

Analiza s prijedlogom poboljšanja raskrižja na državnoj cesti D1 u zoni trgovačkog centra Westgate

Merkaš, Stjepan

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:119:831100>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Stjepan Merkaš

**ANALIZA S PRIJEDLOGOM POBOLJŠANJA RASKRIŽJA
NA DRŽAVNOJ CESTI D1 U ZONI TRGOVAČKOG CENTRA
WESTGATE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2018.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**ANALIZA S PRIJEDLOGOM POBOLJŠANJA RASKRIŽJA
NA DRŽAVNOJ CESTI D1 U ZONI TRGOVAČKOG CENTRA
WESTGATE**

**ANALYSIS WITH IMPROVEMENT PROPOSALS OF
INTERSECTIONS ON THE STATE ROAD D1 IN THE AREA
OF SHOPPING CENTER WESTGATE**

Mentor: doc. dr. sc. Luka Novačko

Student: Stjepan Merkaš, 0135228465

Zagreb, rujan 2018.

ANALIZA S PRIJEDLOGOM POBOLJŠANJA RASKRIŽJA NA DRŽAVNOJ CESTI D1 U ZONI TRGOVAČKOG CENTRA WESTGATE

Sažetak

Raskrižja kao najsloženiji dijelovi cestovne mreže moraju omogućiti smislenu i sigurno odvijanje prometa. U ovome diplomskom radu će biti analizirano postojeće stanje triju raskrižja s kružnim tokom prometa koja se nalaze u zoni trgovačkog centra Westgate u blizini Grada Zaprešića, te će se predložiti mjere poboljšanja s ciljem bržeg i sigurnijeg odvijanja prometa na raskrižjima ako je to potrebno. Brojanje prometa predstavlja jedan od glavnih ulaznih podataka pri prometnom planiranju i projektiranju. Podaci dobiveni brojanjem prometa predstavljaju stvarnu trenutačnu sliku dinamike prometnih tokova. Projektiranje cesta i raskrižja predstavlja složen posao, te prije i tijekom projektiranja projektant mora biti upoznat i postupati u skladu s važećim zakonima i pravilnicima.

KLJUČNE RIJEČI: Trgovački centar Westgate, raskrižja, zakoni, simulacija, Vissim

Summary

Intersections, as the most complex parts of the road network, should provide meaningful and safe traffic. In this thesis it will be examined the current state of three(3) roundabouts which are located in the area of shopping center Westgate which is near the City of Zapresic and, if necessary, improvement measures for faster and safer traffic flow will be proposed. Traffic counting is one of the main inputs of traffic planning and designing. Data received by counting traffic gives us the actual current view of traffic flow dynamics. Road and intersection designing is a complex job, in which, design architect must be familiar with current laws and rules and comply with them.

KEY WORDS: Shopping center Westgate , Intersections, legislation, simulation, Vissim

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	ANALIZA PROPISA IZ PODRUČJA PROJEKTIRANJA RASKRIŽJA	2
2.1.	Zakon o cestama.....	3
2.2.	Zakon o sigurnosti prometa na cestama	3
2.3.	Stručna regulativa.....	4
2.3.1.	Opći zahtjevi za raskrižje	5
2.3.2.	Prometne radnje i konflikti.....	6
2.3.3.	Načela optimalnosti.....	7
2.3.4.	Podjela raskrižja	8
2.3.5.	Raskrižja u razini.....	8
2.3.6.	Raskrižja s kružnim tokom prometa.....	12
3.	ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA RASKRIŽJA NA PROMATRANOM KORIDORU.....	21
3.1.	Raskrižje 1 - Državne ceste D1, Industrijske ulice i Zaprešićke ceste	23
3.2.	Raskrižje 2 - Državne ceste D1 i Zaprešićke ceste.....	24
3.3.	Raskrižje 3 - Državne ceste D1 i Zaprešićke ceste.....	27
4.	ANALIZA PODATAKA O BROJANJU PROMETA	29
4.1.	Vrste brojanja prometa	29
4.1.1.	Statičko brojanje prometa.....	30
4.1.2.	Dinamičko brojanje prometa	30
4.1.3.	Naplatno brojanje prometa	30
4.1.4.	Ručno brojanje prometa	30
4.1.5.	Automatsko brojanje prometa	31
4.2.	Analiza podataka o brojanju prometa na predmetnim raskrižjima.....	31
4.2.1.	Analiza podataka brojanja prometa na „Raskrižju broj 1“.....	32
4.2.2.	Analiza podataka brojanja prometa na „Raskrižju broj 2“.....	34
4.2.3.	Analiza podataka brojanja prometa na „Raskrižju broj 3“.....	36
5.	PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA POSTOJEĆEG STANJA	38
5.1.	Prijedlog poboljšanja „Raskrižja broj 1“ – Državna cesta D1 – Industrijska ulica – Zaprešićka cesta	38
5.2.	Prijedlog poboljšanja „Raskrižja broj 2“ – Državna cesta D1 - Zaprešićka cesta.....	40
5.3.	Prijedlog poboljšanja „Raskrižja broj 3“ – Državna cesta D1 – Zaprešićka cesta	41

6.	IZRADA SIMULACIJSKOG MODELA VARIJANTNIH RJEŠENJA.....	42
6.1.	Simulacijski model postojećeg stanja.....	43
6.2.	Simulacijski model predloženog idejnog rješenja	44
7.	EVALUACIJA I ODABIR OPTIMALNOG VARIJANTNOG RJEŠENJA	46
8.	ZAKLJUČAK	52
	LITERATURA.....	53
	POPIS SLIKA	54
	POPIS TABLICA.....	56
	POPIS GRAFIKONA	57

1. UVOD

Cestovna infrastruktura najraširenija je prometna grana u Republici Hrvatskoj te predstavlja ključni element za njezin rast i gospodarski razvoj. Ona mora osigurati kvalitetan prijevoz ljudi i dobara uz visoku razinu funkcionalne učinkovitosti i prometne sigurnosti. Da bi se to ostvarilo, potrebni su kvalitetni razvojni projekti i dodatna financijska ulaganja na raskrižjima i dionicama cesta koje predstavljaju povećanu opasnost prometovanja za sve sudionike u prometu kao i na lokacijama gdje se pojavljuju zagušenja zbog nedovoljne protočnosti.

U današnje vrijeme sve je učestalija izvedba i primjena kružnih oblika raskrižja kao oblika križanja cestovnih prometnih tokova. Razlog tomu su dokazane prednosti koje kružna raskrižja imaju pred klasičnim raskrižjima, veća sigurnost prometa, povećanje propusne moći, smanjenje negativnih utjecaja na okoliš, kao i manji troškovi izgradnje te održavanja. Bez obzira na niz mogućnosti i prednosti koje pružaju kružna raskrižja potrebno je istražiti njihovu funkcionalnost na cestama višeg razreda i u blizini važnih poslovnih objekata.

Svrha ovog istraživanja je ukazati na postojeće prometne probleme raskrižja s kružnim tokom prometa na državnoj cesti D1 u zoni trgovačkog centra Westgate. Cilj diplomskog rada je u skladu s analizom postojećeg stanja kreirati prijedlog novog prometnog rješenja kako bi se povećala sigurnost odvijanja prometnih tokova i razina usluge.

Tematika rada je prikazana kroz osam cjelina:

1. Uvod
2. Analiza propisa iz područja projektiranja raskrižja
3. Analiza postojećeg stanja raskrižja na promatranom koridoru
4. Analiza podataka o brojanju prometa
5. Prijedlozi poboljšanja postojećeg stanja
6. Izrada simulacijskog modela varijantnih rješenja
7. Evaluacija i odabir optimalnog varijantnog rješenja
8. Zaključak

Prvi dio rada donosi pregled zakonskih propisa iz područja projektiranja raskrižja. Nakon zakonske regulative na redu je analiza i kritički osvrt na postojeće stanje infrastrukturnih elemenata te vođenja prometnih tokova na promatranim raskrižjima, dok iza njega slijedi poglavlje u kojem će se analizirati podaci o brojanju prometa na promatranim raskrižjima. Zatim će se iznijeti prijedlozi poboljšanja postojećeg stanja raskrižja. Šesto poglavlje je poglavlje u kojem slijedi simulacija predloženih varijantnih rješenja. U sedmom poglavlju će se provesti evaluacija i odabir optimalnog varijantnog rješenja za buduće stanje na promatranim raskrižjima. U zaključnom poglavlju izneseni su ključni podatci dobiveni obavljenim istraživanjem te su na temelju prikupljenih podataka doneseni odgovarajući zaključci.

2. ANALIZA PROPISA IZ PODRUČJA PROJEKTIRANJA RASKRIŽJA

Projektiranje raskrižja i cesta predstavlja složen posao, te prije i tijekom projektiranja odgovorna osoba za projektiranje mora biti upoznata i postupati u skladu s važećim zakonima, pravilnicima i normama države u kojoj se projekt provodi.

Opća zakonodavna i stručno - regulativna zasnovanost javnih cesta određena je temeljnim Zakonom o cestama i Zakonom o sigurnosti prometa na cestama te stručnom regulativom. Napominje se da Republika Hrvatska nema regulatornog akta iz područja oblikovanja, odnosno projektiranja raskrižja. U našim prilikama se predmetna problematika neposredno oslanja na samo dva bitna akta prometno - tehničke regulative:

1. Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljiti sa stajališta sigurnosti prometa,
2. Smjernice za projektiranje raskrižja u naseljima sa stajališta sigurnosti prometa, FPZ i HC/PGZ, Zagreb, 2004. (prijedlog, interno izdanje) [1].

Od ostalih zakona i pravilnika potrebno je spomenuti slijedeće:

1. Pravilnik o uvjetima za projektiranje i izgradnju priključaka i prilaza na javnu cestu
2. Pravilnik o prometnim znakovima i signalizaciji na cestama
3. Zakon o sigurnosti prometa na cestama
4. Zakon o cestama
5. Pravilnik o održavanju cesta
6. Zakon o prostornom uređenju
7. Zakon o gradnji [2] .

Zasebni Zakon o prostornom uređenju i Zakon o gradnji važeći su od 1.1.2014. godine, čime je prestao vrijediti Zakon o prostornom uređenju i gradnji.

2.1. Zakon o cestama

Javne ceste su ceste razvrstane kao javne ceste sukladno ovom Zakonu, koje svatko može slobodno koristiti na način i pod uvjetima određenim ovim Zakonom i drugim propisima. Također su javno dobro u općoj uporabi u vlasništvu Republike Hrvatske, te se ne mogu otuđiti od njenog vlasništva, niti se na njima mogu stjecati stvarna prava. Javne ceste razvrstavaju se na temelju mjerila koje donosi Vlada RH uredbom, a Odluku o razvrstavanju javnih cesta donosi ministar pomorstva, prometa i infrastrukture. Ovim zakonom se uređuje pravni status javnih i nerazvrstanih cesta, način njihovog korištenja i održavanja, razvrstavanje javnih cesta, i sl.

Raskrižje je prometna površina na kojoj se u istoj razini ili u različitim razinama križaju dvije ili više cesta ili na kojoj se više cesta spaja u širu prometnu površinu. Za održavanje raskrižja javnih cesta u istoj razini nadležni su :

- Hrvatske ceste d.o.o. za raskrižje državne i županijske, odnosno za raskrižje državne i lokalne ceste,
- Županijska uprava za ceste koja upravlja županijskom cestom za raskrižje županijske i lokalne ceste.

Održavanje raskrižja javne ceste i nerazvrstane ceste u istoj razini nadležna je pravna osoba koja upravlja javnom cestom, zatim je obvezna održavati prometnu površinu raskrižja sa svim dijelovima javne ceste, unutar linija koje povezuju krajnje točke slobodnog profila javne ceste u zoni raskrižja. Nadalje odgovorne osobe imaju obvezu održavati svjetlosno-signalne uređaje postavljenje u raskrižju u istoj razini. Treba spomenuti da način raspodjele ukupnih troškova svjetlosno-signalnih uređaja uključujući i električnu energiju, između pravnih osoba koje upravljaju pojedinom cestom u raskrižju, propisuje ministar [3].

2.2. Zakon o sigurnosti prometa na cestama

Iz spomenutog Zakona izdvojiti će se pojedini dijelovi određenih članaka koji opisuju ponašanje vozača u raskrižju.

Ovim se Zakonom utvrđuju temeljna načela međusobnih odnosa, ponašanje sudionika i drugih subjekata u prometu na cestu, 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, itd.

Vozač koji se približava raskrižju mora voziti s povećanim oprezom koji odgovara prometnim uvjetima na raskrižju. Vozač je dužan na dovoljnoj udaljenosti pred raskrižjem vozilom zauzeti položaj na onoj prometnoj traci kojom mora proći kroz raskrižje.

Vozač ne smije vozilom ući u raskrižje ako je gustoća prometa takva da se očito mora zaustaviti u raskrižju ili na obilježenom pješaćkom prijelazu i na taj način ometati ili onemogućiti promet vozila koja dolaze s bočnih kolnika ili promet pješaka [4].

2.3. Stručna regulativa

Tekst koji slijedi u ovom poglavlju nije sastavni dio određenog zakona ili pravilnika, već su to stručne smjernice koje se koriste za projektiranje raskrižja.

Za poznavanje i razumijevanje literature i smjernica za projektiranje cesta i raskrižja cesta, potrebno je poznavati stručne pojmove, od kojih su neki navedeni i definirani u daljnjem tekstu.

- **Raskrižje (u razini)** je prometna površina na kojoj se križaju ili spajaju dvije ili više cesta (u istoj razini).
- **Privoz (krak)** raskrižja je dio ceste od zaustavne crte (ili zamišljene crte ruba poprečne ceste) pa do mjesta suženja na normalni poprečni presjek ceste.
- **Glavni pravac (GP)** je pravac s cestom dominantnog prometa (ili oblikovnih elemenata).
- **Sporedni pravac (SP)** je pravac koji je podređen glavnom pravcu.
- **Pješačka staza (nogostup)** je posebno uređena površina za kretanje pješaka koja nije u razini s kolnikom ili je odvojena na drugi način.
- **Razdjelnik** je uzdignuti dio duž ceste, koji razdvaja prometne tokove i trakove sličnih ili različitih namjena.
- **Razdjelni otok** je razdjelnik oblika kaplje ili trokuta, a služi za razdjeljivanje i kanaliziranje prometnih tokova.
- **Pješački otok** je uzdignuta, upuštena ili na drugi način obilježena površina na kolniku, predviđena za privremeno zadržavanje pješaka koji prelaze preko kolnika ili ulaze iz vozila javnog prometa.
- **Polje za usmjeravanje prometa** je površina na kolniku koja razdvaja prometne trakove s istim ili različitim smjerovima vožnje.
- **Preglednost** je normirana dogledna udaljenost od oka vozača do ključnih dijelova raskrižja.
- **Signalni plan** je pregled trajanja svih svjetlosnih signalnih pojmova (zeleno, žuto, crveno, crveno - žuto, treptanje žutog i treptanje zelenog svjetla).
- **Ciklus** je trajanje isteka svih signalnih pojmova signalnog plana.
- **Faza** je dio ciklusa u kojem je nekim prometnih tokovima dopušteno kretanje.
- **Zaštitno vrijeme** je vrijeme između kraja i početka zelenog svijetla konfliktnih signalnih grupa [1].

2.3.1. Opći zahtjevi za raskrižje

Pri izboru mjesta i načina rješavanja raskrižja neophodno je svaki slučaj posebno proučiti, jer je loše koncipirano i oblikovano raskrižje opasnost za sigurnost prometa. Visoki zahtjevi u pogledu projektiranja i uporabe raskrižja trebaju se provjeriti pomoću osnovnih, odnosno svrsishodnih mjerila. Ističu se najbitniji:

1. Sigurnost prometa

Osmišljena i dobro koncipirana raskrižja udovoljit će uvjetima sigurne vožnje ako u cijelosti ili pretežito udovoljavaju bitnim zahtjevima:

- pravovremena prepoznatljivost
- kvalitet odvijanja prometa
- utjecaj na okolinu i okoliš
- ekonomičnost rješenja [1].

2. Kvaliteta odvijanja prometa

Dostatna kvaliteta odvijanja prometnih tokova 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 i nesigurniji promet u cjelini [1].

3. Utjecaj na okolinu i okoliš

Raskrižja se trebaju tako koncipirati da budu što manje štetna za prostor i okoliš, što se često sukobljava s cijenom izvedbe, odnosno ekonomičnošću rješenja [1].

Kako bi se spomenuti zahtjevi udovoljili, u tijeku projektiranja i izgradnje raskrižja potrebno je obratiti pažnju na povećati broj elemenata. Neki od njih su: prilagoditi raskrižje okolišu, nastojati ozeleniti površine raskrižja, smanjiti izrazita ubrzanja u raskrižju, smanjiti broj zastoja i „stani – kreni“ vožnju, uskladiti izbor kolničkog zastora sa zahtjevima dobre hvatljivosti i smanjene bučnosti, racionalno trošiti površine zemljišta (posebice u blizini naselja ili u naselju).

4. Ekonomičnost rješenja

Elementi za postupak vrednovanja su troškovi građenja i održavanja, vremenski i eksploatacijski troškovi, troškovi prometnih nezgoda, itd. Budući da se uvijek treba zahtijevati dostatna sigurnost rješenja, neophodno je odrediti odnos troškova i prometno - sigurnosne komponente. Potrebno je također odrediti koja cijena je primjerena i dostatna za određenu kvalitetu prometnog toka (za sve sudionike u prometu i za okoliš). Troškovno usmjerene strategije mogu biti vrlo indikativne i često odlučne u izboru projektnog rješenja raskrižja [1].

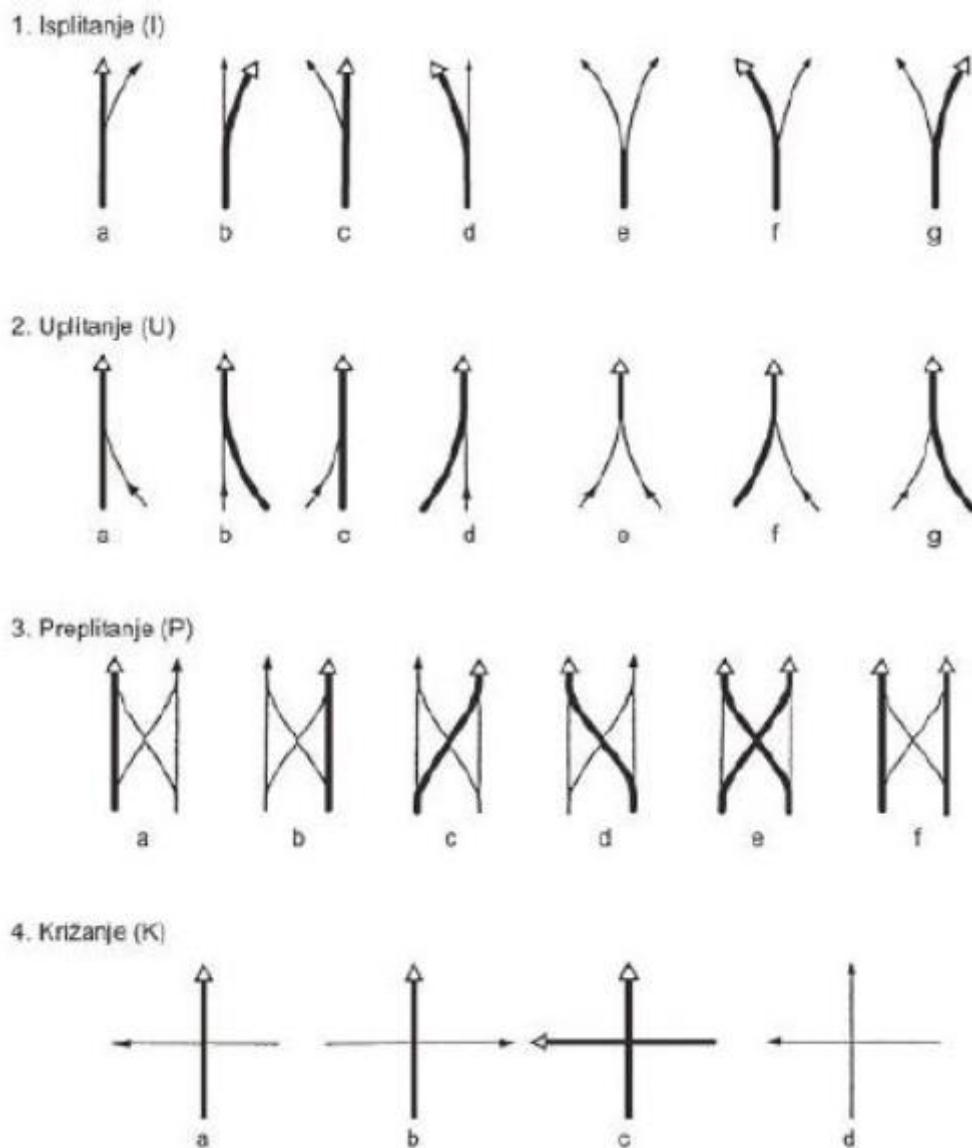
2.3.2. Prometne radnje i konflikti

Osnovne prometne radnje (koje uzrokuju konfliktne situacije različitih stupnjeva) nastaju ponajprije zbog promjene smjera, ali i brzine jednog ili više vozila.

U području raskrižja izvode se slijedeće radnje:

- isplitanje - dijeljenje prometnih tokova,
- uplitanje - sjedinjavanje prometnih tokova,
- preplitanje - međusobna izmjena prometnih trakova ili tokova,
- križanje - međusobno križanje/presijecanje prometnih tokova [1].

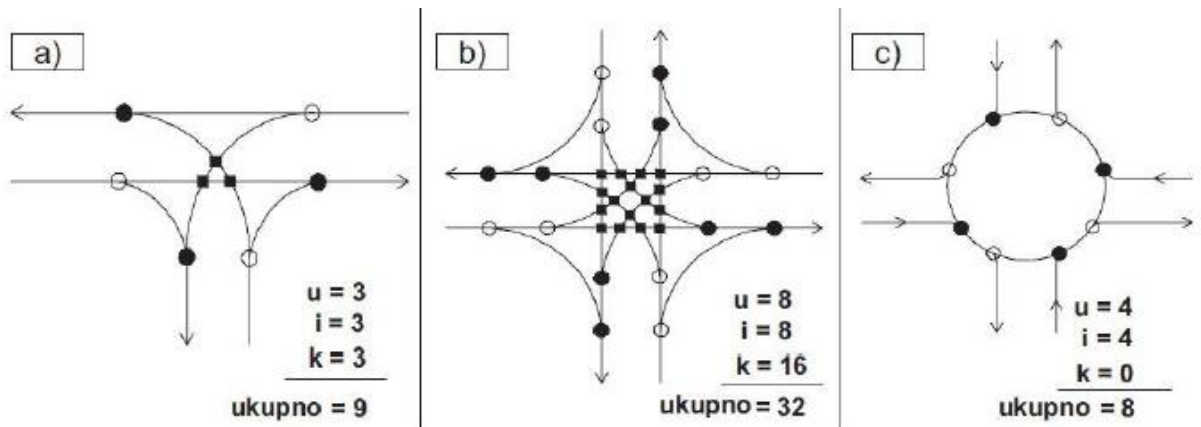
Na slici 1. prikazane su radnje koje se izvode u području raskrižja.



Slika 1. Prometne radnje u području raskrižja [1]

Konfliktna situacija se može definirati kao zbroj svih konfliktnih točaka koje su uzrokovane prometnim radnjama isplitanja, uplitanja, preplitanja i križanja prometnih tokova na površini raskrižja (uvjetno se konfliktna točka ovdje izjednačava s četiri vrste prometnih radnji). Broj konfliktnih točaka ovisi samo o vrsti/tipu i obliku raskrižja, a stvaran broj konflikata u znatnoj mjeri ovisan je o geometrijskom oblikovanju, o slobodnoj vidljivosti, o prometnom opterećenju i sl. Za napomenuti je da najveći broj konfliktnih točaka sadrže raskrižja u razini, a manje ih je (bez križanja) u raskrižjima izvan razine, te u raskrižjima s kružnim tokom prometa.

U klasičnom trokrakom raskrižju (a) ima ukupno 9 konfliktnih točaka (po 3 uplitanja, isplitanja, i križanja), u četverkrakom raskrižju (b) postoje 32 konfliktna točka (po 8 uplitanja i isplitanja, te 16 točaka križanja), dok u raskrižju s kružnim tokom prometa (c) ima najmanje konfliktnih točaka između različitih oblika raskrižja u razini (po 4 uplitanja i isplitanja, bez križanja) [1].



Slika 2. Prikaz konfliktnih točaka [1]

2.3.3. Načela optimalnosti

Cestovna raskrižja, poput svih prometnih uređaja i građevina, moraju zadovoljiti četiri načela optimalnosti (minimalnih i maksimalnih pokazatelja):

- Minimum investicija
- Funkcija cestovnog prometa
- Načelo prikladnosti
- Izvodljivost u rekonstrukciji [1].

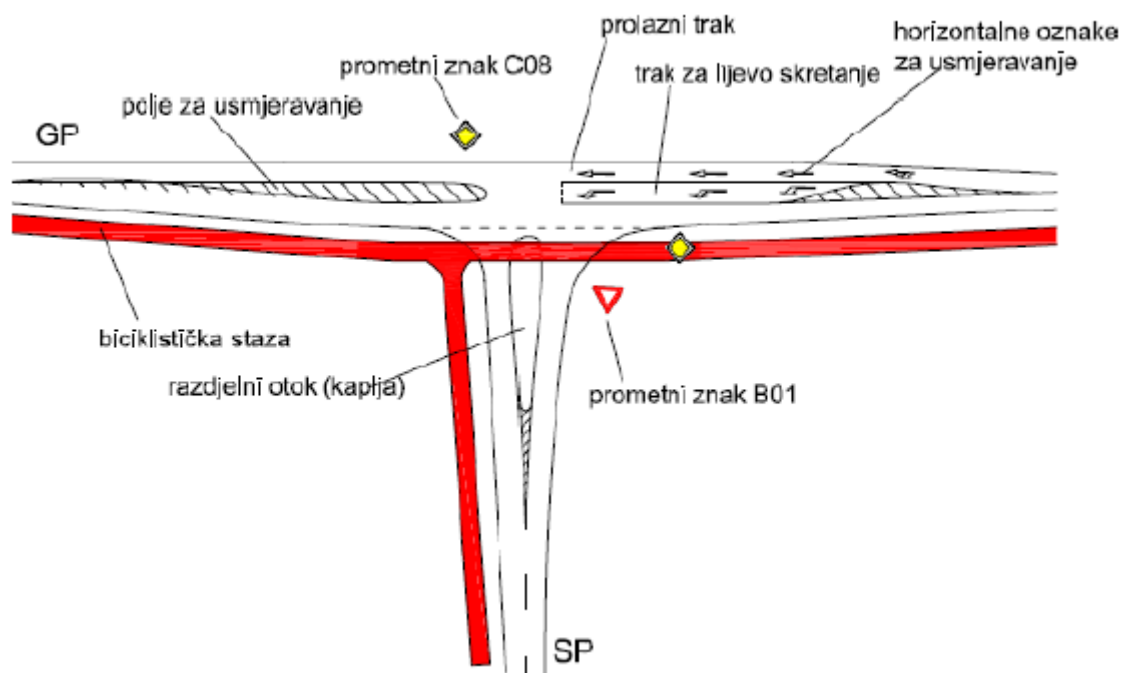
2.3.4. Podjela raskrižja

Raskrižja se mogu razvrstati, tipizirati ili dijeliti prema više osnova ili mjerila. Osnovna podjela raskrižja je na raskrižja u razini, izvan razine te kombinirana i posebna raskrižja. Raskrižja u razini mogu biti trokraka, četverokraka i kružna raskrižja. Raskrižja izvan razine imaju više različitih oblika, kao što su truba, djetelina, kruška, rascjep. Kombinirana i posebna raskrižja su uglavnom različite kombinacije raskrižja u razini i izvan razine, s drugačijim vođenjem prometa ili oblika koji odstupa od tipičnog i standardiziranog, a sve kako bi se zadovoljile različite specifične situacije u praksi.

2.3.5. Raskrižja u razini

Predmetna grupa raskrižja je najbrojnija u praksi, pri čemu su građevinska rješenja i prometni tokovi riješeni na istoj prometnoj plohi.

Na slici 3. prikazano je klasično "T" raskrižje s pripadajućim elementima.



Slika 3. Raskrižje u razini (T priljučak) [1]

Ova raskrižja zadovoljavaju prometna opterećenja do $Q_{mjer} \leq 800$ voz/h po privozu te vremenske praznine toka $\Delta T \geq 6$ sekundi, što su značajke cesta 2. do 5. razreda, odnosno pretežito lokalnih, županijskih te djelomice i državnih cesta.

Raskrižja u razini (RUR) predstavljaju čvorna mjesta u cestovnoj mreži, a oblikovana su i uređena tako da omogućavaju funkcioniranje cestovnog prometa. Ova zadaća se ne može

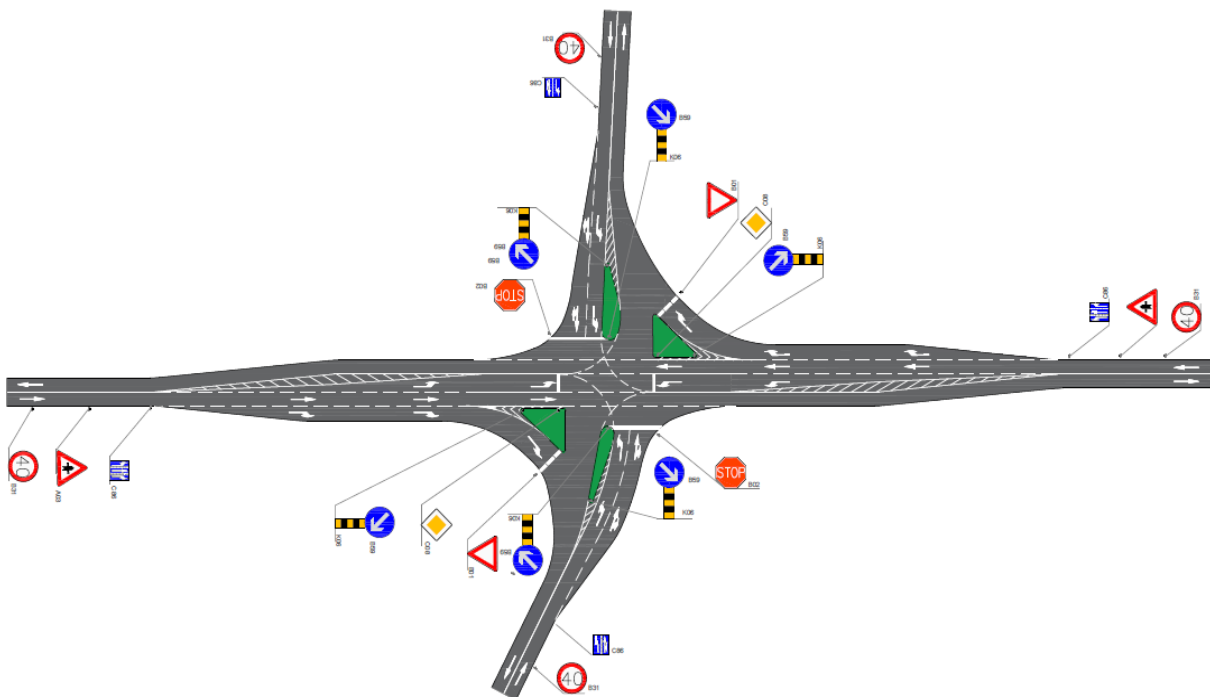
uspješno obaviti bez planski uređene građevinske osnove, čiji je svaki element (kao i rješenje u cjelini) provjeren po mjerilu najveće sigurnosti, optimalne protočnosti i najmanjih investicijskih ulaganja.

Pri koncipiranju raskrižja neophodno je utvrditi najbitnija polazišta i parametre. Prije svega to se odnosi na određivanje uloge ili značenja privoznih cesta u mreži te na dopuštenu brzinu u raskrižju, određivanje glavne ceste, na voznodinamičke i geometrijske okvire, propusnu moć, sigurnost prometa i razmak raskrižja. U sklopu određivanja rasporeda i razmaka raskrižja u cestovnoj mreži mora se voditi računa da učestalo čvoriranje smanjuje prometno - sigurnosnu vrijednost, a preveliki razmaci dovode do neravnomjernog i nepotrebnog opterećenja cestovne mreže [1].

Izbor glavne ceste s dominantnim prometnim tokom ključni je korak u koncipiranju raskrižja. Određivanje glavne ceste je tim jasnije što je više navedenih pokazatelja na što duljoj dionici. Glavna cesta je u pravilu s dominantnim prometnim tokom. Raskrižja u razini (RUR) će udovoljiti uvjetima sigurne vožnje ako su u cijelosti ili djelomično: pravovremeno prepoznatljiva, pregledna, shvatljiva i prohodna. Raskrižja u razini se trebaju planirati tako da budu što manje štetna za okoliš, što je često u suprotnosti s cijenom izvedbe odnosno ekonomičnošću rješenja.

Glavne osi cesta u raskrižju trebaju se zbog preglednosti položiti u što okomitiji odnos ($\alpha=72-108^\circ$) [1].

Na slici 4. prikazano je četverokrako raskrižje sa pripadajućim oblikovnim elementima (trakovi za izdvajanje udesno, trakovi za skretanje ulijevo, zaobljeni uglovi, razdjelnici kolnika - kaplje, trokutasti otoci).



Slika 4. Četverokrako raskrižje sa pripadajućim oblikovnim elementima

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

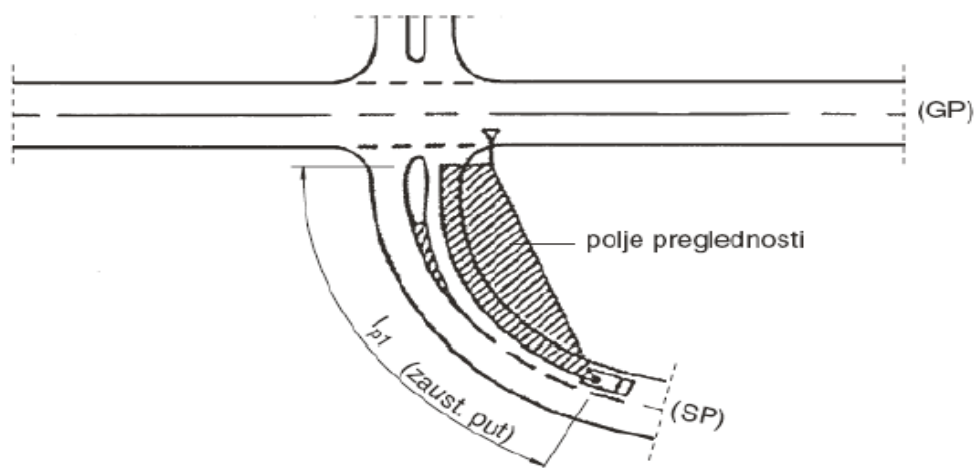
- treba težiti oblikovanju svih površina raskrižja čiji će nagib osigurati kvalitetnu odvodnju ($p \geq 2,0\%$, $q \geq 2,5\%$);
- nagibi glavne ceste (GP) ostaju nepromjenjivi, a nagib sporednih ili spojnih cesta (SP) trebaju se podrediti glavnoj cesti;
- voda sa spoja cesta ili priključaka nebi smjela dospijevati na kolnik glavne niti sporedne ceste;
- zahtjevi učinkovite odvodnje mogu biti čak i nadređeni voznodinamičkim zahtjevima (zbog manjih brzina);
- otoci se trebaju tako oblikovati i u principu visinski izdići da ne predstavljaju problem odvodnji.

Pri koncipiranju i projektiranju raskrižja trebaju se ponekad uzeti u obzir prometne površine za javni promet, kao što su trakovi za autobuse te autobusna stajališta. Načelno se stajališta za autobuse trebaju smjestiti iza raskrižja u smjeru vožnje, kako bi putnici prelazili kolnik s potpunom preglednošću ulijevo [1].

Za sigurno odvijanje prometa u raskrižju potrebno je provjeriti različite vidove doglednosti i polja preglednosti. Potrebne preglednosti su:

- **zaustavna preglednost** podrazumijeva doglednost koja je potrebna za pravovremeno prepoznavanje raskrižja pred kojim se treba zaustaviti. Potrebne duljine zaustavnog puta ovise o vrsti/kategoriji ceste, odnosno o dopuštenoj brzini prilaženja i uzdužnom nagibu sporedne ceste [1];

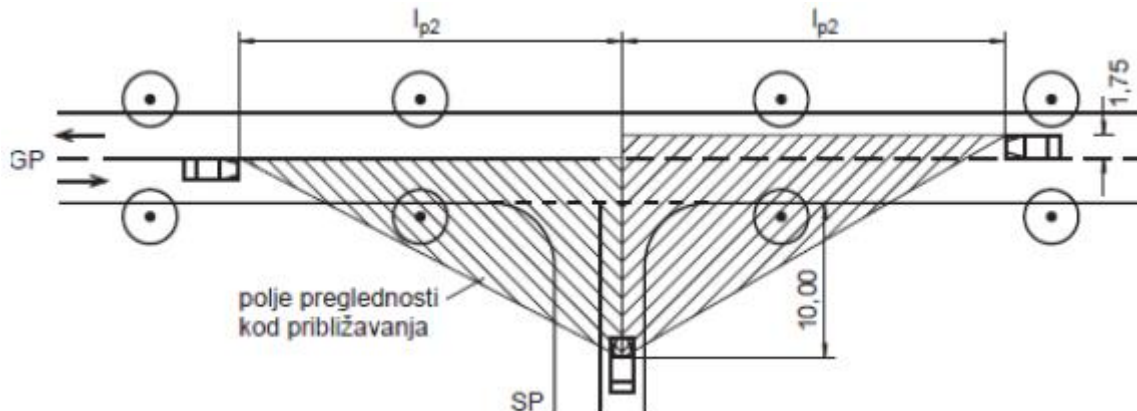
Na slici 5. prikazano je polje preglednosti, odnosno zaustavna preglednost.



Slika 5. Zaustavna preglednost na sporednom privozu [1]

- **preglednost kod približavanja** raskrižju i glavnoj cesti podrazumijeva doglednost koja mora biti osigurana na određenoj udaljenosti od ruba glavne ceste za vozače koji prilaze iz sporedne ceste i to za slučaj kada na glavnu cestu treba ući bez zaustavljanja. U raskrižjima izvan rubnih zona mora biti zadržano vidno polje i doglednost (l_{p2}) s udaljenosti 10 m od ruba kolnika glavne ceste [1];

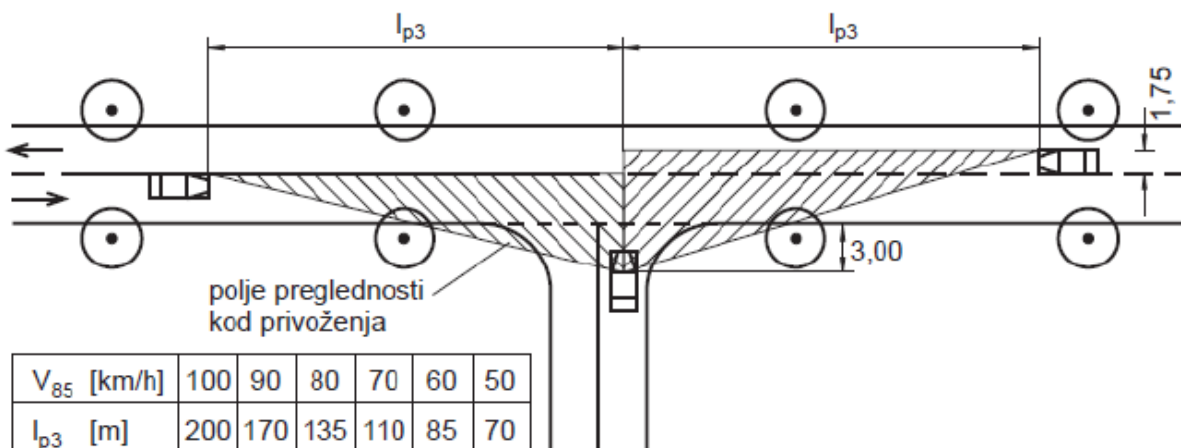
Na slici 6. prikazano je polje preglednosti kod približavanja raskrižju i glavnoj cesti.



Slika 6. Polje preglednosti kod približavanja raskrižju [1]

- **privozna preglednost** označava doglednost koju mora imati vozač kada čeka na razmaku tri metra od ruba kolnika glavne ceste kako bi, unatoč prednosti i uz očekivano ometanje iz glavne ceste, mogao uvesti svoje vozilo. Navedeni uvjeti bit će omogućen ako su osigurana polja preglednosti, čiji su dozezi vidljivosti (l_{p3}) u glavnoj cesti. Za slučaj odmaknute biciklističke staze potrebno je da razmak vozila bude povećan na 4,0-5,0 m [1];

Na slici 7. prikazana je privozna preglednost, odnosno polje preglednosti kod privoženja, te tablica doseg vidljivosti (l_{p3}) u ovisnosti o brzini.



Slika 7. Privozna preglednost [1]

- **preglednost za pješake i bicikliste** neophodno je provjeriti zbog njihovog nepredvidljivog pojavljivanja i zbog ranjivosti u prometu [1].

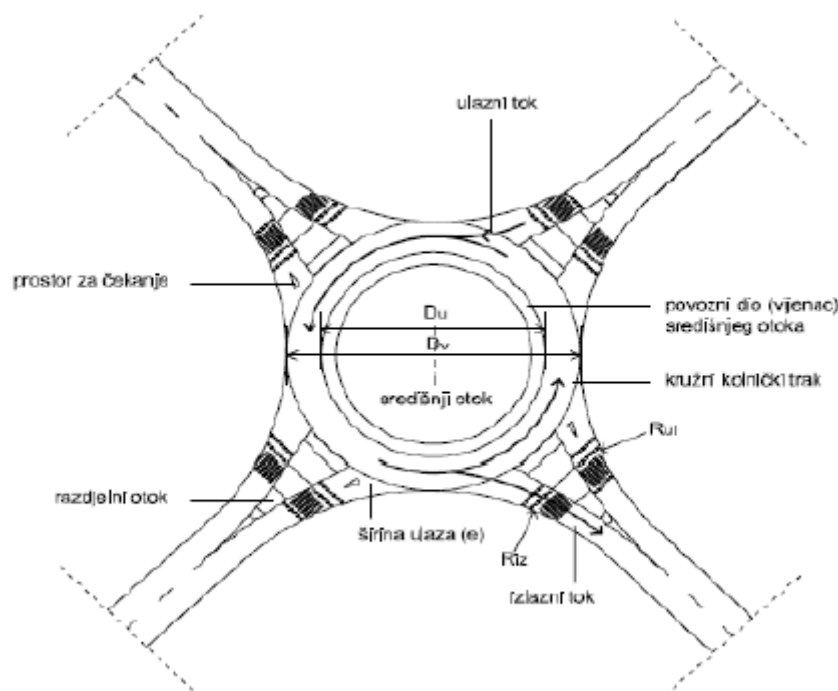
Osim navedenog u poglavlju 2.3.5, postoji još stručnih smjernica kojih se treba pridržavati pri projektiranju raskrižja, kao što su razmaci raskrižja, osnovni i posebni oblici raskrižja u razini, oblikovanje prometnih i prolaznih trakova, vođenje prilaznih trakova i oblikovanje trakova za izdvajanje udesno, trakova za skretanje ulijevo, oblici vođenja lijevih skretača, zaobljivanje uglova, razdjelnici i otoci, vođenje biciklističkog prometa, itd.

2.3.6. Raskrižja s kružnim tokom prometa

Prema suvremenoj definiciji kružno raskrižje je prometna građevina, gdje je kretanje vozila određeno središnjim kružnim otokom i kružnim kolnikom te privozima s razdjelnim otocima i prometnim znakovima. U odnosu na klasična, ova se raskrižja također mogu definirati kao nesemaforizirana raskrižja u jednoj razini, u kojima se promet u pravilu odvija:

- na jednotračnom odnosno dvotračnom kružnom kolniku;
- s jednim do dva prometna traka na privozima postavljenim što okomitije na ulazu u kružno raskrižje;
- s reguliranom prednošću kružnog prometnog toka u smjeru suprotnom od kazaljke na satu [1].

Na slici 8. prikazan je jedan od oblika raskrižja s kružnim vođenjem prometa sa pripadajućim elementima.



Slika 8. Raskrižje s kružnim tokom prometa [1]

Posebnosti i razlikovnosti ovih raskrižja su sljedeće:

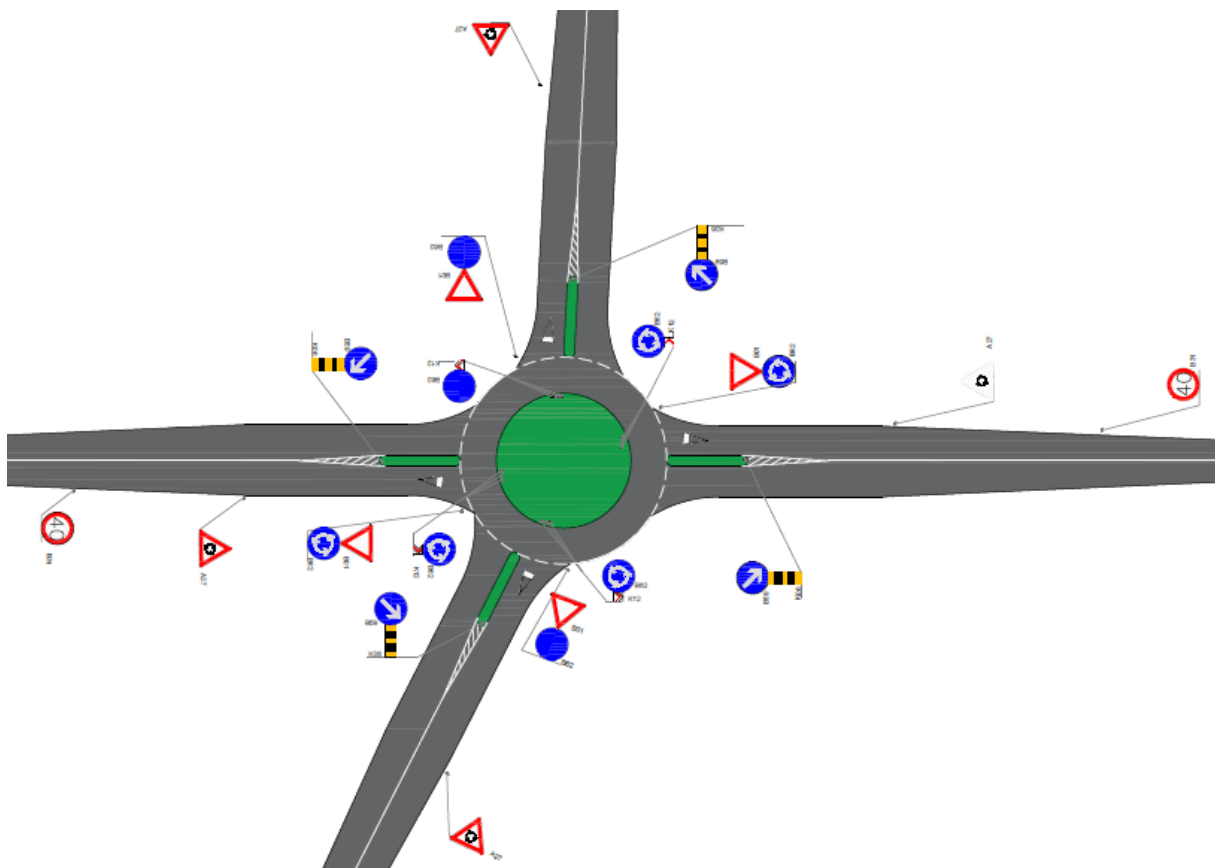
- kružna raskrižja su raskrižja s kombinacijom prekinutog i neprekinutog prometnog toka;
- prvenstvo prolaza imaju vozila u kružnom toku pred vozilima na prilazima/privozima, budući da ovdje ne vrijedi "pravilo desnoga";
- kružna raskrižja na javnim cestama (a naročito u naseljima) omogućuju vožnju smanjenim brzinama i s velikim skretnim kutem 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;
- u kružnim raskrižjima je zabranjena (a i nepotrebna) vožnja unatrag;
- dugim vozilima je tijekom vožnje dopušteno koristiti i prošireno dio kružnog kolničkog traka (tzv. povozni dio središnjeg otoka);
- za pješake i bicikliste vrijede jednaka pravila kao i za druge oblike raskrižja u razini [1].

Naspram ostalih raskrižja u razini kružna raskrižja imaju mnogobrojne prednosti:

- Iznimno veća sigurnost prometa zbog manjeg broja konfliktnih točaka od klasičnog raskrižja, smanjena brzina vožnje kroz kružni tok.
- Manje posljedice prometnih nezgoda (npr. manje brzine pri eventualnom sudaru s pješacima, nema čeonih sudara i sudara pod pravim kutom, itd.).
- Dobro rješenje za smirivanje prometa u urbanim sredinama, estetski vrijedno
- kraće vrijeme čekanja na privozima i mogućnost propuštanja jačih prometnih tokova.
- Manje buke i emisije ispušnih plinova, te zauzimanje manjeg prostora i troškova održavanja.
- Dobro rješenje za raskrižja s više privoza (pet ili više), te približno jednakim opterećenjem na glavnom i sporednom smjeru.
- Manje zauzimanje prostora (nepotrebni su prometni trakovi za lijevo i desno skretanje) pri jednakoj propusnoj moći [1].

Nedostaci raskrižja s kružnim tokom prometa:

- Povećanjem broja trakova u kružnom kolniku smanjuje se prometna sigurnost (suprotno od klasičnih raskrižja u jednoj razini) te se preporučuje izvedba jednotračnih kružnih raskrižja,
- Višetračno raskrižje nije prikladno rješenje pred institucijama za invalide, slijepe i slabovidne osobe i sl.,
- Neprihvatljivo rješenje kod velikog broja lijevih skretača,
- Teškoće s nedostatkom prostora za izvedbu središnjeg otoka u već izgrađenim područjima [1].



Slika 9. Kružno raskrižje s četiri privoza

Za svako kružno raskrižje potrebno je provjeriti provoznost mjerodavnog vozila. Ovo se posebno odnosi na urbana rješenja (mini, mala i srednje velika raskrižja), ali isto tako treba provjeriti rješenja većih raskrižja izvan naselja iz razloga prolaska pokraj vozila u kvaru i sl.

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

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

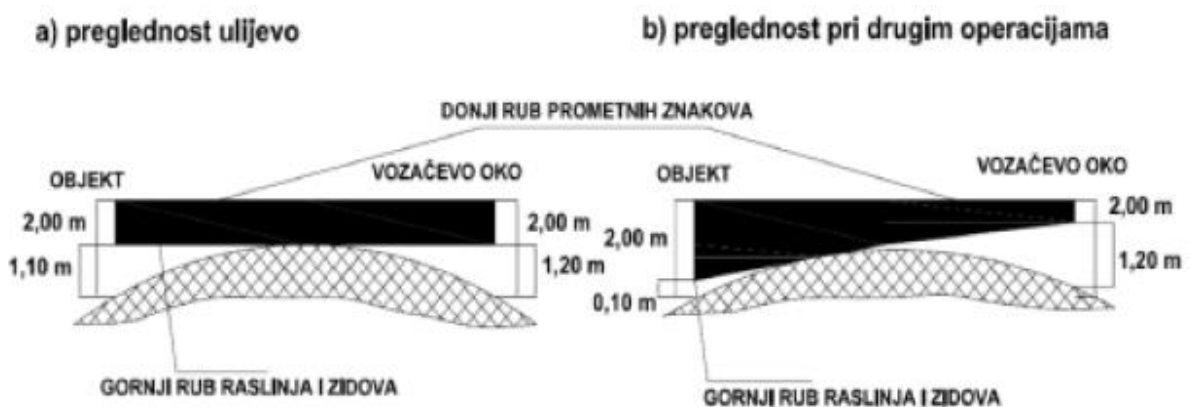
Pješački i biciklistički promet u pravilu se trebaju voditi izvan ili odmaknuto od kružnog kolnika. Prijelazi preko privoznih kolnika trebaju biti odmaknuti barem 4,5 m od kružnog raskrižja, odnosno za duljinu barem jednog vozila (prostor za čekanje).

U postupku modeliranja treba barem okvirno, a u sklopu projektiranja i detaljiranja neophodno je provesti provjeru i osiguranje preglednosti u raskrižju.

Prije razvrstavanja neophodno je razjasniti neka polazišta i razlikovnosti dviju vrsta preglednosti:

- preglednost na ulazu u kružno raskrižje (i oko središnjeg otoka),
- preglednost pri ostalim prometnim operacijama.

Ovo razvrstavanje prouzročeno je prvenstveno zbog visine prepreke koju vozač mora uočiti, a pregledno polje ulijevo i preko središnjeg otoka mora biti omogućeno kao na slici 10. Preglednost treba biti omogućena od visine oka vozača iznosa 1,10 m (kod nas 1,20 m) do visine prepreke od 1,10 m, a pregledno polje mora dosezati do visine 2,0 m iznad kolnika [1].

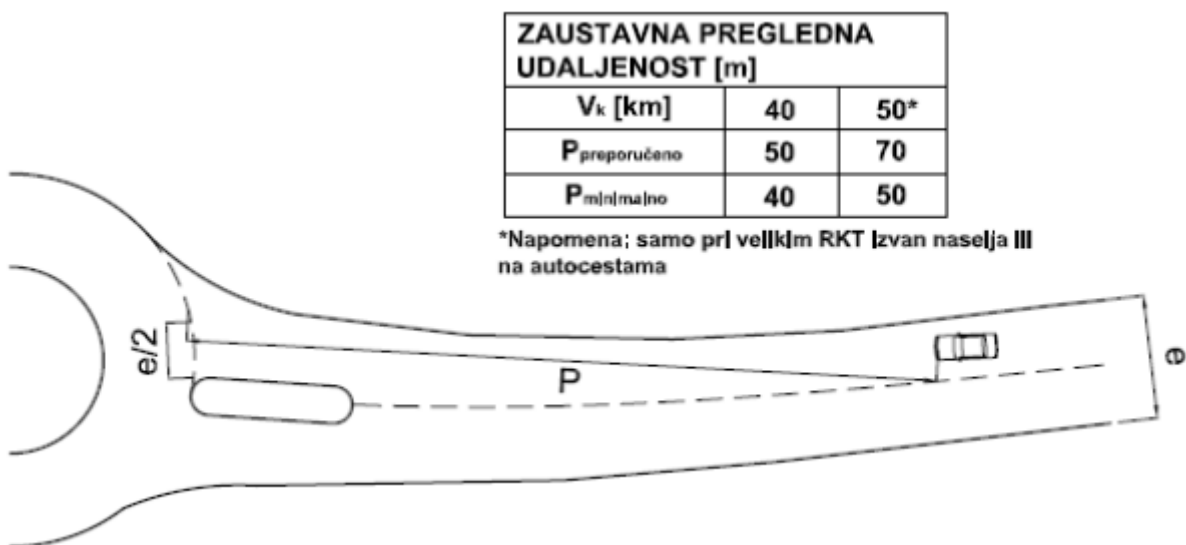


Slika 10. Preglednost ulijevo pri ulazu i pri ostalim prometnim radnjama [1]

Pri ostalim prometnim operacijama preglednost treba biti omogućena kao na slici 10. Prometni znakovi na tom području ne smiju biti postavljeni niže od 2,0 m mjereno od kolnika do donjeg ruba znaka.

Daljnji redoslijed vrsti preglednosti izložen je slijedom prometnih radnji i pozicioniranja:

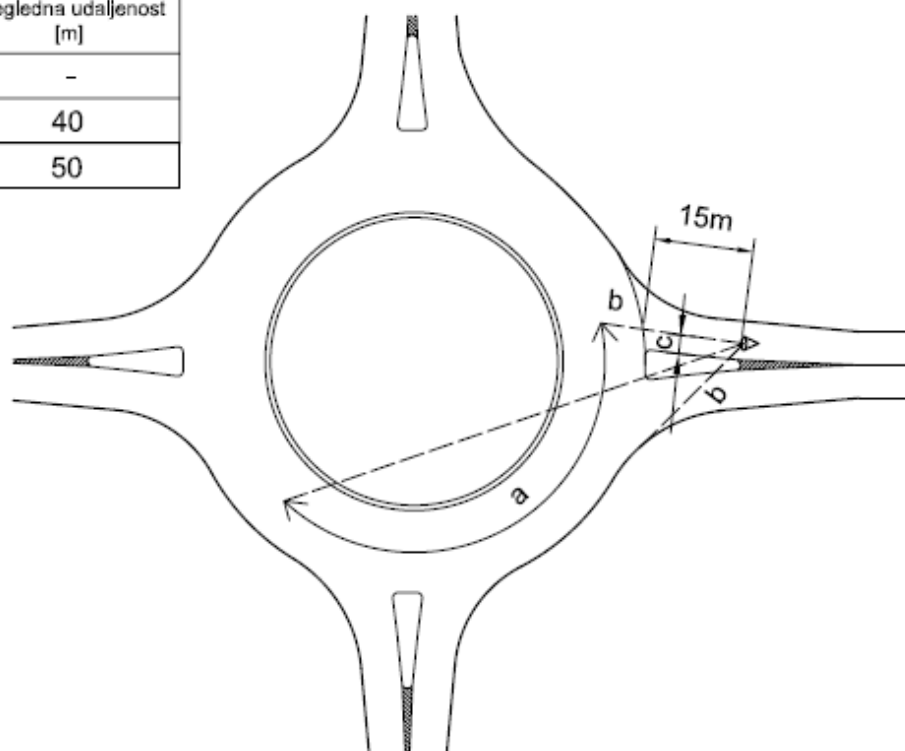
1. **Čelna preglednost na ulazu u kružno raskrižje** treba omogućiti pravodobno uočavanje sporne situacije prilikom približavanja kružnom raskrižju. Izravno ovisi o brzini približavanja raskrižju, pa proizlazi da u slučaju kad se ona ne može osigurati - neophodno je vozače o tome upozoriti dodatnim prometnim znakom [1].



Slika 11. Čelna (zaustavna) preglednost-ovisna o brzini [1]

2. **Preglednost ulijevo** - vozačima svih motornih vozila, koja se približavaju tlocrtnoj oznaci za označavanje ruba kružnog kolnika, mora biti omogućen pregled nad cjelokupnom širinom kružnog kolnika, od razdjelne crte na njihovu lijevu stranu, i to do udaljenosti koja je potrebna za zaustavljanje, mjereno uzduž osovine kružnog kolnika. Preglednost ulijevo provjerava se iz sredine prometnog traka (kada su dva ulazna traka, onda s lijevog traka) na udaljenosti 15 m pred razdjelnom crtom [1].

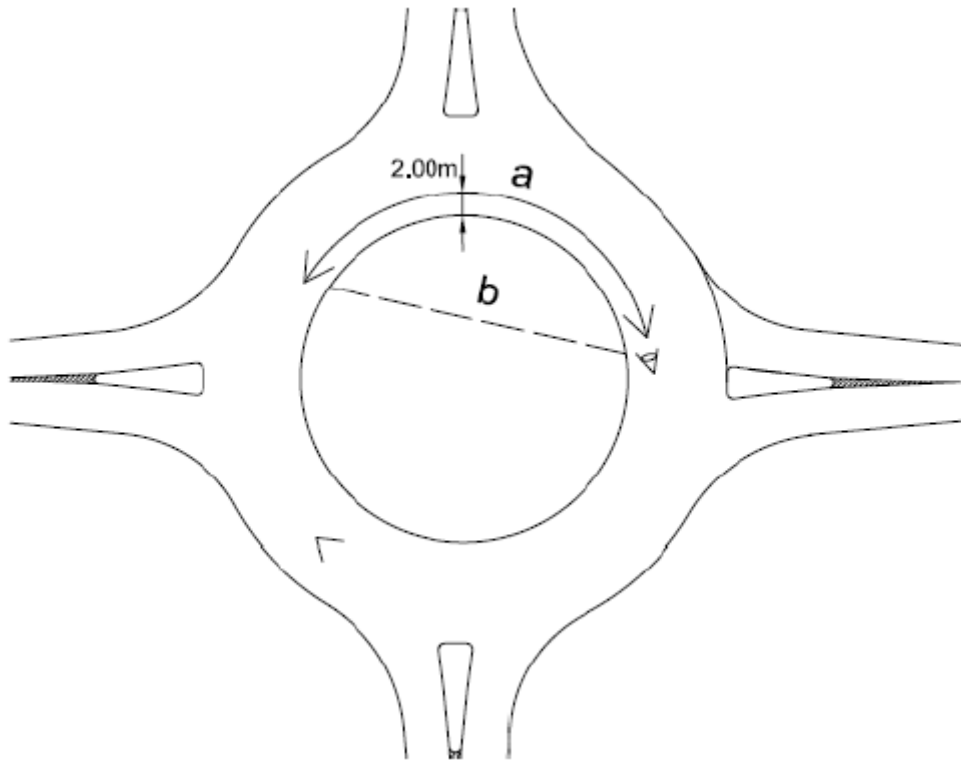
PREGLEDNOST ULIJEVO	
Promjer Dv kružnog raskrižja [m]	Pregledna udaljenost [m]
< 40	-
40-60	40
60-90	50



Slika 12. Preglednost ulijevo [1]

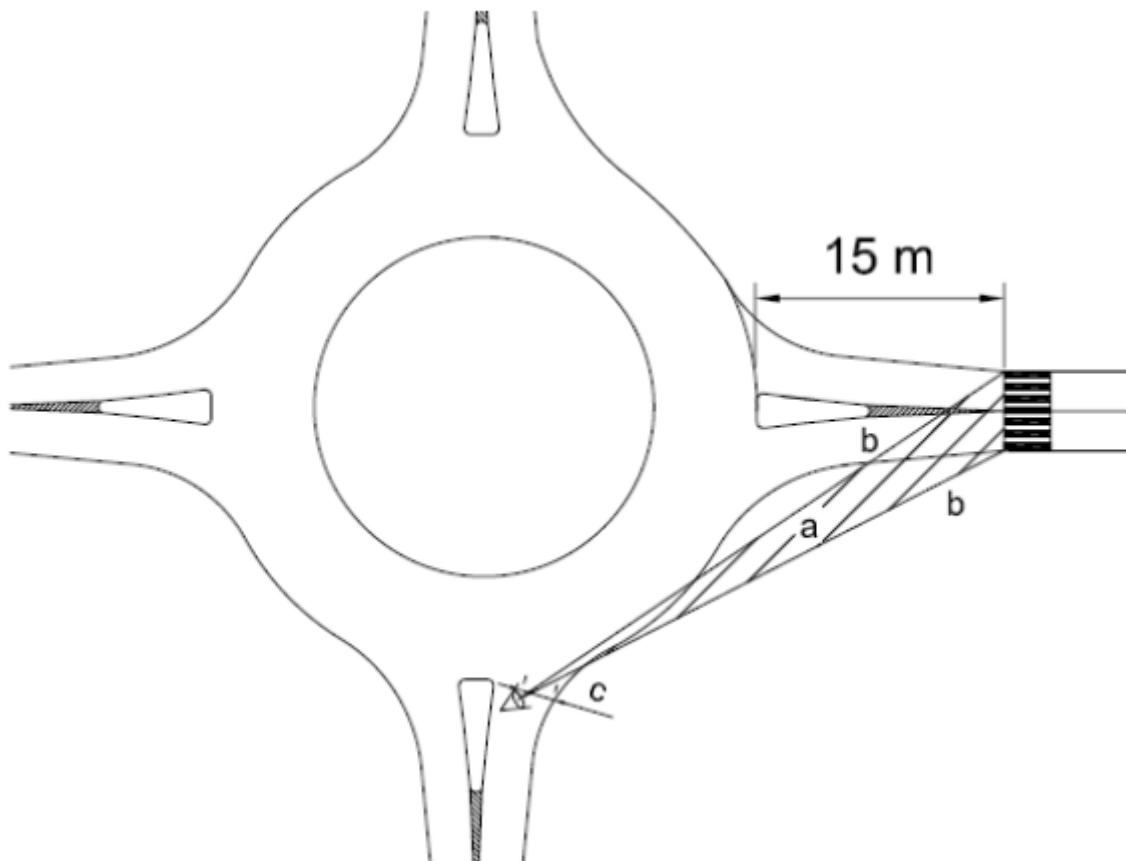
U nekim slučajevima (mala kružna raskrižja bez sadržaja u središnjem otoku) prevelika preglednost na ulazu ili preglednost između susjednih izlaza može prouzročiti prevelike brzine vozila na ulazu u kružno raskrižje. U takvim situacijama dobro je ograničiti prekomjernu preglednost selektivnim dodavanjem raslinja u središnjem otoku [1].

- 3. Preglednost na kružnom kolniku** - vozačima u kružnom toku mora biti omogućena preglednost nad cjelokupnom širinom kružnog kolnika pred njima, i to na udaljenosti koja odgovara veličini kružnog raskrižja. Preglednost je potrebno provjeriti 2 m od ruba središnjeg otoka, kao što je prikazano na slici 13 [1].



Slika 13. Preglednost na kružnom kolniku [1]

- 4. Preglednost do pješačkog prijelaza** - vozači prilikom približavanja kružnom raskrižju moraju imati na raspolaganju toliku preglednost do pješačkog prijelaza da je omogućeno sigurno zaustavljanje pri brzini koja je dopuštena na ulazu u kružno raskrižje. U malim i srednje velikim kružnim raskrižjima potrebno je, ako dopušta okolica, vozačima vozila koja stoje neposredno iza razdjelne crte, omogućiti pregled nad cjelokupnom širinom pješačkog prijelaza na slijedećem izlazu (ako je pješački prijelaz udaljen do 15 m od kružnog raskrižja), kao što je prikazano na slici 14 [1].



Slika 14. Preglednost do pješačkog prijelaza [1]

2.3.7. Raskrižja izvan razine

Ovakva raskrižja su najveća po prostornom obuhvatu, cijeni izvedbe i po propusnoj moći, a redovito se primjenjuju na javnim prometnicama najvišeg ranga. Raskrižja izvan razine su prometne građevine za organizirano povezivanje dvaju cestovnih pravaca pod uvjetom održavanja režima neprekinutih tokova. Prostorno razdvajanje konfliktnih stanja, odnosno nezavisno vođenje prometnih tokova u različitim građevinskim razinama ima za posljedicu dva najbitnija učinka: najvišu sigurnost prometa i najveću propusnu moć.

Područje primjene raskrižja izvan razine (RIR) je u grupi javnih cesta najviše razine prometnog učinka (autoceste i brze ceste). Potreba za prostornim razdvajanjem javlja se na onim raskrižjima gdje ukupna prometna opterećenja glavnog (GP) i sporednog pravca (SP) prelaze 12.000 voz/dan, a sa stajališta gospodarske opravdanosti trebalo bi se kao minimalno uzeti opterećenje od $PGDP \geq 3000$ (4000) voz/dan [1].

2.3.8. Rasvjeta raskrižja

Svaki se vozač u prometu oslanja na određenu razinu vlastitog zapažanja, definiranog kao sposobnost da tijekom vožnje trajno selekcionira i više ili manje podsvjesno reagira na one dijelove vidnih obavijesti koje mu jamče vlastitu sigurnost u vožnji. Pouzdanost zapažanja ovisi najviše o vozačevoj sposobnosti brzog i sigurnog uočavanja svih pojedinosti i promjena u vlastitom vidnom polju, a i izvan njega.

Rasvjeti prometnica s pretežito motornim prometom treba obratiti posebnu pozornost jer se zahtjevi vozača za dobrom vidljivošću znatno razlikuju od zahtjeva pješaka.

Pri vožnji noću, duljina vidljivosti ovisi o osvjetljenju, tj. o svjetlosnim izvorima na prednjoj strani motornog vozila ili o stalnoj rasvjeti prometnica i čvorišta. Zaustavni put vozila u pravilu je veći od dometa svjetala na prednjoj strani vozila, pa samo kvalitetna cestovna rasvjeta može jamčiti sigurno zapažanje mogućih zapreka na tim udaljenostima.

Rasvjeta prometnih građevina mora biti takva da vozač na vrijeme uoči eventualnu zapreku, da ima dovoljnu preglednost i da je siguran u prohodnost prometnice. Pritom je potrebno osigurati jednoličnost cestovne rasvjete i istaknuti kritična mjesta (raskrižja, mostove, skretanja i sl.).

Trećina svih prometnih nezgoda u kojima ima ozlijeđenih događa se noću. U usporedbi s gustoćom prometa noću, broj ozlijeđenih i smrtno stradalih osoba u prometnim nezgodama približno je za trećinu veći od onog danju. U pravilu, broj nezgoda je veći u naseljenim mjestima, pri čemu najviše stradaju pješaci. Nezgode koje se događaju noću općenito pripadaju u kategoriju težih, sa znatno većom stopom smrtnosti.

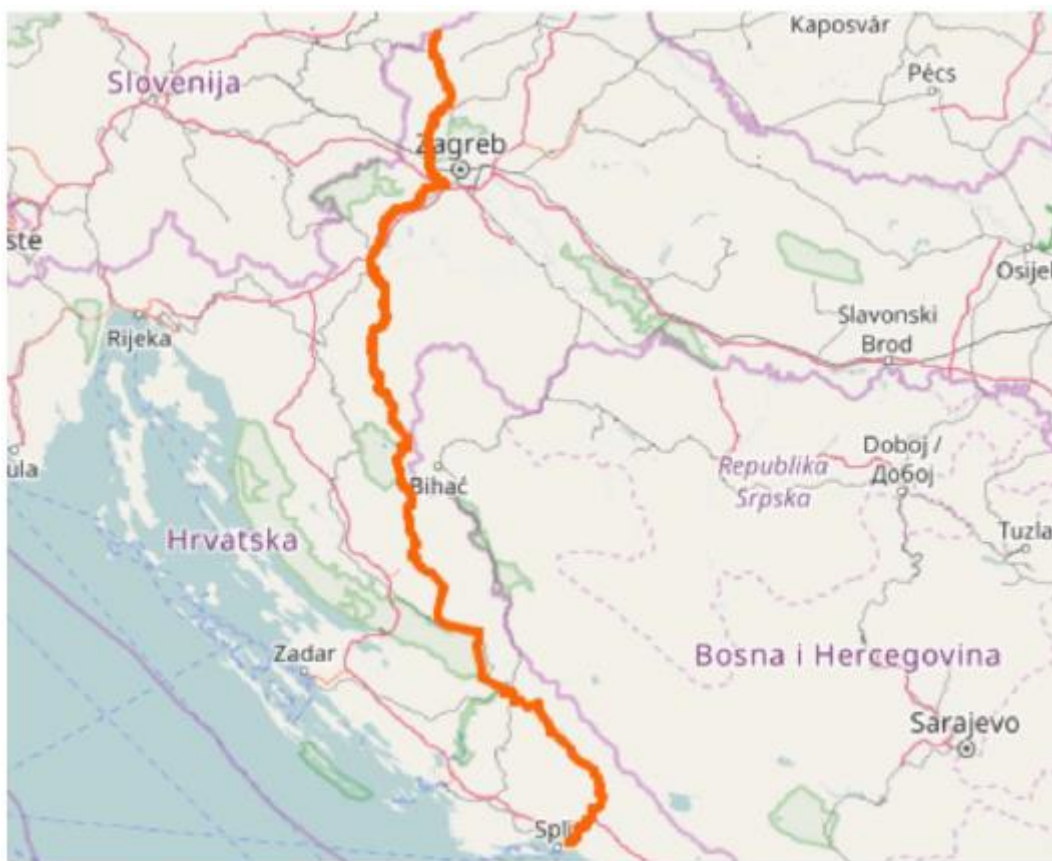
U naseljima, gdje se uz prometnice kreću pješaci, rasvjeta okolice je posebno važna kako bi vozač na vrijeme uočio kretanje pješaka [5].

3. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA RASKRIŽJA NA PROMATRANOM KORIDORU

Državna cesta D1 pruža se u smjeru sjever - jug od graničnog prijelaza Macelj s granicom Republike Slovenije do grada Splita, a svojim dijelom čini ukupnu dužinu od 421,2 km. Svojom dužinom čini drugu po redu u kategoriji najdužih državnih cesta odnosno samo je državna cesta D8 svojom dužinom veća od državne ceste D1.

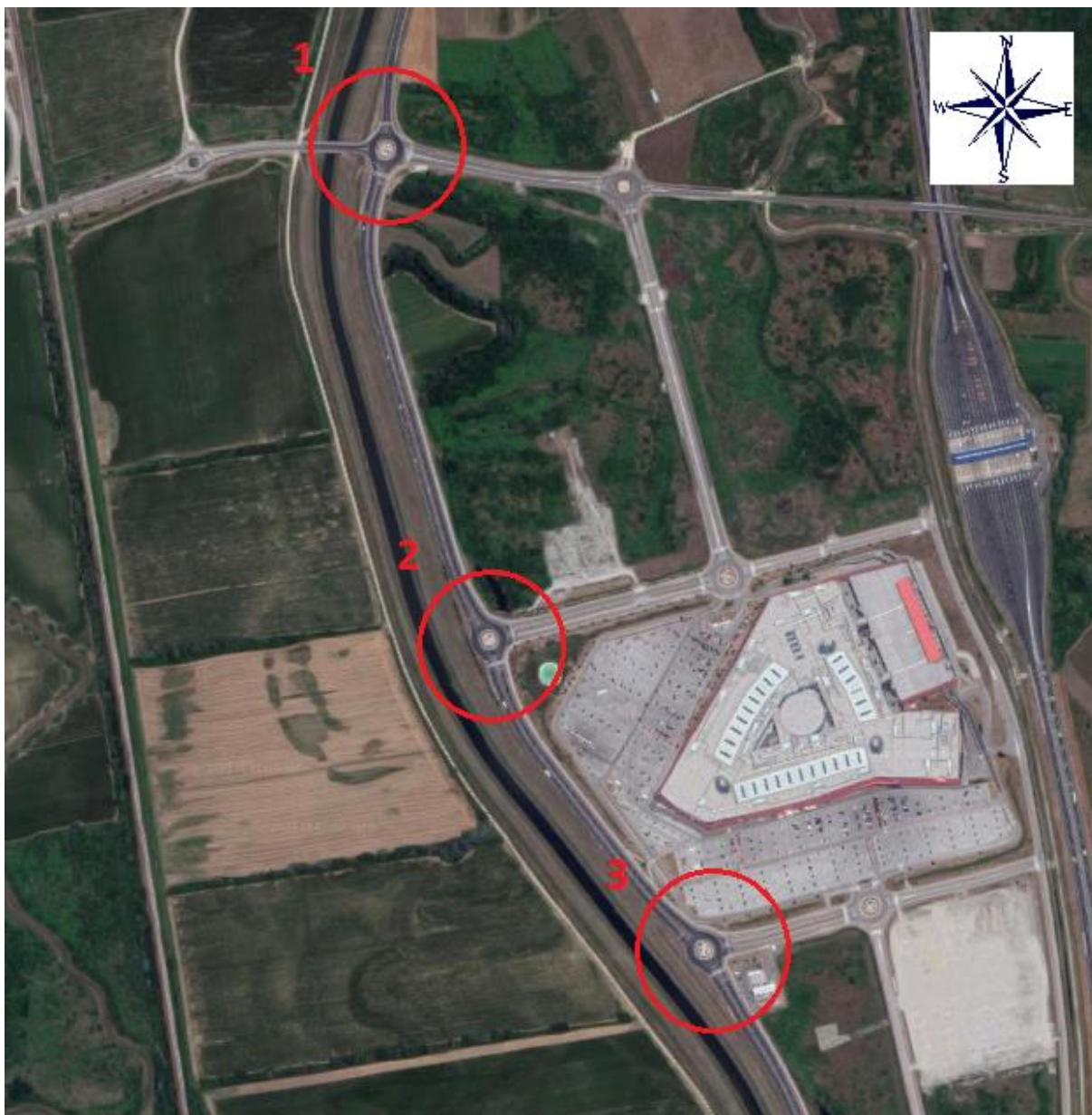
Svoжим prostiranjem od granice s Republikom Slovenijom pa sve do Splita, državna cesta D1 prolazi kroz sljedeće navedene hrvatske gradove: Krapina, Zabok, Zagreb, Jastrebarsko, Karlovac, Gračac, Knin, Sinj, Dugopolje, Split.

Na slici 15. dan je prikaz njezinog položaja na teritoriju Republike Hrvatske.



Slika 15. Položaj državne ceste D1 [6]

Promatrana raskrižja nalaze se na državnoj cesti D1 u zoni trgovačkog centra Westgate. U analizi prometno – sigurnosnih elemenata obuhvaćena su tri raskrižja s kružnim tokom prometa koja su prikazana na slici 16.



Slika 16. Prikaz analiziranih raskrižja na dionici državne ceste D1 [7]

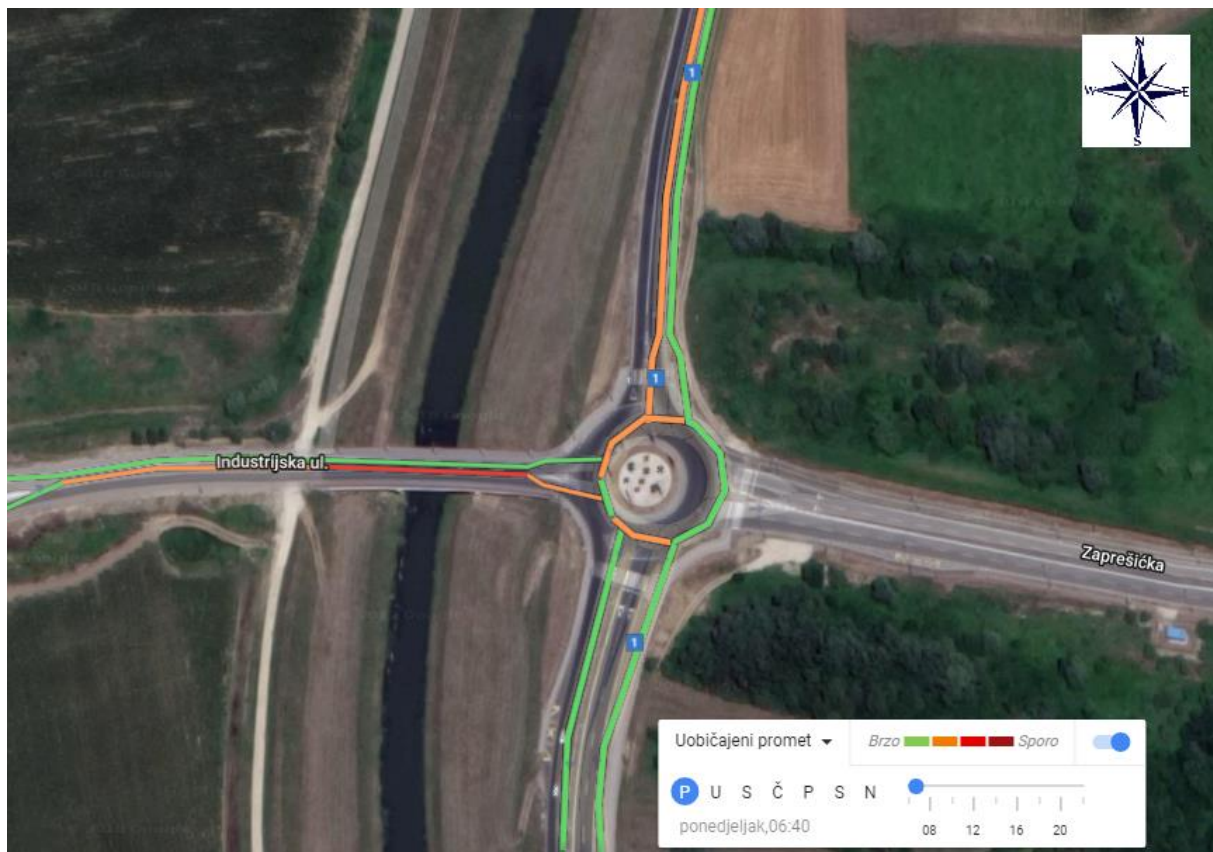
- **Raskrižje broj 1** – četverokrako kružno raskrižje, državne ceste D1, Industrijske ulice sa zapada te Zaprešićke ceste s istoka
- **Raskrižje broj 2** – trokrako kružno raskrižje, državne ceste D1 sa Zaprešićkom cestom s istoka
- **Raskrižje broj 3** – trokrako kružno raskrižje, državne ceste D1 sa Zaprešićkom cestom s istoka

3.1. Raskrižje 1 - Državne ceste D1, Industrijske ulice i Zaprešićke ceste

Raskrižje državne ceste D1, Industrijske ulice i Zaprešićke ceste je raskrižje sa kružnim tokom prometa s četiri privoza. Privozi se na raskrižju ne pružaju pod točno pravim kutevima od 90 stupnjeva. Unutar samog raskrižja nalaze se dvije prometne trake.

Na sjevernom privozu na D1 od smjera Zaboka su po jedna prometna traka za svaki smjer kretanja vozila. Na južnom privozu od smjera Zagreba nalaze se po dvije prometne trake za svaki smjer kretanja vozila. Na zapadnom privozu od smjera Zaprešića nalaze se po jedna prometna traka za svaki smjer kretanja vozila. Sa istočnog smjera, odnosno na Zaprešićkoj cesti nalaze se po dvije prometne trake za svaki smjer kretanja vozila.

Najveći problem ovog raskrižja je slaba propusnost sjevernog i zapadnog privoza tijekom jutarnjeg vršnog sata. Na sjevernom privozu svakim radnim danom u razdoblju od 6:30 do 7:30 stvara se rep čekanja otprilike oko dva kilometra. Promet se nakon stvaranja repa čekanja odvija usporeno sa povremenim stajanjima. Također, na zapadnom privozu od smjera Zaprešića se stvara rep čekanja od nekoliko stotina metara. Na tom privozu promet potpuno stoji te se vozila vrlo teško uključuju u raskrižje.



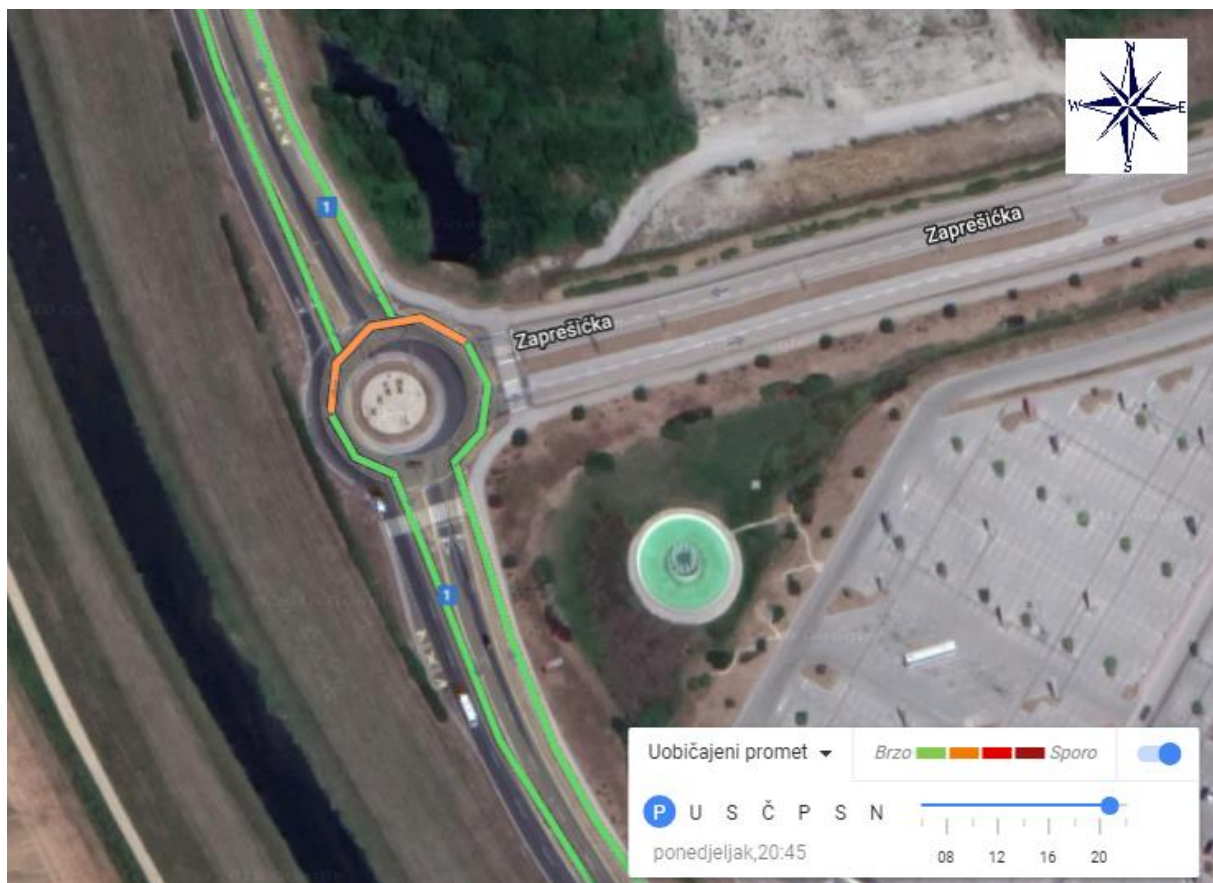
Slika 17. Prikaz uobičajenog prometnog opterećenja na „Raskrižju broj 1“ [7]

Za vrijeme jutarnjeg vršnog sata na južnom i istočnom privozu nema zastoja jer se gotovo sav promet kreće u smjeru grada Zagreba. U popodnevnim satima nema većih zastoja na raskrižju jer se gotovo sav promet kreće u smjeru Zaboka i Zaprešića te se ne presjecaju njihovi tokovi.

Problem sigurnosti promatranog raskrižja je u tome što ima samo po jedan izlazni prometni trak na sjevernom i zapadnom privozu, dok su u samome kružnom raskrižju dva prometna traka. Događa se da vozila koja dolaze unutarnjim prometnim trakom iz smjera Zagreba i žele se isključiti iz raskrižja na izlaz prema Zaboku ili Zaprešiću, dolaze u opasan konflikt s vozilima koja se uključuju u raskrižje u vanjski prometni trak sa istočnog i sjevernog privoza.

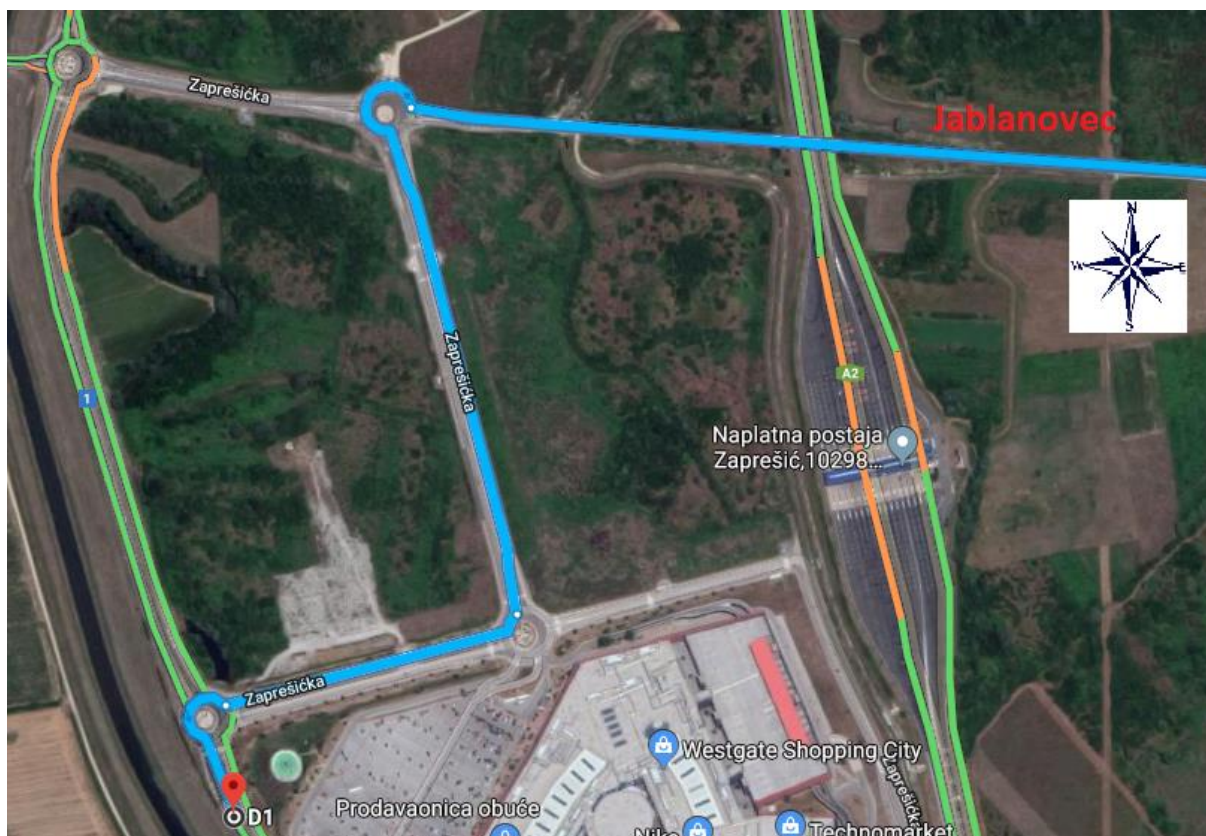
3.2. Raskrižje 2 - Državne ceste D1 i Zaprešićke ceste

Raskrižje državne ceste D1 i Zaprešićke ceste je raskrižje sa kružnim tokom prometa s tri privoza. Privozi se na raskrižju pružaju pod skoro pravim kutom od 90 stupnjeva. Unutar samog raskrižja nalaze se dvije prometne trake. Na svakom privozu su po dvije prometne trake za svaki od smjerova kretanja vozila što omogućuje dobru propusnu moć raskrižja.



Slika 18. Prikaz uobičajenog prometnog opterećenja na „Raskrižju broj 2“ [7]

Na ovom raskrižju nema značajnijih prometnih problema. Najveće opterećenje javlja se tijekom jutarnjeg vršnog sata, od 6:30 do 7:30, te u večernjim satima, u razdoblju od 20:00 do 21:00 sat, na istočnom privozu, kada kupci i zaposlenici napuštaju trgovački centar te ih se većina upućuje prema gradu Zagrebu, odnosno s istočnog privoza na južni.



Slika 19. Prikaz rute kretanja vozila koja dolaze na „Raskrižje broj 2“ [7]

Dodatno prometno opterećenje na promatranom raskrižju uzrokuju vozila koja dolaze iz mjesta Jablanovec i uključuju se na državnu cestu D1 u smjeru Zagreba na predmetnom raskrižju te tako blokiraju prolazak vozilima koja se kreću iz smjera sjevera prema jugu.

Jedan od problema sigurnosti promatranog raskrižja je to što nema funkciju smanjenja brzine vožnje za vozila koja se kreću iz smjera sjevera prema jugu, zbog položaja sjevernog i južnog privoza te smještaja središnjeg otoka. Takav razmještaj privoznih i odvoznih prometnih trakova te središnjeg otoka omogućuje vozilima koja dolaze sa sjevernog privoza vanjskim prometnim trakom da ulaze u raskrižje velikom brzinom, koristeći unutarnji prometni trak u raskrižju te zatim izlaze iz raskrižja na južnom odvozu vanjskim prometnim trakom što je česta pojava kada nema velike gustoće prometa.



Slika 20. Pogled na „Raskrižje broj 2“ sa sjevernog privoza [7]

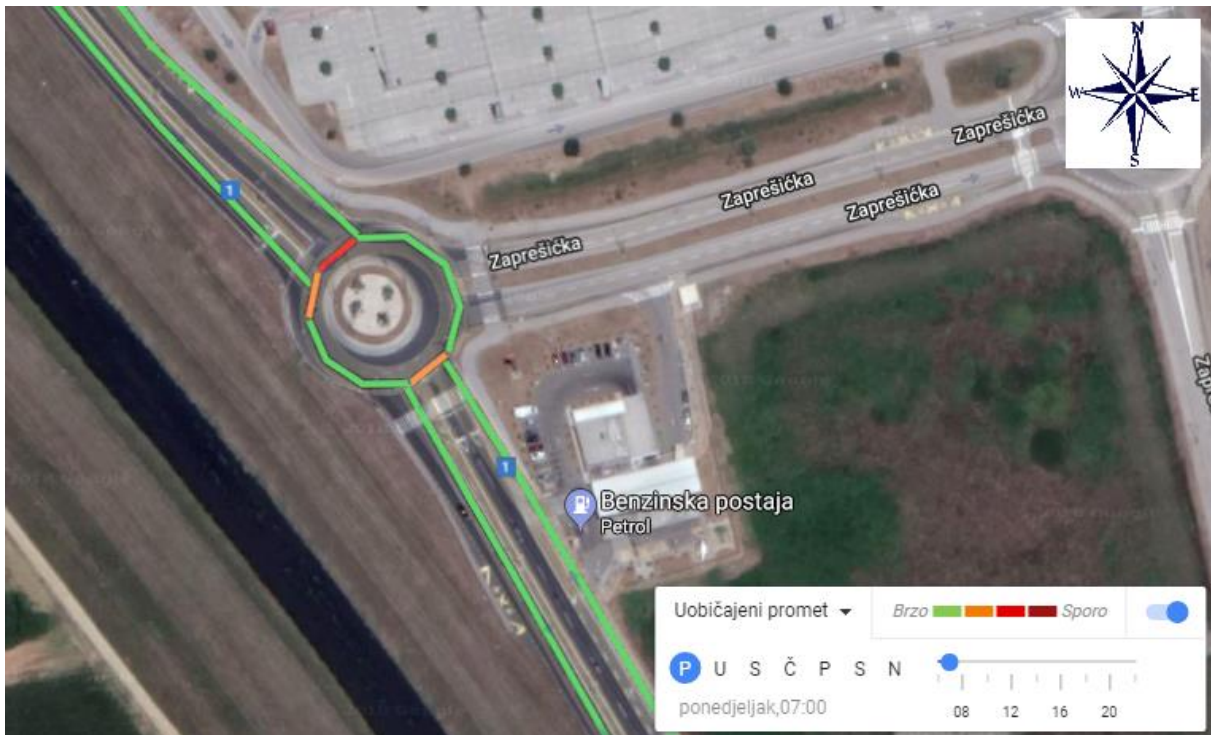
Drugi problem sigurnosti promatranog raskrižja je smještaj rasvjetnih stupova u neposrednoj blizini vanjskog prometnog traka kod ulaska i izlaska iz raskrižja te u samome raskrižju. Takvom izvedbom rasvjete raskrižja može doći do kolizije širih i duljih vozila (tegljača s prikolicom, autobusa i sl.) s rasvjetnim stupovima kao i do većih posljedica prometnih nesreća uslijed izlijetanja vozila te udarca u rasvjetni stup zbog neprilagođene brzine vožnje, skliskog kolnika ili nekog drugog razloga.



Slika 21. Položaj rasvjetnih stupova na „Raskrižju broj 2“ [7]

3.3. Raskrižje 3 - Državne ceste D1 i Zaprešićke ceste

„Raskrižje broj 3“ je također raskrižje s kružnim tokom prometa s tri privoza između državne ceste D1 i Zaprešićke ceste koje je smješteno južnije od raskrižja broj 1. i 2. Privozi se na raskrižju pružaju pod tupim kutem između sjevernog i istočnog privoza te šiljastim kutem između istočnog i južnog privoza. Unutar samog raskrižja nalaze se dvije prometne trake. Na svakom privozu su po dvije prometne trake za svaki od smjerova kretanja vozila.



Slika 22. Prikaz uobičajenog prometnog opterećenja na „Raskrižju broj 3“ [7]

Pojačano prometno opterećenje događa se tijekom jutarnjeg vršnog sata. Dodatni problem uzrokuju vozila koja dolaze sa sjevernog privoza i idu na benzinsku postaju koja se nalazi u blizini raskrižja te tako blokiraju prolazak vozilima koja se kreću od juga prema sjeveru.

Problemi sigurnosti promatranog raskrižja su isti kao i za prethodno promatrano „Raskrižje broj 2“. Položaj ulaznog traka u raskrižje sa sjevernog privoza, položaj izlaznog traka iz raskrižja na južnom privozu te smještaj i veličina središnjeg otoka ne utječu povoljno na sigurnost u raskrižju zbog velikih brzina kretanja vozila koja se kreću iz smjera sjevera prema jugu.



Slika 23. Pogled na „Raskrižje broj 3“ sa sjevernog privoza [7]

Smještaj rasvjetnih stupova u neposrednoj blizini vanjskog prometnog traka pri ulasku i izlasku iz raskrižja te u samome raskrižju može dovesti do već navedenih nepovoljnih situacija u prometu (kolizija vozila sa rasvjetnim stupom, veće posljedice prometne nesreće usred naleta na stup).



Slika 24. Položaj rasvjetnih stupova na „Raskrižju broj 3“ [7]

4. ANALIZA PODATAKA O BROJANJU PROMETA

Brojanje prometa vrši se zbog određivanja opterećenja pojedinih prometnica i određivanja vrsta vozila na prometnicama te smjerova kretanja vozila, odnosno brojanje prometa služi kao početna faza za planiranje prometa. Kao izlazni rezultat dobiva se uvid u postojeće stanje prometa na prometnicama, isto tako dobiveni podaci upućuju na predlaganje novih rješenja za poboljšanje odvijanja prometa i prometnog sustava u cjelini.

Brojanje prometa potrebno je provoditi zbog prometnog i urbanističkog planiranja, planiranja prometne mreže nekog većeg područja, oblikovanja prometnih čvorova te zbog rekonstrukcije postojeće prometne mreže ili izgradnje novih prometnih pravaca. Brojanje prometa bi se uvijek trebalo planirati kad su uvjeti za korist od promatranja najveći, a to je za vrijeme radnog dana u tjednu, u ljeti na rekreacijskim rutama i zimi vikendom za rute koje povezuju skijališta. Zbog svih tih zahtjeva brojanje prometa je najbolje izvršiti tijekom radnih dana u tjednu, odnosno utorkom, srijedom i četvrtkom.

Neke od prednosti koje donosi brojanje prometa su: mogućnost dobivanja rezultata o broju vozila, strukturi prometnog toka, smjerovima kojima se vozila kreću unutar raskrižja, brojači mogu zapaziti određene anomalije prilikom brojanja i zabilježiti ih (prometne nesreće, kvar semafora i sl.), obrasci se lako koriste pri daljnjoj obradi podataka te su relativno niski troškovi brojanja ako se radi o brojanju u kraćem vremenskom razdoblju [8].

4.1. Vrste brojanja prometa

Glavna podjela načina brojanja prometa je na:

- Statičko brojanje prometa
- Dinamičko brojanje prometa
- Naplatno brojanje prometa

Sva ta brojanja prometa mogu se izvršiti:

- Ručno
- Automatski
- Kamerom
- Satelitski [8]

4.1.1. Statičko brojanje prometa

Kod statičkog brojanja prometa broje se vozila koja u određenom vremenskom razmaku prođu kroz određeni presjek ceste. Dobiveni podaci kod statičkog brojanja su podaci o opterećenju prometnice i ne pokazuju rezultate o prostornoj raspodjeli prometnih tokova. Statičko brojanje prometa se koristi za određivanja dimenzija kolnika i raskrižja, a može se izvršiti ručno ili automatski [8].

4.1.2. Dinamičko brojanje prometa

Dinamičko brojanje prometa daje odgovore na pitanje "odakle" i "kamo" se kreću pojedini prometni tokovi motornih vozila te utvrđuje jačinu i smjer prometnih strujanja i osnovni je element za planiranje cestovne mreže i većih prometnih područja. Dinamička brojanja usporavaju odvijanje prometa pa se zbog toga treba pažljivo odabrati mjesto za brojanje, a preporučljivo je brojanje odraditi uz pomoć policije, radi upravljanja prometom na mjestu brojanja.

Dinamičko brojanje iziskuje mnogo vremena, više osoba za brojenje, te za obradu sakupljenih podataka [8].

4.1.3. Naplatno brojanje prometa

Naplata za korištenje cestovnih objekata i cestovne infrastrukture koja se primjenjuje u Republici Hrvatskoj daje mogućnost bilježenja odgovarajućih podataka u informacijsku bazu podataka i s podacima o vremenu korištenja objekta, vrsti vozila po kategoriji, te o točkama ulaska i izlaska na autocesti, tunelu ili mostu, te takvo brojanje prometa omogućuje kvalitetnije praćenje prometa po količini i prema vrsti vozila [8].

4.1.4. Ručno brojanje prometa

Ručno brojanje prometa je nastarije i tehnološki najjednostavnije, a kod ručnog brojanja osoba odnosno brojač bilježi prolazak vozila određenim presjekom prometnice, odnosno brojačkim mjestom u obrazac po smjeru kretanja vozila, vrsti vozila i vremenu prolaska. Ručno brojanje je dobra metoda brojanja prometa u situacijama kada je potrebno izbrojiti promet na manjem raskrižju, međutim kada je potrebno brojanje prometa izvršiti na nekom od većih i složenijih raskrižja ili pak na području nekog naselja, grada, županije onda ručno brojanje i nije najbolji odabir [8].

sat	smjer	15'-int	OA	Teretna	BUS	MOT
07.00-08.00	1-2	0-15'				
		15'-30'				
		30'-45'				
		45'-60				
		ukupno				

Slika 25. Brojački listić

4.1.5. Automatsko brojanje prometa

Na karakterističnim presjecima svih važnijih prometnica u Republici Hrvatskoj provodi se automatsko brojanje prometa, a provodi ga poduzeće za upravljanje, građenje i održavanje državnih cesta, Hrvatske ceste d.o.o.. Podaci o brojanju prometa sustavno se obrađuju, pohranjuju i objavljuju za svaku godinu te su javno dostupni i moguće ih je preuzeti u digitalnom obliku sa internetskih stranica Hrvatskih cesta d.o.o. [8].

Tablica 1. Rezultati automatskog brojanja prometa na D1 u blizini predmetnih raskrižja [9]

BROJAČKO MJESTO		Oznaka ceste	PGDP	SKUPINA VOZILA ⁽¹⁾										PGDP i PLDP od 2013. do 2017. godine (u 000 vozila)
OZNAKA	IME		100%	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	C1	100%	
1937	Pojatno	1	17034	79	14368	964	421	303	152	186	508	53		
			100%	0,47	84,35	5,66	2,47	1,78	0,89	1,09	2,98	0,31		
			17389	144	14610	1002	447	299	155	176	504	52		
			100%	0,83	84,02	5,76	2,57	1,72	0,89	1,01	2,90	0,30		

4.2. Analiza podataka o brojanju prometa na predmetnim raskrižjima

Za potrebe izrade ovog diplomskog rada brojanje prometa je izvršeno na sva tri predmetna raskrižja promatrane dionice državne ceste D1 u zoni trgovačkog centra Westgate. Brojana vozila podjeljena su u četiri skupine: osobna vozila, teretna vozila, autobusi i motocikli. U cilju grafičkog prikaza te lakšeg određivanja intenziteta prometnih tokova svaka skupina vozila ponderirana je određenim koeficijentom i svedena na jedinstvenu jedinicu

„EJA“ (ekvivalentna jedinica automobila). Za osobna vozila koeficijent iznosi 1, teretna vozila i autobuse 2, a za motocikle 0,5.

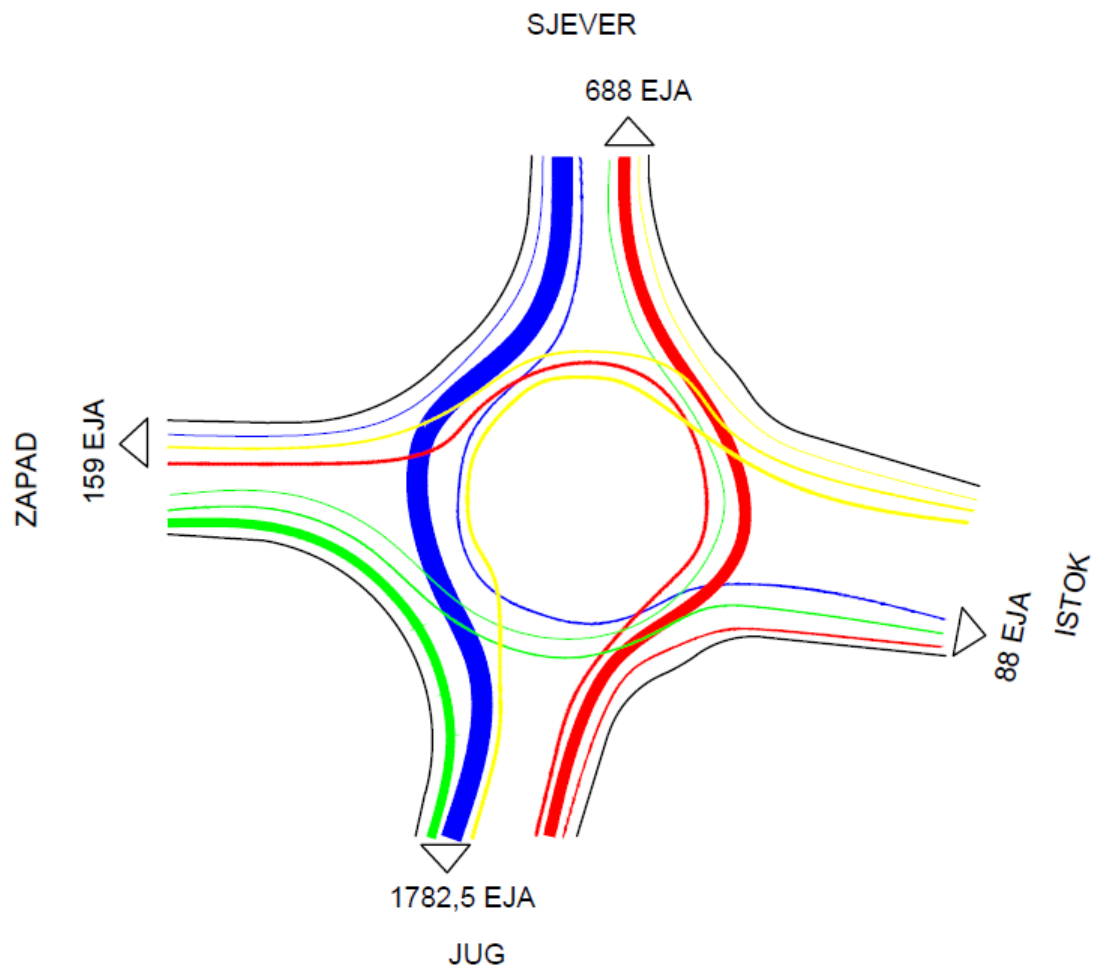
Brojanje prometa izvršeno je 28.8.2018. godine tijekom jutarnjeg vršnog sata, od 6:30 do 7:30 sati, na sva tri spomenuta raskrižja. Odvijanje prometa tijekom sat vremena snimljeno je kamerom te su rezultati brojanja o kretanju prometnih tokova u raskrižjima dobiveni iz snimljenog videozapisa i prikazani tablično te dijagramom prometnog opterećenja.

4.2.1. Analiza podataka brojanja prometa na „Raskrižju broj 1“

SAT	SMJER	15' INTERVAL	OA	TERETNA	BUS	MOT
6:30-7:30	S-Z	0'-15'	2	0	0	0
		15'-30'	4	0	0	0
		30'-45'	3	1	0	0
		45'-60'	5	0	0	0
		UKUPNO	14	1	0	0
		SVEUKUPNO	15			
6:30-7:30	Z-J	0'-15'	107	12	0	0
		15'-30'	112	10	0	0
		30'-45'	103	9	0	0
		45'-60'	95	8	0	0
		UKUPNO	417	39	0	0
		SVEUKUPNO	456			
6:30-7:30	S-J	0'-15'	262	25	1	1
		15'-30'	252	21	0	0
		30'-45'	227	17	2	0
		45'-60'	283	28	1	0
		UKUPNO	1024	91	4	1
		SVEUKUPNO	1120			
6:30-7:30	Z-I	0'-15'	7	0	0	0
		15'-30'	9	0	0	0
		30'-45'	5	1	0	0
		45'-60'	8	0	0	0
		UKUPNO	29	1	0	0
		SVEUKUPNO	30			
6:30-7:30	S-I	0'-15'	6	0	0	0
		15'-30'	8	0	0	0
		30'-45'	5	1	0	0
		45'-60'	7	0	0	0
		UKUPNO	26	1	0	0
		SVEUKUPNO	27			
6:30-7:30	Z-S	0'-15'	2	0	0	0
		15'-30'	1	0	0	0
		30'-45'	0	0	0	0
		45'-60'	2	0	0	0
		UKUPNO	5	0	0	0
		SVEUKUPNO	5			
6:30-7:30	J-I	0'-15'	5	0	0	0
		15'-30'	7	0	0	0
		30'-45'	9	0	0	0
		45'-60'	6	1	0	0
		UKUPNO	27	1	0	0
		SVEUKUPNO	28			
6:30-7:30	I-S	0'-15'	3	0	0	0
		15'-30'	4	0	0	0
		30'-45'	3	0	0	0
		45'-60'	5	0	0	0
		UKUPNO	15	0	0	0
		SVEUKUPNO	15			
6:30-7:30	J-S	0'-15'	132	14	1	0
		15'-30'	128	11	0	0
		30'-45'	146	18	2	0
		45'-60'	138	15	1	0
		UKUPNO	544	58	4	0
		SVEUKUPNO	606			
6:30-7:30	I-Z	0'-15'	12	0	0	0
		15'-30'	14	0	0	0
		30'-45'	11	0	0	0
		45'-60'	15	0	0	0
		UKUPNO	52	0	0	0
		SVEUKUPNO	52			
6:30-7:30	J-Z	0'-15'	19	3	0	0
		15'-30'	23	1	0	0
		30'-45'	17	3	0	0
		45'-60'	14	2	0	0
		UKUPNO	73	9	0	0
		SVEUKUPNO	82			
6:30-7:30	I-J	0'-15'	18	0	0	0
		15'-30'	15	0	0	0
		30'-45'	19	0	0	0
		45'-60'	21	0	0	0
		UKUPNO	73	0	0	0
		SVEUKUPNO	73			

Slika 26. Rezultati brojanja prometa po smjerovima za „Raskrižje broj 1“

Analizom dobivenih podataka o brojanju prometa vidljivo je kako je najopterećeniji prometni tok na glavnom pravcu, odnosno u smjeru sjever – jug i obrnuto. Sljedeći po veličini s obzirom na prometno opterećenje je prometni tok koji se kreće od zapada prema jugu te ga slijedi prometni tok u smjeru jug - zapad. Ostali prometni tokovi na promatranom raskrižju ne predstavljaju značajnije prometno opterećenje.



Slika 27. Grafički prikaz prometnog opterećenja na „Raskrižju broj 1“

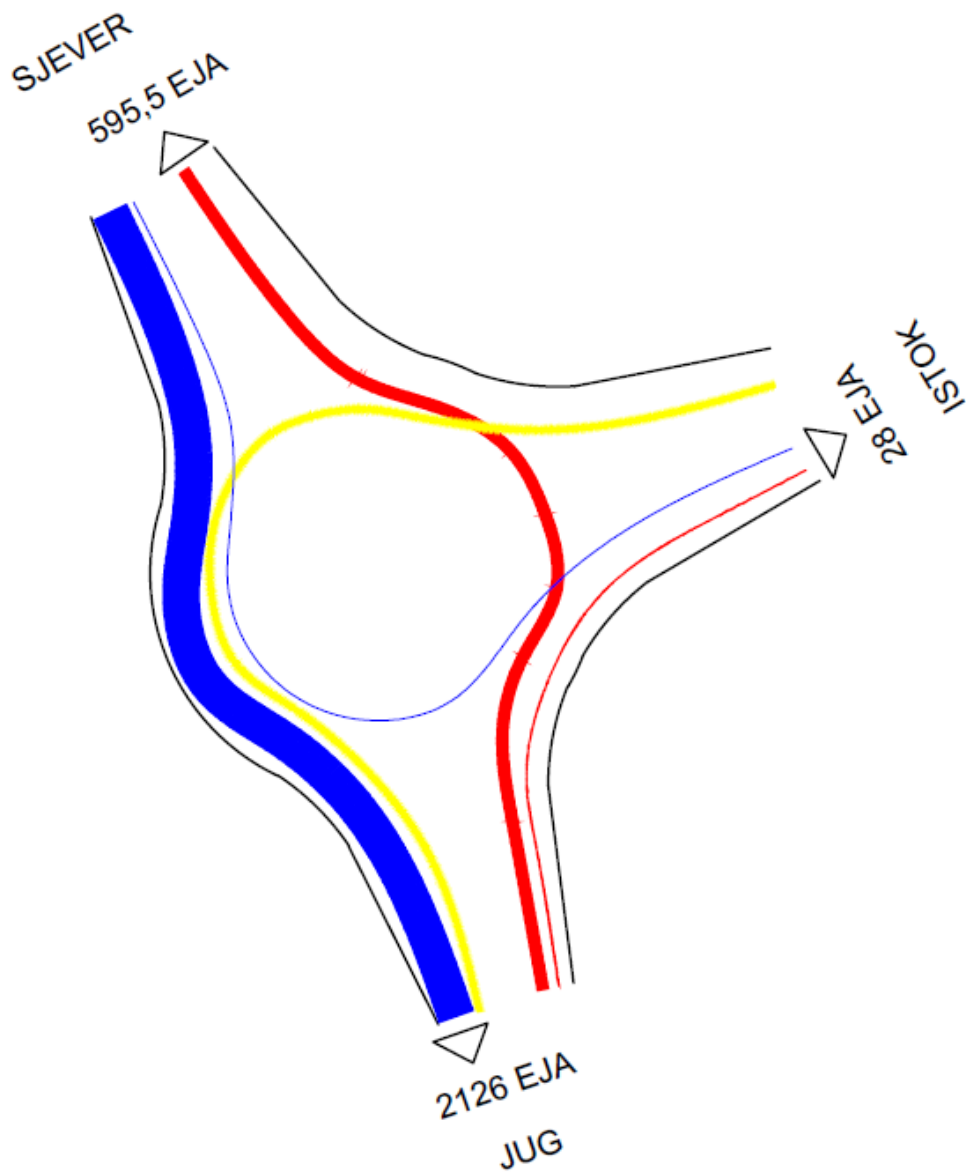
4.2.2. Analiza podataka brojanja prometa na „Raskrižju broj 2“

SAT	SMJER	15' INTERVAL	OA	TERETNA	BUS	MOT	SAT	SMJER	15' INTERVAL	OA	TERETNA	BUS	MOT
6:30-7:30	S-J	0'-15'	421	37	1	1	6:30-7:30	S-I	0'-15'	0	0	0	0
		15'-30'	440	22	3	0			15'-30'	1	0	0	0
		30'-45'	392	23	1	1			30'-45'	2	0	0	0
		45'-60'	401	26	2	0			45'-60'	2	0	0	0
		UKUPNO	1654	108	7	2			UKUPNO	5	0	0	0
		SVEUKUPNO	1771						SVEUKUPNO	10			
6:30-7:30	J-I	0'-15'	4	0	0	0	6:30-7:30	J-S	0'-15'	126	18	1	0
		15'-30'	3	0	0	0			15'-30'	115	14	0	0
		30'-45'	7	0	0	0			30'-45'	102	20	2	0
		45'-60'	9	0	0	0			45'-60'	108	17	0	1
		UKUPNO	23	0	0	0			UKUPNO	451	69	3	1
		SVEUKUPNO	46						SVEUKUPNO	524			
6:30-7:30	I-J	0'-15'	64	0	0	0	6:30-7:30	I-S	0'-15'	0	0	0	0
		15'-30'	52	0	0	0			15'-30'	0	0	0	0
		30'-45'	58	0	0	0			30'-45'	0	0	0	0
		45'-60'	67	0	0	0			45'-60'	0	0	0	0
		UKUPNO	241	0	0	0			UKUPNO	0	0	0	0
		SVEUKUPNO	241						SVEUKUPNO	0			

Slika 28. Rezultati brojanja prometa po smjerovima za „Raskrižje broj 2“

Analizom dobivenih podataka brojanja prometa za „Raskrižje broj 2“ vidljivo je kako je najopterećeniji prometni tok također na glavnom pravcu, koji se kreće od sjevera prema jugu i obrnuto što je i logično s obzirom na prometno opterećenje na „Raskrižju broj 1“.

Na promatranom raskrižju se na glavni pravac iz smjera istoka prema jugu priključuje još 241 EJA što uzrokuje dodatno prometno opterećenje na glavnom pravcu u smjeru juga. Iz smjera istoka prema sjeveru nije prolazilo niti jedno vozilo, a iz smjera sjevera i juga prema istoku nema značajnijeg prometnog opterećenja.



Slika 29. Grafički prikaz prometnog opterećenja na „Raskrižju broj 2“

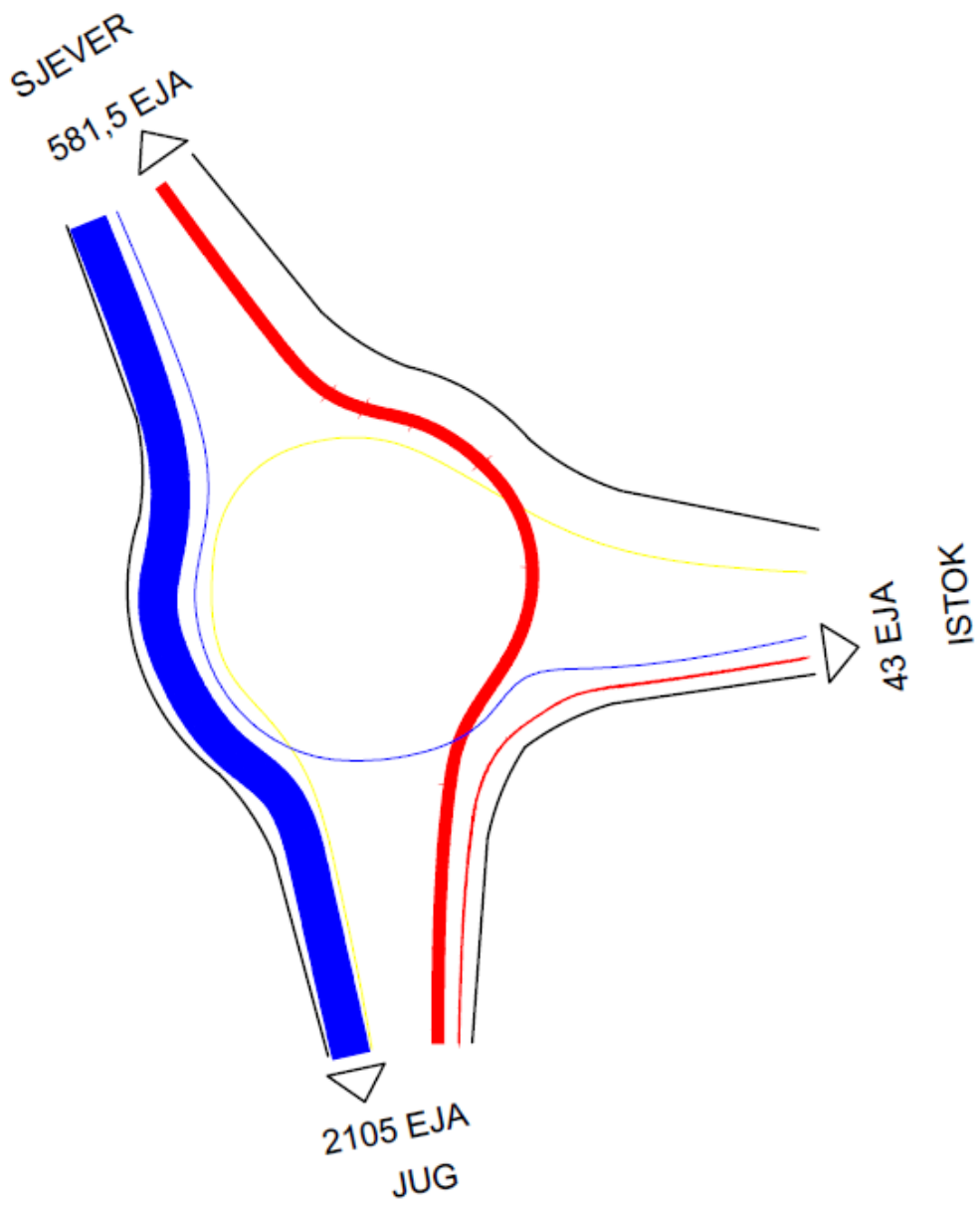
4.2.3. Analiza podataka brojanja prometa na „Raskrižju broj 3“

SAT	SMJER	15' INTERVAL	OA	TERETNA	BUS	MOT
6:30-7:30	S-J	0'-15'	428	39	1	1
		15'-30'	456	23	3	0
		30'-45'	397	19	1	1
		45'-60'	406	28	2	0
		UKUPNO	1687	109	7	2
	SVEUKUPNO	1805				
SAT	SMJER	15' INTERVAL	OA	TERETNA	BUS	MOT
6:30-7:30	S-I	0'-15'	7	0	0	0
		15'-30'	3	0	0	0
		30'-45'	8	0	0	0
		45'-60'	2	0	0	0
		UKUPNO	20	0	0	0
	SVEUKUPNO	20				
SAT	SMJER	15' INTERVAL	OA	TERETNA	BUS	MOT
6:30-7:30	J-S	0'-15'	123	17	1	0
		15'-30'	112	13	0	0
		30'-45'	96	22	2	0
		45'-60'	102	19	0	1
		UKUPNO	433	71	3	1
	SVEUKUPNO	508				
SAT	SMJER	15' INTERVAL	OA	TERETNA	BUS	MOT
6:30-7:30	J-I	0'-15'	8	0	0	0
		15'-30'	5	0	0	0
		30'-45'	3	0	0	0
		45'-60'	7	0	0	0
		UKUPNO	23	0	0	0
	SVEUKUPNO	23				
SAT	SMJER	15' INTERVAL	OA	TERETNA	BUS	MOT
6:30-7:30	I-J	0'-15'	1	0	0	0
		15'-30'	3	0	0	0
		30'-45'	2	0	0	0
		45'-60'	6	0	0	0
		UKUPNO	12	0	0	0
	SVEUKUPNO	12				
SAT	SMJER	15' INTERVAL	OA	TERETNA	BUS	MOT
6:30-7:30	I-S	0'-15'	0	0	0	0
		15'-30'	0	0	0	0
		30'-45'	0	0	0	0
		45'-60'	0	0	0	0
		UKUPNO	0	0	0	0
	SVEUKUPNO	0				

Slika 30. Rezultati brojanja prometa po smjerovima za „Raskrižje broj 3“

Analizom dobivenih podataka o brojanju prometa na „Raskrižju broj 3“, utvrđeno je kako je najopterećeniji prometni tok također onaj koji se kreće glavnim pravcem u smjeru sjever – jug. Sljedeći po veličini s obzirom na prometno opterećenje je prometni tok u suprotnom smjeru, odnosno u smjeru jug – sjever.

Iz smjera istoka prema sjeveru nije prolazilo niti jedno vozilo isto kao što je to slučaj na „Raskrižju broj 2“. U svim ostalim smjerovima nema značajnijeg prometnog opterećenja.



Slika 31. Grafički prikaz prometnog opterećenja na „Raskrižju broj 3“

5. PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA POSTOJEĆEG STANJA

U ovom poglavlju iznijet će se prijedlozi poboljšanja postojećeg stanja za sva tri predmetna raskrižja na kojima su provedenom analizom postojećeg stanja uočeni određeni prometno – sigurnosni problemi. Manjim ili većim zahvatima, ovisno o postojećoj geometriji raskrižja i prostoru, moguće je pridonijeti većoj propusnosti i sigurnosti na promatranim raskrižjima.

5.1. Prijedlog poboljšanja „Raskrižja broj 1“ – Državna cesta D1 – Industrijska ulica – Zaprešićka cesta

Analizom postojećeg stanja utvrđeno je kako je glavi prometni problem promatranog raskrižja njegova propusna moć sjevernog i zapadnog privoza. Razlog tome je što ta dva privoza imaju najveće prometno opterećenje, a na njima postoji samo po jedna prometna traka za svaki smjer kretanja vozila, dok su na ostala dva privoza po dvije prometne trake za svaki smjer kretanja vozila. Također su u samom raskrižju dvije prometne trake.

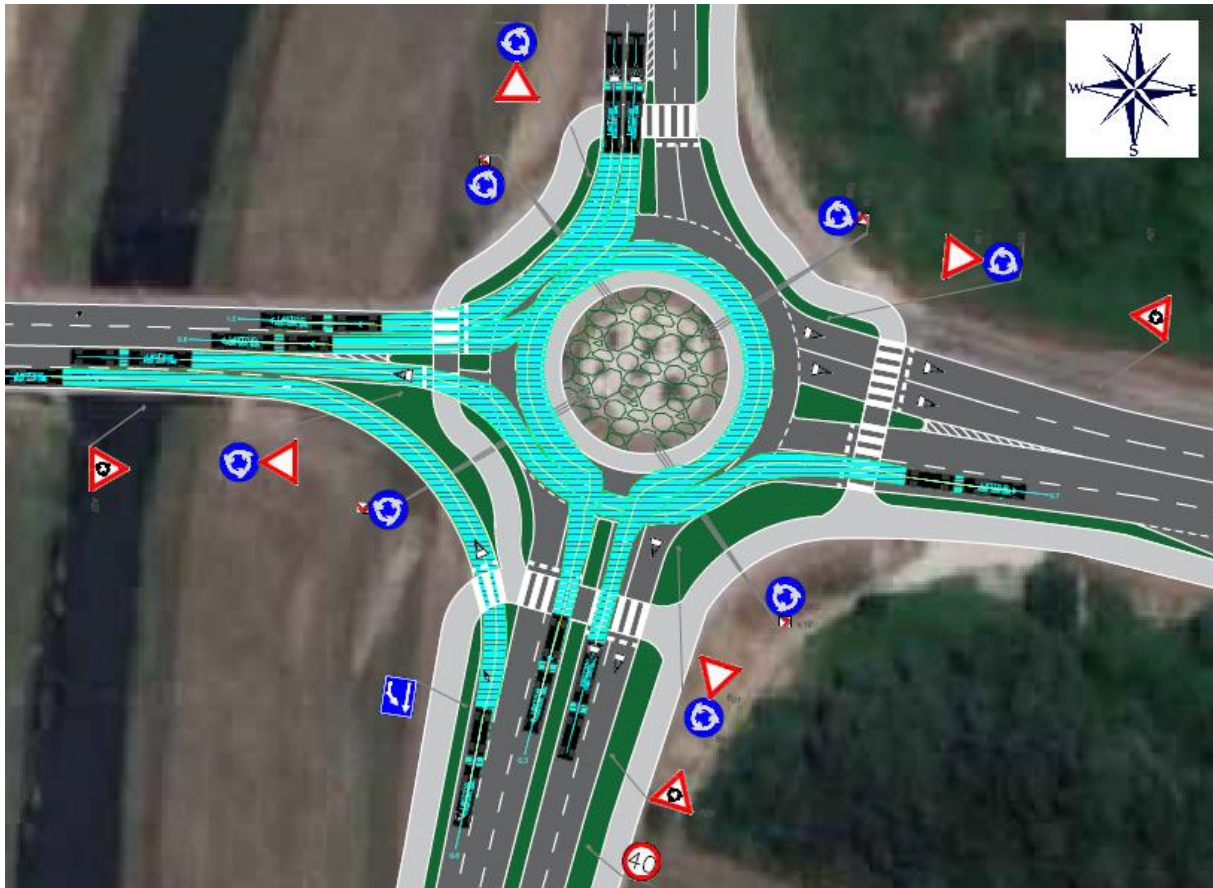
Prijedlog poboljšanja je na postojeće raskrižje dodati još po jednu ulaznu i izlaznu prometnu traku na sjevernom i zapadnom privozu što bi omogućilo bolju protočnost i sigurnost raskrižja. Dodatna ulazna traka na zapadnom privozu bila bi samo za desne skretače, odnosno za vozila koja idu iz smjera zapada prema jugu što bi uvelike smanjilo rep čekanja na zapadnom privozu. Dodatne izlazne prometne trake na sjevernom i zapadnom privozu povećale bi sigurnost raskrižja jer bi omogućile vozilima koja se kreću vanjskim prometnim trakom unutar raskrižja da se i isključuju iz raskrižja u vanjski prometni trak na sjevernom i zapadnom privozu isto kao i vozila koja se kreću unutarnjim prometnim trakom da se isključuju u unutarnji prometni trak na privozima, što trenutno nije slučaj zbog nedostatka izlaznih prometnih trakova.

Prikaz idejnog prometnog rješenja prikazan je na slici 32.



Slika 32. Prikaz idejnog prometnog rješenja raskrižja Državne ceste D1 – Industrijske ulice – Zaprešićke ceste

Slika 33. prikazuje provjeru trajektorija kružnog raskrižja pomoću programskog alata AutoTURN. Kod provjere trajektorija, kao mjerodavno vozilo uzet je kamion s poluprikolicom „Lastzug“ duljine 18,71 m. Iz slike je vidljivo da kamion s poluprikolicom može proći kroz raskrižje svim dodanim prometnim trakama, čime je zadovoljena provoznost kružnog raskrižja.



Slika 33. Prikaz provjere trajektorija predloženog idejnog rješenja

5.2. Prijedlog poboljšanja „Raskrižja broj 2“ – Državna cesta D1 - Zaprešićka cesta

Provedenom analizom postojećeg stanja te brojanjem prometa može se vidjeti kako promatrano raskrižje s aspekta protočnosti funkcionira jako dobro, međutim s aspekta sigurnosti raskrižje je nešto lošije zbog mogućnosti prolaska raskrižjem velikom brzinom vožnje.

Razlog tome je položaj i veličina središnjeg otoka u odnosu na privoze raskrižju. Položaj rasvjetnih stupova uz rub vanjskog prometnog traka u raskrižju također ne utječe povoljno na razinu sigurnosti zbog mogućnosti naleta vozila na stup te većih posljedica prometne nesreće.

Prijedlog poboljšanja promatranog raskrižja bilo bi uklanjanje prozvoznog dijela središnjeg otoka koji trenutno omogućava vozilima da „sijeku“ raskrižje i prođu ga velikom brzinom što se protivi samoj izvedbi kružnog raskrižja kojemu je jedna od svrha i smirivanje prometa, odnosno smanjenje brzine vožnje.

Problem položaja rasvjetnih stupova uz rub vanjskog prometnog traka riješio bi se izmještanjem stupova na središnji otok promatranog kružnog raskrižja.

5.3. Prijedlog poboljšanja „Raskrižja broj 3“ – Državna cesta D1 – Zaprešićka cesta

Analiziranjem postojećeg stanja te dobivenim rezultatima brojanja prometa vidljivo je kako predmetno raskrižje, kao i prethodno promatrano funkcionira jako dobro s aspekta protočnosti, ali s aspekta sigurnosti ima iste probleme kao i „Raskrižje broj 2“.

Položaj i veličina središnjeg otoka kružnog raskrižja te njegovog provoznog dijela dopuštaju vozilima da „sijeku“ raskrižje, odnosno da njime prolaze velikom brzinom, što se suprotstavlja jednoj od svrha raskrižja s kružnim tokom prometa. Položaj rasvjetnih stupova izveden je isto kao i na „Raskrižju broj 2“ te predstavlja opasnost uslijed izlijetanja vozila i mogućeg naleta na neki od postavljenih stupova.

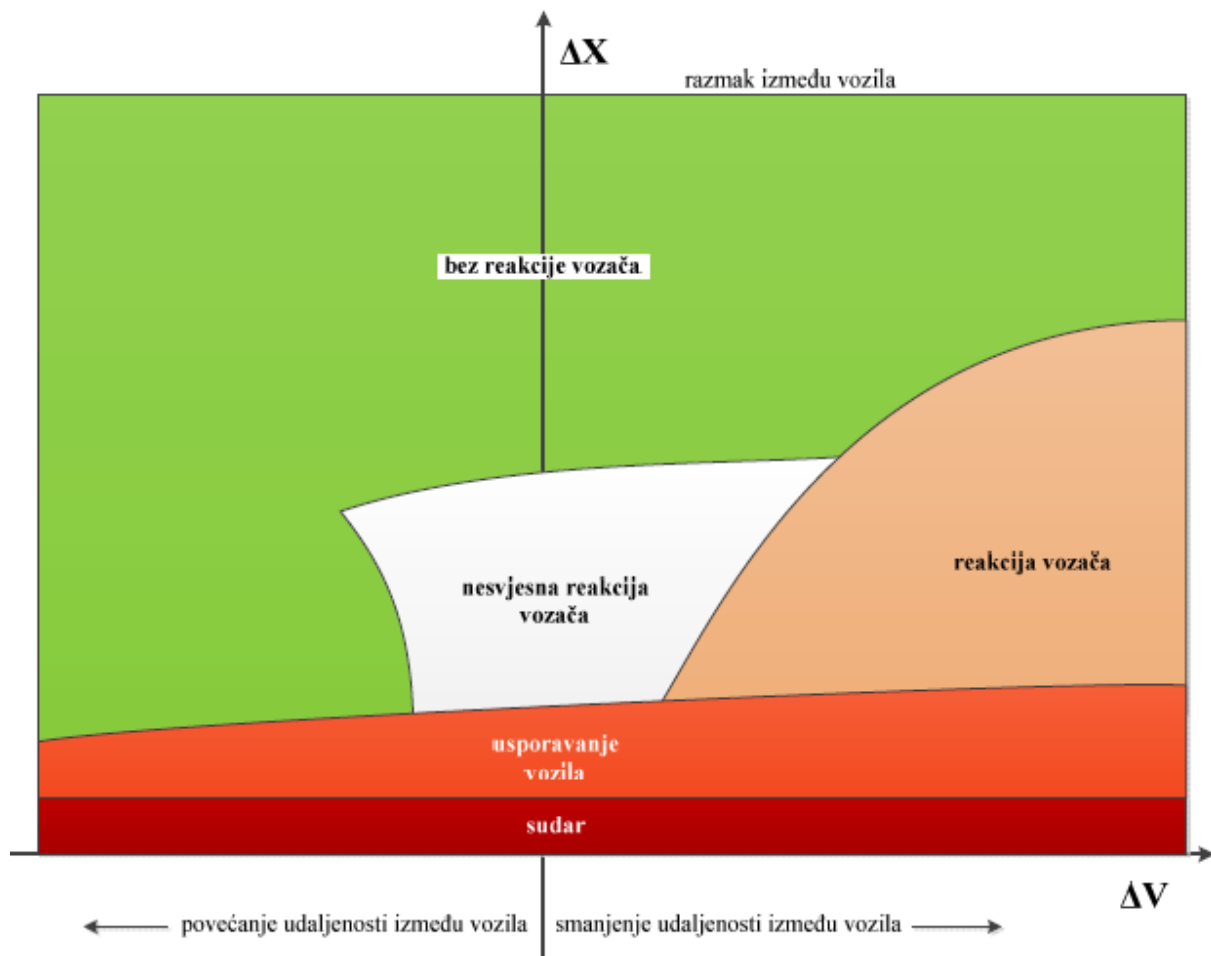
Prijedlog poboljšanja je uklanjanje provoznog dijela središnjeg otoka, odnosno proširivanje središnjeg otoka za taj provozni dio kako bi se onemogućilo vozilima da „sijeku“ raskrižje te se smanjila brzina kretanja vozila.

Problem položaja rasvjetih stupova uz rub vanjskog prometnog traka riješio bi se kao i kod prethodno promatranog raskrižja, izmještanjem stupova na središnji otok kružnog raskrižja.

6. IZRADA SIMULACIJSKOG MODELA VARIJANTNIH RJEŠENJA

Simulacijski modeli postojećeg stanja i predloženog idejnog rješenja izrađeni su pomoću mikrosimulacijskog alata PTV Vissim. PTV VISSIM (njem. Planung Transport Verkehr Verkehr In Stadten – 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.

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 34). 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 [10].



Slika 34. Wiedeman-ov model ponašanja vozača u prometnoj mreži [10]

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:

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. [10].

6.1. Simulacijski model postojećeg stanja

Za simulaciju modela postojećeg stanja koristio se mikro – simulacijski alat PTV VISSIM 9 te Sidra Intersection. Kod izrade modela potrebno je unijeti točne parametre kako bi model bio što vjerniji prikaz stvarnog stanja. Važni parametri su veličina i struktura pojedinih prometnih tokova u raskrižju, smjerovi i brzine kretanja prometnih tokova te veličine projektne – oblikovnih elemenata infrastrukture.

Na slici 35. prikazana je simulacija postojećeg stanja iz programskog alata PTV Vissim. Iz nje se može vidjeti kako se na sjevernom i zapadnom privozu stvaraju zagušenja, dok je na južnom i istočnom privozu normalan prometni tok. Detalji provedene simulacije analizirani su u sljedećem poglavlju.



Slika 35. Prikaz simulacije postojećeg stanja na „Raskrižju broj 1“

6.2. Simulacijski model predloženog idejnog rješenja

Simulacijski model predloženog idejnog prometnog rješenja izrađen je također u programskim alatima PTV Vissim i Sidra Intersection. Kod simulacije idejnog prometnog rješenja korišteni su isti parametri, kao i kod postojećeg stanja, o veličini i strukturi pojedinih prometnih tokova u raskrižju te smjerovima i brzinama kretanja prometnih tokova dok su projektno oblikovni parametri izmijenjeni za sjeverni i zapadni privoz.

3D prikaz simulacije idejnog prometnog rješenja prikazan je na slici 36. iz koje je vidljivo kako na predmetnom raskrižju nema zagušenja na sjevernom i zapadnom privozu kao što je to slučaj kod postojećeg stanja. Detaljna analiza simulacije idejnog prometnog rješenja provedena je u sljedećem poglavlju.



Slika 36. Prikaz simulacije idejnog prometnog rješenja „Raskrižja broj 1“

7. EVALUACIJA I ODABIR OPTIMALNOG VARIJANTNOG RJEŠENJA

Najbitniji dio simulacije su izlazni podaci na temelju kojih se mogu donijeti zaključci za pomoć pri odabiru optimalnog varijantnog rješenja. Izlazni podaci simulacije, postojećeg stanja i predloženog idejnog rješenja, provedene u PTV Vissim-u su redom kao što je prikazano na slici 37. i 38.:

- *DelayAvg* - prosječno vrijeme kašnjenja,
- *StopsAvg* - prosječan broj zaustavljanja,
- *SpeedAvg* - prosječna brzina,
- *DelayStopAvg* - prosječno vrijeme kašnjenja prilikom zaustavljanja,
- *DistTot* - ukupna prijeđena udaljenost,
- *TravTmTot* - ukupno vrijeme putovanja,
- *DelayTot* - ukupno vrijeme kašnjenja,
- *StopsTot* - ukupan broj zaustavljanja,
- *DelayStopTot* - ukupno vrijeme kašnjenja prilikom zaustavljanja,
- *VehAct* - ukupan broj vozila na mreži po završetku simulacije,
- *VehArr* - ukupan broj vozila koja su stigla na svoje odredište i uklonjena su iz mreže,
- *DelayLatent* - ukupno vrijeme kašnjenja za vozila koja nisu uspjela ući na mrežu.

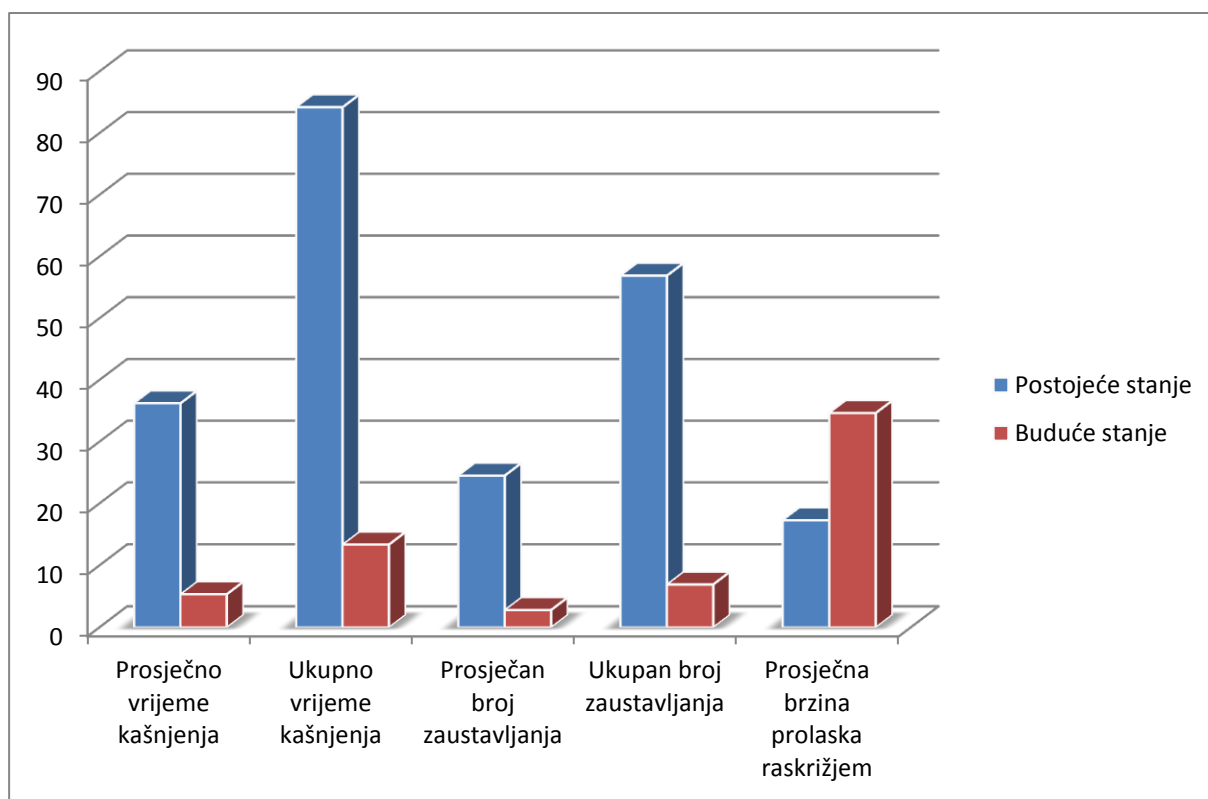
Coun	SimRun	TimeInt	DelayAvg(All)	StopsAvg(All)	SpeedAvg(All)	DelayStopAvg(All)	DistTot(All)	TravTmTot(All)	DelayTot(All)	StopsTot(All)	DelayStopTot(All)	VehAct(All)	VehArr(All)	DelayLatent
1	1	0-3600	41,51	2,69	15,79	14,42	673,03	153472,80	96084,65	6222	33378,45	41	2274	327434,20
2	2	0-3600	30,57	2,03	18,92	8,50	675,33	128528,20	70891,24	4701	19713,40	41	2278	326810,20
3	3	0-3600	30,34	2,00	18,97	7,91	675,79	128275,10	70690,26	4659	18435,95	44	2286	209807,60
4	4	0-3600	41,85	2,97	15,75	13,61	675,90	154539,30	96872,86	6885	31517,88	38	2277	285592,60
5	5	0-3600	36,84	2,55	17,00	11,22	683,13	144657,00	86452,31	5984	26331,53	41	2306	193687,20
6	Average	0-3600	36,22	2,45	17,28	11,13	676,63	141894,48	84198,27	5690	25875,44	41	2284	268666,36
7	Standard	0-3600	5,62	0,43	1,60	2,93	3,81	12900,83	12908,87	980	6739,01	2	13	63653,54
8	Minimu	0-3600	30,34	2,00	15,75	7,91	673,03	128275,10	70690,26	4659	18435,95	38	2274	193687,20
9	Maximu	0-3600	41,85	2,97	18,97	14,42	683,13	154539,30	96872,86	6885	33378,45	44	2306	327434,20

Slika 37. Rezultati evaluacije postojećeg stanja prema PTV Vissim-u

Coun	SimRun	TimeInt	DelayAvg(All)	StopsAvg(All)	SpeedAvg(All)	DelayStopAvg(All)	DistTot(All)	TravTmTot(All)	DelayTot(All)	StopsTot(All)	DelayStopTot(All)	VehAct(All)	VehArr(All)	DelayLatent
1	1	0-3600	5,37	0,27	34,58	1,19	715,17	74451,80	13219,36	674	2926,58	19	2442	529,70
2	2	0-3600	6,22	0,35	33,61	1,37	749,63	80288,50	15964,56	894	3524,99	18	2547	543,20
3	3	0-3600	4,64	0,24	35,47	0,83	731,93	74285,30	11621,77	599	2083,60	18	2484	475,10
4	4	0-3600	5,30	0,25	34,70	1,02	728,14	75532,40	13145,35	630	2525,40	13	2468	484,10
5	5	0-3600	5,16	0,27	34,85	1,01	727,36	75133,40	12849,29	661	2508,72	21	2471	423,90
6	Average	0-3600	5,34	0,28	34,64	1,08	730,45	75938,28	13360,07	692	2713,86	18	2482	491,20
7	Standard	0-3600	0,57	0,04	0,67	0,21	12,44	2483,90	1591,53	117	542,68	3	39	47,50
8	Minimu	0-3600	4,64	0,24	33,61	0,83	715,17	74285,30	11621,77	599	2083,60	13	2442	423,90
9	Maximu	0-3600	6,22	0,35	35,47	1,37	749,63	80288,50	15964,56	894	3524,99	21	2547	543,20

Slika 38. Rezultati evaluacije idejnog rješenja prema PTV Vissim-u

Prema rezultatima evaluacije iz programskog alata PTV Vissim, može se vidjeti razlika između postojećeg stanja i predloženog idejnog prometnog rješenja.



Grafikon 1. Usporedba rezultata evaluacije prema PTV Vissim-u

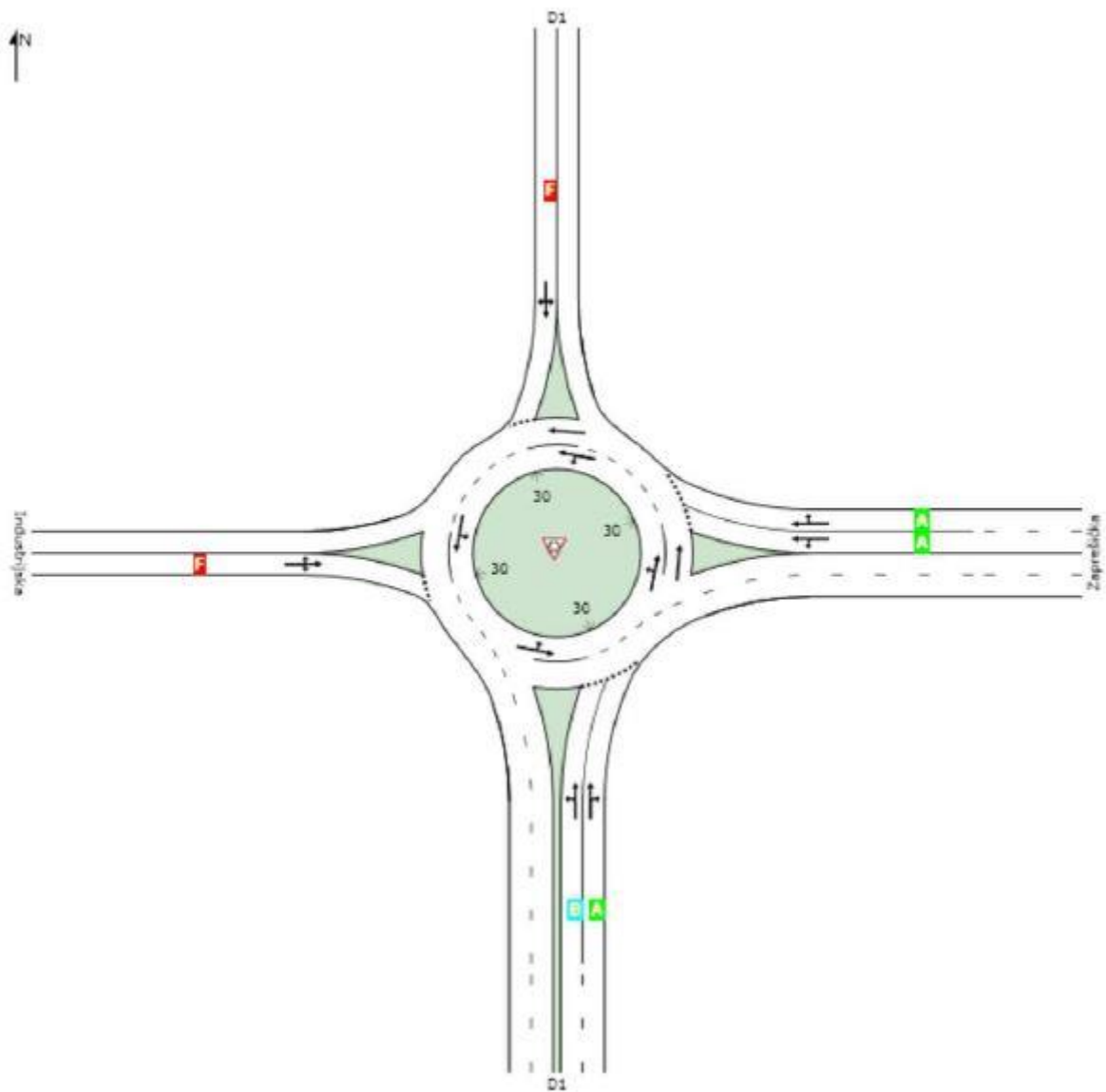
Usporedbom rezultata evaluacije između postojećeg stanja i predloženog idejnog prometnog rješenja vidljiva je velika razlika između parametara koji su važni za odabir optimalnog rješenja.

Prosječno vrijeme kašnjenja te ukupno vrijeme kašnjenja kod predloženog rješenja, u prosjeku je manje za 15% u odnosu na postojeće stanje. Prosječan broj zaustavljanja vozila te ukupan broj zaustavljanja vozila, u prosjeku su manji za 12%, dok je prosječna brzina prolaska raskrižjem za predloženo rješenje veća za 50% u odnosu na postojeće stanje.

Prosječno vrijeme kašnjenja najbitniji je izlazni podatak iz kojeg se određuje razina usluge. Razina usluge (LOS) je kvalitativna mjera koja označava uvjete vožnje koji se mogu pojaviti na određenoj cesti kada primi različite količine prometa. Definirano je šest razina usluge, od A do F. Razina usluge A predstavlja najbolje operativne uvjete, a razina F najlošije [11].

Na sljedećim slikama prikazane su razine usluge po privozima, za postojeće stanje i predloženo idejno rješenje, dobivene programskim alatom Sidra Intersection.

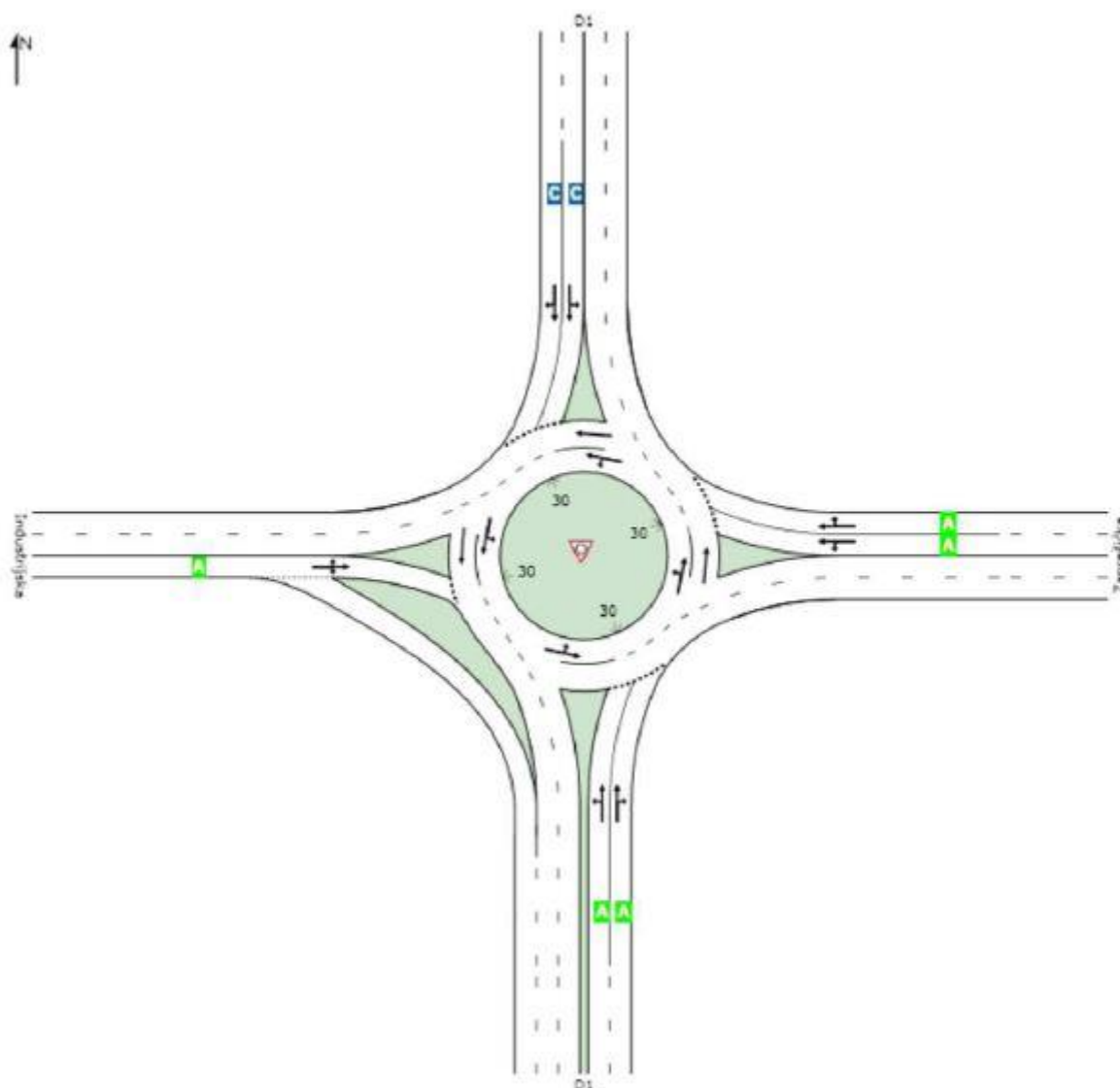
	South	East	North	West	Intersection
LOS	B	A	F	F	F



Slika 39. Prikaz razine usluge postojećeg stanja prema Sidra Intersection

Iz slike 39. vidljivo je kako je najlošija razina usluge F na sjevernom i zapadnom privozu, što je i preslika realnog stanja. Razine usluge na istočnom i južnom privozu je A i B što prikazuje najbolje operativne uvjete zbog većeg broja prometnih trakova te manje količine vozila na tim privozima. Ukupna razina usluge postojećeg raskrižja tijekom jutarnjeg vršnog sata je F.

	South	East	North	West	Intersection
LOS	A	A	C	A	B

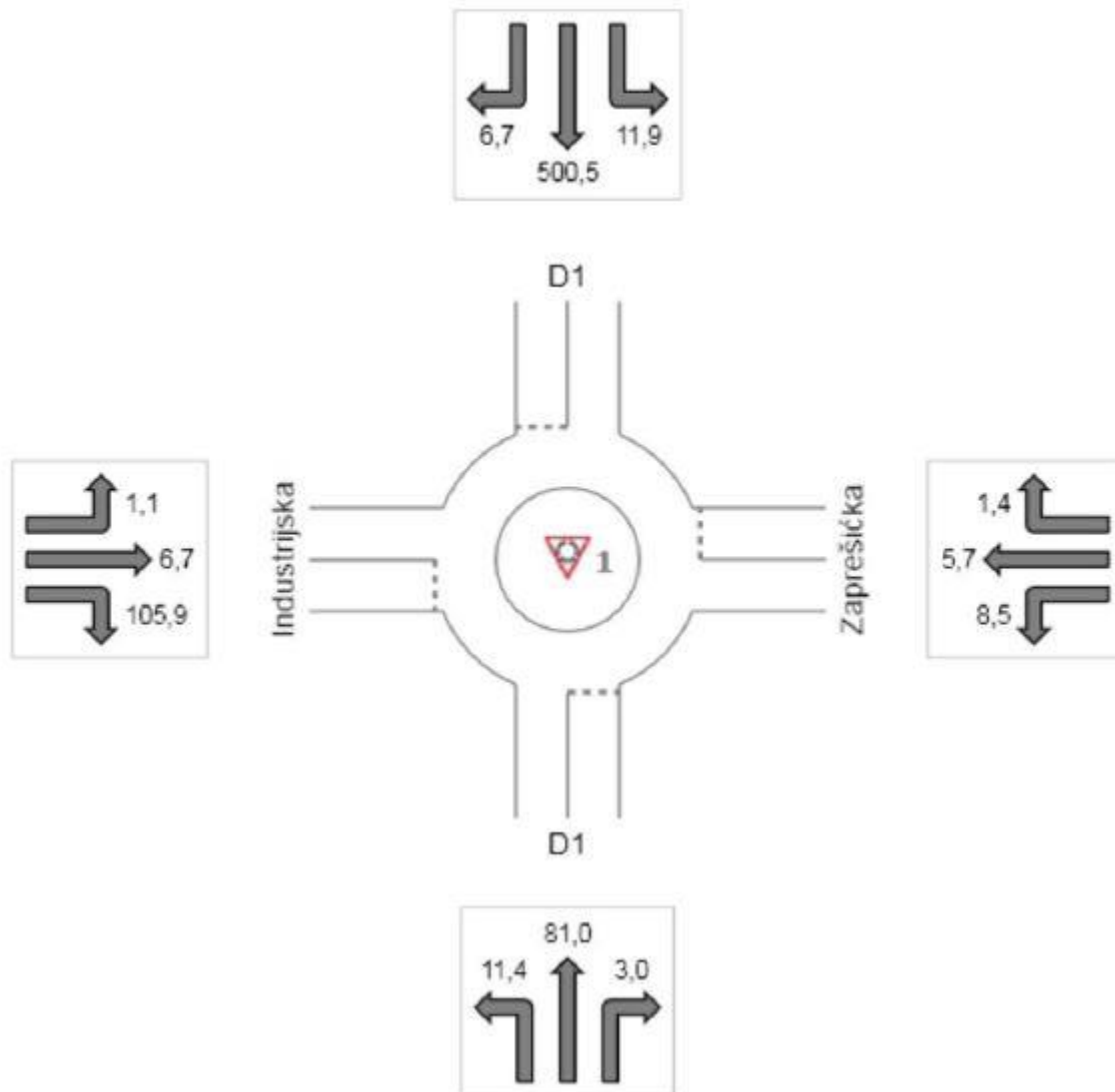


Slika 40. Prikaz razine usluge predloženog rješenja prema Sidra Intersection

Na slici 40. prikazane su dobivene razine usluge za predloženo idejno rješenje. Nakon predloženih mjera poboljšanja, na istočnom, zapadnom i južnom privozu bila bi najviša razina usluge A, dok bi razina usluge na sjevernom privozu bila C. Rezultat ukupne razine usluge raskrižja bio bi B. To je znatno poboljšanje u odnosu na postojeće stanje te bi zasigurno doprinijelo bržem, sigurnijem te funkcionalnijem odvijanju prometa.

Bolja protočnost raskrižja za posljedicu bi imala i smanjenje emisije štetnih plinova. Na slikama 41. i 42. prikazane su razine ispuštenog ugljikovog dioksida (CO_2) u kg/sat po privozima za postojeće stanje i predloženo idejno rješenje dobivene programskim alatom Sidra Intersection.

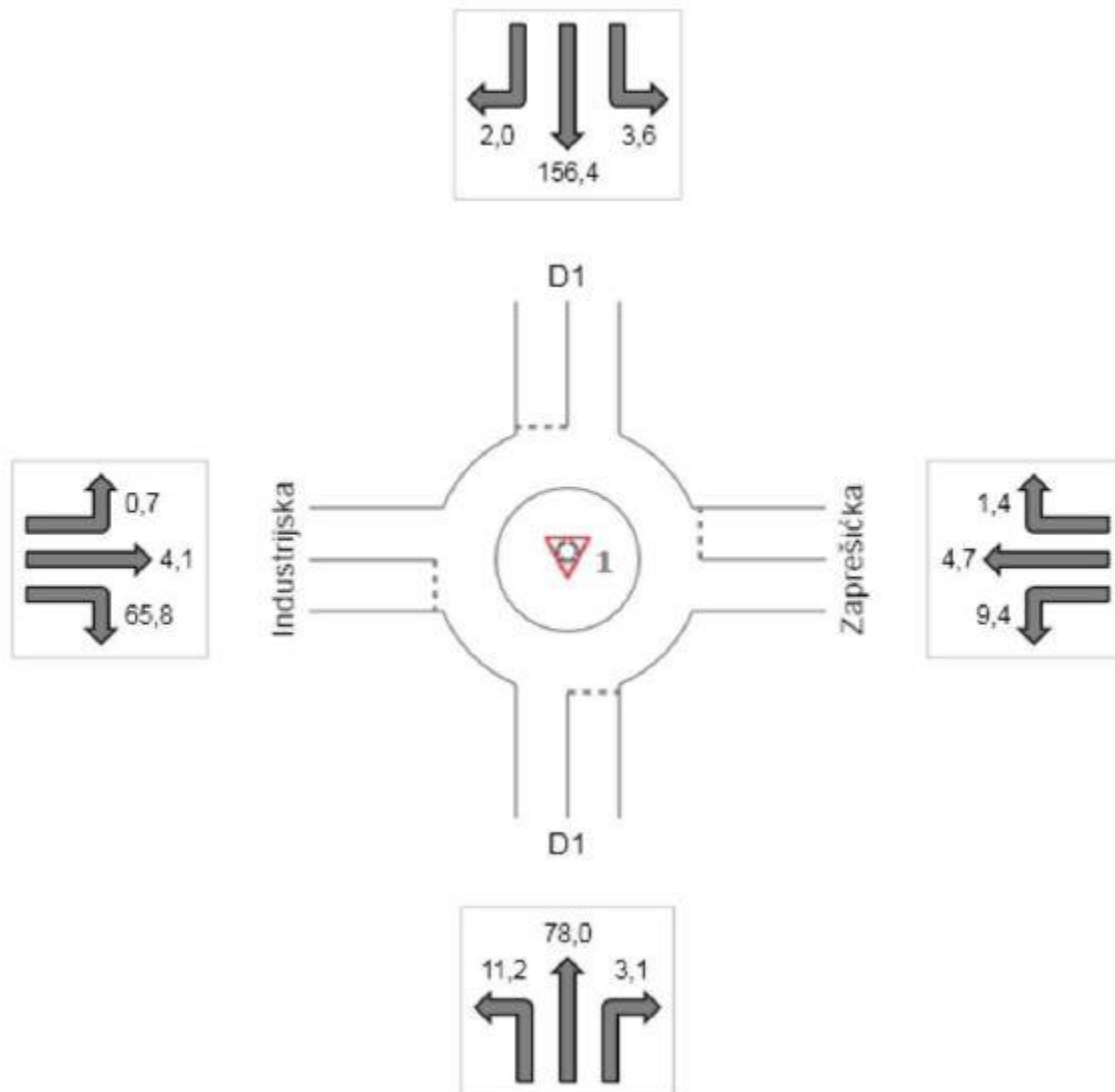
	South	East	North	West	Intersection
	95,4	15,6	519,0	113,7	743,6



Slika 41. Prikaz emisije CO₂ (kg/sat) za postojeće stanje

Usporednom analizom dobivenih rezultata o emisiji CO₂ za postojeće stanje i predloženo rješenje vidljivo je kako se emisija štetnih plinova nebi značajno promijenila na južnom i istočnom privozu, za razliku od sjevernog i zapadnog privoza. Na sjevernom privozu vidljivo je smanjenje emisije CO₂ za 30%, a na zapadnom čak za 60%. Razina emisije CO₂ na cjelokupnom raskrižju smanjila bi se za 45% primjenom predloženih mjera poboljšanja.

	South	East	North	West	Intersection
	92,3	15,5	162,0	70,5	340,3



Slika 42. Prikaz emisije CO₂ (kg/sat) za predloženo idejno rješenje

8. ZAKLJUČAK

Stalno povećanje broja vozila na cestama u Republici Hrvatskoj dovodi do razvoja cjelokupnog prometnog sustava pa tako i prometne infrastrukture. Sve veći broj vozila zahtjeva izgradnju dodatne infrastrukture kao i poboljšanje one postojeće. U ovom diplomskom radu analizirana su tri uzastopna kružna raskrižja na državnoj cesti D1, koja je druga u poretku najdužih državnih cesta i koja svojim prometnim opterećenjem pripada u sam vrh najčešće korištenih prometnica u Republici Hrvatskoj. Zbog toga zahtjeva visoku razinu usluge.

Sva tri analizirana kružna raskrižja smještena su na državnoj cesti D1 u zoni trgovačkog centra Westgate u blizini grada Zaprešića. Provedenom analizom postojećeg stanja uočena su velika zagušenja na „Raskrižju broj 1“. Zbog nedostatka prometnih trakova i velikih količina vozila stvaraju se dugački repovi čekanja na sjevernom i zapadnom privozu. To uzrokuje zagušenje značajnog dijela dionice državne ceste D1. Za državnu cestu D1, osim propusne moći, vrlo je važna i visoka razina sigurnosti koja je upitna na „Raskrižju broj 2“ i „Raskrižju broj 3“. Položaj ulaznih trakova, izlaznih trakova te veličina i smještaj središnjeg otoka na navedenim raskrižjima omogućuje vozilima koja se kreću državnom cestom D1 da raskrižje prođu velikom brzinom što bitno smanjuje razinu sigurnosti u raskrižju. Rasvjetni stupovi na tim istim raskrižjima smješteni su neposredno uz vanjski prometni trak, što također smanjuje razinu sigurnosti zbog moguće kolizije vozila sa stupovima te većih posljedica prometnih nesreća usred naleta na neki od rasvjetnih stupova.

Prijedlog poboljšanja na „Raskrižju broj 1“ je na postojeće raskrižje dodati još po jednu ulaznu i izlaznu prometnu traku na sjevernom i zapadnom privozu što bi omogućilo bolju protočnost i sigurnost raskrižja. Dodatna ulazna traka na zapadnom privozu bila bi samo za desne skretače, odnosno za vozila koja idu iz smjera zapada prema jugu što bi uvelike smanjilo rep čekanja na zapadnom privozu. Prijedlog poboljšanja na „Raskrižju broj 2“ i „Raskrižju broj 3“ bilo bi uklanjanje provoznog dijela središnjeg otoka, odnosno proširivanje središnjeg otoka za taj provozni dio koji trenutno omogućava vozilima da „sijeku“ raskrižje i prođu ga velikom brzinom što se protivi samoj izvedbi kružnog raskrižja kojemu je jedna od svrha i smirivanje prometa, odnosno smanjenje brzine vožnje. Problem položaja rasvjetnih stupova uz rub vanjskog prometnog traka riješio bi se izmještanjem stupova na središnji otok promatranog kružnog raskrižja

Prijedlozi poboljšanja analiziranih raskrižja omogućili bi brže i sigurnije odvijanje prometa na predmetnim raskrižjima te tako i na samoj državnoj cesti D1 uz manje emisije buke i štetnih plinova što je i dokazano provedenim simulacijama.

LITERATURA

- [1] Legac, I.: *Raskrižja javnih cesta*, Fakultet prometih znanosti, Zagreb, 2007.
- [2] www.hkitpt.hr/akti.php (kolovoz, 2018.)
- [3] Zakon o javnim cestama, Narodne novine 180/04 i 124/09
- [4] Zakon o sigurnosti prometa na cestama, Narodne novine, broj 67/08
- [5] Cerovac, V.: *Tehnika i sigurnost prometa*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
- [6] www.openstreetmap.org/relation/338993#map=7/45.147/17.227 (kolovoz, 2018.)
- [7] www.google.com/maps/ (kolovoz, 2018)
- [8] Perović, V.: *Prometna tehnika 2*, Škola za cestovni promet, Zagreb, 2005.
- [9] www.hrvatske-ceste.hr/hr/pages/traffic_and_security/documents/14-brojenje-prometa (kolovoz, 2018.)
- [10] Vujić, M., Dedić, L.: *Priručnik za izradu osnovnog modela semaforiziranog raskrižja korištenjem mikrosimulacijskog alata PTV Vissim*. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [11] Novačko L.: *Prometno modeliranje u cestovnom prometu*, Zagreb, 2014.

POPIS SLIKA

Slika 1. Prometne radnje u području raskrižja	6
Slika 2. Prikaz konfliktnih točaka	7
Slika 3. Raskrižje u razini (T priljučak)	8
Slika 4. Četverokrako raskrižje sa pripadajućim oblikovnim elementima.....	9
Slika 5. Zaustavna preglednost na sporednom privozu.....	10
Slika 6. Polje preglednosti kod približavanja raskrižju.....	11
Slika 7. Privozna preglednost.....	11
Slika 8. Raskrižje s kružnim tokom prometa	12
Slika 9. Kružno raskrižje s četiri privoza	14
Slika 10. Preglednost ulijevo pri ulazu i pri ostalim prometnim radnjama.....	15
Slika 11. Čelna (zaustavna) preglednost-ovisna o brzini	16
Slika 12. Preglednost ulijevo.....	17
Slika 13. Preglednost na kružnom kolniku.....	18
Slika 14. Preglednost do pješačkog prijelaza	19
Slika 15. Položaj državne ceste D1	21
Slika 16. Prikaz analiziranih raskrižja na dionici državne ceste D1	22
Slika 17. Prikaz uobičajenog prometnog opterećenja na „Raskrižju broj 1“	23
Slika 18. Prikaz uobičajenog prometnog opterećenja na „Raskrižju broj 2“	24
Slika 19. Prikaz rute kretanja vozila koja dolaze na „Raskrižje broj 2“	25
Slika 20. Pogled na „Raskrižje broj 2“ sa sjevernog privoza.....	26
Slika 21. Položaj rasvjetnih stupova na „Raskrižju broj 2“	26
Slika 22. Prikaz uobičajenog prometnog opterećenja na „Raskrižju broj 3“	27
Slika 23. Pogled na „Raskrižje broj 3“ sa sjevernog privoza.....	28
Slika 24. Položaj rasvjetnih stupova na „Raskrižju broj 3“	28
Slika 25. Brojački listić	31
Slika 26. Rezultati brojanja prometa po smjerovima za „Raskrižje broj 1“	32
Slika 27. Grafički prikaz prometnog opterećenja na „Raskrižju broj 1“	33
Slika 28. Rezultati brojanja prometa po smjerovima za „Raskrižje broj 2“	34
Slika 29. Grafički prikaz prometnog opterećenja na „Raskrižju broj 2“	35
Slika 30. Rezultati brojanja prometa po smjerovima za „Raskrižje broj 3“	36
Slika 31. Grafički prikaz prometnog opterećenja na „Raskrižju broj 3“	37

Slika 32. Prikaz idejnog prometnog rješenja raskrižja Državne ceste D1 – Industrijske ulice – Zaprešićke ceste	39
Slika 33. Prikaz provjere trajektorija predloženog idejnog rješenja	40
Slika 34. Wiedeman-ov model ponašanja vozača u prometnoj mreži	42
Slika 35. Prikaz simulacije postojećeg stanja na „Raskrižju broj 1“	44
Slika 36. Prikaz simulacije idejnog prometnog rješenja „Raskrižja broj 1“	45
Slika 37. Rezultati evaluacije postojećeg stanja prema PTV Vissim-u	46
Slika 38. Rezultati evaluacije idejnog rješenja prema PTV Vissim-u	46
Slika 39. Prikaz razine usluge postojećeg stanja prema Sidra Intersection	48
Slika 40. Prikaz razine usluge predloženog rješenja prema Sidra Intersection.....	49
Slika 41. Prikaz emisije CO ₂ (kg/sat) za postojeće stanje.....	50
Slika 42. Prikaz emisije CO ₂ (kg/sat) za predloženo idejno rješenje.....	51

POPIS TABLICA

Tablica 1. Rezultati automatskog brojanja prometa na D1 u blizini predmetnih raskrižja.....31

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Usporedba rezultata evaluacije prema PTV Vissim-u.....	47
--	----

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Idejno prometno rješenje raskrižja DC1 – Industrijska ulica – Zaprešićka cesta.....59

Prilog 1. Idejno prometno rješenje raskrižja DC1 – Industrijska ulica –
Zaprešićka cesta



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 NA**

DRŽAVNOJ CESTI D1 U ZONI TRGOVAČKOG CENTRA WESTGATE

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

U Zagrebu, 17.9.2018 _____

Student/ica:

Stjepan Mešić

(potpis)