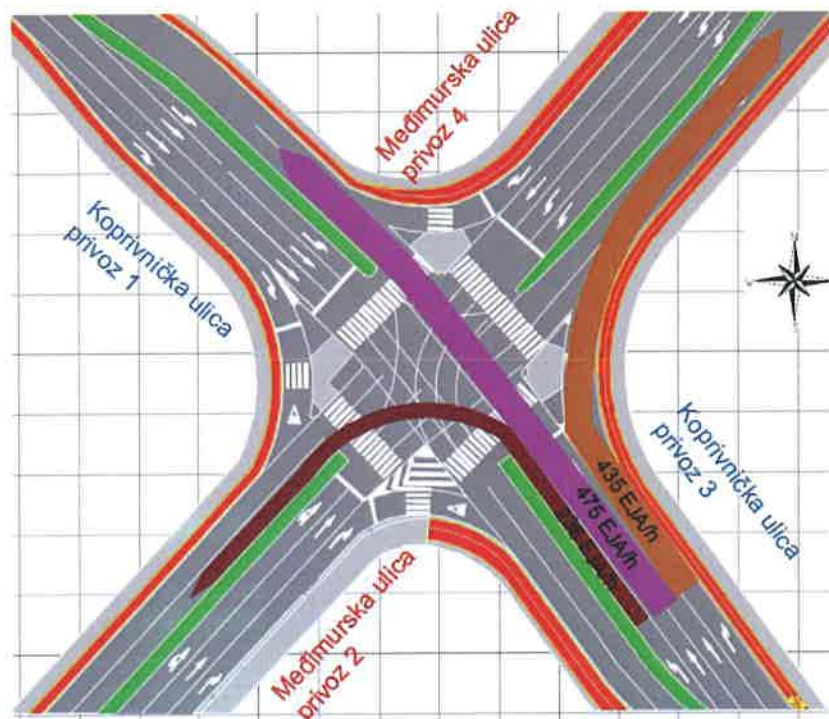


Slika 26. Prometno opterećenje privoza 2 u privoze 1,3 i 4

Prometno opterećenje privoza 3 - sporednog privoza Koprivničke ulice iz smjera jugoistoka prikazano je na grafikonu 3 i slici 27. U jednom popodnevnom vršnom satu dvama prolaznim takovima (smjer 31) prolazi 475 [EJA/h], lijevo skreće (smjer 32) 236 [EJA/h], a desno prolazi 435 [EJA/h] (smjer 34).

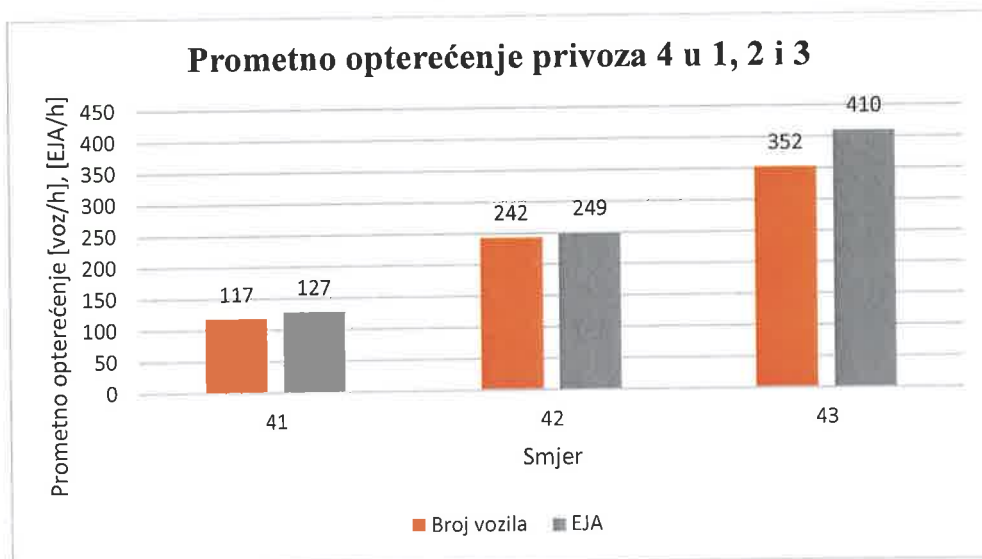


Grafikon 3. Prometno opterećenje privoza 3 u privoze 1,2 i 4

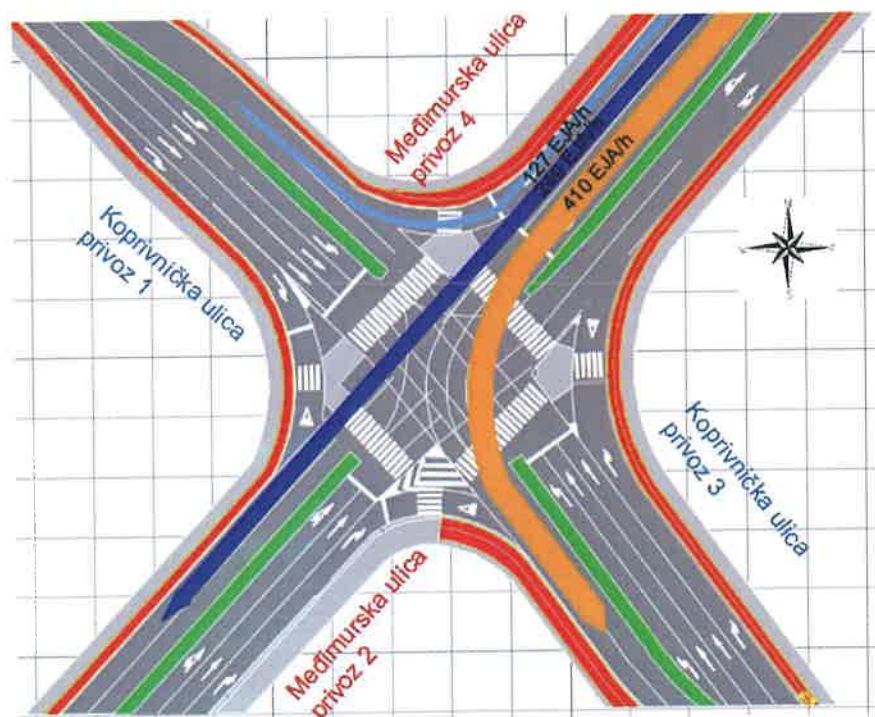


Slika 27. Prometno opterećenje privoza 3 u privoze 1,2 i 4

U popodnevnom vršnom periodu između 14:30 i 15:30 prometno opterećenje glavnog privoza 4 – Međimurska ulica iz smjera sjeveroistoka iznosi 127 [EJA/h] koji skreću desno u privoz 1, ravnom u privoz 2 prolazi 249 [EJA/h), a po dva prometna traka za lijevo skretanje u privoz 3 prolazi 410 [EJA/h) što je ujedno i najopterećenije lijevo skretanje na analiziranom raskrižju. Od ukupno 352 [voz/h] koja skreću lijevo (smjer 43) teških teretnih vozila je 36 u jednom satu.

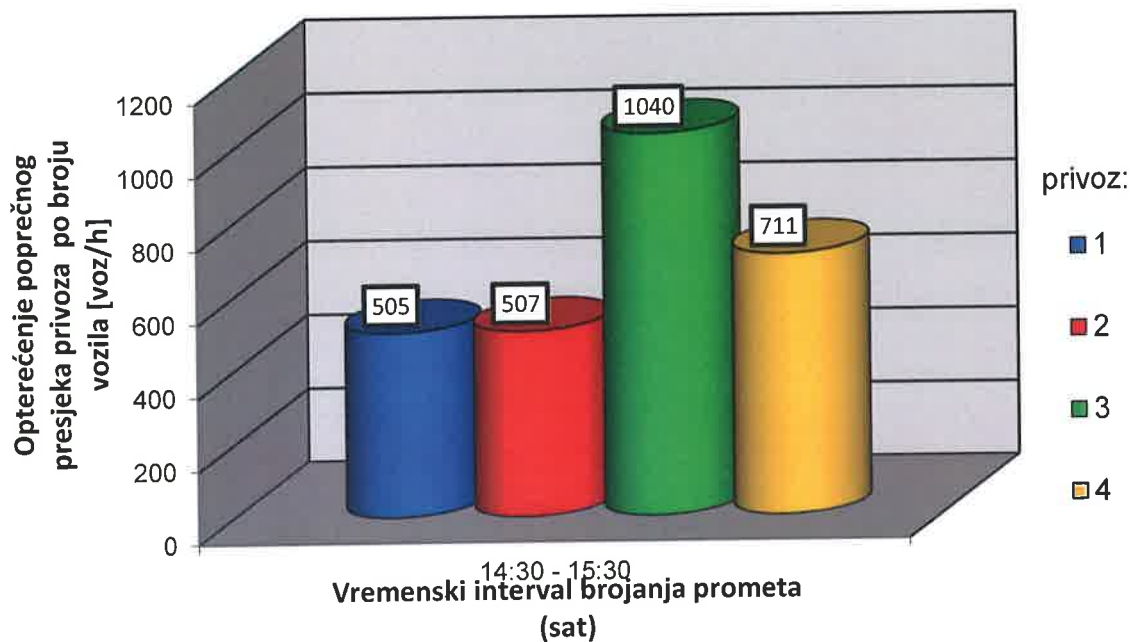


Grafikon 4. Prometno opterećenje privoza 4 u privoze 1,2 i 3



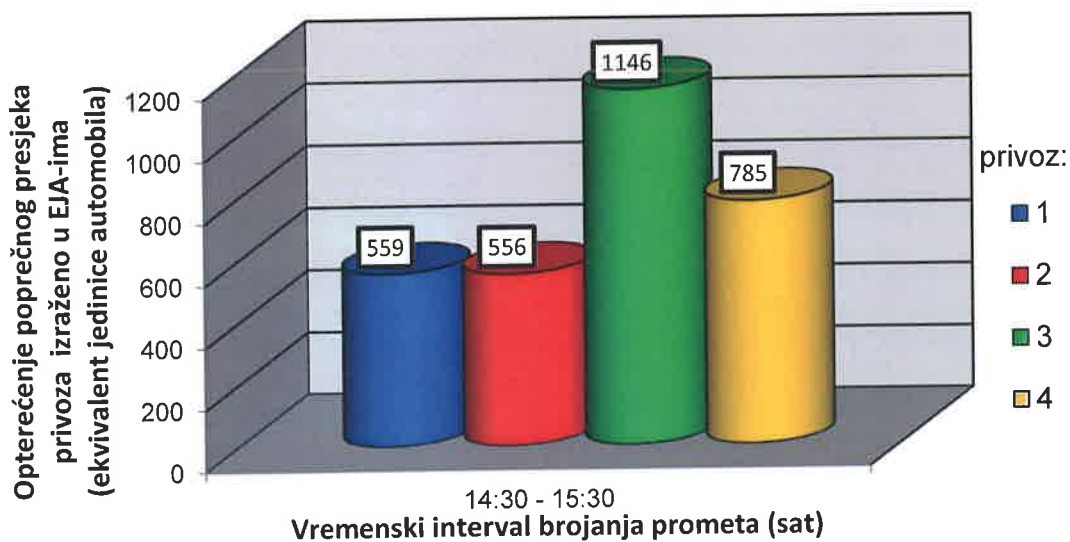
Slika 28. Prometno opterećenje privoza 4 u privoze 1,2 i 3

Grafikon 5 prikazuje opterećenje svakog privoza po ukupnom broju vozila koja su prolaze presjekom pojedinog privoza. Prema podacima brojanja prometa, privoz 3 je najopterećeniji. Privoz 3 je dio državne ceste D3 iz smjera jugoistoka. Nakon privoza 3 po opterećenju ističe se privoz 4 koje je dio državne ceste D3 iz smjera sjeveroistoka.

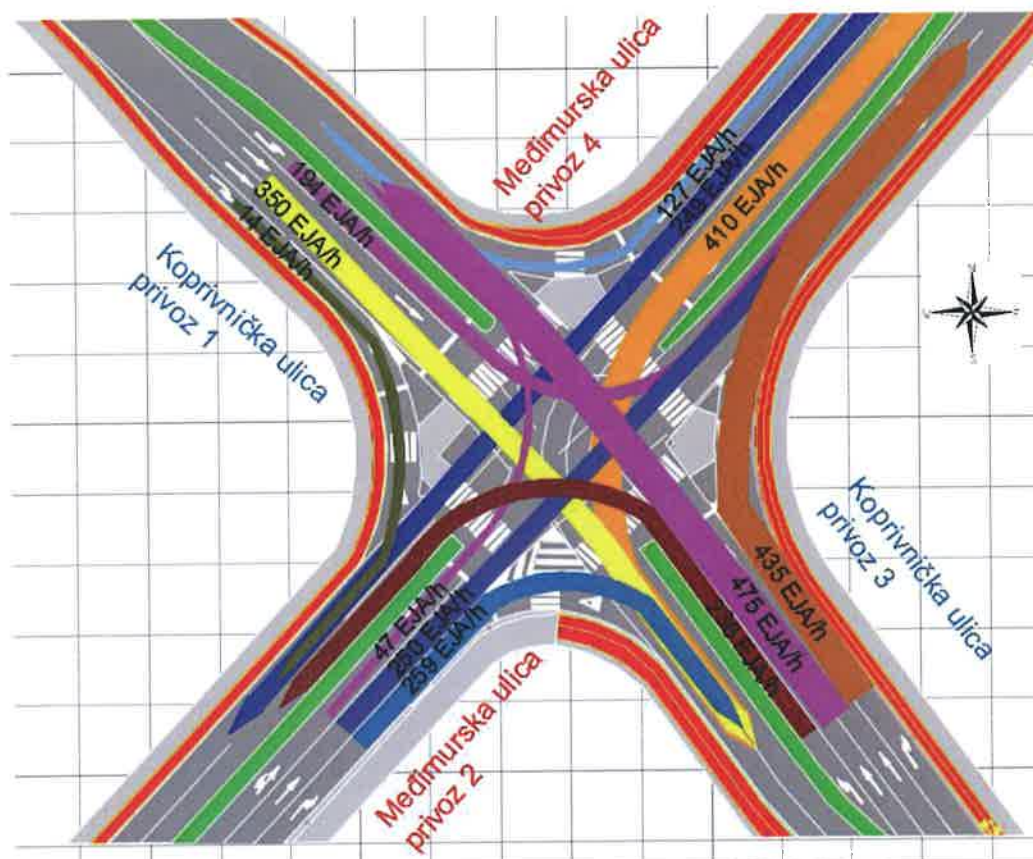


Grafikon 5. Opterećenje poprečnog presjeka pojedinog privoza po broju vozila

Na grafikonu 6 i slici 29 prikazano je opterećenje poprečnog presjeka svakog privoza prikazano u ekvivalentnim jedinicama putničkog automobila. Iz svega prikazanog vidljivo je da glavni prometni tok (Međimurska ulica, privoz 2 i privoz 4) ima ukupno 1341 [EJA/h], a sporedni prometni tok (Koprivnička ulica, privoz 1 i privoz 3) ima ukupno 1705 [EJA/h].

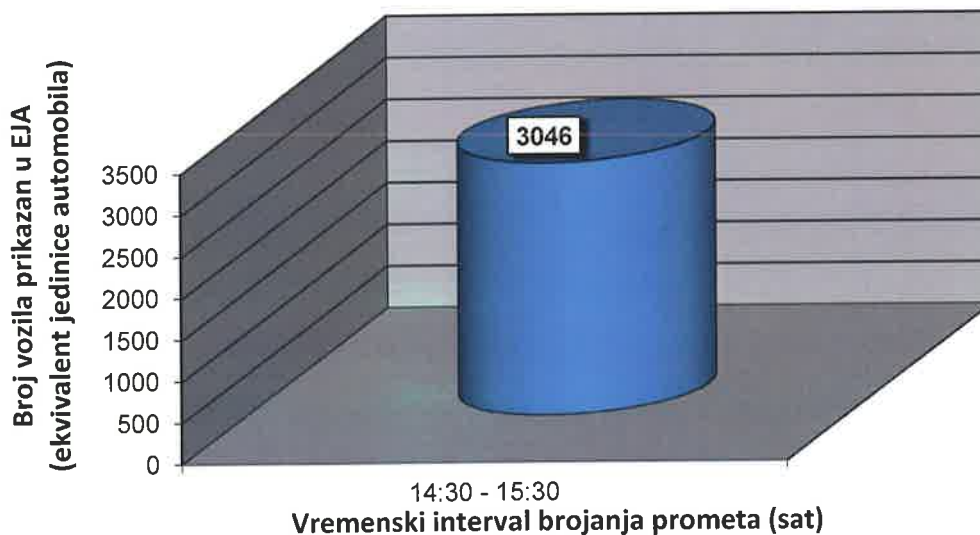


Grafikon 6. Opterećenje poprečnog presjeka privoza izraženo u EJA/h



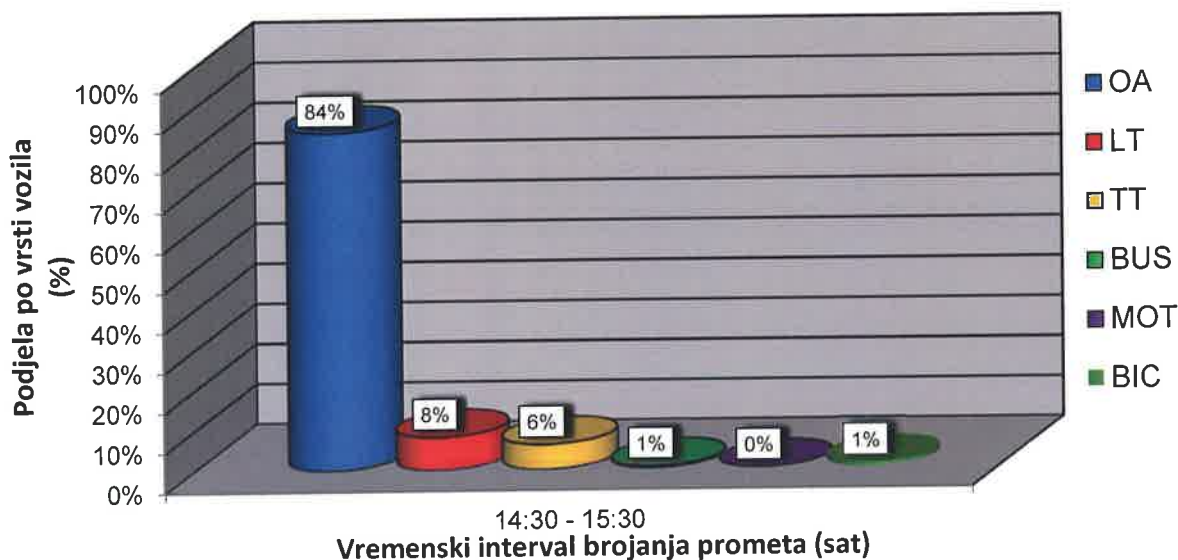
Slika 29. Prometno opterećenje raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice u Varaždinu

Prema podacima o brojanju prometa analizirano raskrižje u vršnom satu kroz raskrižje prolazi 3046 [EJA/h] te prosječni godišnji dnevni promet (PGDP) raskrižja iznosi 30.460 [voz/dan].



Grafikon 7. Prometno opterećenje raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice u gradu Varaždinu

Na grafikonu 8. prikazana je podjela po vrsti vozila. Iz grafikona se vidi da dominiraju osobna vozila (OA) u iznosu od 84%, laka teretna (LT) vozila prisutna su 8%, zatim slijede teška teretna vozila (TT) 6% što je posljedica obavljanja tranzitnog teretnog prometa ovim raskrižjem te djelatnostima tvrtki koje se nalaze oko lokacije analiziranog raskrižja. Autobusa je tek jedan 1% kao i biciklista.



Grafikon 8. Struktura prometnog toka

4.2. Analiza podataka o prometnim nesrećama

Prometna nesreća je događaj na cesti, izazvan kršenjem prometnih propisa, u kojem je sudjelovalo najmanje jedno vozilo u pokretu i u kojem je najmanje jedna osoba ozlijeđena ili poginula, ili u roku od 30 dana preminula od posljedica te prometne nesreće, ili je izazvana materijalna šteta. Prometna nesreća nije kada je radno vozilo, radni stroj, motokultivator, traktor ili zaprežno vozilo, krećući se po nerazvrstanoj cesti ili pri obavljanju radova u pokretu, sletjelo s nerazvrstane ceste ili se prevrnuo ili udarilo u neku prirodnu prepreku, a pritom ne sudjeluje drugo vozilo ili pješak i kada tim događajem drugoj osobi nije prouzročena šteta [3].

Osmišljena i dobro koncipirana raskrižja udovoljit će uvjetima sigurne vožnje ako u cijelosti ili pretežito udovoljavaju bitnim zahtjevima, a to su pravovremena prepoznatljivost, preglednost, shvatljivost i dostatna provoznost [1].

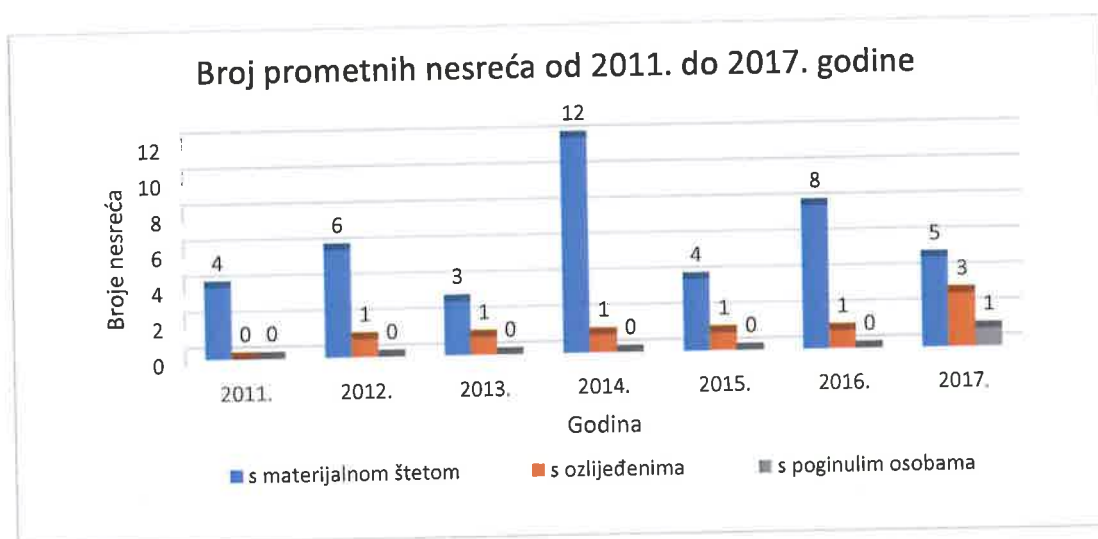
Analizirano raskrižje Koprivničke i Međimurske ulice ima zadovoljavajuću prepoznatljivost, dobru preglednost i dostatnu provoznost, ali neadekvatnu prometnu signalizaciju što utječe na sigurnost prometa u slučaju kada su semafori izvan funkcije zbog tehničkog kvara.

Prema evidenciji Policijske uprave Varaždinske u periodu od 2011. do 2017. godine evidentirana je ukupno 51 prometna nesreća. Podaci o prometnim nesrećama i posljedicama prikazani su u tablici 7 i na grafikonu 9.

Tablica 7. Evidencija prometnih nesreća na raskrižju Koprivničke i Međimurske ulice u Varaždinu u razdoblju od 2011. do 2017. godine

Raskrižje Koprivničke i Međimurske ulice u Varaždinu	GODINA						
	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
BROJ PROMETNIH NESREĆA							
s materijalnom štetom	4	6	3	12	4	8	5
s ozlijeđenima	0	1	1	1	1	1	3
s poginulim osobama	0	0	0	0	0	0	1
BROJ NASTRADALIH OSOBA							
lako ozlijeđenih	0	1	1	1	0	1	3
teško ozlijeđenih	0	0	0	0	1	0	0
poginulih	0	0	0	0	0	0	1

Izvor: [18]



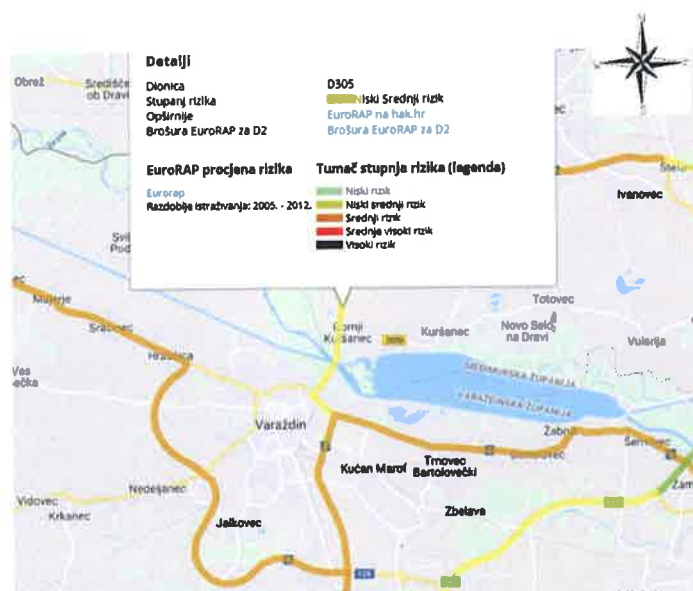
Grafikon 9. Broj prometnih nesreća prema posljedicama u razdoblju od 2011. do 2017. godine

Najveći broj prometnih nesreća dogodio se nakon reprogramiranja režima rada semafora i puštanja u rad ili za vrijeme tehničke neispravnosti semafora. Većinom su nesreće samo s materijalnom štetom zbog relativno malih brzina u raskrižju. Jedna osoba je poginula 2017. vozeći motocikl iz smjera sjeveroistoka Međimurskom ulicom ravno prema centru grada.

Analizirano raskrižje nije oduvijek imalo upravljanje prometnim svjetlima (semaforima) u četiri faze. Do 2017. godine regulacija prometnih tokova odvijala u tri faze s poslije faznim pražnjenjem lijevih skretanja sa sjeveroistoka iz smjera Čakovca (dopunska zelena strelica) u vremenski ustaljenom režimu neovisno o prometnom opterećenju prometnog toka što je jako nesigurno rješenje i prometno neučinkovito s obzirom da se većinski promet i to teretni promet odvija tim prometnim tokom. Trenutno se prometom u raskrižju upravlja u četiri faze te su konfliktne situacije smanjenje, ali je povećano vrijeme čekanja što rezultira repovima čekanja na privozima jer trajanje ciklusa iznosi 116 sekundi.

Prema EuroRAP-u (European Road Assessment Programme) državna ceste D3 iz smjera sjeveroistoka (Međimurska ulica) ima srednje nizak stupanj rizika (slika 30) dok D2 iz smjera jugoistoka (Koprivnička ulica – Podravska magistrala) ima srednji stupanj rizika (slika 31).

EuroRAP je međunarodna neprofitna udruga osnovana 1999. godine i registrirana u Belgiji koja je posvećena spašavanju života putem sigurnijih cesta [20]. Primarni cilj je smanjenje nesreća sa smrtnim posljedicama i ozbiljnim ozljedama kroz program sustavne procjene rizika, identificirajući glavne nedostatke, detektirajući potencijalno opasna mjesta, odnosno pristupiti problemu sustavno djelujući na tri čimbenika sustava čovjek – vozilo – infrastruktura.



Slika 30. Procjena stupnja rizika (D3) prema EuroRAP-u
Izvor: [19]



Slika 31. Procjena stupnja rizika (D2) prema EuroRAP-u
Izvor: [19]

5. PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA POSTOJEĆEG STANJA

Raskrižja se u cestovnoj mreži pojavljuju u više oblikovnih modaliteta, a općenito se mogu razvrstati na raskrižja u jednoj ili više razina, raskrižja s kružnim tokom prometa i kombinirana raskrižja. Pri izboru mjesta i načina rješavanja raskrižja neophodno je svaki slučaj detaljno proučiti jer neadekvatno koncipirano i oblikovano raskrižje predstavlja opasnost za sigurnost prometa i smanjenje propusne moći [1].

Visoki zahtjevi u pogledu projektiranja i uporabe raskrižja trebaju se provjeriti uz pomoć osnovnih, odnosno svrsishodnih mjerila, a najbitniji su [1].

- sigurnost prometa;
- kvaliteta odvijanja prometa;
- utjecajnost na okolinu i okoliš;
- ekonomičnost rješenja.

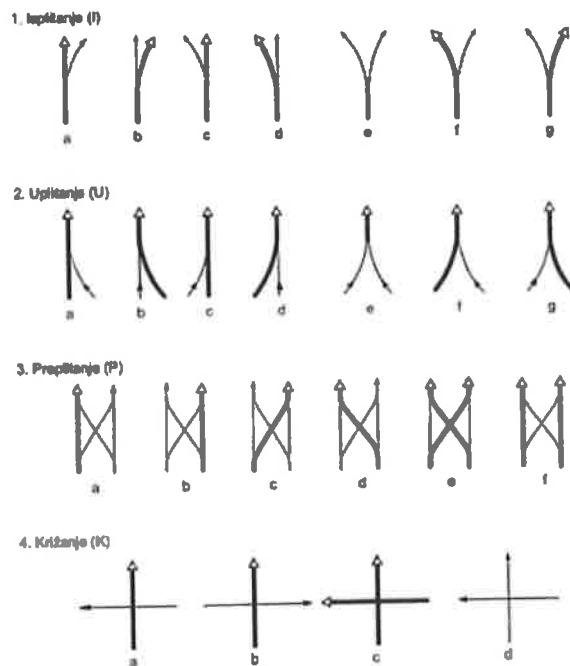
Najvažnije mjerilo nekog raskrižja je njegova razina sigurnosti odvijanja prometa. U nastavku su detaljnije obrazloženi neki od čimbenika sigurnosti prometa [1]:

- *pravovremena prepoznatljivost* mora biti omogućena sa svih privoza, a vozači trebaju biti pripremljeni i spremni za sve prometne situacije koje su pred njima,
- *preglednost raskrižja* podrazumijeva dobro i pravovremeno uočavanje najbitnijih oblikovnih elemenata te raskrižja u cjelini,
- *shvatljivost* će biti zadovoljena u uvjetima kada je svim učesnicima jasno na koju stranu skrenuti, tko i kako se treba razvrstati, gdje su mogući konflikti itd.,
- *dostatna provoznost i prohodnost* za pješake bit će osigurana za ona rješenja raskrižja u kojima su oblikovna svojstva usklađena s voznodinamičkim, odnosno voznogeometrijskim osobinama vozila kao i sa zahtjevima nemotoriziranih sudionika u prometu.

Osnovne prometne radnje (koje uzrokuju konfliktne situacije različitih stupnjeva) nastaju zbog promjene smjera, ali i brzine jednog ili više vozila. U području raskrižja izvode se sljedeće radnje [1]:

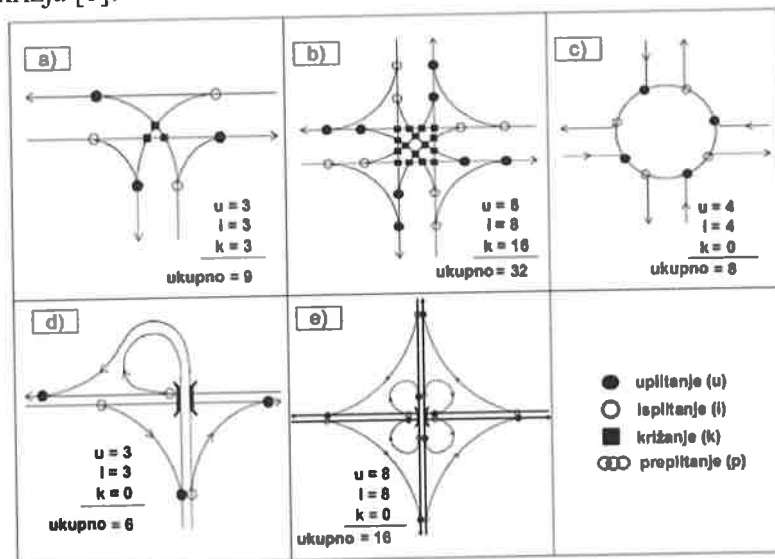
- isplitanje - dijeljenje prometnih tokova;
- uplitanje – sjedinjavanje prometnih tokova;
- preplitanje – međusobna izmjena prometnih trakova ili tokova;
- križanje (presijecanje) – međusobno križanje/presijecanje prometnih tokova.

Na slici 32 prikazana je raznovrsnost prometnih radnji koje su poredane po gradaciji od najlakše radnje koja je isplitanje do najopasnijih radnji, a to su križanja. Širom linijom označen je glavni tok, a užom sporedni tok.



Slika 32. Prometne radnje u raskrižju
Izvor: [1]

Konfliktne situacije može se definirati kao zbroj svih konfliktnih točaka koje su uzrokovane prometnim radnjama isplitanja, uplitanja, preplitanja i križanja prometnih tokova na površini raskrižja [1].



Slika 33. Primjeri konfliktnih točaka i površina/situacija
Izvor: [1]

Broj konfliktnih točaka ovisi samo o vrsti ili tipu i obliku raskrižja, a stvaran broj konfliktnih situacija u znatnoj mjeri ovisan je o geometrijskom oblikovanju, slobodnoj vidljivosti te o prometnom opterećenju [1]. Najveći broj konfliktnih točaka sadrže raskrižja u razini (slika 33.- a, b), a manje ih je na raskrižjima izvan razine jer nema prometne radnje križanja (slika 33.- d, e). Raskrižja s kružnim tokom prometa sadrže najmanji broj konfliktnih točaka (slika 33.-c)

Nakon kriterija sigurnosti ističe se kvaliteta odvijanja prometa koja treba biti uvijek osigurana, posebno u slučajevima kad su prisutne nemotorizirane vrste prometa. Na raskrižjima s pješačkim i biciklističkim prometom miješaju se nestandardni prometni tokovi, pa je veća opasnost od prometnih konflikata što rezultira manjem sigurnošću raskrižja u cjelini. Cestovna infrastruktura također treba biti planirana i projektirana tako da osigurava dostatnu propusnu moć kako u vršnim opterećenjima ne dolazi do duljih čekanja. Uz pomoć svjetlosne signalizacije može se povećati propusna moć raskrižja uz posljedicu manjeg produljenja vremena čekanja.

Raskrižja trebaju biti koncipirana tako da budu što manje štetna za prostor i okoliš. Pod kriterijem utjecaja raskrižja na okoliš podrazumijeva se stupanj narušavanja krajolika, buka, onečišćenje zraka, okupiranost zemljišta itd.

Buka i onečišćenje zraka od prometa mogu se smanjiti ako se ispune pretpostavke [1]:

- smanjiti izrazita ubrzanja u raskrižju,
- smanjiti broj zastoja i „stani-kreni“ vožnju,
- dobro uskladiti rad svjetlosne signalizacije s prometnom potražnjom,
- smanjiti nagib trase s raskrižjem već u studijsko – projektnoj fazi,
- uskladiti izbor kolničkog zastora sa zahtjevima dobre hrapavosti i smanjene bučnosti.

Uz sve navedeno cestovna raskrižja, poput prometnih uređaja i građevina, moraju zadovoljiti četiri načela optimalnosti (minimalnih i maksimalnih pokazatelja) [1]:

- minimum investicija u izgradnji,
- maksimum funkcionalnosti u korištenju,
- maksimum prikladnosti u održavanju,
- maksimum izvodljivosti u rekonstrukciji.

Funkcija cestovnog prometnog procesa je funkcija dviju veličina, a to su: sigurnost i kvaliteta prometa. Sigurnost se najčešće predstavlja kao kvalitativna mjera smanjivanja broja prometnih nesreća i njihovih posljedica. Pokazatelji kvalitete prometa po načelima održivog razvitka svrstavaju se u dvije osnovne kategorije [1]:

- kvaliteta prometa (brzina i vrijeme putovanja, izgubljeno vrijeme, repovi čekanja, udobnost vožnje bez „stani-kreni“ poremećaja)
- ekološki pokazatelji (potrošnja goriva, buka, onečišćenje okoliša/emisija štetnih plinova itd).

Prometno-funkcionalni model predstavlja okosnicu ostalih modela (sigurnosnog modela te modela propusne moći i razine uslužnosti), a osnovno veličine su [1]:

- položaj raskrižja u mreži,
- mikrolokacija (horizontalni i vertikalni elementi, preglednost, računске prilazne brzine na privozima),
- prometna potražnja (mjerodavni promet)
- oblik raskrižja,
- stupanj sigurnosti,
- propusna moć,
- ekološki pokazatelji,
- pokazatelji kvalitete i razine uslužnosti,
- ITS usluge.

Prema položaju raskrižja u mreži, tj. prema kategoriji cesta koje se križaju, određuje se oblik rješenja. Odnos između različitih cesta i optimalnih tipova raskrižja prikazan je na slici 34. Brojevi ispod tipa ceste označavaju broj prometnih trakova.

		CVU		VC		SC		PC	
		3+3	2+2	3+3	2+2	2+2	4	4	2
CVU	3+3								
	2+2		(RIR)						
VC	3+3								IV/1
	2+2				III/1				--
SC	2+2						(RUR)		II/2
	4					III/2		I/1	
PC	4								
	2			IV/1	II/2				I/2

Slika 34. Različite kombinacije cesta i raskrižja
Izvor: [1]

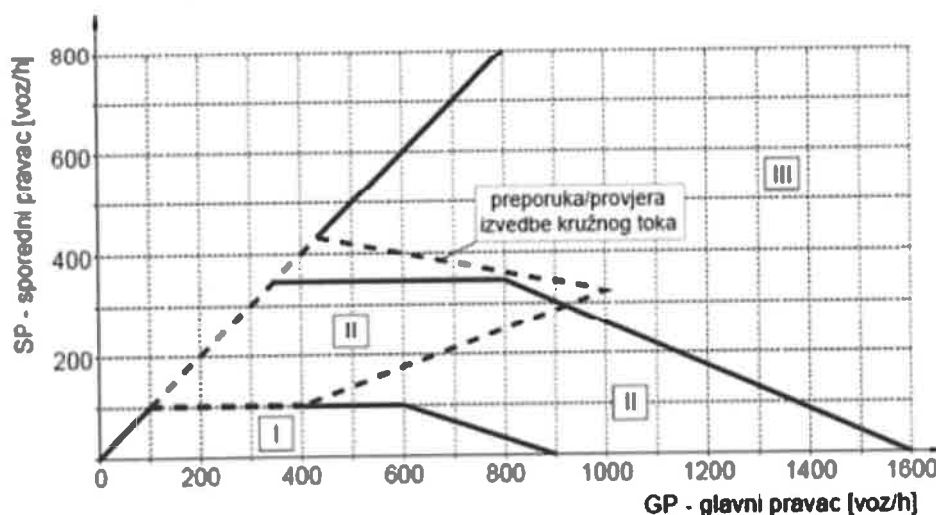
Raskrižje tipa I (PC-PC ili SC-PC) preporuča za raskrižja pristupne ceste s pristupnom cestom ili eventualno s sabirnom cestom koja mogu biti nesemaforizirana ili semaforizirana iz razloga sigurnosti (smanjeni kut preglednosti, jaki pješački tokovi). Minimalna zahtijevana razina usluge za mjerodavno prometno opterećenje je D ili E [1].

Raskrižje tipa II (VC-SC, VC-PC ili SC-PC) preporuča se za raskrižja cesta različitih kategorija i bitno različitih prometnih opterećenja, a to su križanja veznih cesta sa sabirnim cestama, veznih cesta s pristupnim cestama ili sabirnih cesta s pristupnim cestama. Skretanja na glavnom pravcu odvojena u posebne trakove. Zbog povećanja učinkovitosti i sigurnosti prometovanja često se dopušta samo desno skretanja iz sporednog pravca. U slučaju manje razlike između kategorije ceste dopuštaju se ostala skretanja iz sporednog pravca. Najčešće su to nesemaforizirana raskrižja ili raskrižja s kružnim tokom prometa. Minimalna razina usluge raskrižja za mjerodavno opterećenje je D [1].

Raskrižje tipa III (VC-VC, VC-SC, rjeđe SC-PC, a vrlo rijetko VC-PC) moraju pružiti visoku razinu uslužnosti. To su najčešće raskrižja veznih cesta približno istih kategorija s podjednakim opterećenjem glavnog i sporednog pravca. Svi prometni tokovi imaju vlastite prometne trakove, a broj trakova odgovara mjerodavnom opterećenju za postizanje razine uslužnosti minimalno C, odnosno u vršnom satu minimalno D. Obavezna je prisutnost adaptivnog upravljanja prometom [1].

Uvođenjem ITS (inteligentnih transportnih sustava) usluga može se znatno poboljšati kvaliteta odvijanja prometa i sigurnost sudionika u prometu. ITS usluge predstavljaju telematičke tehnologije kojima se utječe na prometni proces. Mogućnosti ITS sustava uvelike poboljšavaju određena građevinsko-geometrijska rješenja i njihove korekcije, a često i supstituiraju potrebu za građevinskom intervencijom [1].

Izbor tipa raskrižja prema mjerodavnoj prometnoj potražnji prikazan je na slici 35.



Slika 35. Određivanje tipa raskrižja iz prometnih opterećenja privoznih pravaca
Izvor: [1]

Promatrano raskrižje u ovom diplomskom radu pripada raskrižju tipa III jer se križaju dvije vezne ceste s po dva kolnika i s četiri ili više prometnih trakova te s približno jednakim prometnim opterećenjima (>1500 voz/h) što zahtijeva uvođenje ITS usluga.

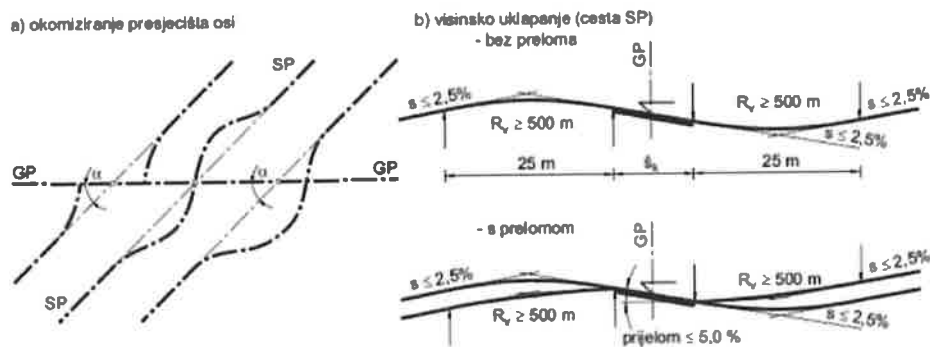
Nakon analize postojećeg stanja, analize podataka o brojanju prometa i prometnim nesrećama u prethodim poglavljima, uzimajući u obzir navedena mjerila i načela projektiranja raskrižja u nastavku slijede prijedlozi poboljšanja postojećeg stanja raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice u gradu Varaždinu.

5.1. Varijanta 1 – Raskrižje u razini s adaptivnim upravljanjem prometa

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

Adaptivno upravljanje prometom je sustav koji vrši prilagodbu signalnih planova na temelju trenutne prometne situacije, prometnih zahtjeva i kapaciteta prometne mreže korištenjem algoritama koji prilagođavaju omjer trajanja zelenog signalnog pojma prema ciklusu, vremenski pomak signalnog plana, trajanje faze i redoslijed faza. Adaptivnim upravljanjem prometom povećava se efikasnost raskrižja jer se signalni plan mijenja ovisno o stvarnovremenskoj potražnji. Takvim načinom upravljanja prometom u raskrižju postiže se bolja protočnost, smanjenje zagušenja u vršnim satima ili nepotrebna čekanja u izvanvršnim periodima, veća sigurnost, smanjenje emisija štetnih plinova i veća razina usluge.

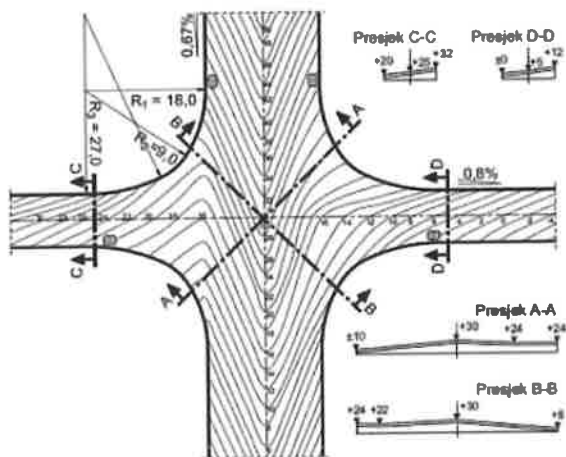
Osim uvođenja adaptivnog upravljanja prometom potrebno je unaprijediti cestovnu i biciklističku infrastrukturu. Vođenje linije raskrižja jedno je od najbitnijih oblikovnih elemenata raskrižja. Tlocrtno vođenje osi raskrižja treba se zbog preglednosti položiti što okomitije. Dobra preglednost i jasnoća rješenja postiže se primjenom odgovarajućih visinskih elemenata u kombinaciji s tlocrtnim elementima. Prednost imaju rješenja s manjim konkavnim zaobljenjima nego s konveksnim koji rezultiraju nepreglednim i nesigurnim križanjem (slika 36)[1].



Slika 36. Tlocrtni i visinski elementi pri vođenju linije
Izvor: [1]

Poprečni (q), uzdužni (s) i ukupni nagib (p) te svi detalji prijelomnih ploha u području raskrižja trebaju biti tako oblikovani da se omogući učinkovita i brza odvodnja. Posebno treba obraditi pozornost na slijedeće [1]:

- treba težiti oblikovanju svih površina raskrižja čiji će nagib osigurati kvalitetnu odvodnju ($p \geq 2\%$, $q \geq 2,5\%$),
- nagibi glavne ceste (GP) ostaju nepromjenjivi, a nagib sporednih ili spojnih cesta (SP) trebaju se podrediti glavnoj ceste.



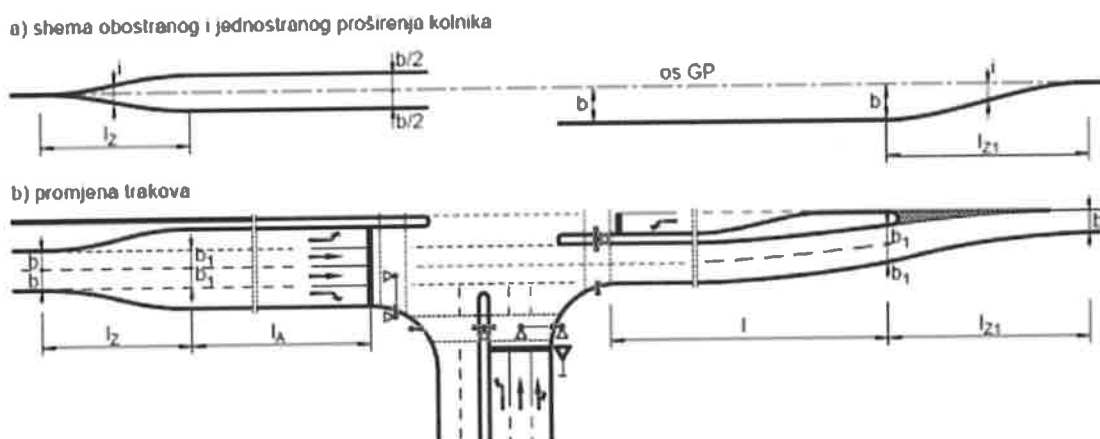
Slika 37. Izgled raskrižja s planom izohipsa i slivnika
Izvor: [1]

Plohe kolnika u području raskrižja tvore prvenstveno prolazni trakovi, a u pojedinim slučajevima dodatni prometni trakovi za lijeva ili desna skretanja i za ulijevanja, te trakovi za javni promet i za ostale namjene [1].

Širina jednostranog kolnika između rubnjaka ovisna je o brzina V_k i o najširem ili mjerodavnom vozilu koje vozi njime [1]:

- za $v = 90$ [km/h] potrebna širina je od 5,50 [m],
- za $V_k = 70$ [km/h] potrebna širina je od 4,50 [m],
- za $V_k = 50$ [km/h] potrebna širina je od 3,75 [m] ukoliko je utjecaj posebnog prometa zanemarivo malen.

Broj prolaznih trakova u području raskrižja (osobito u raskrižjima bez svjetlosne signalizacije) u pravilu treba ostati isti kao na otvorenoj trasi. Prolazni trak pri ulazu u raskrižje ne prelazi direktno u trak u skretanje, budući da se može očekivati iznenadna promjena putanje. Na raskrižjima s uređajima za svjetlosnu signalizaciju može se zbog zahtijevane propusne moći zadržati nepromijenjen broj prolaznih trakova. Uz proširivanje kolnika na duljini l_z [m] i uz potez za postavljanje l_a [m] treba biti tako odmjereno da može prihvatiti količinu vozila predviđenu radom signalnog uređaja. Ovi podaci su ključni za proračun propusne moći raskrižja na koje se nadovezuju dijelovi trase [1]. Na slici 38 prikazana je promjena broja trakova na prilazu i izlazu iz raskrižja.



Slika 38. Promjena broja trakova na prilazu i izlazu iz raskrižja
Izvor: [1]

Nepromijenjen broj prolaznih trakova treba osigurati na duljini l [m] izvan uže zone raskrižja. Ova duljina ovisi o prometnom opterećenju i o konfiguraciji tresce te o trajanju zelene faze (t_{zel}) u slučaju svjetlosne signalizacije. Proračun i oblikovanje proširenje operativnih površina uz prolazni kolnik provode se u ovisnosti o prometnim, voznodinamičkim i lokalnim prilikama, a duljina razvlačenja l_z [m] s postupnim proširenjem kolnika dobiva izrazom [1]:

$$l_z[m] = V_k * \sqrt{\frac{i}{3}} \quad (3)$$

gdje je:

- l_z – duljina razvlačenja,
- V_k – brzina vožnje na glavnom smjeru,
- i – mjera proširenja.

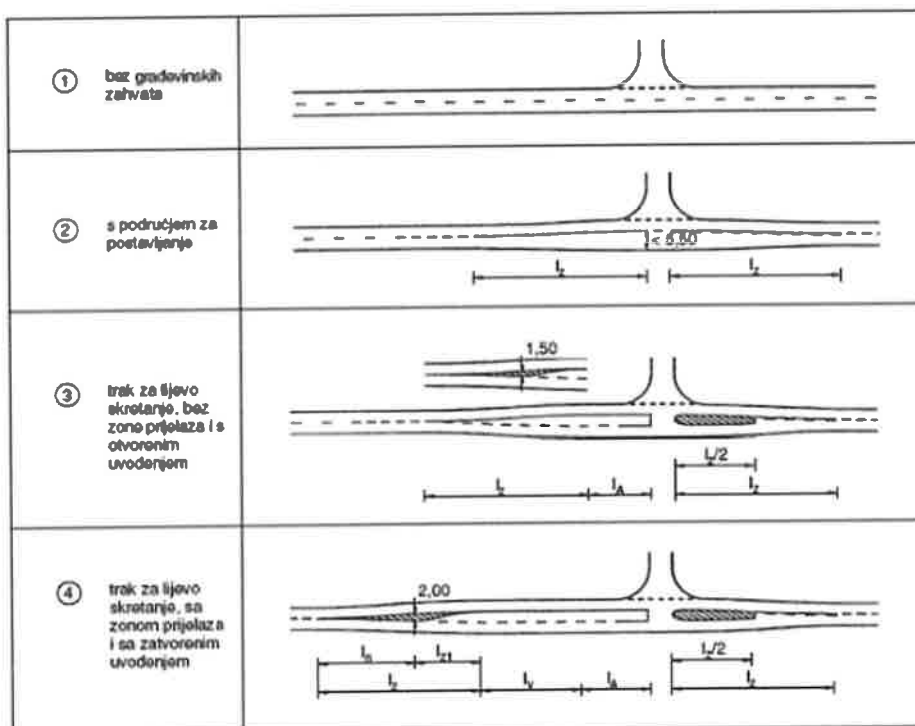
U raskrižju su mogući i trakovi za lijevo skretanje s kolnika glavnog smjera i trakovi za skretanje lijevo s kolnika sporedne ceste na glavni prometni pravac. Širina trakova za skretanje ulijevo može biti 0,25 [m] manje od prolaznih trakova, ali ne ispod 3,00 [m]. U iznimnim slučajevima, u raskrižjima s neznatnim učešćem teretnog i autobusnog prometa, svi trakovi mogu biti široki 2,75 [m]. Dvostruki trakovi za skretanje ulijevo dopušteni su samo uz uporabu svjetlosne signalizacije s posebnom fazom za skretanje ulijevo za oba prometna traka [1].

Duljina traka za skretanje ulijevo uključuje [1]:

- duljinu razvlačenja l_z [m],
- duljinu sa svrstavanje l_v [m],
- potez za postavljanje (retencija) l_a [m].

Kao što je prikazano na slici 39 postoje četiri oblika vođenja skretača ulijevo [1]:

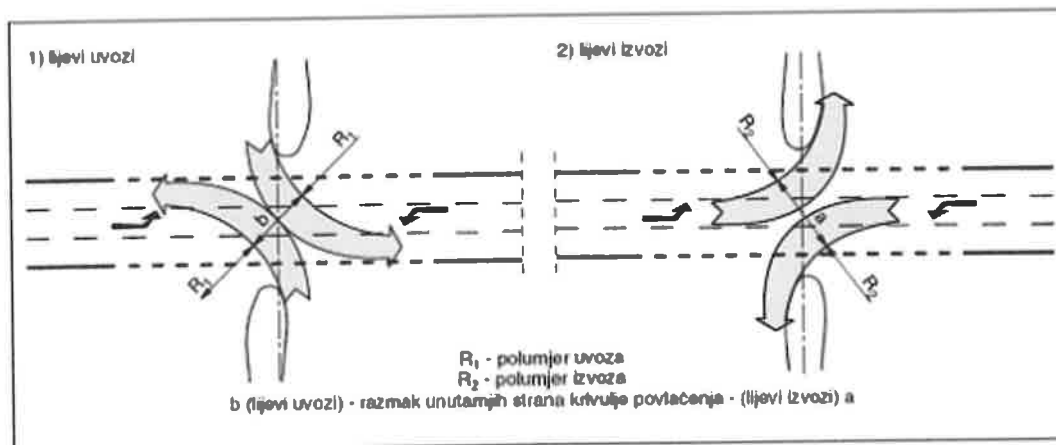
- bez građevinskih zahvata, kada skretači ulijevo za slučaj potrebe moraju čekati na prolaznom traku,
- s područjem za postavljanje, sastavljenim od poteza razvlačenja duljine l_z [m] i jednostrane širine b [m] u iznosu od 4,75 [m] $(4,00) \leq b \leq 5,50$ [m],
- trak za skretanje ulijevo, sa zonom razvlačenja l_z [m] i za postavljanje l_a [m] te u pravilu s otvorenim vođenjem,
- trak za skretanje ulijevo, sa zonama razvlačenja l_z [m] i l_a [m] te zonom razvrstavanja l_v [m] i zatvorenim uvođenjem pomoću zaporne površine.



Slika 39. Oblici vođenja lijevih skretača

Izvor: [1]

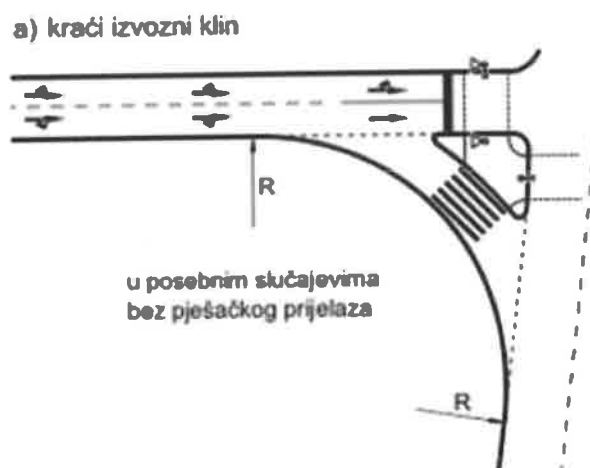
Ako prometno rješenje osigurava istovremena lijeva skretanja u raskrižju, trajektorije mjerodavnih vozila ne smiju se presijecati. Odmjeravanje unutar zone kretanja mjerodavnih vozila u pravilu će se provesti uz pomoć krivulje povlačenja koja je prikazana na slici 40 [1].



Slika 40. Prostori kretanja vozila pri istovremenom uvođenju i izvoženju ulijevo
 Izvor: [1]

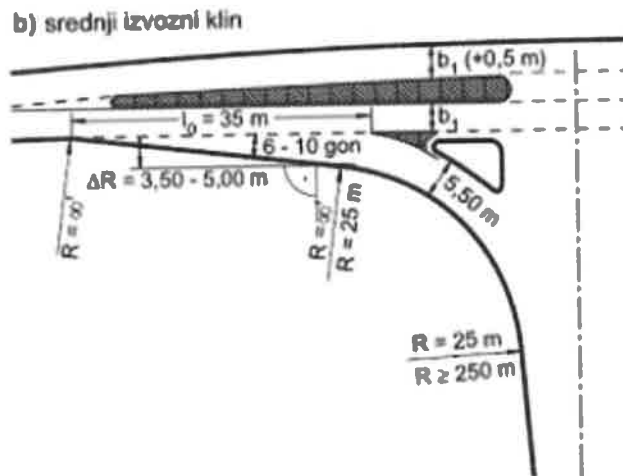
Oblikovanje prometnih površina za odvajanje s glavnog kolnika udesno ponajviše ovisi o broju i strukturi skretača, tipu raskrižja i konfiguraciji te o mjesnim prilikama. Tri su osnovna oblika vođenja prometa u desnom odvajanju s osnovnim značajkama [1].

- zaobljenje ugla jednostavnim kružnim lukom ili sa složenim lukom (R_1 - R_2 - R_3) te sa ili bez razdjelnika kolnika (kaplje) (slika 41),



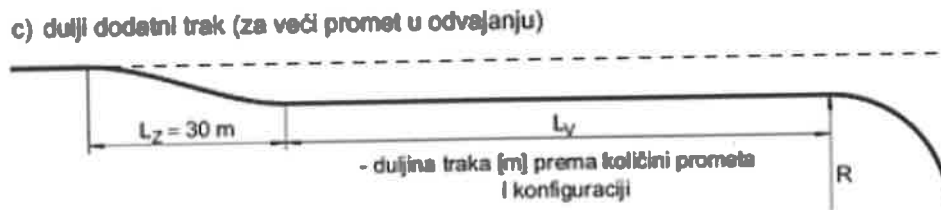
Slika 41. Kraći izvozni klin
 Izvor: [1]

- izvozni klin s priključnim zaobljenjem te s razdjelnikom kolnika (kaplje) i s trokutastim otokom (slika 42),



Slika 42. Srednji izvozni klin
Izvor: [1]

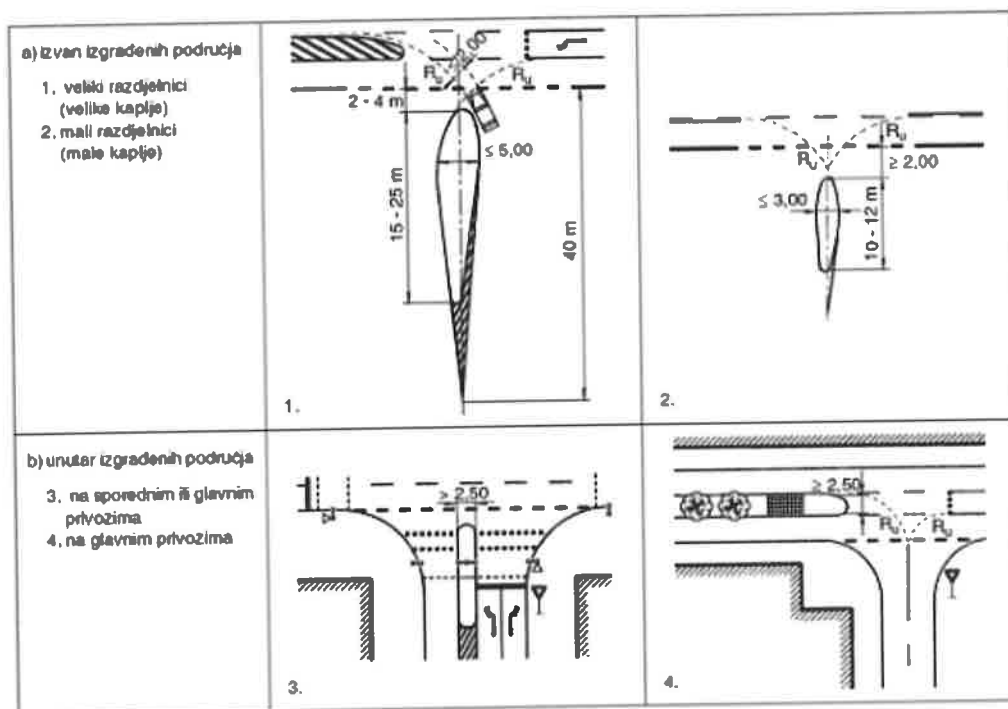
- trak za desno odvajanje s priključnim zaobljenjem te s razdjelnikom kolnika i s trokutastim otokom (slika 43).



Slika 43. Dulji dodatni trak
Izvor: [1]

Izdignuti ili iscrtani otoci (polja za usmjeravanje prometa) u raskrižju služe kanaliziranju i vođenju prometnih tokova, odnosno smanjenju konfliktnih površina. Uz vođenje prometnih tokova, otoci se predviđaju kao podloge za prometne uređaje (prometni znakovi, nosači svjetlosnih signala, putokazi) i odgovarajuće ozelenjivanje. Pored toga otoci služe za zaštitu pješaka i biciklista te olakšavaju prelazak preko kolnika [1].

Na slici 44 prikazani su različiti oblici razdjelnika kolnika izvan i unutar izgrađenih područja koji na prostranim raskrižjima sa svjetlosnom signalizacijom skraćuju duljinu postupnog prelaska pješaka i biciklista.

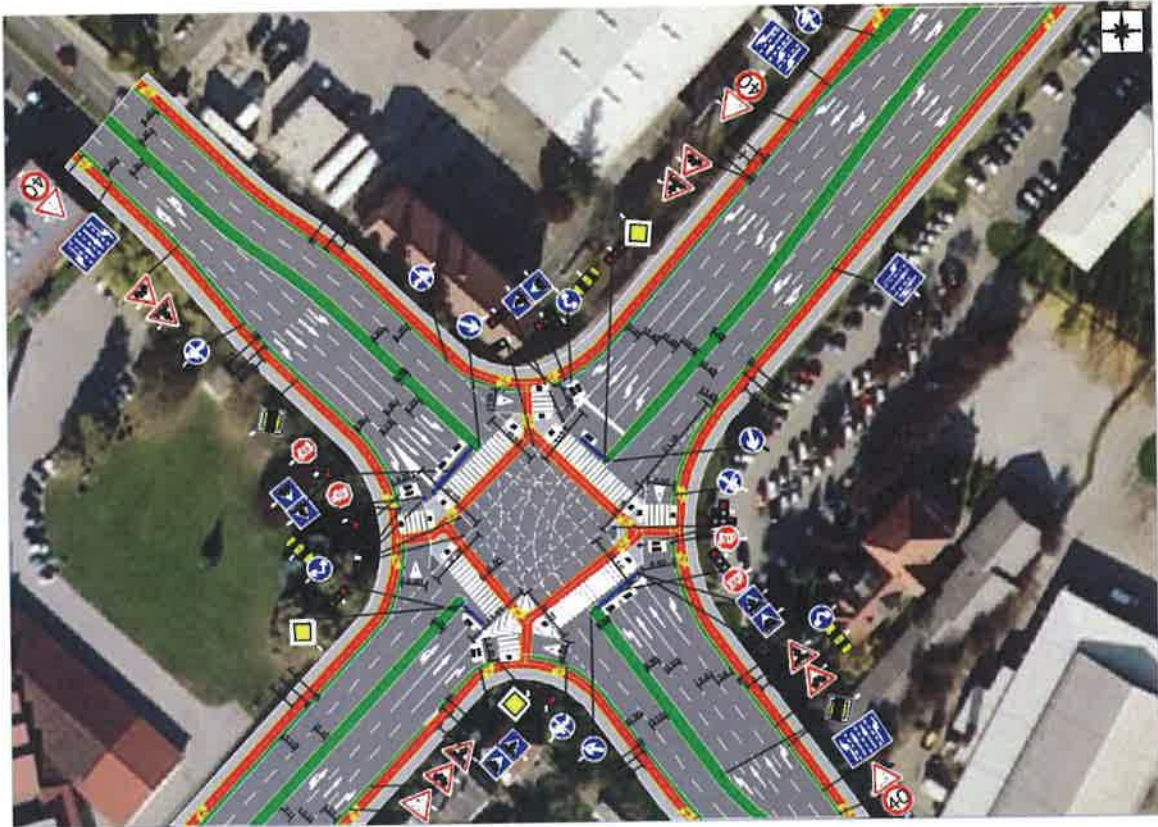


Slika 44. Oblici razdjelnika kolnika izvan i unutar izgrađenih područja
Izvor: [1]

Izvan izgrađenih područja razdjelnici kolnika na privozima sadrže elemente koji upućuju vozače na obavezu čekanja prije faze križanja. Svrha razdjelnika je optička zapreka. Zbog toga treba vrh otoka tako odmaknuti od smjera prometnog traka da nastane ljevokasto suženje kolnika [1].

Unutar izgrađenih područja razdjelnici su uvijek potrebni u raskrižju, ako pješački prijelaz vodi preko tri ili više prometnih trakova. Na raskrižjima sa svjetlosnom signalizacijom i pješačkim prijelazom dobije se potrebitost razdjelnika iz prometne analize i proračuna semaforских uređaja [1].

Prema ovim smjernicama za projektiranje raskrižja u naseljima sa stajališta sigurnosti prometa analizirano raskrižje u ovom diplomskom radu ima zadovoljavajuće voznogeometrijske elemente za motoriziran prometa, ali je potrebna prometna signalizacija vezana za biciklističku infrastrukturu kao što je prikazano na slici 45. Predložena varijanta 1 zadržava postojeće projektne – oblikovne elemente postojećeg raskrižja uz dodavanje biciklističke infrastrukture te postavljanje vertikalne prometne signalizacije za vođenje prometa.



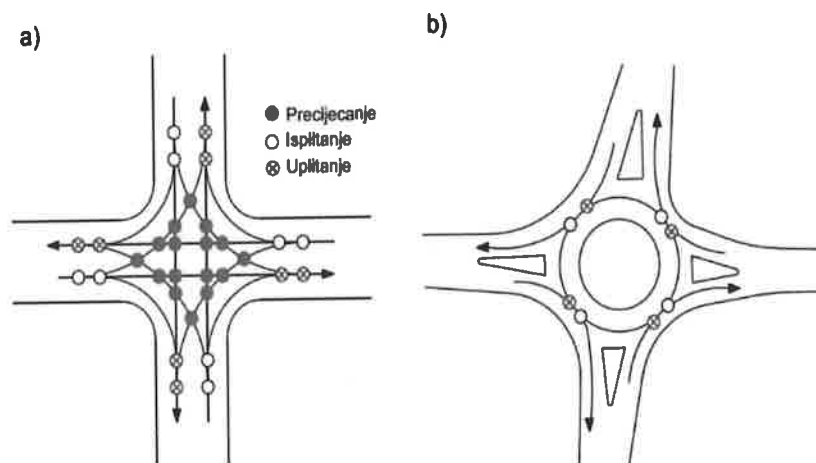
Slika 45. Varijanta 1 – Uvođenje biclističkih staza i adaptivno upravljanje prometom

5.2. Varijanta 2 – Raskrižje s kružnim tokom prometa

Varijanta 2 predlaže izgradnju raskrižja s kružnim tokom prometa. Raskrižje je definirano s dva prometna traka u kružnom kolniku, četiri privoza, dva ulazna i dva izlazna traka te s posebnim odvojcima za desna skretanja na svakom privozu. Raskrižje se nalazi u naselju, ali broj pješaka je vrlo malen (<30 pj/h) što je pogodno za funkcioniranje raskrižja s kružnim tokom prometa iz aspekta propusne moći raskrižja, a zbog 51 prometne nesreće periodu od 2011. do 2017. godine neophodno je povećati sigurnost prometa što se može postići kružnim raskrižjem.

Raskrižje s kružnim tokom prometa je kanalizirano raskrižje s neprovoznim ili djelomično provoznim središnjim otokom i kružnim kolnikom, na koji se vežu tri ili više priključnih cesta/privoza, a promet se odvija u smjeru suprotnom kazaljke sata [1].

Glavna prednost kružnog raskrižja u usporedbi s klasičnim trokrakim i četverokrakim raskrižjem je u eliminaciji konfliktne površine i konfliktnih točaka presijecanja i preplitanja kao i smanjenje broja konfliktnih točaka uplitanja i isplitanja. Klasično četverokrako raskrižje ima 32 konfliktne točke (16 presijecanja, osam uplitanja i osam isplitanja), a četverokrako kružno raskrižje samo osam točaka nižeg reda zahtjevnosti (četiri uplitanja i četiri isplitanja) [21]. Usporedba konfliktnih točaka četverokrakog i kružnog raskrižja prikazana je na slici 46.



Slika 46. Konfliktne točke u a) klasičnom četverokrakom i b) kružnom četverokrakom
Izvor: [21]

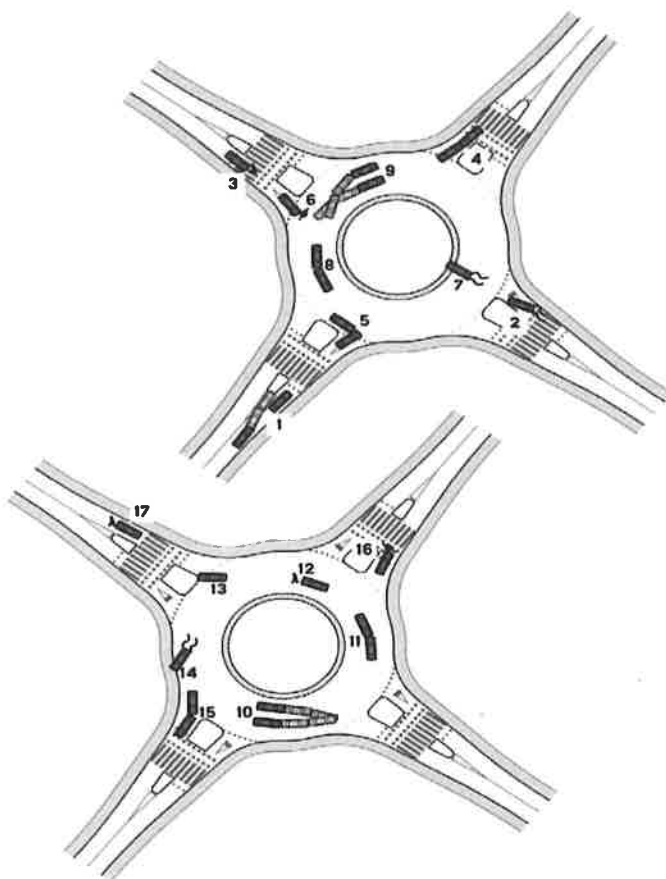
Raskrižja s kružnim tokom prometa općenito su sigurnija od klasičnih četverokrakih, ako su pravilno smještene u prostor i adekvatno projektirane kako za motorizirani promet tako i za nemotorizirani promet. U pogledu preduvjeta za što sigurniji promet, preporuča se izvedba kružnih raskrižja na [1]:

- klasičnim raskrižjima s čestim nezgodama i teškim posljedicama,
- postojećim raskrižjima s prevelikim brzinama vožnje na glavnom pravcu, kada nije sigurno uključivanje vozila sa sporednog pravca,
- semaforiziranim raskrižjima, kada prometni tok takav da je izgradnja kružnog raskrižja obećava sigurnije odvijanje prometa (činjenica je da oba raskrižja imaju sličnu propusnu moć, ali je sigurnost prometa na strani kružnog raskrižja).

Tablica 8. Vrste prometnih nesreća u kružnim raskrižjima

VRSTE PROMETNIH NESREĆA
1. Pretjecanje vozila ispred raskrižja
2. Udar u razdjelni otok na ulazu
3. Nalet vozila na pješaka na pješačkom prijelazu
4. Nalet stražnjeg vozila na prednje pri ulasku na kružni kolnik
5. Nepoštivanje pravila prednosti pri ulasku na kružni kolnik
6. Nalet vozila na biciklista prilikom ulaska na kružni kolnik
7. Gubitak kontrole nad vozilom prilikom ulaska na kružni kolnik
8. Nalet stražnjeg vozila na prednje na kružnom kolniku
9. Prestrojavanje na kružnom kolniku
10. Prestrojavanje vozila prilikom izlaska iz kružnog kolnika
11. Vožnja u krivom smjeru na kružnom kolniku
12. Nalet vozila na pješaka na kružnom kolniku
13. Udar u razdjelni otok prilikom izlaska iz kružnog kolnika
14. Izlijetanja vozila s kružnog kolnika
15. Nalet stražnjeg vozila na prednje prilikom izlaska iz kružnog kolnika
16. Nalet vozila na biciklista prilikom izlaska iz kružnog kolnika
17. Nalet vozila na pješaka izvan pješačkog prijelaza

Izvor: [21]



Slika 47. Vrste prometnih nesreća u kružnim raskrižjima

Izvor: [21]

Posebnosti raskrižja s kružnim tokom prometa su [21]:

- raskrižja s kombinacijom prekinutoga i neprekinutoga prometnog toka,
- na cestama (a naročito u naseljima) omogućuju vožnju smanjenim brzinama i s velikim skretnim kutom prednjih kotača,
- vozilo na ulazu u kružno raskrižje se, u slučaju slobodnog kružnog toka, ne treba zaustavljati već smanjenom brzinom može ući u kružni tok,
- prvenstvo prolaza imaju vozila u kružnom toku pred vozilima na prilazima/privozima budući da ovdje ne vrijedi „pravilo desnoga“,
- dugim vozilima je tijekom vožnje dopušteno koristiti i prošireni dio kružnog kolničkog traka (tzv. provozni dio središnjeg otoka),
- u kružnim raskrižjima je zabranjena (a i nepotrebna) vožnja unatrag,
- za pješake i bicikliste vrijede jednaka pravila kao i za druge oblike raskrižja u razini.

Prednosti kružnih raskrižja su [21]:

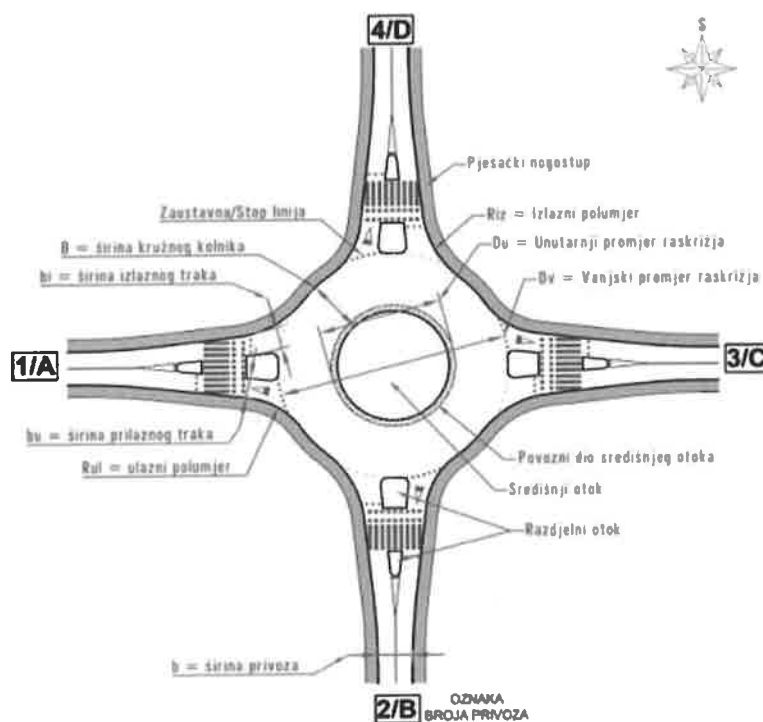
- puno veći stupanj sigurnosti prometa (s manjim brojem konfliktnih točaka i s manjim brzinama u kružnom toku) uz manje posljedice prometnih nesreća (bez čelnih i sudara pod pravim kutom),
- manja zauzetost zemljišta, troškova izgradnje i održavanja uz mogućnost dobrog uklapanja u kolni prostor,
- veća propusna moć raskrižja, uz manje proizvedene buke i emisije štetnih plinova motora vozila,
- skraćenje vremena čekanja na privozima i mogućnost propuštanja većih inteziteta prometnih tokova pojedinih privoza,
- dobro rješenje pri ravnomjernijem opterećenju privoza i kao mjera za smirivanje prometa posebno u urbanim sredinama,
- dobro rješenje za slučajeve s pet ili više privoza.

Nedostaci raskrižja s kružnim tokom prometa su [21]:

- nepovoljno rješenje za slučaj velikog inteziteta prometnog toka sa skretanjem ulijevo (zbog duljih putovanja, s otežavajućim presijecanjima i preplitanjima),
- poteškoće s izvedbom središnjeg otoka u već izgrađenim urbanim područjima zbog prostornih ograničenja,
- s povećanjem broja kružnih prometnih trakova smanjuje se stupanj prometne sigurnosti,
- veliko, odnosno višetračno kružno raskrižje nije najpogodnije rješenje na mjestima gdje nemotorizirani sudionici u prometu zbog svojih privremenih ili trajnih fizičkih oštećenja ne mogu sigurno prelaziti raskrižja bez svjetlosnih uređaja,
- produljenje putanje pješaka i vozila s obzirom na izravno kanalizirana klasična raskrižja,
- problemi pri većem biciklističkom ili pješačkom prometu, koji presijecaju jedan ili više privoza u raskrižju i na mjestima na kojima se kreće velik broj djece.

Najbitniji čimbenici za okvirni izgled kružnog raskrižja su količina struktura prognoziranog prometa, položaj u cestovnih mreži, dopuštena brzina prometnih tokova. Postupak projektiranja provodi se određenim redoslijedom u kojima se odabiru bitni elementi raskrižja [1] (slika48):

- vanjski promjer (D_v), odnosno polumjer raskrižja (R_v),
- unutarnji promjer (D_u), odnosno polumjer (R_u),
- širina kružnog kolnika (B),
- širine ulaznog (b_u) i izlaznog dijela privoza (b_i),
- širina otoka i razdjelnika u privozu (b_o),
- polumjer ulaznog (R_u) i izlaznog zaobljenje (R_i).



Slika 48. Osnovni oblik kružnog raskrižja s oblikovnim elementima
Izvor: [21]

Kružni kolnik je kolnički trak kružnog oblika, po kojem voze vozila oko središnjeg otoka i imaju prednost pred vozilima koja ulaze u raskrižje. Bitne sastavnice kružnog kolnika su vanjski i unutarnji promjer/polumjer, odnosno širina kružnog kolnika s jednim ili iznimno dva prometna traka. Vanjski promjer (D_v), odnosno polumjer raskrižja (R_v) i širina kružnog kolnika (B) u međusobnoj su vezi što je prikazano u tablici 9 [1].

Tablica 9. Okvirni oblikovni elementi kružnih raskrižja

Veličina/tip raskrižja	Alokacija	Vanjski promjer D_v [m]	Širina kolnika B [m]	Propusna moć, okvirno [voz/dan]	Oblikovanje i dimenzioniranje
Mini RKT/ jednotračno	u naselju	13,5 - 25	4,5 - 5	$\leq 15\ 000$	poseban postupak
Malo RKT/ jednotračno	u naselju	22 - 35	9,0 - 6,5	15 000	$V_k = 30$ [km/h]
Srednje veliko RKT/ jednotračno	u naselju	30 - 40	7,0 - 5,5	20 000	$V_k = 35$ [km/h]
Srednje veliko RKT/ jednotračno	izvan naselja	35 - 45	6,0 - 5,5	22 000	$V_k = 40$ [km/h]
Srednje veliko RKT/ dvotračno	izvan naselja	(45) 50 - 90	7,5 - 7,0	25 000	$V_k \leq 40$ [km/h]
Veliko RKT/ dvotračno	izvan naselja	≥ 90	$\leq 7,0$	$\geq 25\ 000$	poseban postupak

Izvor: [1]

Poprečni nagib kružnog kolnika provodi se u iznosu od $q_{\min} = 2,5\%$ (2%) prema vanjskoj strani iz više razloga [1]:

- učinkovitije i tehnički prihvatljivije odvodnje,
- pogodnijeg prelaska iz privoza u kružni tok,
- prisiljavanja na smanjenje brzine u kružnom toku.

Središnji otok može biti provozni, djelomično provozni ili pak neprovozni dio obrubljen kružnim kolnikom ili prijelaznim prstenom. Zbog preglednosti ne bi trebao biti viši od 1,0 (1,2) [m] s višim raslinjem ili nepotrebnim sadržajem. U oblikovnom i funkcionalnom pogledu središnji kružni otok bi trebao ispuniti bitne ciljeve kao što su [1]:

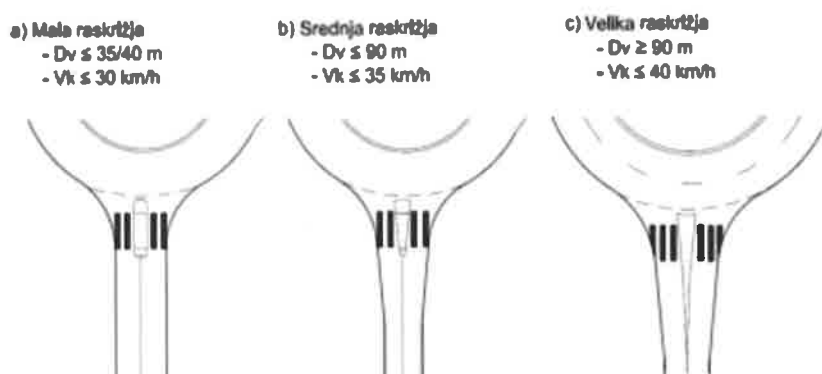
- prepoznavanje kružnog raskrižja u razini,
- prekid trase sa svojstvima slobodnog toka,
- obilaženje vozila,
- mjesto za prometne znakove i uređenje prometa,
- prostor za posebna oblikovanja i krajobrazna uređenja.

Prijelazni prsten širine 1,5 do 2,0 [m] između kružnog kolnika i središnjeg otoka omogućava lakši provoz duljih vozila. Izvodi se od različitog materijala (kocke) i/ili u drugoj boji nasuprotnoj boji kolnika, te u poprečnom nagibu od $-4,0\%$ [1].

Izbor projektnih elemenata i detalja oblikovanja privoza prema kružnom raskrižju jedan je od ključnih postupaka kojima se bitno utječe na sigurnost i propusnu moć raskrižja. Priključni kolnik privoza u pravilu treba biti položen okomito na kružni luk, odnosno radijalno usmjeren prema središtu raskrižja što pogoduje većoj sigurnosti prometa [1].

Širina prometnog traka na ulaznoj strani u raskrižje treba biti 3,50 [m], a na izlaznoj strani između 3,50 i 3,75 [m] ovisno o oblikovnoj konfiguraciji i zahtjevima mjerodavnog vozila. Sami priključci, zbog smanjenja brzine ulaska, trebaju biti sa što manjim polumjerom zaobljenja. Najmanji polumjer zaobljenja na ulaznoj strani (R_u) ne bi smio biti manji od 12 [m], a na izlaznoj strani (R_i) između 12 – 14 [m] [1].

Razdjelni otoci služe na razdjeljivanje i vođenje tokova, sprečavanje opasnih skraćivanja putanja vozila, najavu obaveznog usporavanja, pripomoć u poprečnom prijelazu pješaka i biciklista, prostor za prometne znakove. Razdjelni otoci trebaju biti prilagođeni veličini kružnog raskrižja i odmjereni prema brzini na ulazu s privoza (slika 49). Za slučajeve prelaska biciklista ili pješaka potrebno je predvidjeti odmak od kružnog kolnika za 4,5 – 10,0 [m] odnosno za duljinu vozila. Razdjelnik treba biti minimalne širine 2,00 [m] u slučaju prelaska pješaka, a 2,50 [m] za bicikliste [21].



Slika 49. Oblici razdjelnih otoka u ovisnosti o veličini D_v i brzini uvoženja V_k [21], a) paralelni, b) trokutasti, c) ljevkasti
Izvor: [21]

Pješački i biciklistički promet u pravilu se trebaju izvoditi izvan ili odmaknuto od kružnog kolnika za 1,5 [m], širina pješačkog nogostupa ne smije biti manja od 0,9 [m] odnosno 1,5 [m] što omogućuje nesmetan prolazak dviju osoba. Postoje dva načina vođenja [21]:

- zajedničko vođenje (uz vanjski rub kružnog kolnika) – za promet manjeg inteziteta i brzine vožnje u kružnom raskrižju do $V_k \leq 30$ [km/h],
- odvojeno ili samostalno vođenje biciklista izvan kružnog kolnika znatno poboljšava propusnu moć i sigurnost prometa – biciklistička staza oblikovana je kao koncentrična kružna staza oko kružnog kolnika na udaljenosti od 5,0 [m] i minimalne širine 1,0 [m] za jednosmjernan promet.

Varijanta 2 predlaže dvotračno kružno raskrižje. Prilazne ceste sastoje se od dva kolnika između kojih se nalaze razdjelni otoci širine 2,50 [m]. Širine ulaznih i izlaznih prometnih traka iznose 4,00 [m], a ulazne i izlazne krivine iznose $R = 20$ [m]. Jugoistočni privoz predviđa se s izvedenim desnim odvajanjem širine 4,50 [m] i radijusom $R = 60$ [m]. Radijus središnjeg otoka iznosi $R = 15$ [m], a provozni dio je širine jednog metra. Kružni kolnik čine dvije trake širine 5,00 [m]. Oko raskrižja predviđene su dvosmjerne biciklističke staze ukupne širine 2,50 [m] kao nogostupi širine 1,25 [m] s obzirom na vrlo mali broj pješaka (30 pj/h). Na slici 50 prikazano je rješenje dvotračnog kružnog raskrižja.

Ovako izvedeno dvotračno kružno raskrižje povoljno je za nemotorizirani promet sa stajališta sigurnosti. Kružna raskrižja pogodna su za područje gdje se mijenja režim vožnje, kao što je slučaj ovog raskrižja koje predstavlja ulaz u urbanu sredinu u kojoj se očekuju manje brzine vožnje.



Slika 50. Varijanta 2 – dvotračno raskrižje s kružnim tokom prometa

Trajektorije mjerodavnog vozila provjeravaju se u programskom alatu „AutoTurn“. Kod provjere trajektorije uzima se kamion s prikolicom „Lastzug“ duljine 18,71 [m]. Iz slike 51 je vidljivo da kamion s prikolicom prolazi svim smjerovima kroz raskrižje.



Slika 51. Provjera trajektorija mjerodavnog vozila

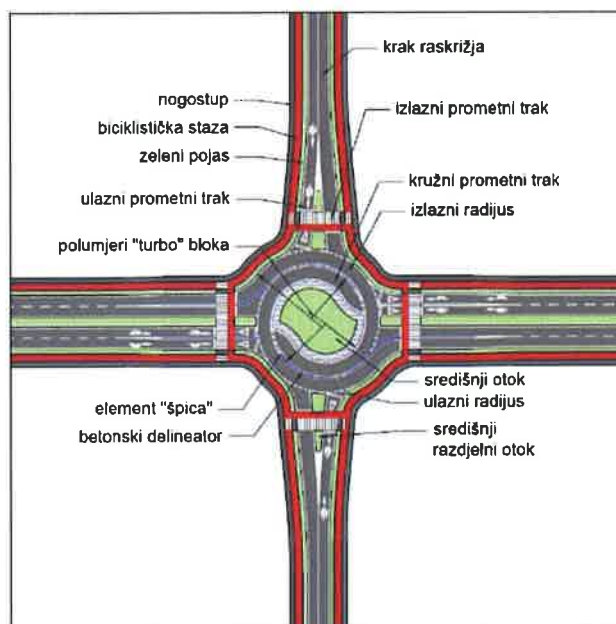
5.3. Varijanta 3 – Kružno raskrižje sa spiralnim tokom kružnog kolnika

Varijanta 3 predlaže izgradnju raskrižja sa spiralnim tokom, odnosno turbo kružnog raskrižja. Turbo kružno raskrižje je kanalizirano dvotračno ili trotračno kružno raskrižje sa spiralnim tokom kružnog kolnika, na kojega se priključuju tri ili četiri priključne ceste, a vozni trakovi su međusobno odvojeni uzdignutim razdjelnim elementima (delineatorima) koji sprječavaju promjenu voznog traka (preplitanje prometnih tokova) na kružnom kolniku [22].

U turbo kružnom raskrižju su prometni tokovi u određenim smjerovima vođeni odvojeno već prije ulaza u kružno raskrižje, odvojeno su vođeni po kružnom kolniku, a isto tako i na izlazu iz kružnog raskrižja. Fizička odvojenost postiže se posebnim projektno tehničkim elementima unutar turbo kružnog raskrižja (uzdignutim rubnjacima – delineatorima), kojima se sprječavaju preplitanja prometnih tokova (promjena voznog traka) unutar kružnog kolnika. Fizička odvojenost voznih trakova prekinuta je samo na mjestima dozvoljenog ulaska na unutrašnji kružni vozni trak [22].

Osnovni elementi turbo kružnog raskrižja su: (slika 52) [22]:

- delineator u turbo kružnom raskrižju,
- „špica“,
- središnji otok,
- središnji razdjelni otok,
- razdjelni otoci na ulazu/izlazu iz turbo kružnog raskrižja,
- polumjeru turbo kružnog raskrižja,
- turbo blok.



Slika 52. Oznake glavnih elemenata turbo kružnog raskrižja
Izvor: [22]

„Špica“ je uređenje početka elementa za sprječavanje prometnog manevra preplitanja prometnih tokova u kružnom kolniku. Izvodi se kao koso presječen element ili granitnih kocaka koje su položene na betonsku podlogu [22].

Središnji otok turbo kružnog raskrižja je središnji otok nepravilnog oblika, lociran u sredini turbo kružnog raskrižja. Nepravilan oblik otoka proizlazi iz konstrukcije spiralnog kružnog oblika [22].

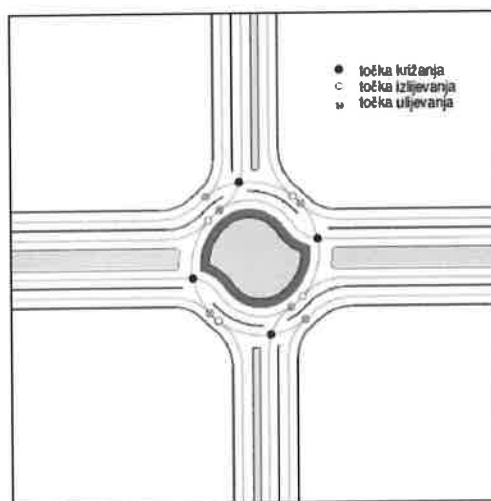
Središnji razdjelni otok je uzdignuti otok između ulaznih i izlaznih traka na prilazu u turbo kružno raskrižje, koji poboljšava razinu prometne sigurnosti pješaka i biciklista prilikom prelaska kraka turbo kružnog raskrižja [22].

Za razliku od standardnog jednostranog kružnog raskrižja, turbo kružna raskrižja ima (zbog spiralnog toka kružnog kolnika) više polumjera. Kod četverokrakog turbo kružnog raskrižja je osam polumjera (četiri za projektne tehničke elemente i 4 za tlocrtnu signalizaciju).

Turbo blok je blok ili skup potrebnih polumjera koje je potrebno na određeni način zarotirati i na taj način dobiti trajektorije kretanja, odnosno vozne trakove. Postoji više vrsta turbo kružnih raskrižja, koji se međusobno razlikuju s obzirom na prevladavajući smjer glavnog prometnog toka. Glavna prednost turbo kružnog raskrižja u usporedbi sa standardnim dvotračnim kružnim raskrižjem s dvotračnim ulazima i izlazima je [22]:

- manji broj konfliktnih točaka križanja: što je postignuto smanjenjem broja prometnih tokova koji se križaju,
- nepostojanje konfliktnih točaka preplitanja u kružnom kolniku: što je postignuto odvojenim vođenjem nekih prometnih tokova na ulazu u kružno raskrižje, unutar kružnog raskrižja i na izlazu iz kružnog raskrižja.

Standardno turbo kružno raskrižje ima samo 14 konfliktnih točaka (slika 53): šest ulijevanja, četiri križanja (na ulazima) i četiri izlivanja. U turbo kružnim raskrižjima nema opasnih konfliktnih točaka križanja na izlazima i preplitanja na kružnom kolniku, stoga je ukupan broj konflikata (s obzirom na obična dvotračna kružna raskrižja) manji. To je glavni razlog veće sigurnosti prometa kod turbo kružnih raskrižja nego kod običnih dvotračnih kružnih raskrižja [22].



Slika 53. Konfliktni točke u turbo kružnom raskrižju
Izvor: [22]

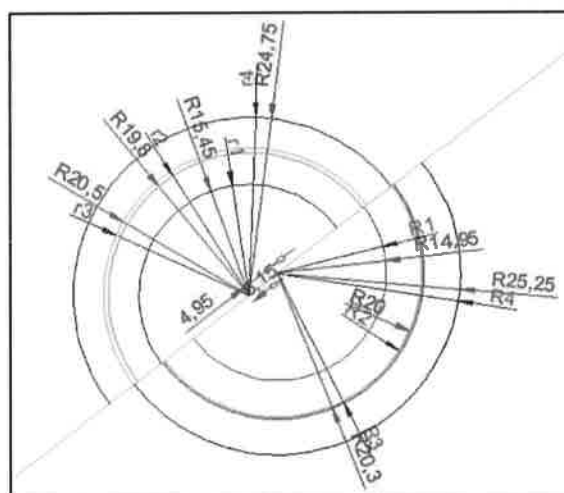
Geometrijski oblik turbo kružnog raskrižja formira se pomoću tzv. „turbo bloka“ koji čini skup svih potrebnih polumjera. Preporučene dimenzije tipskih turbo kružnih raskrižja su, ovisno o veličini turbo kružnog raskrižja prikazana u tablici 10.

Tablica 10. Dimenzije turbo kružnog raskrižja u ovisnosti o njegovoj veličini

ELEMENTI TURBO KRUŽNOG RASKRIŽJA				
Element	Mini	Standardno	Srednje veliko	Veliko
R₁	10,45	12,00	14,95	19,95 (21,70)
R₂	15,85	17,15	20,00	24,90 (27,10)
R₃	16,15	17,45	20,30	25,20 (27,40)
R₄	21,20	22,45	25,25	29,95 (32,80)
r₁	10,95	12,50	15,45	20,45
r₂	15,65	16,95	19,80	24,70
r₃	16,35	17,65	20,50	25,40
r₄	20,70	21,95	24,75	29,45
B_v	5,05	5,00	4,95	4,75 (5,40)
B_u	5,40	5,15	5,05	4,95 (5,40)
b_v	4,35	4,30	4,25	4,05
b_u	4,70	4,45	4,35	4,25
D_v	5,75	5,30	5,15	5,15 (5,50)
D_u	5,05	5,00	4,95	4,75 (5,50)

Izvor: [22]

Za varijantu 3 odabrano je srednje veliko turbo kružno raskrižje prema dimenzijama navedenim u tablici te se konstruira „turbo blok“ koji je prikazan na slici 54.

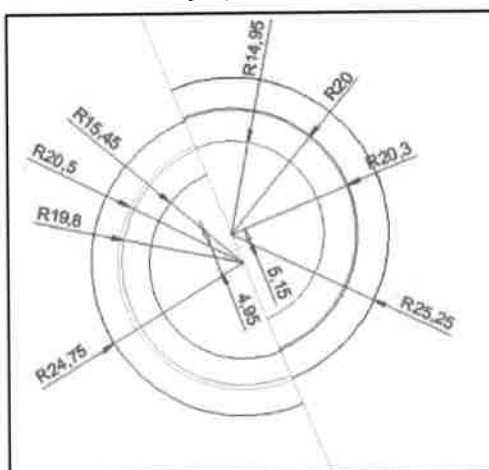


Slika 54. Polumjeri srednje velikog turbo kružnog raskrižja

Širina asfaltne površine unutrašnjeg kružnog voznog traka je $B_u = 5,05$ [m], a vanjskog $B_v = 4,95$ [m]. Širine između rubnih crta su $b_u = 4,35$ [m] i $b_v = 4,25$ [m].

Udaljenost između vanjskih točaka translacijske osovine je $D_v = 5,15$ [m], a između unutrašnjih točaka $D_u = 4,95$ [m] [22].

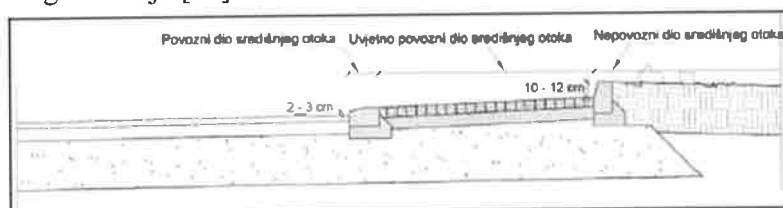
Središte „turbo bloka“ potrebno je locirati tako da se omogući radijalan priključak svih ulaza u tubro kružno raskrižje. Za pravilan položaj translacijske osi mjerodavan je položaj tangentnih točaka polumjera ulazne krivine. Najbolji početni položaj „turbo bloka“ je u situaciji kada su osi priključnih cesta pod pravim kutom i jednoliko raspoređene na četiri kvadranta. Preporuča se položaj translacijske osi u položaju kao kazaljke sata pokazuju vrijeme „pet minuta do pet sati“ kod četverokrakih (slika 55), odnosno „osam sati i deset minuta“ kod trokrakih koljenastih turbo kružnih raskrižja [22].



Slika 55. Translacijska os u položaju „pet minuta do pet“

Pravilan položaj translacijske osi je veoma značajan sa stajališta najveće brzine vožnje kroz turbo kružno raskrižje i stajališta vozne dinamike (udobnost, osjećaj uslijed djelovanja bočne sile). Nepravilan položaj translacijske osi u praksi će za posljedicu imati prevelike brzine na dvjema prilaznim cestama i premale brzine na preostale dvije prilazne ceste [22].

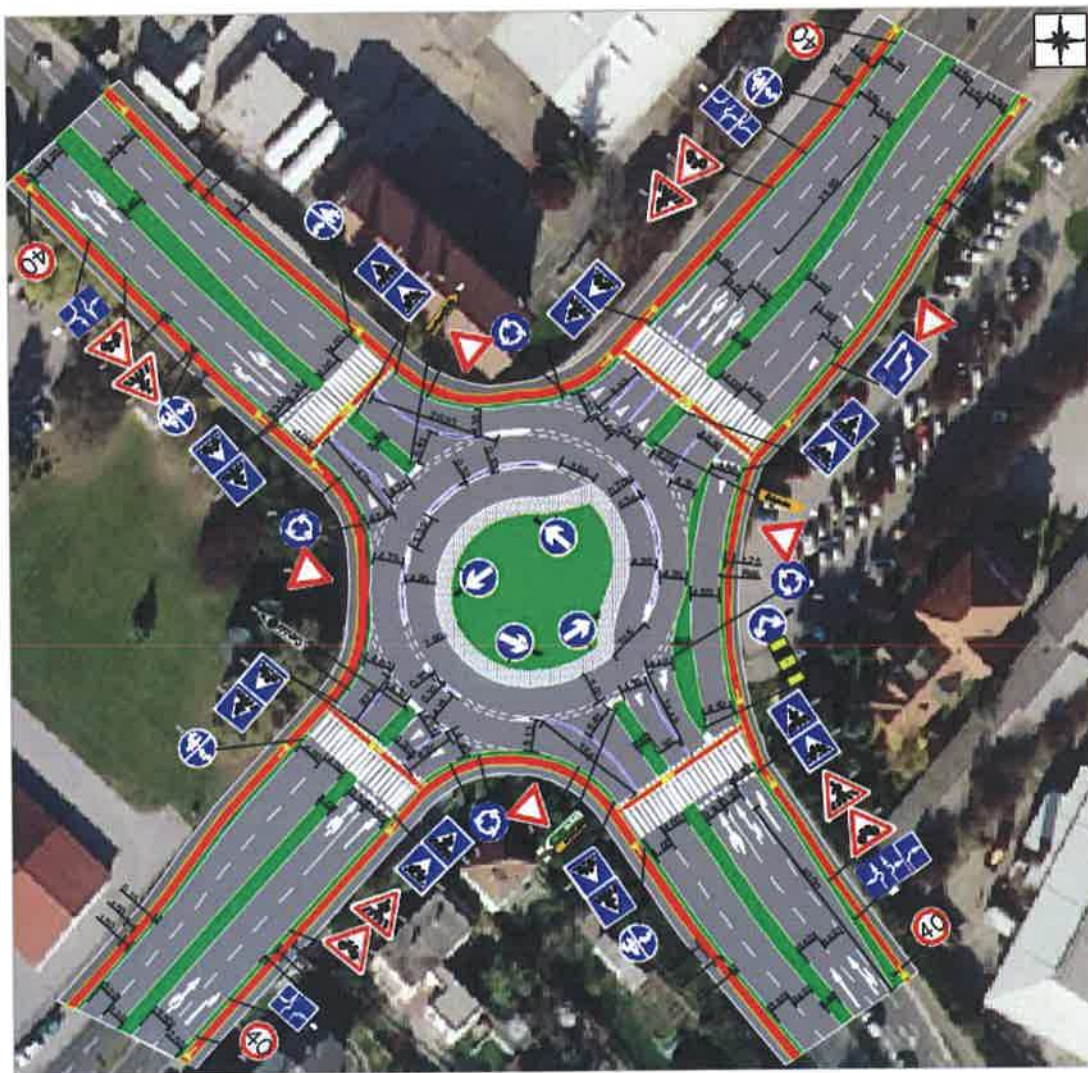
Središnji razdjelni otoci na priključnim cestama prema turbo kružnom raskrižju pozitivno utječu na sigurnost kako motoriziranih tako i nemotoriziranih sudionika u prometu, a poboljšava i protočnost turbo kružnog raskrižja. Funkcija središnjih razdjelnih otoka je usmjeravanje (vođenje) vozila na ulazu u turbo kružno raskrižje, a ujedno i funkciju zaštite pješaka i biciklista prilikom prelaska preko priključnih cesta. Središnji otok turbo kružnog raskrižja sastavljen je od tri dijela: provoznog dijela, uvjetno provoznog dijela i neprovoznog dijela. Provozni dio središnjeg otoka predstavlja rubnjak od betonskih elemenata, koji čine prijelaz s kružnog prometnog traka na uvjetno provozan dio središnjeg otoka. Uvjetno provozni dio središnjeg otoka ima ulogu da se na njemu mogu zaustaviti vozila u slučaju nužde ili intervencijska vozila. Izveden je od materijala, odnosno elemenata koji vozače odvraćaju od vožnje po njemu, širine je od 2,00 do 2,50 [m] u nagibu od 4,00 do 7,00 [%] prema vanjskom rubu turbo kružnog raskrižja [22].



Slika 56. Dijelovi središnjeg otoka turbo kružnog raskrižja
Izvor: [22]

Prema navedenim Smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika na državnim cestama koje je izrađeno na Građevinskom fakultetu u Rijeci za naručitelja Hrvatske ceste d.o.o., izrađeno je varijantno rješenje srednje velikog turbo kružnog raskrižja kao što je prikazano na slici 57.

U ovoj varijanti predlaže se razdvajanje ulaznih i izlaznih kolnika koji se sastoje od dvije ulazne i dvije izlazne prometne trake na svim privozima. Polumjeri ulaznih i izlaznih krivina odabiru se u ovisnosti o veličini turbo kružnog raskrižja, mjerodavnog vozila i željene brzine vožnje kroz turbo kružno raskrižje. U ovoj odabranoj varijanti srednje velikog turbo kružnog raskrižja polumjeri ulaznih i izlaznih krivina iznose $R_u = R_i = 20$ [m]. Širine ulaznih trakova su 3,5 [m], a izlaznih 4,00 [m] na svim privozima. Jugoistočni privoz 3 ima poseban odvojak za desno skretanje širine 4,50 [m] i radijusa $R = 66$ [m]. Širina razdjelnog otoka je 2,50 [m]. Pješačko – biciklistički prijelazi izvode se na udaljenostima od 10 do 15 [m] od vanjskog ruba turbo kružnog raskrižja.



Slika 57. Varijanta 3 – turbo kružno raskrižje

Provoznost srednje velikog turbo kružnog raskrižja provjerena u programskom alatu „AutoTurn“. Kod provjere trajektorije uzima se kamion s prikolicom „Lastzug“ duljine 18,71 [m]. Iz slike 58 je vidljivo da kamion s prikolicom prolazi svim smjerovima kroz raskrižje.



Slika 58. Provjera trajektorija mjerodavnog vozila

6. IZRADA SIMULACIJSKOG MODELA VARIJANTNIH RJEŠENJA

Modeli su pojednostavljeni prikaz dijela stvarnosti. Njihova je funkcija da daju uvid u kompleksne odnose realnog svijeta te da omoguće donošenje zaključaka o tome što će se dogoditi (najvjerojatnije) ako dođe do promjena u tom realnom svijetu ili njegovim dijelovima. Modeli u prometnom planiranju su matematički modeli dati u formi matematičkih izraza u kojima ponašanje ovisne varijable „Y“ (npr. broj vozila na nekoj prometnici) proizlazi iz jedne ili više neovisnih varijabli „X“ (npr. stupanj motorizacije, posjedovanje automobila, cijena goriva itd.) i odgovarajućih parametara „a“. Ti parametri opisuju osjetljivost „Y“ na promjene u „X – u“ [26].

$$y = f(a, X) \quad (4)$$

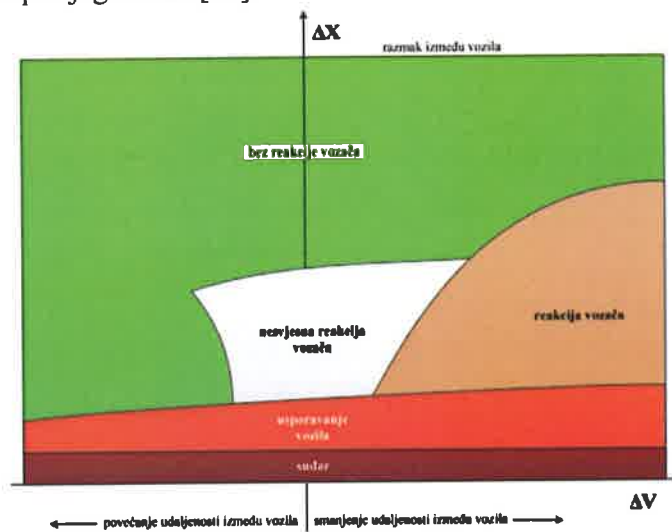
Glavna svrha analitičkih modela u prometnoj analizi je omogućavanje "what-if" analiza kako bi se pokazali utjecaji nekih promjena u sustavu i njegovom okruženju, ili se mogu koristiti kao instrumenti projektiranja pojedinih prometnih objekata u svrhu postizanja maksimalnih učinaka [26].

Mikroskopski modeli predstavljaju modeliranje kretanja pojedinačnih vozila unutar nekog manjeg područja (npr. raskrižja). Kretanje svakog pojedinačnog vozila u zadanom vremenskom intervalu u funkciji je: tehničkih karakteristika vozila (dužina, maksimalno ubrzanje itd.); osnovnih zakona gibanja i ponašanja vozača (pravila slijeđenja vozila, prestrojavanja itd.) [26].

U usporedbi s determinističkim modelima, bolji prikaz i stohastički pristup mikro - simulacijskih alata omogućuje realniji prikaz ponašanja vozača, a tako i cijele prometne mreže. Mikrosimulacijski alati mogu prikazivati složene probleme u tzv. izvanmrežnom okruženju, kao što incidenti na prometnoj mreži ili parkiranje, a većina mikrosimulacijskih alata posjeduje grafiku koja prikazuje pojedinačna vozila u mreži te takvo modeliranje može pružiti izvrsnu vizualnu pomoć prilikom predstavljanja složenih problema inženjerima različitih struka [23].

PTV VISSIM (njem. Planung Transport Verkehr Verkehr In Städten - SIMulationsmodell) je mikroskopski simulacijski alat za modeliranje gradske prometne mreže i operacija javnoga 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 determinističku logiku slijeđenja, PTV VISSIM koristi psihofizički model ponašanja vozača kojeg je razvio Rainer Wiedemann 1974. godine na Sveučilištu u Karlsruheu u Njemačkoj [24].

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 (slika 59). 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 [25].



Slika 59. Wiedemann – ov psihofizički model ponašanja vozača
Izvor: [25]

PTV VISSIM vrši simulaciju prometnog toka pomicanjem jedinica "čovjek-vozilo" (engl. driver-vehicle-units) kroz definiranu prometnu mrežu. Svaki vozač u mreži sa svojim specifičnim karakteristikama ponašanja dodijeljen je određenom vozilu, te se poštuju i prethodno definirane tehničke mogućnosti određenog vozila (npr. maksimalna brzina vozila, maksimalno ubrzanje i usporenje, itd.). Atributi koji opisuju svaku jedinicu "čovjek-vozilo" mogu se kategorizirati u tri osnovne skupine [25]:

1. tehničke specifikacije vozila - duljina samog vozila, maksimalna brzina, potencijalno ubrzanje i usporenje, trenutna pozicija vozila u prometnoj mreži, trenutna brzina i ubrzanje vozila, itd.;
2. ponašanje jedinice "čovjek-vozilo" - psihofizički pragovi osjetljivosti vozača (mogućnost procjene specifične prometne situacije, agresivnost vozača, itd.);
3. međusobna zavisnost jedinica "čovjek-vozilo" – odnos između vozila u koloni u istom i susjednim prometnim trakovima, odnos između trenutne prometnice vozila i sljedećeg raskrižja, odnos prema narednom semaforiziranom raskrižju (signalnoj logici raskrižja), itd.

Proces modeliranja raskrižja u Vissimu-u sastoji se od neophodnih koraka poput: određivanje širina linkova i konektora koji predstavljaju cestovnu mrežu, unos prometnih opterećenja, definiranje smjerova kretanja vozila, određivanje prednosti vozila, određivanje područja raskrižja za potrebe analize rezultata te analiza rezultata.

Za izradu modela varijante 1 - uvođenje adaptivnog upravljanja prometom, korišten je programski modul „PTV Epics“ integriran u „PTV Vissim“. PTV Epics analizira prometne uvjete na lokalnoj razini i određuje najbolju opciju kontrole za pojedinačni čvor na temelju trenutne situacije. Upravljački sustav temeljen na modelu odluči u sekundama treba li se faza izostaviti, skratiti ili produžiti ili ako se fazna faza treba mijenjati. PTV Epics također omogućuje određivanje prioriteta javnog prijevoza. U izradi modela potrebno je definirati osnovni program fiksnog vremenskog signala i njegovo ponderiranje za PTV Epics, zajedno s nizom drugih parametara kao što su minimalna i maksimalna faza trajanja te zeleno vrijeme za različite signalne skupine. Tijekom rada, PTV Epics pristupa podacima detektora za čvor, koristi ga za prepoznavanje dolaznih tokova vozila i prilagođava svoj simulacijski model za izračunavanje učinaka različitih opcija kontrole na temelju toga. U manje od jedne sekunde, PTV Epics optimizira fazni slijed i njegovo vrijeme optimiziranjem ukupnog indeksa učinkovitosti [31].

Drugi korišten računalni alat za analizu raskrižja je „Sidra Intersection“. „Sidra Intersection“ je mikroanalitički alat namijenjen za analizu alternativnih oblika raskrižja u pogledu propusne moći, razine usluge i ostalih prometnih parametara kao što su vrijeme kašnjenja, duljina repa čekanja, kretanje i zaustavljanje vozila i pješaka na raskrižju i slično. Osim navedenog ovaj alat ima mogućnosti analize raskrižja u pogledu potrošnje goriva, zagađenja okoliša ili troškova putovanja. Dr. Rahmi Akçelik australski prometni stručnjak osnovao je originalnu verziju „Sidra Intersection“ u periodu između 1975. – 1979. godine [30].

7. EVALUACIJA I ODABIR OPTIMANOG VARIJANTNOG RJEŠENJA

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

Najčešće korišten alat za evaluaciju i prikupljanje izlaznih podataka raskrižja u simulacijskom programu PTV VISSIM je „Node evaluation“. „Node“ predstavlja definirano područje koje se određuje oko promatranog raskrižja. „Node evaluation“ se posebno koristi za prikupljanje specifičnih izlaznih podataka raskrižja bez prethodnog ručnog definiranja elemenata za prikupljanje podataka [29].

Evaluacija izlaznih podataka vrši se pomoću slijedećih elemenata [26]:

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

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

Razina usluge (eng. Level Of Service) je kvalitativna mjera koja opisuje operativne uvjete prometnog toka, a mjere na temelju kojih se utvrđuju su: brzina, vrijeme putovanja, sloboda manevriranja, utjecaj drugog prometa i udobnost vožnje. Sigurnost odvijanja prometa ne ulazi kao mjera za određivanje razine usluge [16].

U ovom diplomskom radu za evaluaciju rezultata razina usluge procjenjuje se prema HCM metodologiji (Highway Capacity Manual). HCM predstavlja standard u projektiranju i planiranju cesta, autocesta i gradskih ulica. Prvenstveno služi za proračune kapaciteta i razina usluga raskrižja, dionica ceste, javnog gradskog prijevoza, te pješачkog i biciklističkog prometa.

Mjera učinka za određivanje razine usluge na raskrižjima je prosječno vrijeme čekanja izraženo u sekundama. Razlikuje se šest razina usluge od A do F. Razina usluge A predstavlja najpovoljnije uvjete sa stajališta korisnika, a F najnepovoljnije uvjete.

Razina usluge A – uvjeti slobodnog toka s najviše 10 % međusobnih utjecaja između vozila u prometnom toku, a prosječna vremena čekanja na raskrižjima su minimalna [1].

Razina usluge B – oko 70 % vozila nalazi se u uvjetima slobodnog toka, a prosječna vremena čekanja na raskrižjima nisu značajna [1].

Razina usluge C – stabilni uvjeti prometa s oko 50 % vozila u uvjetima slobodnog toka, pri čemu mogući manji povećani repovi čekanja na raskrižjima izazivaju veća prosječna vremena čekanja [1].

Razina usluge D – oko 40 % vozila se nalazi u uvjetima slobodnog toka, a malo povećanje prometnog toka izaziva povećane repove čekanja na raskrižjima s većim prosječnim vremenom čekanja [1].

Razina usluge E – manje od trećine vozila su u slobodnom toku; to je stanje u kojem je dosegnuta propusna moć ili se postiže malim povećanjem prometnog toka, prosječna vremena čekanja na raskrižjima su znakovito velika [1].

Razina usluge F – prometna potražnja je iznad propusne moći, a na privozima raskrižju dolazi do zagušenja koja uzrokuju velika vremena čekanja i znatno utječu na okolnu prometnu mrežu [1].

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

Osim vremena kašnjenja velik utjecaj na određivanje razine usluge ima i odnos prometnog opterećenja i propusne moći odnosno stupanj zasićenja. Stupanj zasićenja predstavlja usporedbu potražnje i propusne moći te pruža izravnu procjenu zadovoljava li određeno oblikovno rješenje pretpostavljene potrebe. Kada je stupanj zasićenja veći od 1 to znači da prometno opterećenje prelazi kapacitet i samim time za promatrani objekt određuje se razina usluge F. Stupanj zasićenja može se izračunati iz izraza [16]:

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

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

x – stupanj zasićenja

q – prometno opterećenje [voz/h]

c – propusna moć [voz/h]

Za potrebe procjene razine uslužnosti pojedinog raskrižja koristit će se parametar prosječnog kašnjenja (čekanja). Raspodjela razina usluge s obzirom na vremena čekanja (kašnjenja) prikazana je tablici 11:

Tablica 11. Razina usluge (LOS) za slučaj nesemaforiziranog i semaforiziranog raskrižja

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

Izvor: [1]

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

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

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

7.1. Evaluacija postojećeg stanja raskrižja

Evaluacija postojećeg stanja provodi se na temelju rezultata simulacije postojećeg stanja raskrižja. Model postojećeg stanja prikazan je na slici 60. U tablici 12 redom su prikazani sljedeći rezultati:

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

Najveći prosječan rep čekanja zabilježen je na smjeru 3-1 (SE – NW) i iznosi 24,76 [m]. Najveće prosječno vrijeme kašnjenja (51,13 [s]) je na smjeru 3-2 (lijevo skretanja iz SE u NW) što odgovara razini usluge D. Najmanje prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 1,25 [s], a zabilježeno je na posebno odvojenoj traci za desne skretače iz privoza 1 u privoz 2 (smjer 1-2, NW – SW) iz razloga što ima malo prometno opterećenje i u cijelom ciklusu (116 [s]) ima slobodan prolaz reguliran dopunskom strelicom. Najveća razina emisija štetnih plinova i potrošnje goriva zabilježena je na privozu 3. Uzrok tome je značajan priljev vozila i rep čekanja vozila koji se stvara uslijed četverofaznog ustaljenog upravljanja prometnim svjetlima. Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja iznosi 36,85 [s], a to odgovara razini usluge D.

Tablica 12. Prikaz rezultata simulacije postojećeg stanja

Smjer kretanja	Prosječan rep čekanja [m]	Razina usluge	Prosječno vrijeme kašnjenja [s]	Prosječan broj zaustavljanja	Emisija CO (ugljikov monoksid) [gr]	Potrošnja goriva [gallon]
1-2 (NW - SW)	0	A	1,25	0,07	3,77	0,05
1-3 (NW - SE)	13,48	D	41,52	0,82	370,16	5,29
1-4 (NW - NE)	13,35	D	48,21	0,9	215,45	3,08
2-1 (SW - NW)	0,03	C	27,27	0,7	34,01	0,05
2-3 (SW - SE)	20,86	B	18,58	0,69	166,40	2,38
2-4 (SW - NE)	17,56	D	46,17	0,87	278,25	3,98
3-1 (SE - NW)	24,76	D	47,99	0,95	567,09	8,11
3-2 (SE - SW)	19,21	D	51,13	1,06	286,11	4,09
3-4 (SE - NE)	0	A	5,35	0,22	131,90	1,88
4-1 (NE - NW)	0	A	2,62	0,12	42,68	0,61
4-2 (NE - SW)	15,4	D	40,98	0,82	266,09	3,8
4-3 (NE - SE)	12,58	D	38,13	0,76	388,15	5,55
RASKRIŽJE	11,44	D	36,85	0,74	2750,25	39,34



Slika 60. Simulacija postojećeg stanja raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice u gradu Varaždinu

Na sljedećim slikama prikazani su rezultati dobiveni u programskom alatu „Sidra Intersection“. Ovaj programski alat postojeće stanje raskrižje ocjenjuje s razinom usluge D isto kao i PTV Vissim (slika 61).

LEVEL OF SERVICE

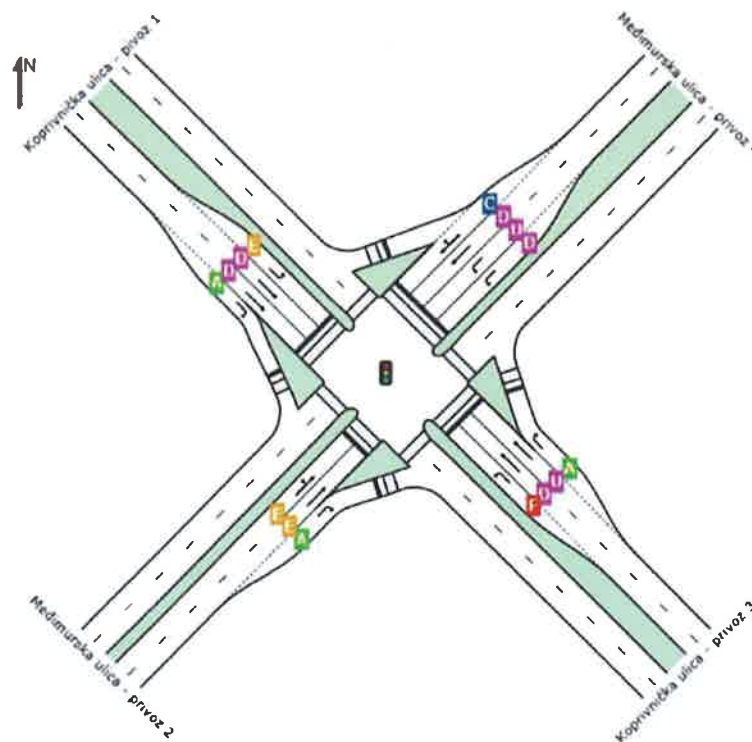
Site: Postojeće stanje

New Site

Signal: Fixed Time Cycle Time = 116 seconds (User-Given Phase Times)

All Movement Classes

LOS	Southeast	Northeast	Northwest	Southwest	Intersection
	D	D	D	C	D



Level of Service (LOS) Method: Delay & w/c (HCM 2010)

Slika 61. Sidra Intersection – Razina usluge postojećeg stanja raskrižja

Rezultati emisije štetnih plinova na postojećem raskrižju prema programskom alatu Sidra Intersection prikazani su na slici 62. Emisija štetnih plinova [kg/h] najveća je na jugoistočnom privozu 3 uzrokovana velikim vremenom čekanja koji se javlja na tom privozu.

CO2 (TOTAL)

Total carbon dioxide emission (kg/h)

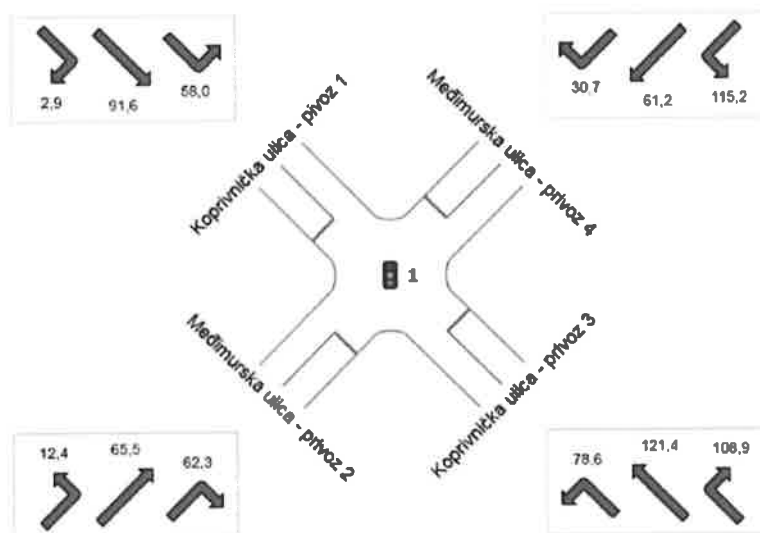
Site: Postojeće stanje

New Site

Signals - Fixed Time Cycle Time = 116 seconds (User-Given Phase Times)

All Movement Classes

Southwest	Northeast	Northwest	Southeast	Intersection
308,8	297,1	152,5	140,2	898,7



Slika 62. Sidra Intersection – Emisija štetnih plinova na postojećem raskrižju

7.2. Evaluacija varijante 1 – Raskrižje u razini s adaptivnim upravljanjem prometa

Evaluacija varijante 1 – uvođenje adaptivnog upravljanja prometom provodi se u programskom modulu PTV Epics integriranom u PTV Vissim (slika 63).



Slika 63. Simulacijski model varijante 1 – uvođenje adaptivnog upravljanja prometom programom PTV Epics

Rezultati simulacije varijante 1 prikazani su u tablici 13. Najveći prosječan rep čekanja je na smjeru 4-2 (NE - SW) i iznosi 28,21 [m]. Najveće prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 54,65 [s] na smjeru 2-1 (SW - NW) što odgovara razini usluge D. Najmanje prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 1,25 [s], a zabilježeno je na posebno odvojenoj traci za desne skretače iz privoza 1 u privoz 2 (smjer 1-2, NW – SW). Najveća razina emisija štetnih plinova i potrošnje goriva zabilježena je na privozu 3. Prosječno vrijeme kašnjenja cijelog raskrižja iznosi 32,8 [s], a to odgovara razini usluge C. Adaptivnim upravljanjem prometom nije određeno nijednom privozu prioritet nad drugim. Predviđeni su detektori najave vozila, brojanja vozila i odjavni detektori na temelju kojih PTV Epics kontinuirano mijenja trajanje faza definiranim signalnim grupama (slika 63).

Tablica 13. Rezultati simulacije prometnog rješenja uvođenja adaptivnog upravljanja prometom

Smjer kretanja	Prosječan rep čekanja [m]	Razina usluge	Prosječno vrijeme kašnjenja [s]	Prosječan broj zaustavljanja	Emisija CO (ugljikov monoksid) [gr]	Potrošnja goriva [gallon]
1-2 (NW - SW)	0	A	1,63	0,11	6,81	0,09
1-3 (NW - SE)	8,41	C	27,16	0,69	352,3	5,04
1-4 (NW - NE)	12,50	D	44,69	0,87	239,18	3,42
2-1 (SW - NW)	15,44	D	54,65	0,94	53,41	0,76
2-3 (SW - SE)	15,59	B	16,33	0,56	169,97	2,43
2-4 (SW - NE)	16,66	D	54,14	0,93	278,66	4,84
3-1 (SE - NW)	13,05	C	27,89	0,7	453,51	6,06
3-2 (SE - SW)	19,82	D	50,81	0,98	329,02	4,70
3-4 (SE - NE)	0,01	A	2,26	0,1	171,49	2,45
4-1 (NE - NW)	0,61	A	7,68	0,35	60,53	0,86
4-2 (NE - SW)	28,21	D	53,31	1,04	350,23	5,44
4-3 (NE - SE)	17,86	D	53,60	0,92	394,57	6,2
RASKRIŽJE	12,35	C	32,8	0,7	2859,11	42,29

7.3. Evaluacija varijante 2 – Dvotračno kružno raskrižje

Razvijanjem modela u mikrosimulacijskom alatu PTV Vissim 9, varijanta 2 – dvotračno kružno raskrižje dobivaju se izlazni rezultati simulacije prikazani u tablici 14. Najveći prosječan rep čekanja stvara se na sjeverozapadnom privozu 1 i iznosi 1,16 [m]. Prosječna vremena kašnjenja na svim privozima su manja od 10 [s], što rezultira A razinom usluge cijelog raskrižja. Ovi rezultati su iznimno dobri, ali je upitna sigurnost raskrižja zbog velike slobode manevriranja dvotračnim kružnim kolnikom.

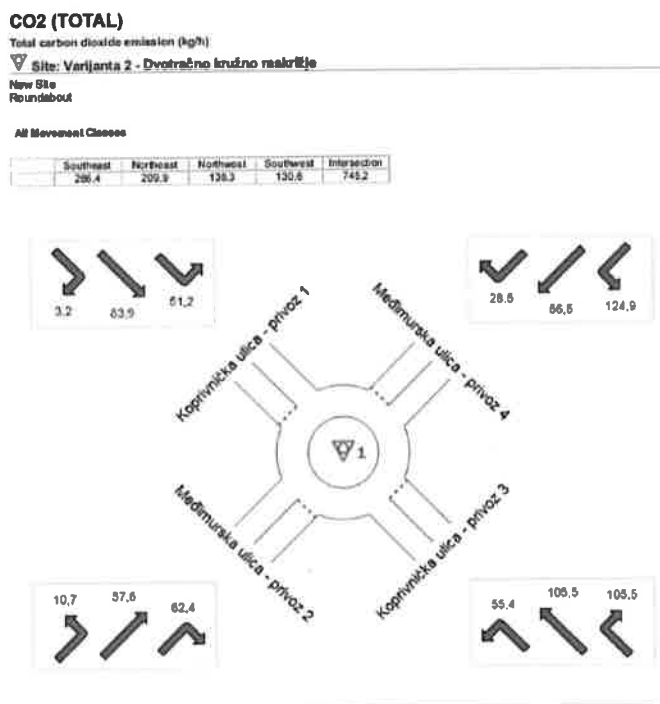


Slika 64. Simulacijski model varijante 2 – dvotračno kružno raskrižje

Tablica 14. Rezultati simulacije varijante 2 – dvotračno kružno raskrižje

Smjer kretanja	Prosječan rep čekanja [m]	Razina usluge	Prosječno vrijeme kašnjenja [s]	Prosječan broj zaustavljanja	Emisija CO (ugljikov monoksid) [gr]	Potrošnja goriva [gallon]
1-2 (NW - SW)	1,16	A	6,95	0,51	9,59	0,13
1-3 (NW - SE)	1,16	A	8,27	0,61	238,30	3,40
1-4 (NW - NE)	1,16	A	8,9	0,64	145,64	2,08
2-1 (SW - NW)	1,08	A	8,06	0,57	28,15	0,40
2-3 (SW - SE)	1,08	A	6,91	0,5	150,82	2,158
2-4 (SW - NE)	1,08	A	7,82	0,59	28,14	0,403
3-1 (SE - NW)	0,9	A	8,77	0,57	314,62	4,50
3-2 (SE - SW)	0,9	A	9,04	0,6	170,81	2,44
3-4 (SE - NE)	0	A	0,97	0,02	117,00	1,67
4-1 (NE - NW)	0,83	A	7,21	0,53	82,69	1,18
4-2 (NE - SW)	0,83	A	7,40	0,49	177,76	2,54
4-3 (NE - SE)	0,83	A	7,99	0,52	293,11	4,19
RASKRIŽJE	0,79	A	7,17	0,49	1898,15	27,15

Na sljedećim slikama prikazani su rezultati dobiveni u programskom alatu „Sidra Intersection“. Ovaj programski alat Varijantu 2 – dvotračno kružno raskrižje ocjenjuje s razinom usluge C (slika 66). Sjeveroistočni privoz proizvodi najveću emisiju štetnih plinova [kg/h] zbog velikog broja lijevih skretača za koje je nepovoljno raskrižje s kružnim tokom prometa iz aspekta protočnosti.



Slika 65. Sidra Intersection – Emisija štetnih plinova na dvotračnom kružnom raskrižju

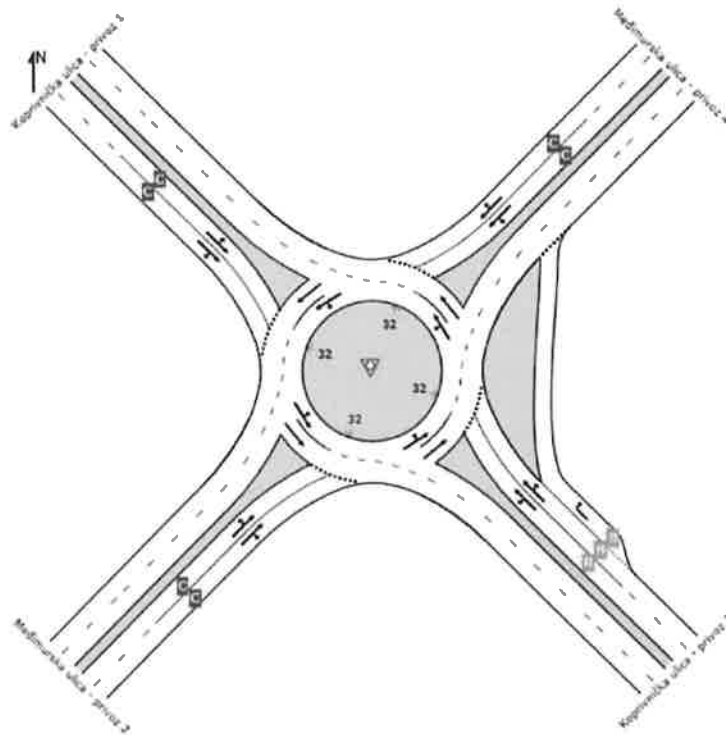
LEVEL OF SERVICE

Site: **Varijanta 2 - Dvotračno kružno raskrižje**

New Site
Roundabout

All Movement Classes

LOS	Southeast	Northeast	Northwest	Southwest	Intersection
	B	C	C	C	C



Level of Service (LOS) Method: Delay & w/o (HCM 2010).

Slika 66. Slika 67. Sidra Intersection – varijanta 2 – dvotračno kružno raskrižje

7.4. Evaluacija varijante 3 – Turbo kružno raskrižje

Evaluacija turbo kružno raskrižja dobiva se nakon razvijanja modela u programskom alatu PTV Vissim (slika 68). Dobiveni rezultati prikazani su tablici 15. Vidljivo je da najveći prosječan rep čekanja iznosi 5,56 [m] na jugozapadnom privozu 2. Važno uočiti da se taj rep čekanja nalazi za ulaz u unutarnju traku kružnog kolnika za smjer 2-1 (SW-NW) i 2-3 (SW-SE). Najmanji rep čekanja zabilježen je na posebno odvojenoj traci za desne skretače na privozu 3 (0,03 [m]), kao i na ostalim smjerovima desnih skretača. Maksimalno prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 18,69 [s] na privozu 1. Budući da se vozila mogu kretati u određen smjer po više ruta dolazi do povećanja vremena kašnjenja, ali prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 9,24 [s] s prosječnim repom čekanja od 2,49 [m] što odgovara razini usluge A. Prosječan broj zaustavljanja na cijelom raskrižju iznosi 0,59 puta. Promet na raskrižju se odvija kontinuirano što rezultira smanjenom emisijom štetnih plinova i manjom potrošnjom goriva.



Slika 68. Simulacijski model varijante 3 – turbo kružno raskrižje

Tablica 15. Rezultati simulacije varijante 3 – turbo kružno raskrižje

Smjer kretanja	Prosječan rep čekanja [m]	Razina usluge	Prosječno vrijeme kašnjenja [s]	Prosječan broj zaustavljanja	Emisija CO (ugljičkov monoksid) [gr]	Potrošnja goriva [gallon]
1-2 (NW-SW) vanjska traka	0,58	A	5,51	0,31	3,52	0,05
1-3 (NW-SE) unutarnja traka	7,76	B	18,69	1,26	111,37	1,59
1-3 (NW-SE) vanjska traka	0,58	A	6,56	0,34	60,75	8,69
1-4 (NW-NE) unutarnja traka	7,76	B	17,51	1,16	120,27	1,72
2-1 (SW-NW) unutarnja traka	5,56	B	14,01	1,2	27,33	0,39
2-3 (SW-SE) vanjska traka	0,71	A	4,33	0,21	57,48	0,82
2-4 (SW-NE) vanjska traka	5,56	C	16,0	1,36	83,81	1,19
3-1 (SE-NW) vanjska traka	0,58	A	5,79	0,31	93,08	1,33
3-1 (SE-NW) unutarnja traka	0,43	A	8,66	0,51	103,53	1,48
3-2 (SE-SW) unutarnja traka	3,43	A	9,2	0,57	116,67	1,66
3-4 (SE-NE) desna traka	0,03	A	1,72	0,07	83,46	1,19
4-1 (NE-NW) vanjska traka	0,04	A	1,92	0,05	27,30	0,39
4-2 (NE-SW) unutarnja traka	3,07	B	14,24	0,92	66,24	0,94
4-2 (NE-SW) vanjska traka	3,14	A	9,85	0,7	65,47	0,93
4-3 (NE-SE) unutarnja traka	3,07	B	11,48	0,69	101,56	1,45
4-3 (NE-SE) vanjska traka	3,14	B	11,15	0,75	103,51	1,48
RASKRIŽJE	2,49	A	9,24	0,59	1306,69	18,69

Analizom postojećeg stanja i evaluacijom dobivaju se podaci o prometnim tokovima i razina usluge D u vršnim periodima. Postojeća razina usluge analiziranog raskrižja je zadovoljavajuća, ali zbog 51 prometne nesreće u periodu od 2011. do 2017. godine potrebno je poboljšati sigurnost raskrižja.

Evaluacijom varijante 1 - uvođenje adaptivnog upravljanja prometom i poboljšanje biciklističke infrastrukture, vidljivo je da ovo rješenje poboljšava razinu usluge na C u vršnim periodima, a u izvanvršnim periodima zadovoljile bi se dnevne oscilacije prometne potražnje što bi se pozitivno odrazilo na vrijeme čekanja, broj zaustavljanja i emisiju štetnih plinova. Ova varijanta, s definiranim zaštitnim međuvremenima i signalnim grupama zbog veličine raskrižja, nije puno poboljšala razinu usluge u odnosu na postojeće stanje zbog relativno malog prometnog opterećenja pa samim time ne dolazi do većeg efekta na prometni tok.

Evaluacijom varijante 2 - dvotračno kružno raskrižje, dolazi se do najmanjeg prosječnog vremena čekanja u odnosu na ostala varijantna rješenja. Prosječno vrijeme čekanja iznosi 7,17 [s] što odgovara razini usluge A.

Evaluacijom varijante 3 - turbo kružno raskrižje, dolazi se do rezultata prosječnog vremena čekanja na cijelom raskrižju u iznosu od 9,24 [s] što je odgovara razini usluge A isto kao i varijanta 2.

Varijanta 1 ne zahtijeva velike građevinske radove nego samo implementaciju sustava adaptivnog upravljanja prometnim svjetlima pomoću detektora i računalnog programa. Adaptivnim upravljanjem prometom može se u budućnost vrlo jednostavno i efikasno odgovoriti na veće promjene prometne potražnje. Dvotračno kružno raskrižje i turbo kružno raskrižje imaju vrlo slične izlazne parametre prometnog toka, ali prednost turbo kružnog raskrižje su manje brzine u raskrižju u odnosu na srednje veliko dvotračno kružno raskrižje i neposredno prije raskrižja dolazi do kanaliziranja tokova tako da se ograniči mijenjanje prometnih trakova unutar kružnog kolnika što pozitivno utječe na sigurnost. Turbo kružna raskrižja imaju manje konfliktnih točaka nego dvotračna kružna raskrižja pa samim time imaju prednost.

8. ZAKLJUČAK

Poboljšanje projektno – oblikovnih elemenata cestovne infrastrukture podrazumijeva analizu višedisciplinarnih podataka vezanih za veličinu i karakteristike prometnog toka, sigurnost prometa, prometne potražnje, prometne prognoze kroz proces planiranja prometne mreže unutar mreže državnih cesta, ali i poveznicama s ostalim županijskim, lokalnim i nerazvrstanim cestama te projektiranje temeljeno na analizi sustava vozač – vozilo – cesta, odnosno vozno – geometrijskim i vozno – dinamičkim elementima. Zakonski propisi, pripadajući pravilnici, naputci i smjernice su nominalni okvir za analiziranje i planiranje prometne mreže. Dostignuti standardi objektivnosti i aktualnosti razvojnih i prostornih planova na razini državne uprave, područne i lokalne samouprave u izravnoj su korelaciji s daljnjim razvojem prometnog sustava. Prometni sustav treba razvijati tako da se planski predvide prostori za prometnu infrastrukturu koja omogućuje sigurnost svih sudionika u prometu kao i postizanje što kraćeg vremena putovanja u svim vidovima prometa i po svrhama (kuća-posao, rekreacija, kupovina, odmor) čime se podiže kvaliteta življenja i stvara održivi prometni sustav po mjeri čovjeka.

U urbanim sredinama veliki broj zagušenja uzrokovan neadekvatnim upravljanjem prometom dovodi do čestih kreni-stani vožnja što rezultira povećanom emisijom štetnih plinova i pada kvalitete prometovanja i života općenito. Povećanje prometne potražnje na analiziranom raskrižju dovodi do neodrživog stanja u prometu što za posljedicu ima značajne repove čekanja, smanjenje propusne moći, povećanje kašnjenja vozila, utjecaj na ekološke aspekte, značajne eksterne troškove u prometu te smanjenje sigurnosti u prometu.

Analizirano raskrižje u ovom diplomskom radu nalazi se u gradu Varaždinu na križanju gradskih i državnih cesta (D2 i D3) Koprivničke i Međimurske ulice, na kojima se stvaraju repovi čekanja u vršnim satima, a u izvanvršnim periodima dolazi do dugih i nepotrebnih čekanja zbog ustaljenog (fiksno) četverofaznog načina upravljanja prometnim svjetlima. Predložena su tri varijantna rješenja: dvotračno kružno raskrižje, kružno raskrižje sa spiralnim tokom prometa - turbo kružno raskrižje i uvođenje adaptivnog upravljanja prometom na postojećem raskrižju, a sve s ciljem povećanja sigurnosti, smanjenja zagađenja okoliša i stvaranja buke te povećanje protočnosti raskrižja odabirom optimalnog oblika raskrižja.

Osim mikroanalizi raskrižja, u ovome radu pristupljeno je i s makro stajališta, zbog posljedice utjecaja zahvata na jednom dijelu prometne mreže koja može postati potencijalni atraktor prometne potražnje. Na taj način stvara se nova potencijalna prometna potražnja koja se znatno razlikuje od promatrane ciljane skupine korisnika, a novi potencijalni korisnici mogu biti uzrok nastanka novih zagušenja na prilaznim cestama i ostatku prometne mreže na širem području raskrižja.

Primjenom simulacijskih alata i procjenom buduće prometne potražnje može se odabrati optimalno prometno rješenje. U ovome radu predložena su tri varijantna rješenja od kojih svako ima svoje prednosti i nedostatke, ali uzimajući u obzir da svako rješenje ima za ciljeve smanjenje repova čekanja, povećanje sigurnosti svih sudionika u prometu, povećanje propusne moći, smanjenje vremena čekanja, održivost prometne potražnje u budućnosti te brigu o ekološkim utjecajima. Analizom svih varijantnih rješenja, zaključeno je da bi optimalno rješenje bilo izgradnja turbo kružnog raskrižja, zbog smanjenja svih negativnih učinaka koji bi mogli prouzrokovati neodrživo stanje u prometu. Naglasak je na povećanju razine uslužnosti prometnih tokova, smanjenje repova čekanja i povećanje sigurnosti svih sudionika u prometu.

Provedena analiza raskrižja dobra je podloga za donošenje odluka o optimalnim rješenjima na raskrižjima zbog primjene simulacijskih alata koji pomažu u definiranju ključnih problema raskrižja, analiziraju i uspoređuju više varijantnih rješenja te lociraju potencijalne probleme koji mogu nastati utjecajem povećanja gustoće prometa.

LITERATURA

- [1] Legac, I.: Raskrižja javnih cesta, Cestovne prometnice II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.
- [2] Legac, I.: Cestovne prometnice II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- [3] Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN 108/17)
- [4] Zakon o cestama (NN 92/14)
- [5] Zakon o prostornom uređenju (NN 153/13)
- [6] Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN 110/01)
- [7] Brlek, P., Dadić, I., Šoštarić, M.: Prometno tehnološko projektiranje (autorizirana predavanja, radna verzija), Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.
- [8] URL: <http://varazdin.hr/zemljopisni-polozaj-varazdina/> 11.07.2018.
- [9] Izvješće o stanju u prostoru Grada Varaždina 2007. - 2013.
- [10] Prostorni plan grada Varaždina iz 2005. godine
- [11] Strategija razvoja Grada Varaždina do 2020.
- [12] Dadić, I., Kos, G.: Teorija i organizacija prometnih tokova (skripta), Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007.
- [13] URL: <https://www.openstreetmap.org> 13.07.2018.
- [14] Generalni urbanistički plan Grada Varaždina iz 2006. godine
- [15] Prostorni plan uređenja Varaždinske županije iz 2005. godine
- [16] Novačko, L., Pilko, H.: Cestovne prometnice II, Upute za auditorne vježbe i seminarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.
- [17] Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske, Hrvatske ceste d.d
- [18] Policijsku uprava Varaždinska
- [19] www.hak.hr/sigurnost-u-prometu/projekti/eurorap/karta-rizika-2010-2012 24.8.2018.
- [20] www.eurorap.org/about-us/ 24.8.2018.
- [21] Pilko, H.: Raskrižja s kružnim tokom prometa – Cestovne prometnice II, autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, akademska godina 2016/2017.

- [22] Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika na državnim cestama, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka 2014.
- [23] Transport for London, Traffic Modelling Guidelines, version 3, London, 2010.
- [24] Vujić, M.: Uvod u simulacijske alate, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2018.
- [25] Vujić, M., Dedić, L.: Priručnik za izradu osnovnog modela semaforiziranog raskrižja korištenjem mikrosimulacijskog alata PTV Vissim, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [26] Novačko, L.: Modeliranje i planiranje u cestovnom prometu, autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti, akademska godina 2016./2017.
- [27] Prometni elaborat: Plan faza i signalni plan, Labos d.o.o., Varaždin, 2017.
- [28] National Research Council: Highway Capacity Manual (HCM) 2010, Transportation Research Board (TRB), National Academies of Science, Washington DC, United States, 2010.
- [29] PTV Vissim 9 User manual, Karlsruhe, Njemačka, 2016.
- [30] SIDRA SOLUTIONS: SIDRA INTERSECTION User Guide, Akcelik & Associates Pty Ltd, Greythorn Victoria, Australia, 2012.
- [31] PTV Epics User manual, Karlsruhe, Njemačka, 2018.

POPIS TABLICA

Tablica 1. Podjela javnih ceste prema veličini motornog prometa	6
Tablica 2. Podjela cesta prema zadaći povezivanja u cestovnoj mreži ovisno o srednjoj duljini putovanja	6
Tablica 3. Ceste na području grada Varaždina.....	10
Tablica 4. Uobičajene duljine ciklusa za određeni broj faza.....	26
Tablica 5. Matrica zaštitnih međuvremena	31
Tablica 6. Preračun vozila u ekvivalentne jedinice putničkih automobila.....	32
Tablica 7. Evidencija prometnih nesreća na raskrižju Koprivničke i Međimurske ulice u Varaždinu u razdoblju od 2011. do 2017. godine	40
Tablica 8. Vrste prometnih nesreća u kružnim raskrižjima.....	56
Tablica 9. Okvirni oblikovni elementi kružnih raskrižja	59
Tablica 10. Dimenzije turbo kružnog raskrižja u ovisnosti o njegovoj veličini.....	65
Tablica 11. Razina usluge (LOS) za slučaj nesemaforiziranog i semaforiziranog raskrižja....	74
Tablica 12. Prikaz rezultata simulacije postojećeg stanja	75
Tablica 13. Rezultati simulacije prometnog rješenja uvođenja adaptivnog upravljanja prometom	79
Tablica 14. Rezultati simulacije varijante 2 – dvotračno kružno raskrižje	80
Tablica 15. Rezultati simulacije varijante 3 – turbo kružno raskrižje.....	83

POPIS SLIKA

Slika 1. Prostorni smještaj grada Varaždina u odnosu na Varaždinsku županiju i Republiku Hrvatsku	8
Slika 2. Cestovna mreža Varaždinske županije	8
Slika 3. a) situacijski položaj glavnih cesta u Varaždinu u 12. i 13. stoljeću, b) situacijski položaj glavnih cesta u Varaždinu u 15. stoljeću, c) situacijski položaj glavnih cesta krajem srednjeg vijeka, d) današnji izgled Varaždina	9
Slika 4. Makrolokacija raskrižja Međimurske i Koprivničke ulice u gradu Varaždinu.....	11
Slika 5. Shema glavnih tokova cestovnog prometa.....	14
Slika 6. Prostorni plan uređenja grada Varaždina, namjena: Promet.....	15
Slika 7. Brze ceste oko grada Varaždina	16
Slika 8. Prognoziran stupanj motorizacije u gradu Varaždinu	17
Slika 9. Makrolokacija analiziranog raskrižja.....	18
Slika 10. Položaj raskrižja u odnosu na središte i granice grada Varaždina	19
Slika 11. Mikrolokacija raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice	19
Slika 12. Osi raskrižja	20
Slika 13. Glavna pravac raskrižja Međimurske i Koprivničke ulice u Varaždinu	20
Slika 14. Postojeće stanje raskrižja Međimurske i Koprivničke ulice u Varaždinu	21
Slika 15. Privoz 1 – iz smjera sjeverozapada, Koprivnička ulica, sporedni pravac	21
Slika 16. Privoz 2 – iz smjera jugozapada, Međimurska ulica	22
Slika 17. Desno skretanje iz privoza 2 u privoz 3, iz Međimurske ulice u Koprivničku ulicu	22

Slika 18. Privoz 3 – smjer jugoistok, Koprivnička ulica.....	23
Slika 19. Desno skretanje iz privoza 3 u privoz 4, iz Koprivničke ulice u Međimursku ulicu	23
Slika 20. Privoz 4 - iz smjera sjeverozapada, Međimurska ulica.....	24
Slika 21. Primjer za slučaj konflikata: motorno vozilo koje napušta (1) i motorno vozilo koje ulazi u raskrižje (2).....	27
Slika 22. Raspored signalnih grupa.....	28
Slika 23. Slijed odvijanja faza.....	30
Slika 24. Postojeći signalni plan	30
Slika 25. Prometno opterećenje iz provoza 1 u privoze 2, 3 i 4.....	33
Slika 26. Prometno opterećenje privoza 2 u privoze 1,3 i 4.....	34
Slika 27. Prometno opterećenje privoza 3 u privoze 1,2 i 4.....	35
Slika 28. Prometno opterećenje privoza 4 u privoze 1,2 i 3.....	36
Slika 29. Prometno opterećenje raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice u Varaždinu	38
Slika 30. Procjena stupnja rizika (D3) prema EuroRAP-u.....	41
Slika 31. Procjena stupnja rizika (D2) prema EuroRAP-u.....	41
Slika 32. Prometne radnje u raskrižju	43
Slika 33. Primjeri konfliktnih točaka i površina/situacija	43
Slika 34. Različite kombinacije cesta i raskrižja.....	45
Slika 35. Određivanje tipa raskrižja iz prometnih opterećenja privoznih pravaca.....	46
Slika 36. Tloctni i visinski elementi pri vođenju linije.....	48
Slika 37. Izgled raskrižja s planom izohipsa i slivnika	48
Slika 38. Promjena broja trakova na prilazu i izlazu iz raskrižja	49
Slika 39. Oblici vođenja lijevih skretača.....	50
Slika 40. Prostori kretanja vozila pri istovremenom uvođenju i izvoženju ulijevo	51
Slika 41. Kraći izvozni klin.....	51
Slika 42. Srednji izvozni klin	52
Slika 43. Dulji dodatni trak	52
Slika 44. Oblici razdjelnika kolnika izvan i unutar izgrađenih područja	53
Slika 45. Varijanta 1 – Uvođenje biciklističkih staza i adaptivno upravljanje prometom	54
Slika 46. Konfliktne točke u a) klasičnom četverokrakom i b) kružnom četverokrakom.....	55
Slika 47. Vrste prometnih nesreća u kružnim raskrižjima	56
Slika 48. Osnovni oblik kružnog raskrižja s oblikovnim elementima	58
Slika 49. Oblici razdjelnih otoka u ovisnosti o veličini D_v i brzini uvoženja V_k [21], a) paralelni, b) trokutasti, c) ljevkasti.....	60
Slika 50. Varijanta 2 – dvotračno raskrižje s kružnim tokom prometa.....	61
Slika 51. Provjera trajektorija mjerodavnog vozila.....	62
Slika 52. Oznake glavnih elemenata turbo kružnog raskrižja	63
Slika 53. Konfliktne točke u turbo kružnom raskrižju	64
Slika 54. Polumjeri srednje velikog turbo kružnog raskrižja	65
Slika 55. Translacijska os u položaju „pet minuta do pet“	66
Slika 56. Dijelovi središnjeg otoka turbo kružnog raskrižja	66
Slika 57. Varijanta 3 – turbo kružno raskrižje.....	67
Slika 58. Provjera trajektorija mjerodavnog vozila.....	68
Slika 59. Wiedemann – ov psihofizički model ponašanja vozača	70

Slika 60. Simulacija postojećeg stanja raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice u gradu Varaždinu	76
Slika 61. Sidra Intercestion – Razina usluge postojećeg stanja raskrižja.....	76
Slika 62. Sidra Intersection – Emisija štetnih plinova na postojećem raskrižju	77
Slika 63. Simulacijski model varijante 1 – uvođenje adaptivnog upravljanja prometom programom PTV Epics.....	78
Slika 64. Simulacijski model varijante 2 – dvotračno kružno raskrižje.....	79
Slika 65. Sidra Intersection – Emisija štetnih plinova na dvotračnom kružnom raskrižju	80
Slika 66. Slika 67. Sidra Intersection – varijanta 2 – dvotračno kružno raskrižje	81
Slika 68. Simulacijski model varijante 3 – turbo kružno raskrižje	82

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Prometno opterećenje iz provoza 1 u privoze 2, 3 i 4.....	33
Grafikon 2. Prometno opterećenje privoza 2 u privoze 1,3 i 4	34
Grafikon 3. Prometno opterećenje privoza 3 u privoze 1,2 i 4	35
Grafikon 4. Prometno opterećenje privoza 4 u privoze 1,2 i 3	36
Grafikon 5. Opterećenje poprečnog presjeka pojedinog privoza po broju vozila.....	37
Grafikon 6. Opterećenje poprečnog presjeka privoza izraženo u EJA/h	37
Grafikon 7. Prometno opterećenje raskrižja Koprivničke i Međimurske ulice u gradu Varaždinu	38
Grafikon 8. Struktura prometnog toka	39
Grafikon 9. Broj prometnih nesreća prema posljedicama u razdoblju od 2011. do 2017. godine	40

POPIS PRILOGA

- Prilog 1. Tlocrt postojećeg stanja raskrižja
- Prilog 2. Varijanta 1 – Uvođenje adaptivnog upravljanja prometom i poboljšanje biciklističke infrastrukture
- Prilog 3. Varijanta 2 – Dvotračno raskrižje s kružnim tokom prometa
- Prilog 4. Varijanta 3 – Turbo kružno raskrižje

Prilog 1.
(Tlocrt postojećeg stanja raskrižja)

Prilog 2.
**(Varijanta 1 – Uvođenje adaptivnog
upravljanja prometom i poboljšanje
biciklističke infrastrukture)**

Prilog 3.
(Varijanta 2 – Dvotračno raskrižje s kružnim tokom prometa)

Prilog 4.
(Varijanta 3 – Turbo kružno raskrižje)



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 **Analiza s prijedlogom poboljšanja raskrižja Međimurske i**

Koprivničke ulice u Gradu Varaždinu

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

U Zagrebu, _____ 18.9.2018 _____

Student/ica:

Mikela Gred

(potpis)