

# Prijedlog rekonstrukcije raskrižja Petrova ulica - Bukovačka cesta u gradu Zagrebu

---

**Majcan, Domagoj**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:310814>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-26**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Domagoj Majcan

**PRIJEDLOG REKONSTRUKCIJE RASKRIŽJA PETROVA  
ULICA – BUKOVAČKA CESTA U GRADU ZAGREBU**

ZAVRŠNI RAD

**Zagreb, 2017.**

Zagreb, 24. ožujka 2017.

Zavod: **Zavod za gradski promet**  
Predmet: **Gradske prometnice**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 4056

Pristupnik: **Domagoj Majcan (0135224172)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Gradski promet**

Zadatak: **Prijedlog rekonstrukcije raskrižja Petrova ulica - Bukovačka cesta u gradu Zagrebu**

### Opis zadatka:

Na raskrižju Petrova ulica - Bukovačka cesta će se iz analize kretanja prometnih tokova izračunati razina usluge raskrižja prema HCM2010 metodi. Rezultati će poslužiti za prijedlog rekonstrukcije raskrižja izvedbom posebnog oblika kružnog raskrižja - turbo raskrižja. Za daljnju analizu upotrijebit će se i usporediti prethodno provedeni rezultati istraživanja.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
\_\_\_\_\_  
dr. sc. Hrvoje Pilko

\_\_\_\_\_

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**ZAVRŠNI RAD**

**PRIJEDLOG REKONSTRUKCIJE RASKRIŽJA PETROVA ULICA –  
BUKOVAČKA CESTA U GRADU ZAGREBU**

**RECONSTRUCION PROPOSAL OF INTERSECTION PETROVA  
STREET – BUKOVAČKA STREET IN THE CITY OF ZAGREB**

Mentor:  
Dr. sc. Hrvoje Pilko

Student:  
Domagoj Majcan  
0135224172

Zagreb, rujan 2017.



## **SAŽETAK:**

U okviru ovog završnog rada govorit će se o osnovnim značajkama klasičnog i turbo kružnog raskrižja jer je prijedlog rekonstrukcije raskrižja Petrove ulice i Bukovačke ceste u Zagrebu mini turbo kružno raskrižje. Prikupljat će se podaci kretanja prometnih vozila kroz kružno raskrižje Petrova ulica – Bukovačka cesta za 2015., 2016. i 2017. godinu. Na temelju prikupljenih podataka utvrdit će se propusna moć i razina usluge za svaku pojedinu godinu prema HCM2010 metodi. Prikupljeni podaci će potvrditi da je idealno rješenje rekonstrukcije raskrižja, Petrova ulica – Bukovačka cesta, mini turbo kružno raskrižje. Na kraju završnog rada biti će prikazan prijedlog rekonstrukcije raskrižja nacrtanog u AutoCad-u gdje će se moći vidjeti i trajektorije autobusnog vozila napravljenog pomoću AutoTurn-a.

**KLJUČNE RIJEČI:** raskrižje s kružnim tokom prometa, turbo kružna raskrižja, metodologija utvrđivanja propusne moći, rekonstrukcija.

## **SUMMARY:**

In the text of this final work it will be spoken about the basic characteristics of a classical and turbo roundabout, because the suggestion for the reconstruction of an intersection between Petrova street-Bukovačka road is mini turbo roundabout. Data for the movement of traffic vehicles through the roundabout Petrova street-Bukovačka road for the years 2015., 2016., 2017. will be collected. Based on the collected data traffic capacity and level of service will be determined for each year individually according to HCM2010 method. Collected data will confirm that the ideal solution for the reconstruction of intersection Petrova street-Bukovačka road is mini turbo roundabout. At the end of this final work suggestion for the reconstruction of the mentioned intersection drawn in AutoCad will be shown, where you will also be able to see trajectories of a bus vehicle made in AutoTurn.

**KEYWORDS:** roundabout, turbo roundabout, methodology for determining traffic capacity, reconstruction.

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. OSNOVNE ZNAČAJKE RASKRIŽJA S KRUŽNIM TOKOM PROMETA.....	3
2.1. Osnovne značajke kružnih raskrižja.....	3
2.2. Primjerenost i mjerila za izvedbu .....	8
2.3. Projektno oblikovni elementi kružnih raskrižja .....	9
3. OSNOVNE ZNAČAJKE RASKRIŽJA S TURBO KRUŽNIM TOKOM PROMETA .....	17
3.1. Osnovne značajke turbo kružnih raskrižja.....	17
3.2. Tipovi turbo kružnih raskrižja .....	19
3.3. Projektno oblikovni elementi turbo kružnih raskrižja .....	23
4. METODOLOGIJA UTVRĐIVANJA PROPUSNE MOĆI RASKRIŽJA S KRUŽNIM TOKOM PROMETA .....	35
4.1. Utvrdjivanje propusne moći kružnih raskrižja.....	35
4.2. Metode utvrđivanja propusne moći za motorizirani promet .....	36
5. METODOLOGIJA UTVRĐIVANJA PROPUSNE MOĆI RASKRIŽJA S TURBO KRUŽNIM TOKOM PROMETA .....	45
5.1. Modificirana Bovyjeva jednadžba .....	45
5.2. Modificirana Hagringova jednadžba.....	47
6. SIGURNOST PROMETA RASKRIŽJA S KRUŽNIM TOKOM PROMETA.....	50
6.1. Sigurnost prometa raskrižja s klasičnim kružnim tokom prometa .....	50
6.2. Sigurnost prometa raskrižja s turbo kružnim tokom prometa.....	59
7. ANALIZA RASKRIŽJA S KRUŽNIM TOKOM PROMETA PETROVA ULICA- BUKOVAČKA ULICA63	
7.1. Podaci o kružnom raskrižju.....	63
7.2. Prikupljanje prometnih podataka.....	68
7.3. Analiza parametara .....	70
8. FUNKCIONALNA UČINKOVITOST KLASIČNOG I TURBO KRUŽNOG RASKRIŽJA.....	73
8.1. Funkcionalna učinkovitost prometnog opterećenja za 2015. godinu .....	73
8.2. Funkcionalna učinkovitost prometnog opterećenja za 2016. godinu .....	76
8.3. Funkcionalna učinkovitost prometnog opterećenja za 2017. godinu .....	78
8.4. PGDP .....	81
8.5. Funkcionalna učinkovitost prometnog opterećenja turbo kružnog raskrižja .....	82
9. PRIJEDLOG REKONSTRUKCIJE RASKRIŽJA S KRUŽNIM TOKOM PROMETA PETROVA ULICA- BUKOVAČKA CESTA .....	86

10. ZAKLJUČAK.....	94
LITERATURA.....	95
POPIS SLIKA .....	96
POPIS TABLICA.....	98
POPIS GRAFIKONA.....	99
POPIS PRILOGA.....	99

## 1. UVOD

Jedan od najvažnijih dijelova cestovne prometne infrastrukture su raskrižja, jer oni spajaju i razdvajaju prometne tokove. Postoje više raskrižja, a jedna od njih je raskrižje s kružnim tokom prometa. Raskrižje s kružnim tokom prometa može imati jednaku propusnu moć, ali veću sigurnost prometa u odnosu na semaforizirano raskrižje i ne semaforizirano raskrižje.

Sljedeća vrsta raskrižja su turbo kružna raskrižja koja imaju malo manju sigurnost prometa u odnosu na kružno raskrižje s jednim voznim trakom, ali ima puno veću sigurnost u odnosu na raskrižje s dva vozna traka. Također je propusna moć kod turbo kružnog raskrižja veća u odnosu na jednotračno i dvotračno kružno raskrižje

Cilj ovog rada je prikazati razliku između klasičnog kružnog raskrižja i turbo kružnog raskrižja jer je prijedlog za rekonstrukciju kružnog raskrižja, Petrova ulica – Bukovačka cesta u gradu Zagrebu, turbo kružno raskrižje. Na temelju istraživanja, moći će se zaključiti dali je turbo kružno raskrižje prihvatljivije rješenje od klasičnog kružnog raskrižja. Rad je podijeljen u 10 cjelina:

1. Uvod
2. Osnovne značajke raskrižja s kružnim tokom prometa
3. Osnovne značajke raskrižja s kružnim tokom prometa
4. Metodologija utvrđivanja propusne moći raskrižja s kružnim tokom prometa
5. Metodologija utvrđivanja propusne moći raskrižja s turbo kružnim tokom prometa
6. Sigurnost prometa raskrižja s kružnim tokom prometa
7. Analiza raskrižja s kružnim tokom prometa Petrova ulica – Bukovačka cesta
8. Funkcionalna učinkovitost klasičnog i turbo kružnog raskrižja
9. Prijedlog rekonstrukcije raskrižja s kružnim tokom prometa Petrova ulica – Bukovačka cesta
10. Zaključak

U drugom poglavlju opisane su osnovne značajke kružnog raskrižja, prednosti i nedostaci, primjerenost i mjerila za izvedbu i projektno oblikovni elementi kružnog raskrižja.

U trećem poglavlju opisano je općenito o turbo kružnom raskrižju, vrstama turbo kružnih raskrižja koja postoje i o projektno oblikovnim elementima turbo kružnog raskrižja.

U četvrtom poglavlju će se opisati način rješavanja proračuna za klasično kružno raskrižje po HCM2010 metodi.

U petom poglavlju opisat će se način rješavanja proračuna za modificiranu Bovyjevu i Hangringovu jednadžbu za turbo kružno raskrižje.

U šestom poglavlju opisana je sigurnost motoriziranog i nemotoriziranog prometa za klasično kružno raskrižje i turbo kružno raskrižje.

U sedmom poglavlju provedena je analiza raskrižja Petrova ulica – Bukovačka cesta. Spomenuta je dispozicija kružnog raskrižja na makro i mikro razini, broj vozila po privozima izraženog u PAJ/h i postotak motoriziranog prometa na raskrižju.

U osmom poglavlju provedet će se proračun za klasično kružno raskrižje po HCM2010 metodi, i proračun za turbo kružno raskrižje po modificiranoj Bovyjevoj i Hangringovoj jednadžbi.

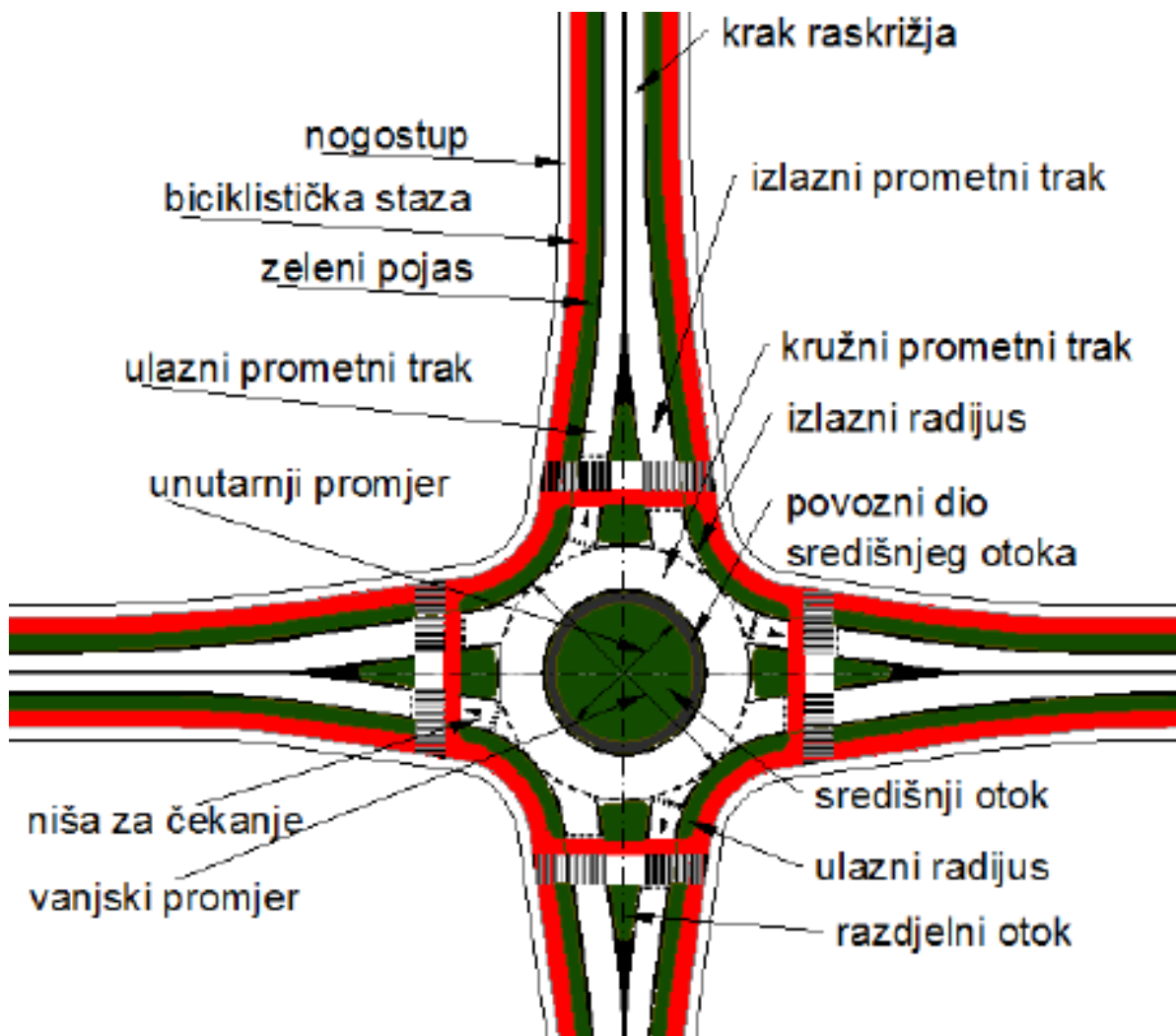
U devetom poglavlju će biti predložen prijedlog rekonstrukcije raskrižja Petrova ulica – Bukovačka cesta i prijedlog rekonstrukcije za raskrižje Kišpatičeve ulice – Bukovačke ceste, čija je rekonstrukcija također ključna za povećanje propusne moći raskrižja Petrova ulica – Bukovačka cesta.

U desetom poglavlju obrazložiti će se dali je turbo kružno raskrižje dobro rješenje za rekonstrukciju postojećeg stanja raskrižja.

## 2. OSNOVNE ZNAČAJKE RASKRIŽJA S KRUŽNIM TOKOM PROMETA

### 2.1. Osnovne značajke kružnih raskrižja

Kružna raskrižja su prometne građevine po kojima je kretanje vozila određeno pomoću središnjeg otoka koji može biti neprovozni, djelomično ili u cijelosti povoznim/provoznim dijelom, kružnim voznim trakom na koji se vežu tri ili više priključnih cesta u razini i ti privozi su opremljeni pomoću razdjelnih otoka i moraju biti opremljena pomoću prometnih znakova (Slika 2.1). Promet unutar kružnog raskrižja se odvija u smjeru suprotno kretanju kazaljke na sat [1, 2].



Slika 2.1. Osnovni elementi urbanog kružnog raskrižja [2]

❖ Posebnosti, prednosti i nedostaci kružnih raskrižja

a) **Posebnosti i razlikovnosti ovih raskrižja su sljedeće:**

- kružna raskrižja su raskrižja s kombinacijom prekinutog i neprekinutog prometnog toka;
- vozilo se prilikom ulaska u kružno raskrižje ne mora zaustavljati, nego smanjenom brzinom ući u kružni tok;
- vozila u kružnom toku imaju prvenstvo prolaza pred ostalim vozilima na prilazima budući da ovdje ne vrijedi „pravilo desnoga“;
- kružna raskrižja na cestama omogućuju vožnju smanjenim brzinama (naročito u urbanim naseljima) i s velikim skretnim kutom prednjih kotača;
- za pješake i bicikliste vrijede ista pravila kao i u drugim oblicima raskrižja u razini;
- u kružnom raskrižju je zabranjena, a i nepotrebna vožnja unatrag;
- većim (dužim) vozilima dozvoljeno je tijekom vožnje koristiti prošireni dio kružnog kolnika (povozni dio središnjeg otoka), dok drugim vozilima manjih dimenzija to nije potrebno [1].

b) **Prednosti kružnih raskrižja:**

- znatno veća sigurnost prometa s manjim brojem konfliktnih točaka, sa smanjenim brzinama u odnosu na obična raskrižja, i uz manje posljedice prometnih nezgoda (bez čelnih i sudara pod pravim kutom);
- dobro uklapanje u okolni prostor sa manjom zauzetosti zemljišta (nepotrebni prometni trakovi za lijevo i desno skretanje) i sa manjim troškovima održavanja;
- dobro rješenje pri ravnomjernijem opterećenju privoza i također služi kao mjera za smirivanje prometa u urbanim sredinama;
- dobro rješenje za slučajeve s više privoza (pet ili više), koji omogućuju veću propusnu moć raskrižja uz manje proizvedene buke i štetnih plinova;
- kraće čekanje na privozima zbog kontinuiteta vožnje i mogućnost propuštanja jačih prometnih tokova [1].

c) **Nedostaci kružnih raskrižja:**

- Slabo rješenje za slučaj velikog prometnog toka sa skretanjem ulijevo (zbog duljih putovanja, s otežavajućim presijecanjima i preplitanjima);
- Višetračno kružno raskrižje nije najpogodnije za osobe s posebnim potrebama (slabovidni, starije osobe, invalidi itd) i nije najbolje rješenje u blizini škola i vrtića zbog kretanja djece u kolonama;
- Putanje pješaka i vozila je produljeno s obzirom na izravno kanalizirana klasična raskrižja;
- Sa povećanjem broja kružnih prometnih trakova smanjuje se razina prometne sigurnosti;
- Problemi pri većem broju pješaka i biciklista koji presijecaju jedan ili više privoza prema raskrižju [1].

❖ Podjela i osnovne značajke kružnih raskrižja

Kružna raskrižja mogu se razvrstati po više kriterija, a uobičajena je podjela po lokaciji i veličini, po broju privoza i prometnim trakovima, po svrsi ili namjeni i slično [1].

❖ Podjela po lokaciji i veličini

Kružna raskrižja u naseljima (urbana raskrižja) i kružna raskrižja izvan naselja (raskrižja na javnim cestama) čine širu podjelu s obzirom na lokaciju i veličinu tih prometnih građevina (Tablica 2.1).

a) **Kružna raskrižja u naselju.**

- **Mini kružna raskrižja** ( $D_v \leq 26$  m) – izvode se u gušće izgrađenim urbanim sredinama s ciljem distribucije i smirivanja manjih prometnih tokova ( $V_k \leq 25$  km/h). Uspoređujući mini kružna raskrižja s drugim nesemaforiziranim raskrižjima, imaju veću propusnu moć i mnogo veću sigurnost prometnih sudionika i također uz manje troškove zemljišta i takva izvedba predstavlja visoko konkurentno rješenje.



- **Mala kružna raskrižja** ( $22 \text{ m} \leq D_v \leq 35 \text{ m}$ ) – u pravilu se izvode samo u urbanim sredinama, gdje je brzina u kružnom toku manja od 30 km/h. Najčešće se izvode na ulazu u urbana naselja, a očekivana propusna moć je do 15.000 vozila po danu.
- **Srednje velika kružna raskrižja** ( $35 \text{ m} \leq D_v \leq 45 \text{ m}$ ) – izvode se na jače opterećenim gradskim i prigradskim čvornim točkama, a izvedba raskrižja omogućuje brzine u raskrižju  $V_k \leq 40 \text{ km/h}$ . Pješaci i biciklisti se također vode izvan kolnika, a razdjelni otoci se koriste kao siguran otok pri prijelazu nemotoriziranog prometa preko privoznih cesta.

**b) Kružna raskrižja izvan naselja**

- **Srednje velika kružna raskrižja** ( $35 \text{ m} \leq D_v \leq 45 \text{ m}$ ) – izvode se na raskrižjima gdje se ne očekuje veći biciklistički i pješački promet. Izgrađena su na način do omogućuju dobru propusnu moć do 22.000 vozila po danu i brzinu ulaza u kružni toku od  $V_k \leq 40 \text{ km/h}$ .
- **Srednje velika dvotračna kružna raskrižja** ( $50 \text{ m} \leq D_v \leq 90 \text{ m}$ ) – izvode se na mjestima velikih prometnih opterećenja izvan naselja i iznimno na rubnim dijelovima naselja.
- **Velika kružna raskrižja** ( $D_v \geq 90 \text{ m}$ ) – izvode se iznimno na cestama velikog učinka (križanja autocesta i brzih cesta te cesta 1. razreda). Biciklistički i pješački promet vodi se odvojeno, pa nije sastavni dio kružnog raskrižja [1].

Tablica 2.1. Okvirni oblikovni i prometno-tehnički elementi kružnih raskrižja [1]

Veličina, n-tračno (Oznaka)	Alokacija	Vanjski promjer $D_v$ [m]	Širina kolnika B [m]	Propusna moć, okvirno [voz/dan]	Oblikovanje i dimenzioniranje
mini, jednotračno <sup>(1)</sup> (RKT <sub>m</sub> )	u naselju	(13,5) – 25	4,5 – 5,0	≤ 15.000	poseban postupak
malo, jednotračno (RKT <sub>M</sub> )	u naselju	22 – 35	6,5 – 9,0	15.000	(V <sub>k</sub> = 30 [km/h])
srednje veliko jednotračno (RKT <sub>SV</sub> )	u naselju	30 – 40	5,5 – 7,0	20.000	(V <sub>k</sub> = 35 [km/h])
srednje veliko jednotračno (RKT <sub>SV</sub> )	izvan naselja	35 – 45	5,5 – 6,0	22.000	(V <sub>k</sub> = 40 [km/h])
srednje veliko dvotračno (RKT <sub>SV,2</sub> )	izvan naselja	(45) 50 – 90	7,0 – 7,5	25.000	(V <sub>k</sub> ≤ 40 [km/h])
veliko, dvotračno <sup>(2)</sup> (RKT <sub>V,2</sub> )	izvan naselja	≥ 90	≤ 7,0	≥ 25.000	poseban postupak

(1), (2) – broj trakova

#### ❖ Podjela po broju privoza i prometnih trakova

U pogledu broja privoza kružna raskrižja mogu imati tri privoza (tzv. trokraka raskrižja), četiri privoza, pet i više privoza. S obzirom na broj prometnih trakova koji se nalaze u kružnom toku, kružna raskrižja se najčešće dijele na jednotračna, dvotračna, trotračna itd [1].

#### ❖ Podjela kružnih raskrižja s obzirom na namjenu

##### **Kružna raskrižja prema namjeni se dijele na:**

- raskrižja za smirivanje prometa (u naseljima i prilaznim područjima)
- raskrižja za ograničavanje prometa (u naseljima, na mjestima gdje se želi ograničiti promet na ciljanu razinu propusne moći)
- raskrižja za postizanje što veće propusne moći uz dodatnu sigurnost prometa motoriziranog i nemotoriziranog prometa (isključivo izvan naselja) [1].

## ❖ Podjela s obzirom na način vođenja glavnih smjerova prometnih tokova

S obzirom na način vođenja glavnih smjerova prometnih tokova se dijele na:

- prometni tokovi u razini
- prometni tokovi izvan razine [2]

Pri vođenju prometnih tokova u razini razlikujemo dva načina izvedbe priključaka (traka za skretanje):

- Trake za skretanje u kružnom raskrižju
- Izvedba traka za skretanje izvan kružnog raskrižja [2]

## 2.2. Primjerenost i mjerila za izvedbu

U pripremno – planerskoj fazi potrebno je razmotriti okvire i polazišta za primjenu određenog oblika raskrižja. Da bi se krenulo u realizaciju kružnog raskrižja u naseljima, potrebno je udovoljiti grupi naj bitnijih mjerila (kriterija), prvenstveno funkcionalnog mjerila, urbanističko-prometnog, prometnog, sigurnosnog-kapacitativnog, mjerila ekonomičnosti i propusne moći [1].

- **Funkcionalno mjerilo** analizira koja je vrsta raskrižja najprihvatljivija obzirom na njegovu ulogu u prometi, kako bi se utvrdilo da li je kružno raskrižje najprihvatljivije rješenje na određenoj lokaciji [1].
- **Prostorno-urbanistička mjerila** – uz propisane urbanističko-prometne dokumente, planove i postupke, ponekad je potrebno zbog kompleksne problematike provesti i proceduru prihvata rješenja nakon pozitivnih ocjena okolnog stanovništva i vozača.

Posebno trebaju biti zadovoljena sljedeća mjerila:

- **Mjerilo makrolokacije** (s ciljem optimalnog alociranje raskrižja u cestovnoj mreži i u trasi glavnih cesta)
- **Mjerilo mikrolokacije** (s procjenom optimalnog umještanja unutar izgrađenog ili planiranog urbanog ambijenta)

- **Prometna mjerila** su preporučljiva:
  - na mjestima gdje se mogu pojaviti oštri kutovi presijecanja prometnih tokova (oblici A, K, X, Y)
  - na mjestima s privozima sličnih intenziteta prometnog opterećenja
  - na raskrižjima s pet i više privoza
  - na mjestima gdje se očekuje veliki promet ili je sklon promjenama
  - na mjestima sa puno desnih skretača, odnosno sa malo lijevih skretača
  - na T-raskrižjima gdje glavni tok skreće pod pravim kutom
  - za slučajeve kada semaforizirano raskrižje nije opravdano, a propusna moć nesemaforiziranog raskrižja prekoračena.
- **Prometno-sigurnosna mjerila** preporučuju izvedbu kružnih raskrižja:
  - na postojećim raskrižjima s velikim brzinama vožnje na glavnom pravcu gdje nije sigurno uključivanje vozila sa sporednog pravca
  - na semaforiziranim raskrižjima gdje je propusna moć raskrižja slična kružnom raskrižju, ali je sigurnost kod kružnog raskrižja veća
  - na klasičnim raskrižjima s čestim prometnim nezgodama i teškim posljedicama [1]
- **Mjerilo ekonomičnosti** obuhvaća vrednovanje troškova i koristi. Pod troškovima se podrazumijevaju troškovi projektiranja prometnice, građenja, otkupa zemljišta, eksploatacije i održavanja prometne građevine. Ekonomske dobiti obuhvaćaju smanjenje društvenih troškova izazvanih prometnim nesrećama i smanjenjem vremena putovanja motornih vozila te vrednovanje pozitivnog učinka smanjenja prometne buke i zagađenja okoliša koji nastaju od ispušnih plinova motornih vozila [3].
- **Mjerilo propusne moći** pruža izravni odgovor na ispravnost odabira kružnog raskrižja, pa je zbog toga obavezno primijeniti postupak provjere za kraj planskog razdoblja. U poglavlju 4 navest će se osnovne postavke metodologije utvrđivanja propusne moći [1].

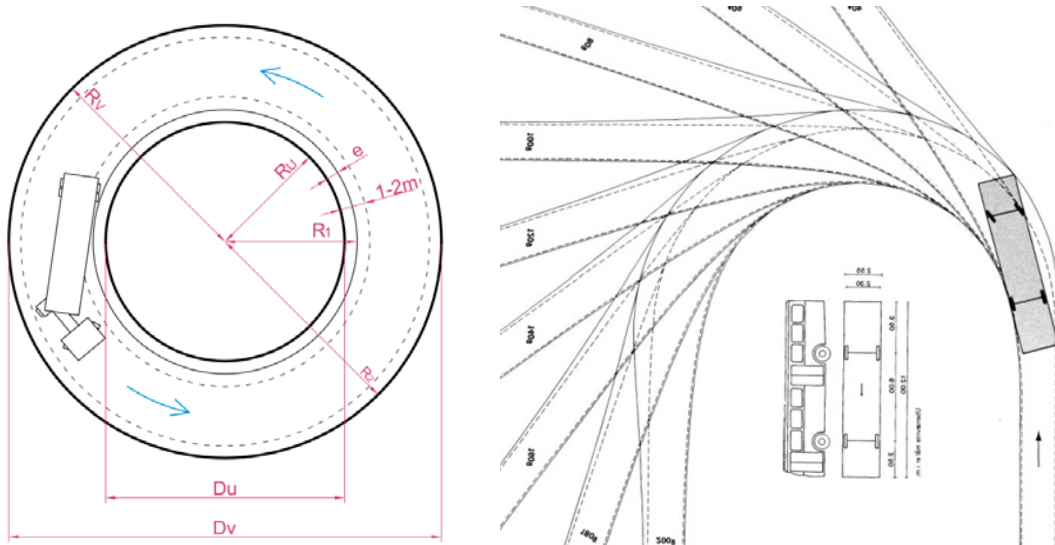
### 2.3. Projektno oblikovni elementi kružnih raskrižja

Najvažniji čimbenici za okvirni izgled navedenih kružnih raskrižja su količina i struktura prognozno prometa, položaj u cestovnoj mreži, dopuštena brzina prometnih tokova i tako dalje. Postupak projektiranja provodi se određenim redoslijedom tako zvanih projektnih

koraka, u kojima se odabiru bitni elementi raskrižje: vanjski promjer, odnosno polumjer raskrižja ( $D_v$ ,  $R_v$ ), širina kružnog kolnika ( $B$ ), širine ulaznog i izlaznog dijela privoza ( $b_u, b_i$ ), širina otoka ili razdjelnika u privozu ( $b_o$ ), polumjer ulaznog i izlaznog zaobljenja ( $R_u$ ,  $R_i$ ) itd [1].

#### ❖ Kružni kolnik

Kružni kolnik je kolnički trak kružnog oblika, po kojemu se voze vozila oko središnjeg otoka u smjeru suprotnom kretanju kazaljke na sat. 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 ( $R_v$ ) i širina kružnog kolnika ( $B$ ) u međusobnoj su vezi. [1,2] Za svako kružno raskrižje potrebno je provjeriti provoznost mjerodavnog vozila (Slika 2.2). To se posebno odnosi na urbana rješenja (mini, mala i srednje velika raskrižja), ali isto tako treba provjeriti rješenja većih raskrižja izvan naselja radi prolaska pokraj vozila u kvartu i slično [1].



Slika 2.2. Elementi za provjeru provoznosti kružnog kolnika i privoza [1]

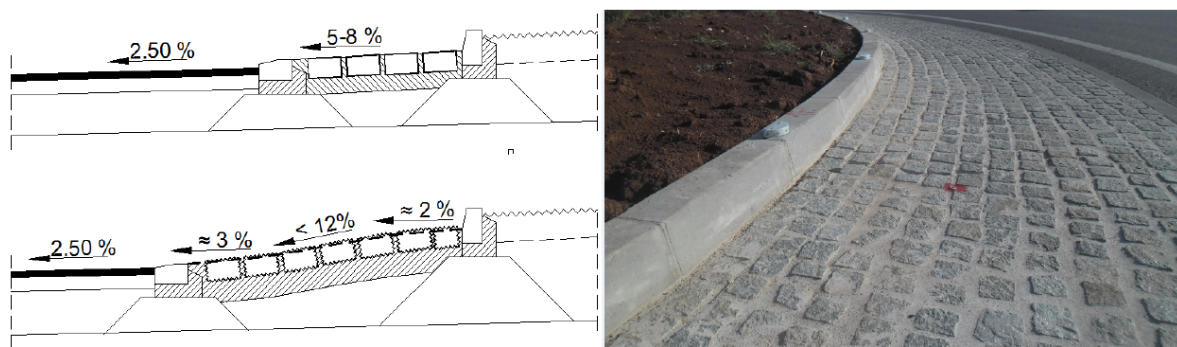
Ako kroz kružno raskrižje prolazi veći broj autobusa i autobusnih linija, potrebno je razmotriti uvođenje posebnog traka (obilježenog žutom bojom) za autobuse na ulazu, u kružnom dijelu i na izlazu iz raskrižja [1].

Kružno raskrižje s obzirom na svoju veličinu (mini, mali, srednje itd) može imati po definiciji provozni, djelomično provozni ili pak neprovozni dio središnjeg otoka koji je obrubljen kružnim kolnikom. Radi preglednosti ne bi trebao biti viši od 1,0 (1,2) metara s višim raslinjem i nepotrebnim sadržajima [1].

U oblikovnom i funkcionalnom pogledu središnji kružni otok bi trebao ispuniti bitne ciljeve, kao što su:

- prepoznavanje kružnog raskrižja u mreži
- prekid trase sa svojstvima slobodnog toka
- obilaženje vozila (uz pretpostavke za to)
- mjesto za prometne znakove i uređenje prometa
- prostor za posebna oblikovanja i krajobrazna uređenja [1].

Kružna raskrižja koja imaju središnji otok imaju i tako zvani provozni/prijelazni prsten širine 1,5 do 2,0 metara širine između kružnog kolnika i središnjeg otoka koji omogućuje lakši prolaz duljih vozila kroz raskrižje (Slika 2.3). Izvodi se od različitog materijala (kocka) i/ili u drugoj boji nasuprot boji kolnika, te je u poprečnom nagibu do 8%. Razgraničavanje s provoznim dijelom središnjeg otoka (za iznimna rješenja s provoznim dijelom) treba se predvidjeti uz pomoć izdignutih rubnjaka visine 12-14 centimetara [1,2].



Slika 2.3. Povozni dio središnjeg otoka [2]

#### ❖ Privozi

- **Ulazni dio privoza** je dio privoza u kojemu se prilazni prometni trak ulijeva u kružni tok. Prilaz može biti izveden u obliku lijevka ili trokuta. U području prilaza moraju

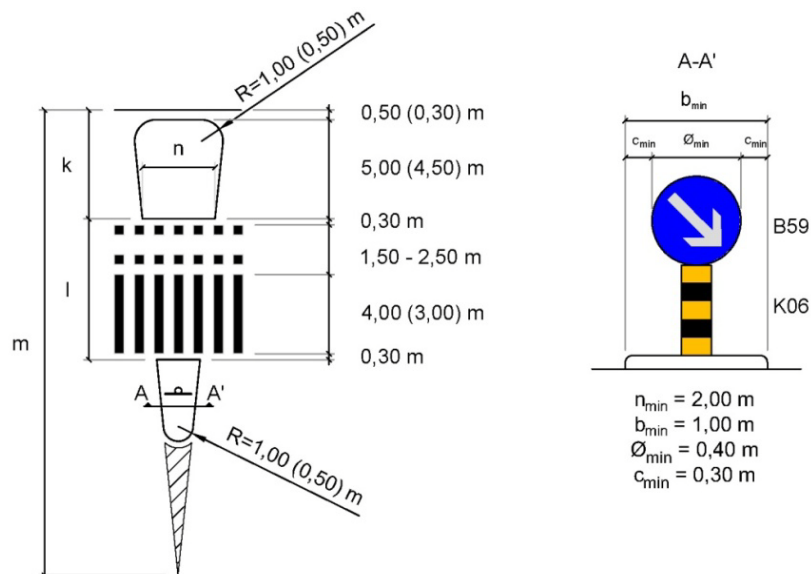
vozila usporiti vožnju ili se zaustaviti, što ovisi o tome postoji li dodatan razmak među vozilima u kružnom toku. Širina prometnog traka treba biti 3,50 metara (iznimno 3,25 m). Sami priključci zbog, prigušenja brzine ulaska, trebaju biti sa što manjim polumjerom zaobljenja. Najmanji polumjeri zaobljenja na ulaznoj strani ( $R_u$ ) ne bi smio biti manji od 12 metara (iznimno 10 m)(ovisno o oblikovnoj konfiguraciji i zahtjevima mjerodavnog vozila). (Tablica 2.2.)

- **Izlazni privoz** je područje kružnog raskrižja na kojemu vozila napuštaju kružno raskrižje. Širina prometnog traka na izlaznoj strani treba biti između 3,50 i 3,75 metara. Sami priključci zbog, prigušenja brzine ulaska, trebaju biti sa što manjim polumjerom zaobljenja. Najmanji polumjeri zaobljenja na izlaznoj strani ( $R_i$ ) su između 14 i 12 metara (ovisno o oblikovnoj konfiguraciji i zahtjevima mjerodavnog vozila) (Tablica 2.2).

Tablica 2.2. Vanjski polumjer kružnog raskrižja ovisno o polumjeru središnjeg otoka prema za mjerodavno vozilo – teretno vozilo s prikolicom [4]

Vanjski polumjer $R_v$ [m]	Širina kružnog kolnika $R_v - R_u$ [m]	Uvjeti			
		Širina ulaznog dijela prometnog traka [m]	Širina izlaznog dijela prometnog traka [m]	Veličina ulaznog polumjera $R_u$ [m]	Veličina izlaznog polumjera $R_i$ [m]
13,00 – 17,50	6,50 – 8,00	3,25 – 3,50	3,50 – 3,75	10,00 – 12,00	12,00 – 14,00
17,50 – 22,50	5,75 – 6,50	3,50 – 4,00	3,50 – 4,25	12,00 – 14,00	14,00 – 16,00

- **Razdjelni otok u privozu** (slika 2.4) ima višeznačnu ulogu, a prvenstveno služi za razdjeljivanje i vođenje tokova, sprečavanje opasnih skraćivanja putanja vozila, najavu obaveznog usporavanja, pripomoć u poprečnom prijelazu pješaka i biciklista, prostor za prometne znakove. Trebaju biti prilagođeni veličini kružnog raskrižja i odmjereni prema brzini na ulazu s privoza. Za slučajeve prelaska biciklista potrebno je predvidjeti odmak od kružnog kolnika za minimalno jednu duljinu vozila koje čeka (4,5 – 5,0 metara). Za prijelaz pješaka razdjelnik treba biti bar 2,0 metara odnosno za bicikliste barem 2,5 metara širine.



Slika 2.4. Minimalne dimenzije elemenata razdjelnog otoka trokutastog oblika za mala kružna raskrižja [4]

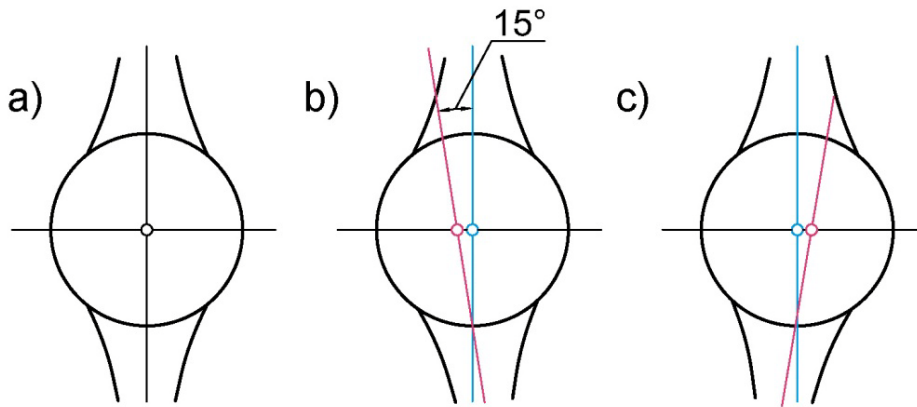
#### ❖ Tlocrtno vođenje

Pod tlocrtnim vođenjem razumije se oblikovanje ceste u širem i užem smislu. U širem smislu čine elementi horizontalnog toka ceste prije i poslije kružnog raskrižja, a u užem smislu predstavljaju zadnji elementi horizontalnog toka ceste pred kružnim raskrižjem i prvi elementi horizontalnog toka ceste poslije kružnog raskrižja [1].

Poželjno je da se produžeci osovina privoza kružnih raskrižja sijeku u samo jednoj točki (Slika 2.5), odnosno prema [4]:

- a) **najbolje rješenje** - sjecište u središtu kružnog raskrižja
- b) **lošije rješenje** - sjecište lijevo od središta kružnog raskrižja (gledano u smjeru vožnje) jer se pojavljuju velike brzine na izlazu iz raskrižja (dopuštena razlika do  $15^\circ$ )
- c) **najlošije rješenje** - sjecište desno od središta kružnog raskrižja jer se time povećava najveće moguća brzina na ulazu u raskrižje.

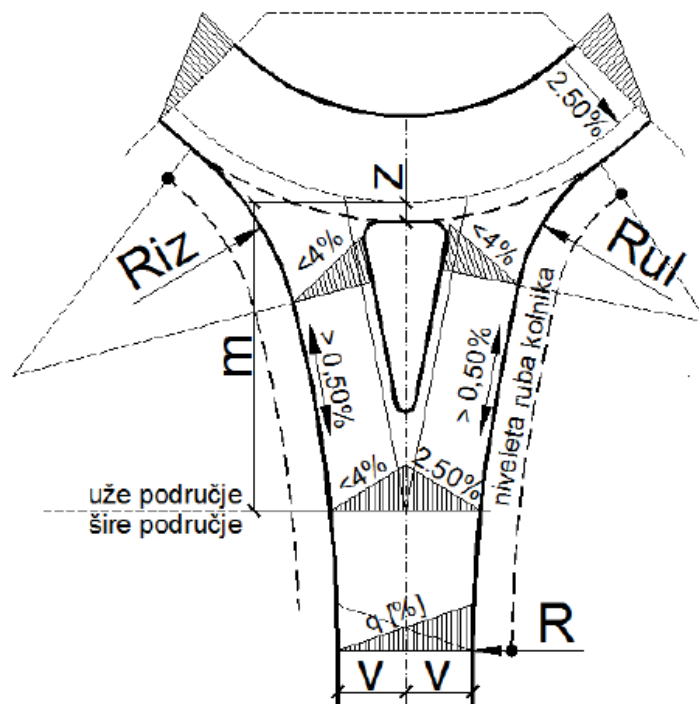




Slika 2.5. Položaj sjecišta osovina privoza s obzirom na središte kružnog raskrižja;  
a – dobro, b – prihvatljivo odstupanje do 15°, c – loše [4]

#### ❖ Poprečni nagib kolnika i odvodnja

Poprečni, uzdužni i ukupni nagib te svi detalji prijelomnih ploha u području raskrižja trebaju biti oblikovani tako da se omogući učinkovita i brza odvodnja, te blaga promjena nagiba na prijelazima između priključnog traka i kružnog kolnika. Prikupljene količine vode uz rub kolnika najbolje je odvesti bočnim kanalizacijskim sustavom. Poprečni nagib kružnog kolnika izvodi se u iznosu  $q_{\min} = -2,5\%$  (2%) prema vanjskoj strani (Slika 2.6) [1].



Slika 2.6. Poprečni nagib ulaza, izlaza i kružnog kolnika [2]

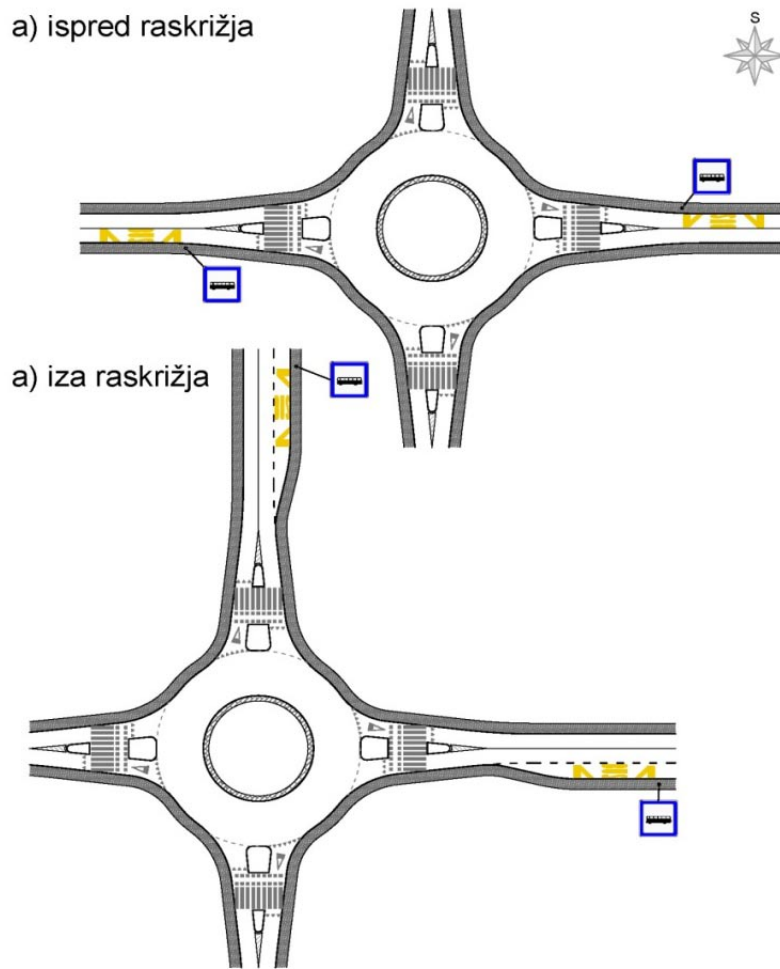
## ❖ Elementi za vođenje ostalih vrsti prometa

Na užem području kružnih raskrižja u naseljima vrlo često treba riješiti vođenje pješačkog, biciklističkog i javnog putničkog prometa.

- **Pješački i biciklistički promet** u pravilu se trebaju voditi izvan ili odmaknuto od kružnog kolnika. Prijelaz preko privoza kolnika trebaju biti odmaknuti barem 4,5 metara od kružnog raskrižja, odnosno za duljinu barem jednog vozila (prostor za čekanje) [1]. Gdje god je moguće, pješački nogostup potrebno je za 1,5 metara (minimalno 0,6 metara) odvojiti od kružnog kolnika odgovarajućim hortikulturnim uređenjem (nisko raslinje i/ili trava) [6]. Širina pješačkog nogostupa ne smije biti manja od 0,9 metara (zbog invalida u kolicima) odnosno 1,5 metara što omogućuje nesmetan prolaz dviju osoba [4]. Ovisno o veličini motornog prometa u raskrižju i ostalim prilikama, primjenjuju se dva načina vođenja biciklista: zajedničko (uz vanjski rub kružnog kolnika) i odvojeno (izvan kolnika) [1].
- **Javni putnički promet** vrlo često koristi kružna raskrižja kao završne postaje ili okretišta vozila [1]. Zbog funkcionalnih i sigurnosnih razloga, autobusna bi stajališta trebala biti smještena što je moguće dalje od ulaza i izlaza, a ne preporučuje se smještanje autobusnih stajališta u kružnom raskrižju [4].

Dvije su osnovne mogućnosti odabira stajališta (Slika 2.7):

- ispred (ili iza) raskrižja za slučaj da je kružno raskrižje ujedno i okretište
- iza kružnog raskrižja, posebno za tranzitne linije (povoljnije rješenje) [1].

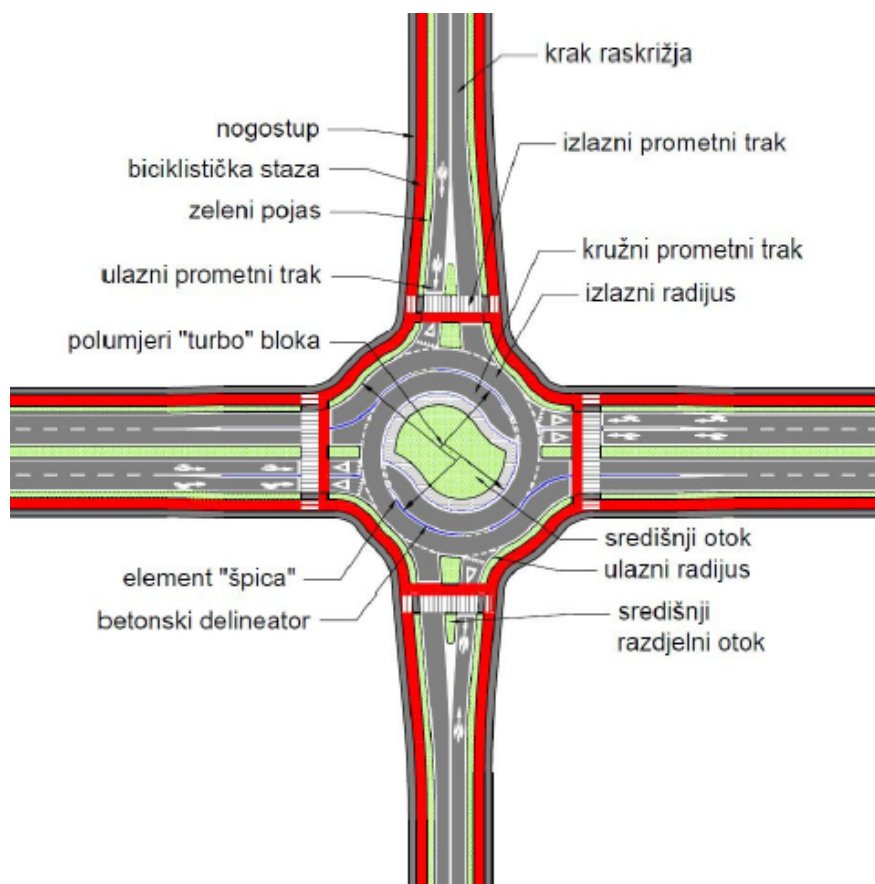


Slika 2.7. Smještanje autobusnih stajališta uz kružno raskrižje [5]

### 3. OSNOVNE ZNAČAJKE RASKRIŽJA S TURBO KRUŽNIM TOKOM PROMETA

#### 3.1. Osnovne značajke turbo kružnih raskrižja

Turbo kružno raskrižje je posebna vrsta višetračnog kružnog raskrižja, kod kojeg su neki prometni tokovi međusobno odvojeni, odnosno, vođeni po prostorno i fizički odvojenim voznim trakovima. 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 turbo 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 (Slika 3.1.) [7].



Slika 3.1. Oznake glavnih elemenata turbo kružnog raskrižja u naselju [7]

## ❖ Karakteristike turbo kružnog raskrižja

Turbo kružna raskrižja su prihvatljiva rješenja na lokacijama izvan naselja i u prijelaznim područjima na kojima nema ili se očekuje samo manji broj nemotoriziranih sudionika u prometu. Turbo kružno raskrižje u naselju je prihvatljivo rješenje samo ukoliko je vođenje nemotoriziranih sudionika u prometu na području samog turbo kružnog raskrižja riješeno na prometno siguran način [7].

Turbo kružno raskrižje je prihvatljivo rješenje u sljedećim slučajevima:

- kada analiza propusne moći ukazuje na to da jednostručno kružno raskrižje neće moći kvalitetno propustiti očekivana prometna opterećenja na kraju planskog razdoblja
- u postojećim, prometno preopterećenim dvotračnim kružnim raskrižjima
- u postojećim, prometno nedovoljno sigurnim, dvotračnim kružnim raskrižjima
- prilikom rekonstrukcije standardnog trokrakog ili četverokrakog raskrižja, u kojemu postoji prevladavajući glavni prometni smjer s velikom jakošću prometnog toka
- ako je proračunom kapaciteta dokazano da je turbo kružno raskrižje bolje rješenje od semaforiziranog raskrižja [7].

## ❖ Osnovni i dodatni uvjeti za izvedbu turbo kružnih raskrižja

Da bi neko kružno raskrižje bilo turbo kružno raskrižje, moraju biti ispunjena četiri osnovna i dva dodatna uvjeta [3,7].

### **Osnovni uvjeti su:**

- 1) sa najmanje jedne prilazne ceste daje se prednost prometnim tokovima u dvjema kružnim voznim trakovima, koji na tom mjestu predstavljaju kružni kolnik (uvjet koji proizlazi iz propusne moći)
- 2) promet na najviše dva kružna vozna traka može imati prednost pred prometnim tokom na ulazu (uvjet koji proizlazi iz prometne sigurnosti)
- 3) na kružnom raskrižju se ne smiju pojaviti konfliktne točke preplitanja na kružnom kolniku i konfliktne točke križanja na ulazima i izlazima iz kružnog raskrižja (uvjet koji proizlazi iz prometne sigurnosti)

- 4) spiralno izvedena tlocrtna signalizacija mora biti oblikovana na način da postupno prelazi iz manjeg (unutrašnjeg) na veći (vanjski) polumjer (uvjet koji proizlazi iz udobnosti vožnje) [3,7].

**Dodatni uvjeti su:**

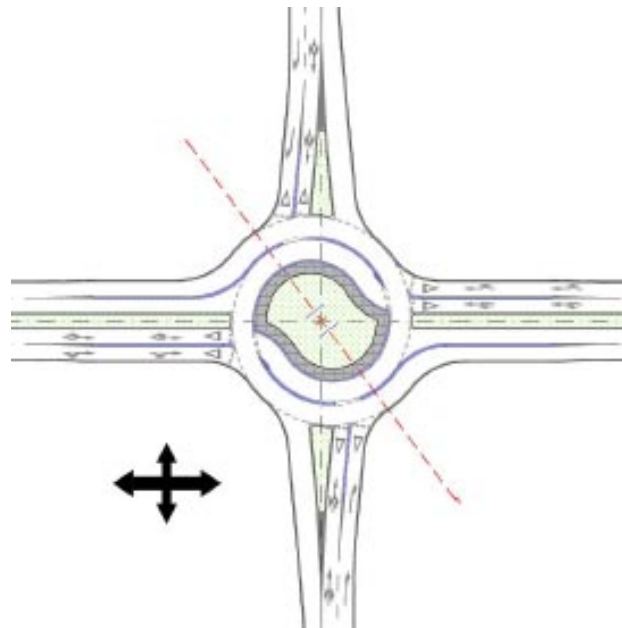
- 1) na glavnim prometnim smjerovima su izlazi izvedeni s po dva vozna traka, a na sporednim prometnim smjerovima izlazi mogu biti dvotračni ili jednotračni (uvjet koji proizlazi iz propusne moći)
- 2) na svakom kružnom segmentu (dijelu kružnog kolnika između jednog ulaza i sljedećeg izlaza iz kružnog raskrižja) može postojati samo jedna točka odnosno mjesto na kojem vozač može odlučiti da li će kružno raskrižje napustiti ili nastaviti s vožnjom po kružnom kolnik (uvjet koji proizlazi iz prometne sigurnosti) [3,7].

Za svako kružno raskrižje kojeg namjeravamo rekonstruirati u turbo kružno raskrižje potrebno je provjeriti da li ispunjava sve prije navedene uvjete [7].

### **3.2. Tipovi turbo kružnih raskrižja**

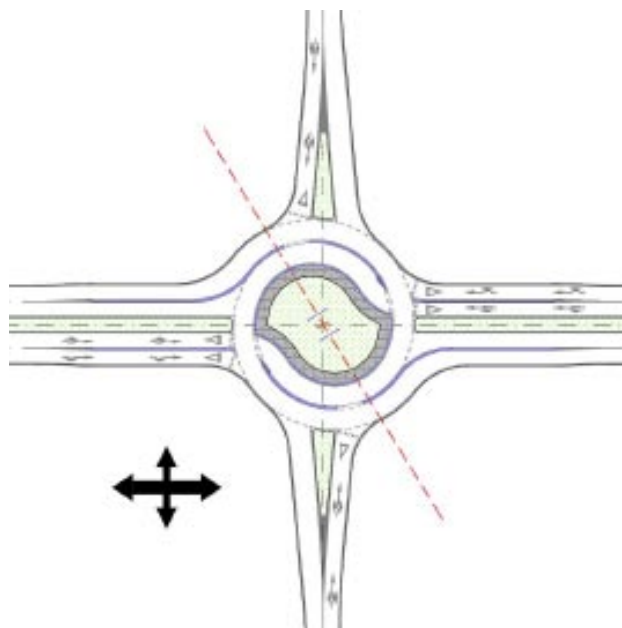
Postoji više vrsta turbo kružnih raskrižja, koji se međusobno razlikuju s obzirom na prevladavajući smjer glavnog prometnog toka. Odabir tipa kružnog raskrižja zavisi dakle od smjera prevladavajućeg prometnog toka (slika 3.2., 3.3., 3.4., 3.5., 3.6, 3.7., 3.8.) [7].

- **Standardno turbo kružno raskrižje** (Slika 3.2.) ima uvijek na glavnom smjeru dvije ulazne i dvije izlazne vozne trake. Sporedni smjer ima dvije ulazne i jednu izlaznu traku [3].



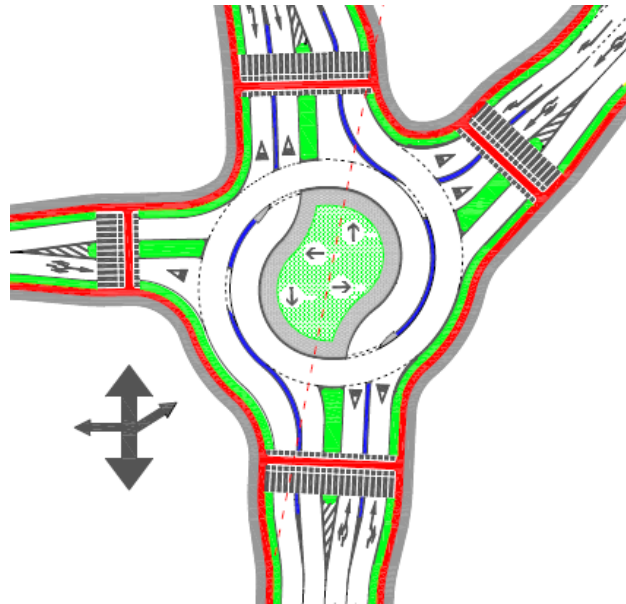
Slika 3.2. Standardno turbo kružno raskrižje [7]

- **Jajasto turbo kružno raskrižje** (Slika 3.3.) ima uvijek na glavnom smjeru dvije ulazne i dvije izlazne vozne trake. Sporedni smjer ima i na ulazu i na izlazu jednu traku [3].



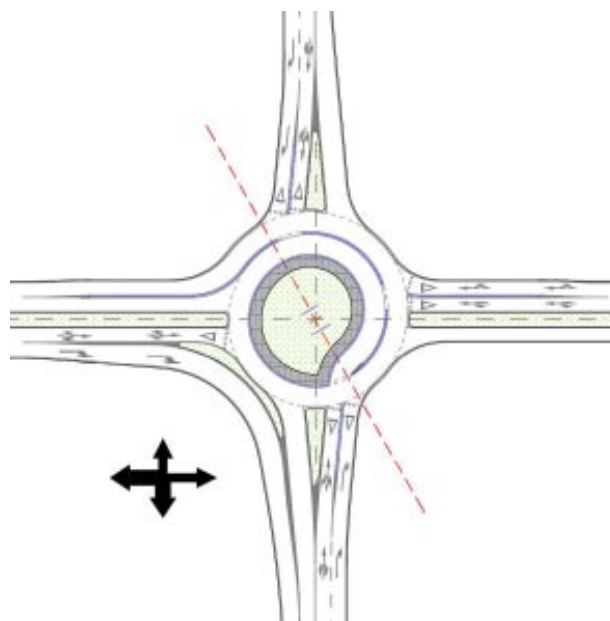
Slika 3.3. Jajasti turbo kružni tok [7]

- **Kombinacija standardnog i jajastog tipa turbo kružnog raskrižja** (Slika 3.4.) gdje glavni smjer ima dvije ulazne i dvije izlazne vozne trake, a na jednom sporednom privozu ima jednu ulaznu i jednu izlaznu traku, dok na drugom sporednom privozu ima dvije ulazne, a jednu izlaznu traku.



Slika 3.4. Kombinacija standardnog i jajastog oblika turbo kružnog raskrižja

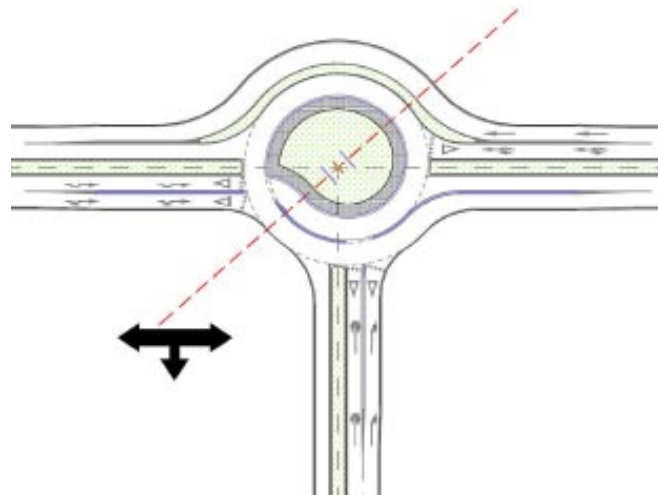
- **Koljenasto turbo kružno raskrižje** (Slika 3.5.) se primjenjuje u situacijama kada glavni prometni tok skreće. Lijevo skrećući tok ima dvije trake na raspolaganju kao i suprotni desno skrećući. Ostali trakovi mogu biti jednostrani ili dvotračni [3].



Slika 3.5. Koljenasti turbo kružni tok [7]

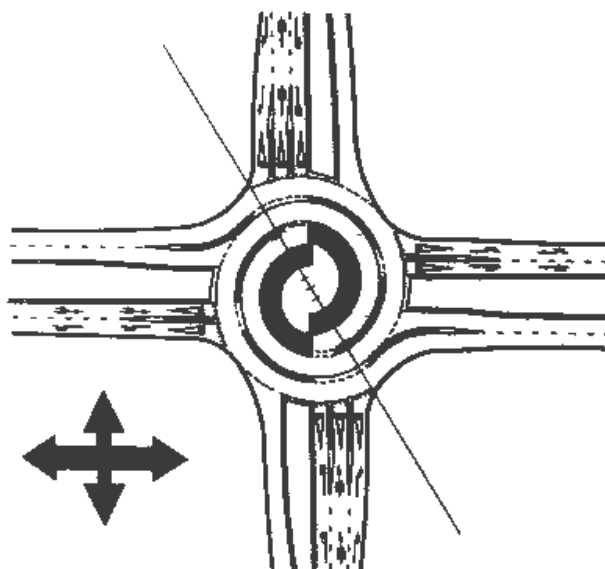


- **Rastegnuto koljenasto turbo kružno raskrižje** (Slika 3.6.) se primjenjuje u situacijama kada ima samo tri privoza, gdje glavni tok ne treba ući u kružno raskrižje, već treba samo posebnom trakom koja je odvojena delineatorom ili zelenim pojasom prijeći u drugi privoz.



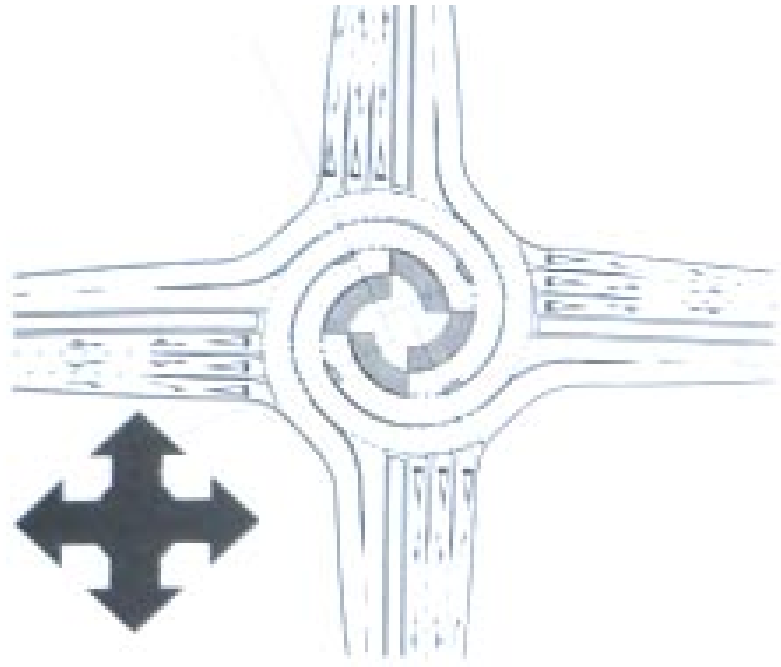
Slika 3.6. Rastegnuti koljenasti turbo kružni tok [7]

- **Spiralno turbo kružno raskrižje** (Slika 3.7.) se primjenjuje u situacijama kada je glavni i sporedni smjer jako opterećen, te su potrebne tri trake na ulazima. Izlazi mogu biti jednostručni ili dvotračni [3].



Slika 3.7. Spiralni turbo kružni tok [3]

- **Turbina kružno prometno raskrižje** (Slika 3.8.) se primjenjuje u situacijama kada su oba smjera podjednako i jako opterećena. Tada svi ulazi imaju po tri trake, a dvije trake pri izlazu [3].



Slika 3.8. Turbina turbo kružni tok [3]

### 3.3. Projektno oblikovni elementi turbo kružnih raskrižja

Geometrijski oblik turbo kružnog raskrižja formira se pomoću tako zvanog „turbo bloka“. To je blok ili skup svih potrebnih polumjera koje je potrebno na određeni način zarotirati i na taj način definirati trajektorije kretanja ili vozne linije, odnosno, vozne trakove [7].

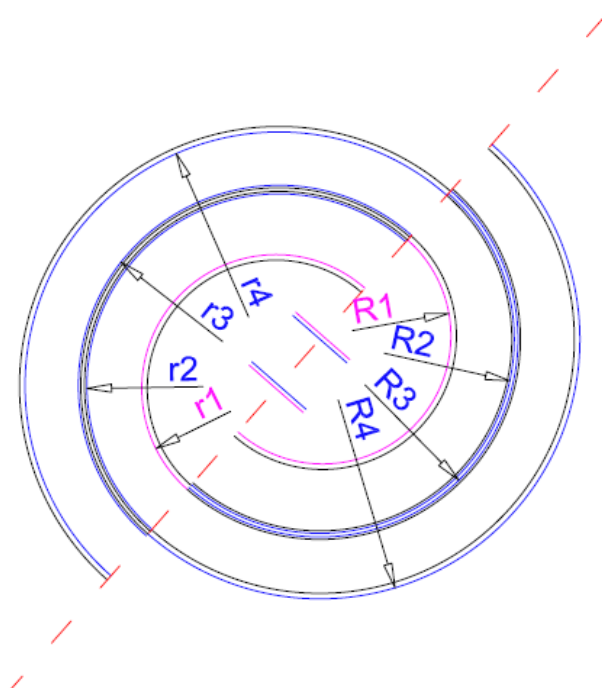
#### ❖ Veličina polumjera turbo kružnog raskrižja

Turbo kružno raskrižje ima više polumjera. Veličinu polumjera turbo kružnog raskrižja i širinu kružnog voznog traka potrebno je izabrati tako da brzina vožnje kroz raskrižje bude između 35 km/h i 37 km/h. Preporučene dimenzije turbo kružnih raskrižja su ovisno o veličini turbo kružnog raskrižja prikazane u tablici 3.1. Glavni geometrijski elementi, odnosno, polumjeri turbo kružnog raskrižja su označeni na slici 3.9. i 3.10. i prikazani su u tablici 3.2. i 3.3 [7].

Tablica 3.1. Preporučene dimenzije turbo kružnog raskrižja u ovisnosti o njegovoj veličini [3,7]

ELEMENTI TURBO KRUŽNOG RASKRIŽJA				
Element	Mini	Standardno	Srednje veliko	Veliko
[m]				
$R_1$	10.45	12.00	14.95	19.95 (21.70)
$R_2$	15.85	17.15	20.00	24.90 (27.10)
$R_3$	16.15	17.45	20.30	25.20 (27.40)
$R_4$	21.20	22.45	25.25	29.95 (32.80)
$r_1$	10.95	12.50	15.45	20.45
$r_2$	15.65	16.95	19.80	24.70
$r_3$	16.35	17.65	20.50	25.40
$r_4$	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	4.70 (5.50)

Napomena uz tablicu 3.1.: Vrijednosti u zagradama su vrijednosti polumjera s dodatnim razdjelnim trakama u velikom turbo kružnom raskrižju!



Slika 3.9. Glavni projektni elementi – polumjeri turbo kružnog raskrižja

Tablica 3.2. Polumjeri „R“ turbo kružnog raskrižja mini veličine [3,7]

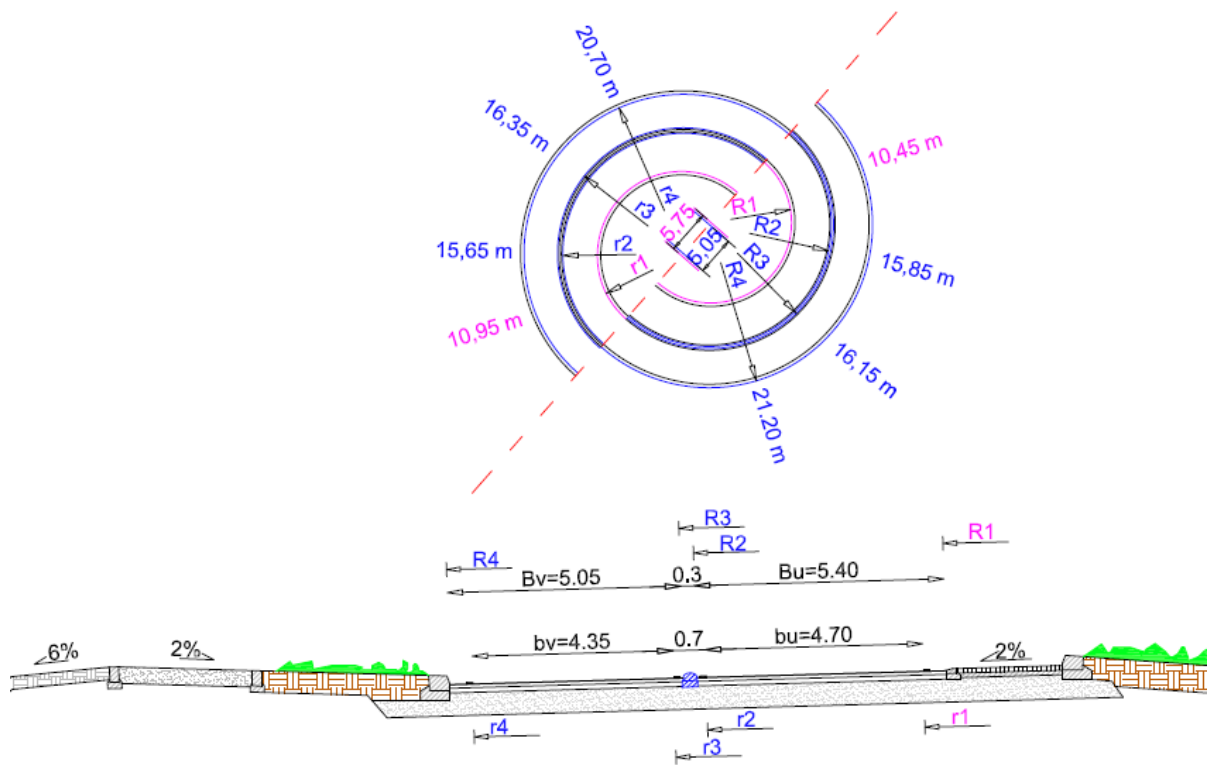
Polumjer unutrašnjeg ruba povoznog dijela središnjeg otoka (preporučena širina povozne površine (uvjetno povozni dio središnjeg otoka) 2,5 metara)	$R_0 = 7.95$ (m)
Polumjer unutrašnjeg ruba kolnika (unutrašnja traka)	$R_1 = 10.45$ (m)
Polumjer vanjskog ruba kolnika (unutrašnjeg traka), ujedno rub 30 cm širokog razdjelnog otoka (delineatora)	$R_2 = 15.85$ (m)
Polumjer unutrašnjeg ruba kolnika (vanjskog traka), ujedno rub 30 cm širokog razdjelnog otoka	$R_3 = 16.15$ (m)
Polumjer vanjskog ruba kolnika (vanjskog traka)	$R_4 = 21.20$ (m)

Tablica 3.3. Polumjeri „r“ turbo kružnog raskrižja mini veličine [3,7]

Polumjer unutrašnjeg ruba (na voznoj strani) rubne crte širine 0,15 m (ukupna širina rubnog traka 0,45 metara)	$r_1 = 10.95$ (m)
Polumjer unutrašnjeg ruba (na voznoj strani) rubne crte uz 30 cm široki razdjelni otok širine 0,10 m (ukupna širina rubnog traka 0,20 m)	$r_2 = 15.65$ (m)
Polumjer unutrašnjeg ruba (na voznoj strani) rubne crte uz 30 cm široki razdjelno otok širine 0,10 m (ukupna širina rubnog traka 0,20 m)	$r_3 = 16.35$ (m)
Polumjer unutrašnjeg ruba (na voznoj strani) rubne crte širine 0,15 m (ukupna širina rubnog traka 0,45m)	$r_4 = 20.70$ (m)

Širina asfaltne površine unutrašnjeg kružnog voznog traka je  $B_u = 5.40$  metara , a vanjskog  $B_v = 5.05$  metara. Širine između rubnih crta su  $b_u = 4.70$  metara i  $b_v = 4.35$  metara. Udaljenost između vanjskih točaka transakcije osovine je  $D_v = 5.75$  metara, a između unutrašnjih točaka  $D_u = 5.05$  metara (Slika 3.10.) [3,7].

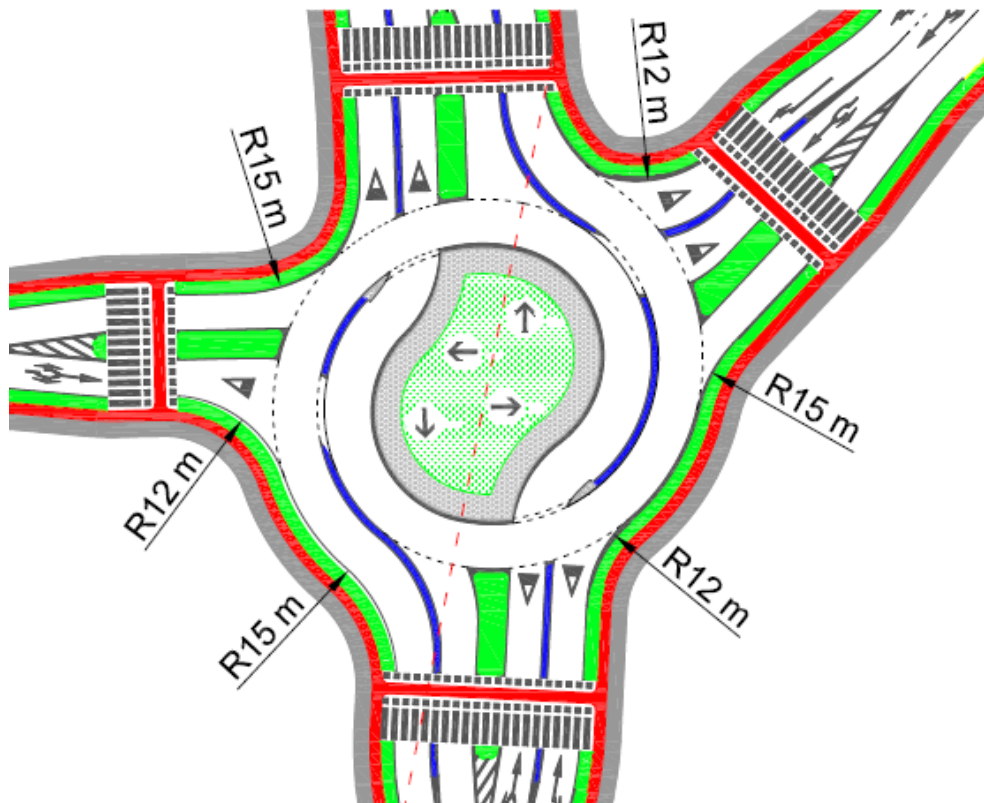
Polumjeri su izabrani tako da se rubne crte priključuju jedna na drugu. U slučaju da je turbo kružno raskrižje trotračno ( a ne dvotračno), po analogiji se izračunaju još i  $R_5$  i  $R_6$  [7].



Slika 3.10. Elementi i dimenzije mini turbo kružnog raskrižja

❖ Polumjeri ulaznih i izlaznih krivina

Polumjeri ulaznih i izlaznih krivina se izabiru u ovisnosti o veličini turbo kružnog raskrižja, mjerodavnog vozila i željene brzine vožnje kroz turbo kružno raskrižje. Veličine polumjera ulaznih i izlaznih krivina moraju biti u odgovarajućem međuodnosu. Polumjer ulazne krivine mora uvijek biti manji od polumjera izlazne krivine. Polumjer ulazne krivine u turbo kružno raskrižje ne bi trebao biti manji od  $R_u = 12$  metara, a polumjer izlazne krivine ne bi trebao biti manji od  $R_i = 15$  metara, niti veći od najvećeg polumjera kružnog raskrižja (Slika 3.11) [7].

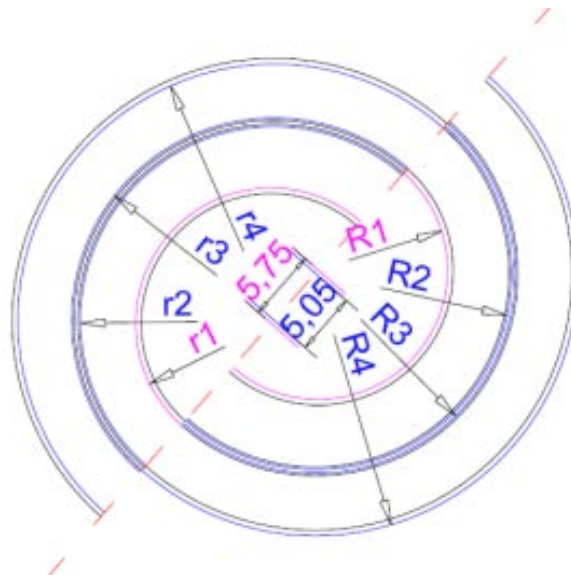


Slika 3.11. Polumjeri ulaznih i izlaznih krivina

❖ Određivanje lokacija središta kružnih lukova vanjskih polumjera

Geometrijski oblik turbo kružnog raskrižja formira se pomoću tako zvanih „turbo bloka“. To je blok ili skup svih potrebnih polumjera koje je potrebno na određeni način zarotirati i na taj način dobiti potencijalne trajektorije kretanja, odnosno, formirati vozne trakove. „Turbo blok“ sadrži (osim svih polumjera) i tako zvane transakcijsku osovinu. Transakcijska osovina je osovina kojom se izvodi i pomicanje, odnosno, rotiranje polumjera. Pomicanje, odnosno rotiranje polumjera ovisi o broju priključnih cesta (tri ili četiri), širini kružnog voznog traka i lokaciji rubova [3,7].

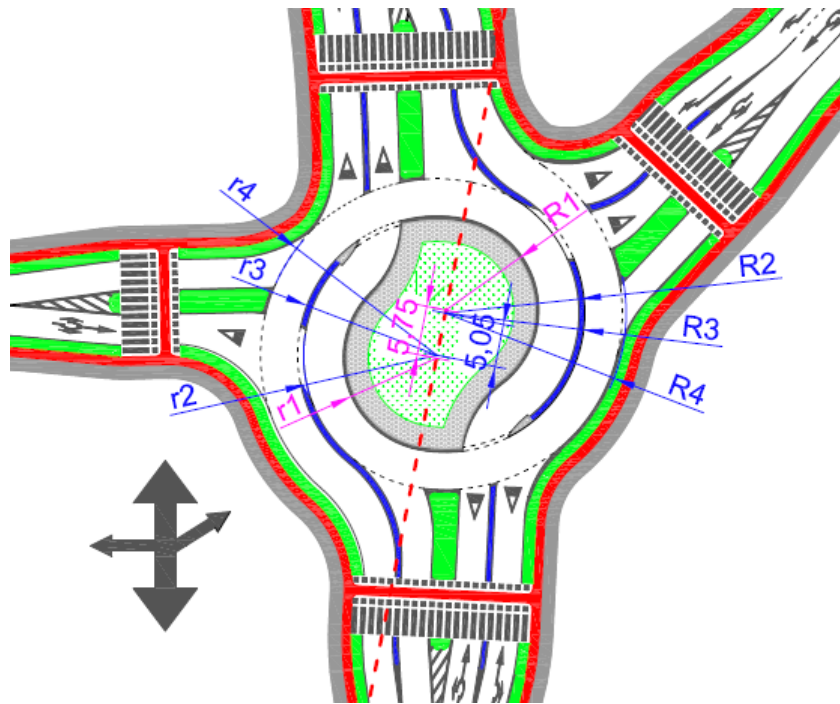
Udaljenost između vanjskih točaka translacije osovine kod mini turbo kružnog raskrižja iznosi 5,75 metara, a između unutrašnjih točaka 5,05 metara (Slika 3.12.). U slučaju turbo kružnih raskrižja drugih dimenzija, udaljenost između točaka potrebno je izračunati, uzimajući u obzir dimenzije polumjera, navedena u tablici 3.1. [3,7].



Slika 3.12. Udaljenost između vanjskih i unutrašnjih točaka translacijske osovine mini turbo kružnog raskrižja

Polumjeri moraju biti izabrani tako da se prilikom formiranja spiralnog toka rubne crte priključuju jedna na drugu. Prilikom konstrukcije „turbo bloka“, polumjer  $R_1$  formira se iz točaka na udaljenosti  $D_v = 5.75$  metara, a polumjeri  $R_2, R_3, R_4$  iz točaka na udaljenosti  $D_u = 5.05$  metara. Takva kružnica omogućava da kružnica polumjera  $R_1$  na jednoj strani transakcijske osovine prelazi u kružnicu polumjera  $r_2$  na drugoj strani transakcijske osovine (Slika 3.12). Isto tako i kružnica  $r_3$  na jednoj strani transakcijske osovine prelazi u kružnicu polumjera  $R_4$  na drugoj strani transakcijske osovine [3,7].

Središte „turbo bloka“ potrebno je locirati tako da se omogući radijalni priključak svih ulaza u turbo kružno raskrižje (Slika 3.13) [3,7].



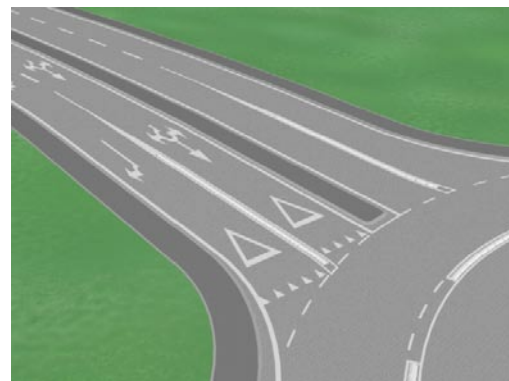
Slika 3.13. Oblikovanje turbo kružnog raskrižja pomoću „turbo bloka“

❖ Središnji razdjelni otok na priključnoj cesti

Središnji razdjelni otok na priključnoj cesti prema turbo kružnom raskrižju pozitivno utječe na sigurnost kako motoriziranih tako i nemotoriziranih sudionika u prometu, a poboljšava i protočnost turbo kružnog raskrižja. Središnji razdjelni otok na priključnoj cesti ima funkciju usmjeravanja vozila na ulazu u turbo kružno raskrižje, a ujedno i funkciju zaštite pješaka i biciklista prilikom prelaska ceste turbo kružnog raskrižja. Stoga je njihova primjena u turbo kružnom raskrižju obavezna. U turbo kružnom raskrižju moguća je primjena razdjelnih otoka trokutastog (slika 3.14.), kapljastog (slika 3.15.) ili ljevkastog oblika [7].



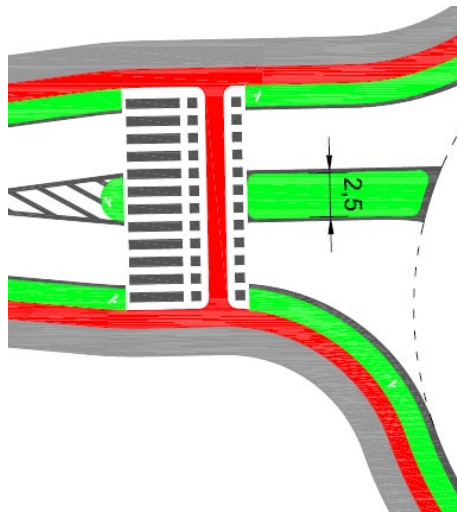
Slika 3.14. Trokutasti oblik [7]



Slika 3.15. Kapljasti oblik [7]



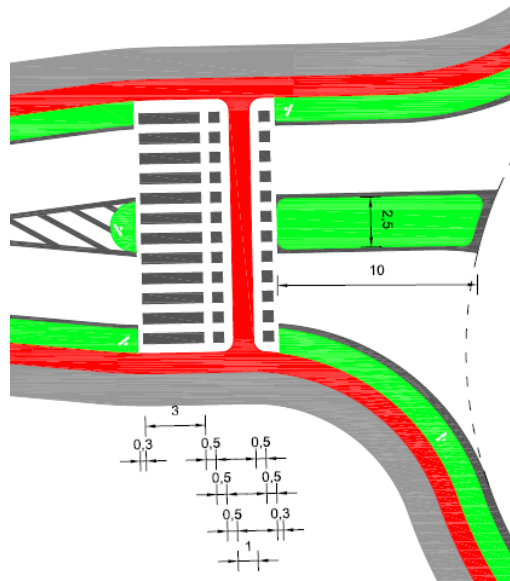
Primjena središnjeg razdjelnog otoka kapljastog oblika dozvoljena je samo u turbo kružnim raskrižjima bez prisutnosti nemotoriziranih sudionika u prometu. Preporučuje se da je središnji razdjelni otok trokutastog oblika na širem mjestu gdje ga presijeca prijelaz za pješake i bicikliste širine barem 2 metra ( dužina dječjih kolica i osobe koja ga vozi plus sigurnosna širina , dužina muškog bicikla plus sigurnosna širina), a minimalna širina na mjestu postavljanja prometnih znakova i ploče za označavanje prometnog otoka mora iznositi barem 1.2 metra. Dok po nizozemskoj metodi širina razdjelnih otoka iznosi minimalno 2.5 metara (slika 3.16) [7].



Slika 3.16. Širina razdjelnog otoka

#### ❖ Prijelaz za pješake i/ili bicikliste

Primjena prijelaza za pješake i/ili bicikliste u turbo kružnim raskrižjima osnovno je rješenje za postizanje sigurnog kretanja pješaka i/ili biciklista prilikom prelaska kraka turbo kružnog raskrižja. Prijelazi moraju biti izvedeni tako da na sebe privuku što veći broj korisnika, odnosno, povezani sa pješačkim i/ili biciklističkim površinama u zoni raskrižja, kako bi se spriječila nepravilna prelaženja ceste. Prijelazi se izvode na određenoj udaljenosti od vanjskog ruba turbo kružnog raskrižja. Preporučena udaljenost između vanjskog ruba turbo kružnog raskrižja i prijelaza jednaka je dužini jednog do tri osobna vozila (5.0 – 15.0 metara) (Slika 3.17.) [7]. Širina pješačkog nogostupa i biciklistička staza su istih dimenzija kao i kod izvedbe klasičnih kružnih raskrižja.



Slika 3.17. Prijelaz za pješake i bicikliste

#### ❖ Pothodnici i nathodnici

Pothodnici i nathodnici su rješenje koje se preporučuje:

- U slučaju turbo kružnog raskrižja sa dvije ulazne i dvije izlazne trake
- Kada krak turbo kružnog raskrižja presijeca stambenu zonu
- Kada je na jednoj strani kraka turbo kružnog raskrižja stambena, a na drugoj strani poslovna ili neka druga zona, koja na sebe privlači veliki broj nemotoriziranih sudionika u prometu
- Ukoliko se ustanovi da ni jedno od rješenja (bez dodatnih razdjelnih otoka na ulazu/izlazu, s dodatnim razdjelnim otocima na ulazu/izlazu) ne bi omogućilo dostatnu razinu prometne sigurnosti nemotoriziranih sudionika u prometu ili
- U situaciji kada se ustanove prevelika vremena čekanja motornih vozila na ulazima/izlazima ili
- U situacijama kada su zone za čekanje na razdjelnim otocima premale za očekivani broj pješaka/biciklista [3,7].

#### ❖ Središnji otok

Središnji otok turbo kružnog raskrižja je u pravilu sastavljen od tri dijela (slika 3.18.):

- Pvoznog dijela

- Uvjetno povoznog dijela
- Nepovoznog dijela [7]

**Povozni dio središnjeg otoka** predstavlja rubnjak od predgotovljenih betonskih elemenata, koji čine prijelaz s kružnog prometnog traka na uvjetno povozan dio središnjeg otoka. Na vanjskom dijelu, gdje graniči s kružnim prometnim trakom, od njega je obavezno viši za 2-3 cm („zub“), a unutrašnji dio uvjetno povoznog dijela središnjeg otoka je viši za 10-12 cm [7].

**Uvjetno povozni dio središnjeg otoka** ima dvije uloge. Prva je ta da se na njemu mogu zaustaviti vozila u nužnim slučajevima. Drugi je taj da se na njemu mogu zaustaviti intervencijska vozila. Izveden je od materijala, odnosno elemenata koji vozače odvraćaju od vožnje po njemu, a ujedno još uvijek omogućava zaustavljanje vozila u nužnim slučajevima. Izveden je u nagibu 4-7 % prema vanjskom rubu turbo kružnog raskrižja, a širine je od 2.0 – 2.5 metara. Na vanjskom dijelu se spaja sa unutrašnjim rubom povoznog dijela središnjeg otoka, na istoj visini kao unutrašnji rub povoznog dijela središnjeg otoka. Na unutrašnjem dijelu se spaja sa predgotovljenim betonskim elementima (rubnjacima), koji su viši za 10 – 12 centimetara od unutrašnjeg ruba uvjetno povoznog dijela središnjeg otoka [7].

**Nepovozni dio središnjeg otoka** u turbo kružnom raskrižju nema nikakvu ulogu u odvijanju prometa i u tom smislu predstavlja suvišan prazni prostor. Na nepovoznom djelu središnjeg otoka mogu se primijeniti fontane, spomenici, skulpture i drugi objekti samo ako time nije smanjena preglednost. Ukoliko u središnjem otoku nije primijenjen nikakav sadržaj, nepovozni dio središnjeg otoka mora se izvesti kao zemljana kupola ili zasaditi grmlje ili izvesti bilo koja druga mjera, kojom se sprječava zasljepljivanje vozača na suprotnim cestama noću [7].

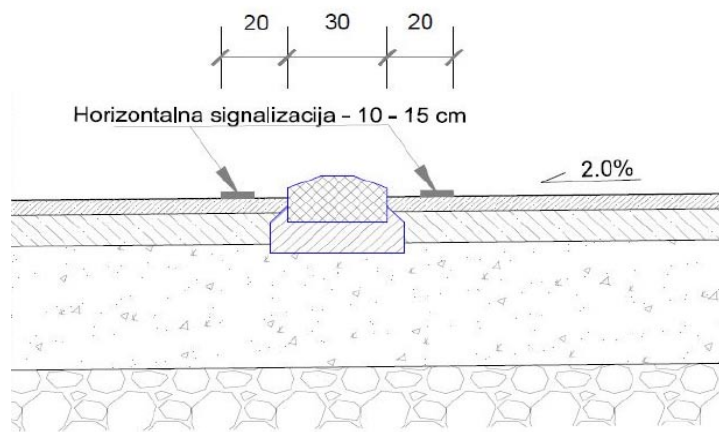


Slika 3.18. Dijelovi središnjeg otoka turbo kružnog raskrižja [7]

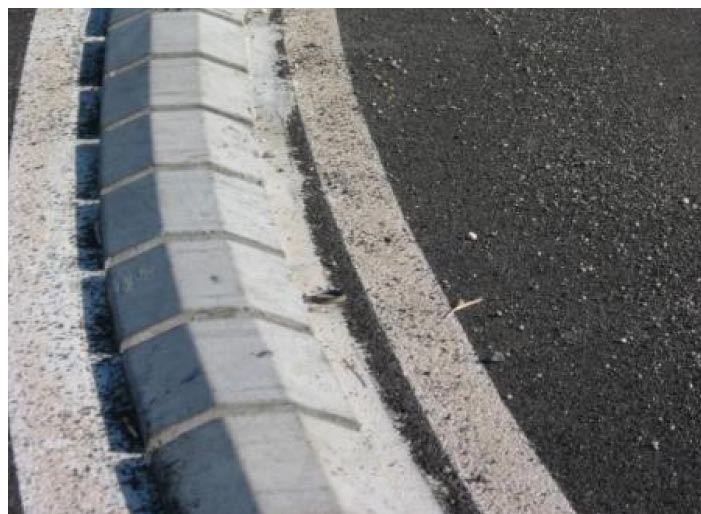
## ❖ Specifični projektni elementi turbo kružnog raskrižja

Među posebne detalje turbo kružnog raskrižja spadaju (osim posebnih znakova obavijesti za vođenje prometa i oznaka na kolniku za vođenje prometa – strelica) delineator i „špica“ [3,7].

**Delineator** (slika 3.19., 3.20.) u turbo kružnom raskrižju je betonski predgotovljeni element koji sprječava prometni manevar preplitanja prometnih tokova u kružnom kolniku turbo kružnog raskrižja. Visina delineatora iznad razine kolnika iznosi od 5 do 7 cm [3,7].



Slika 3.19. Presjek delineatora i detalj izvedbe [7]

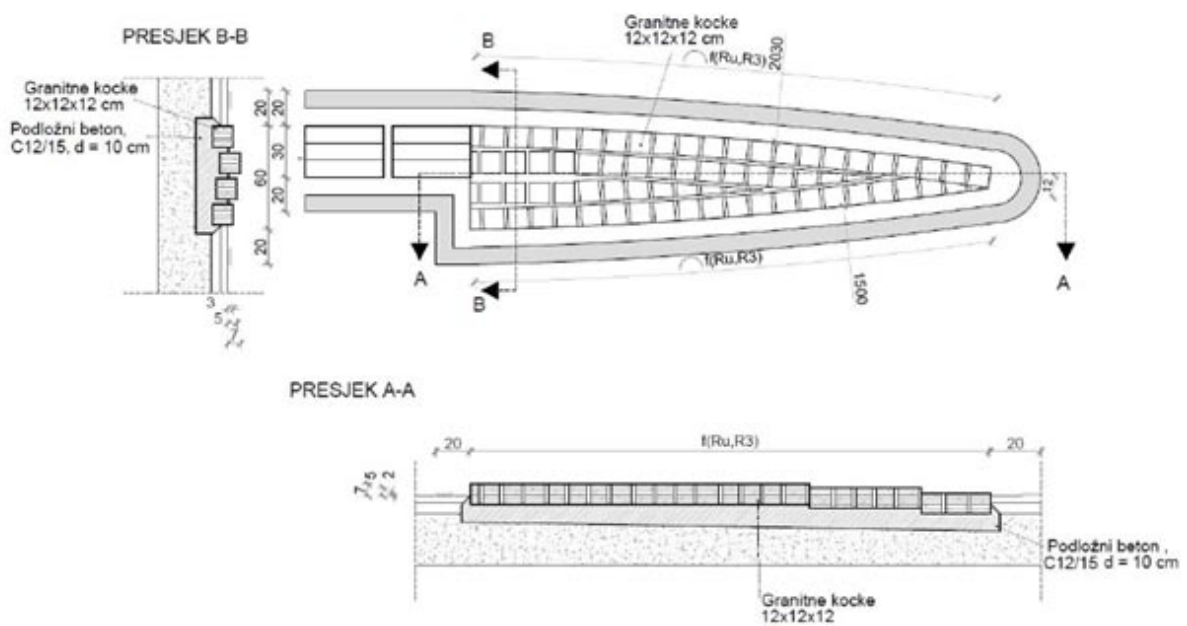


Slika 3.20. Montažni rubnjak – delineator [7]

„Špica“ (slika 3.21., 3.22.) je uređenje početka elementa za sprječavanje prometnog manevra preplitanja prometnih tokova u kružnom kolniku turbo kružnog raskrižja [3,7].

Izvodi se na dva načina:

- U naselju (s malim postotkom teških teretnih vozila) kao koso presječen delineator
- U prijelaznom području i izvan naselja (s većim postotkom teških teretnih vozila) izvedena s granitnim kockama na podložnom betonu (slika 3.22.) [7].



Slika 3.21. Elementi „špice“ [7]



Slika 3.22. Početak montažnog rubnjaka – „špica“ [7]

## 4. METODOLOGIJA UTVRĐIVANJA PROPUSNE MOĆI RASKRIŽJA S KRUŽNIM TOKOM PROMETA

### 4.1. Utvrđivanje propusne moći kružnih raskrižja

❖ Opći uvjeti, propusna moć i razina usluge

Propusna moć, odnosno kapacitet, može se tumačiti kao maksimalni broj vozila koja mogu proći u nekoj jedinici vremena kroz promatrani presjek [1].

$$C_k = \sum_1^n q_{p,n} \text{ [voz/h]} \quad (1)$$

Propusnost ulaznog dijela privoza ( $q_u$ ) određuje broj vozila koja preko njega ulaze u kružno raskrižje u jedinici vremena. Proračun propusne moći privoza može se prikazati analitički, a ovisi o količini i svojstvima prometa s kružnim tokom [1].

$$C_p = \frac{q_k \cdot e^{-q_k \cdot t_k / 3600}}{1 - e^{-q_k \cdot t_f / 3600}} \text{ [voz/h]} \quad (2)$$

gdje je:

- $C_p$  – propusna moć privoza [voz/h]
- $q_k$  – prometno opterećenje na kružnom kolniku [voz/h]
- $t_k$  – interval (vremenska praznina u glavnom toku) koji omogućuje ulazak u kružni tok,
- $t_k = 4,1$  do  $4,6$  [s]
- $t_f$  – interval između ulaska u kružni tok,  $t_f = 2,6$  do  $3,1$  [s] [1].

Potrebno je napomenuti da se prometno opterećenje, volumen ili intenzitet prometa [voz/h] definira kao broj vozila koji prođu promatrani presjek ceste u zadanom vremenskom intervalu [8].

Razina usluge (RU, eng. Level of service – LOS) je kvalitativna mjera koja opisuje operativne uvjete prometnog toka prema percepciji odnosno opažanjima korisnika, a određuje se prema izračunatim ili izmjerenim prosječnim vrijednostima kontrole kašnjenja za pojedine

prometne trakove privoza (tablica 4.1.) Definirano je šest razina usluga, od A do F. razina usluge A predstavlja najbolje operativne mjere, a razina F najlošije [8].

Tablica 4.1. Određivanje razine usluge na temelju prosječnog vremena kašnjenja [6]

Razina usluge za $x \leq 1,0$	Prosječno vrijeme kašnjenja [s/voz]	Razina usluge za $x \geq 1,0$
A	0 – 10	F
B	> 10 – 15	F
C	> 15 – 25	F
D	> 25 – 35	F
E	> 35 – 50	F
F	> 50	F

Bez obzira na vrijednost kontrole kašnjenja, iz tablice 4.1. je vidljivo da ukoliko je stupanj zasićenja veći od 1,0 razina usluge je uvijek F.

## 4.2. Metode utvrđivanja propusne moći za motorizirani promet

U zadnjih 40-ak godina intenzivirala su se istraživanja u pogledu propusne moći i razine prometne usluge kružnih raskrižja koja su rezultirala razvojem mnogobrojnih specifičnih matematskih metoda prilagođenim prema specifičnostima promatranih područja istraživanja. Sukladno tome, matematske metode ugrađene su u razne simulacijske programe za modeliranje propusne moći i ostalih osobitosti kružnih raskrižja, kao što su npr. ARCADY, CAPACITO, RODEL, SIDRA, KREISEL, GIRABASE, PTV VISSIM i dr. Međutim, prema potrebno je naglasiti da svaki od tih programa sadrži različite teorijske pristupe te načine prikupljanja i obrade prometnih podataka što dovodi do različitih analitičkih odnosno izlaznih rezultata [9].

Highway Capacity Manual 2010 – analitička metoda za proračun propusne moći kružnih raskrižja po Highway Capacity Manual 2010 predstavlja određenu bitnu nadopunu HCM metode iz 2000-te godine. Nadopunjena metoda temelji se na provedenim istraživanjima i SAD-u koja su obuhvatila 31 kružno raskrižje, a najznačajniji rezultati su u dokumentu [4].

Propusna moć ulaza jednotračnog kružnog raskrižja sa jednotračnim privozima određuje se na temelju konfliktnih tokova  $v_{c,x}$ . konfliktna situacija definira se kao zbroj svih konfliktnih točaka koje su uzrokovane prometnim radnjama isplitanja, uplitanja, preplitanja i križanja prometnih tokova na površini raskrižja. Prema tome, konfliktni prometni tok kružnog raskrižja predstavljaju dva ili više prometna toka koja su u konfliktu zbog prometnih radnji uplitanja, isplitanja ili presijecanja prometnih tokova na površini kružnih raskrižja. Volumen vozila u satu [voz/h] za svako kretanja prometnog toka izražava se u ekvivalentnim jedinicama putničkih automobila po satu [PAJ/h] (eng. [pc/h]) na način da svako vozilo ima određeni koeficijent ekvivalentnih jedinica (eng. Passenger Car Equivalent,  $E_T$ ) [5,8,10].

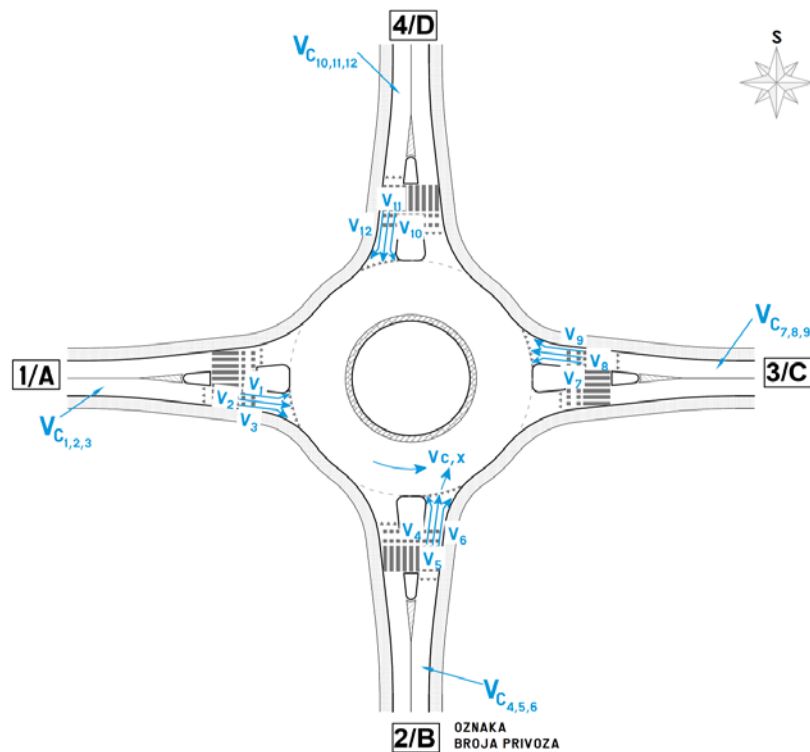
Intenzitet ulaza svakog privoza potrebno je odrediti prema mjerodavnom prometnom opterećenju odnosno putem brojanja prometa u vršnim prometnim opterećenjima prema slici 4.1.

$$\begin{aligned} \text{privoz 1} &\rightarrow Q_1 = V_1 + V_2 + V_3 \\ \text{privoz 2} &\rightarrow Q_2 = V_4 + V_5 + V_6 \\ \text{privoz 3} &\rightarrow Q_3 = V_7 + V_8 + V_9 \\ \text{privoz 4} &\rightarrow Q_4 = V_{10} + V_{11} + V_{12} \\ Q_{\text{RKT}} &= (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) * 10 \text{ [voz/dan]} \quad (3) \end{aligned}$$

gdje je:

- $Q_{\text{RKT}}$  – procjena prometne potražnje (PGDP) raskrižja [voz/dan],
- $Q_{(1-4)}$  – intezitet ulaza privoza [voz/h],
- $V_{(1-12)}$  – stvarni intezitet pojedinog manevra [voz/h].





Slika 4.1. Oznake broja privoza i pripadajuća podjela prometnih tokova za potrebe modela [5]

Intenzitet pojedinog manevra  $x$  (od 1 do 12) određuje se na sljedeći način:

$$v_x = \frac{V_x}{PHF} \quad (4)$$

gdje je:

- $v_x$  – intezitet za manevar  $x$  (od 1 to 12) [voz/h],
- $V_x$  – stvarni intezitet pojedinog manevra  $x$  (od 1 to 12) [voz/h],
- PHF – faktor vršnog sata (eng. peak hour factor).

Način određivanja odnosno pretvorbe volumena vozila [voz/h] u jedinice putničkog automobila [PAJ/h] prikazan je u slijedećim jednadžbama:

$$V_{x,PAJ} = \frac{V_x}{f_{x,HV}} \quad (5)$$

$$f_{x,HV} = \frac{1}{1 + P_{HV} (E_T - 1)} \quad (6)$$

$$\text{privoz 1} \rightarrow Q_{1,PAJ} = v_{1,PAJ} + v_{2,PAJ} + v_{3,PAJ}$$

$$\text{privoz 2} \rightarrow Q_{2,PAJ} = v_{4,PAJ} + v_{5,PAJ} + v_{6,PAJ}$$

$$\begin{aligned} \text{privoz 3} &\rightarrow Q_{3,\text{PAJ}} = v_{7,\text{PAJ}} + v_{8,\text{PAJ}} + v_{9,\text{PAJ}} \\ \text{privoz 4} &\rightarrow Q_{4,\text{PAJ}} = v_{10,\text{PAJ}} + v_{11,\text{PAJ}} + v_{12,\text{PAJ}} \quad (7) \end{aligned}$$

gdje je:

- $Q_{(1-4),\text{PAJ}}$  – intezitet ulaza privoza [PAJ/h],
- $v_{x,\text{PAJ}}$  – intezitet za manevar x (od 1 to 12) [PAJ/h],
- $v_x$  – intezitet za manevar x (od 1 to 12) [voz/h],
- $f_{x,\text{HV}}$  – faktor prilagodbe za teška vozila,
- PHV – postotak teških vozila,
- $E_T$  – koeficijent ekvivalentnih jedinica = 2.

Nakon pretvorbe intenziteta u PAJ jedinice potrebno je odrediti intenzitete konfliktnih tokova raskrižja,  $v_c$ :

$$\begin{aligned} \text{privoz 1} &\rightarrow v_{c1,\text{PAJ}} = v_{7,\text{PAJ}} + v_{10,\text{PAJ}} + v_{11,\text{PAJ}} \\ \text{privoz 2} &\rightarrow v_{c2,\text{PAJ}} = v_{1,\text{PAJ}} + v_{2,\text{PAJ}} + v_{10,\text{PAJ}} \\ \text{privoz 3} &\rightarrow v_{c3,\text{PAJ}} = v_{1,\text{PAJ}} + v_{4,\text{PAJ}} + v_{5,\text{PAJ}} \\ \text{privoz 4} &\rightarrow v_{c4,\text{PAJ}} = v_{4,\text{PAJ}} + v_{8,\text{PAJ}} + v_{9,\text{PAJ}} \quad (8) \end{aligned}$$

gdje je:

- $v_{(1-12),\text{PAJ}}$  – intezitet za manevar x (od 1 to 12) [voz/h],
- $v_{(1-4)c,\text{PAJ}}$  – konfliktni tok za pojedini privoz [voz/h].

Za napomenuti je da se kružna raskrižja često koriste i za polukružna okretanja, pa stoga moguće polukružne tokove treba uključiti u konfliktno tokove.

Propusna moć svakog ulaznog dijela privoza ovisna je o pripadajućem konfliktnom toku:

$$C_u = 1,130 \cdot e^{(-1,0 \cdot 10^{-3}) \cdot v_{e,x}} \quad (9)$$

gdje je:

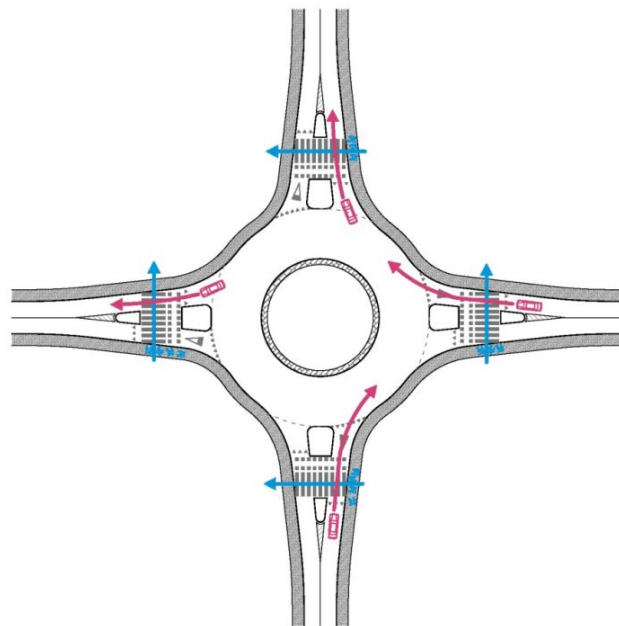
- $C_u$  – propusna moć ulaza privoza [PAJ/h]
- $v_{e,x}$  – konfliktni prometni tok manevra x [PAJ/h].

Tablica 4.2. Koeficijenti ekvivalentnih jedinica vozila prema [8]

Vrsta vozila	Koeficijent ekvivalentnih jedinica vozila [E <sub>T</sub> ]
Osobno vozilo	1,0
Teško vozilo	2,0
Motor	0,5

Nemotorizirani promet bitno utječe na propusnu moć kružnog raskrižja, pa ih je zbog toga potrebno sa posebnom pažnjom provjeriti [8].

Vozila koja ulaze i izlaze iz raskrižja moraju dati prednost nemotoriziranom prometu, zbog čega dolazi do ometanja vozila pri ulazu i izlazu iz kružnog raskrižja, s čime se smanjuje kvaliteta raskrižja [1,11].



Slika 4.2. Mjesta ometanja prometnih tokova u kružnom raskrižju [5]

Utjecaj pješачkog prometa na propusnu moć – iskazana je putem faktora prilagodbe u tablici 4.3. i nastavku [8].

Tablica 4.3. Određivanje kapaciteta jednotračnog ulaza privoza s obzirom na intenzitet pješaka [8]

Slučaj	Faktor prilagodbe kapaciteta jednotračnog ulaza privoza
ako je $v_{c,PAJ} > 881$	$f_{pj} = 1$
ako je $n_{pj} \leq 101$	$f_{pj} = 1 - 0.000137n_{pj}$
Za ostale	$f_{pj} = \frac{1,119.5 - 0.715 \cdot v_{c,PAJ} - 0.644 \cdot n_{pj} + 0.00073 \cdot v_{c,PAJ} \cdot n_{pj}}{1,068.6 - 0.654 \cdot v_{c,PAJ}}$

(10)

Za tablicu 4.3. je:

- $f_{pj}$  – faktor prilagodbe za kapacitet ulaza privoza,
- $n_{pj}$  – broj pješaka [pj/h],
- $v_{c,PAJ}$  – konfliktni tok za pojedini privoz [voz/h] [12].

Iz čega slijedi faktor prilagodbe za teška vozila pojedinog privoza  $f_{HVe}$ :

$$f_{(1-4)HVe} = \frac{f_{x,HV,L} \cdot V_{L,PAJ} + f_{x,HV,R} \cdot V_{R,PAJ} + f_{x,HV,D} \cdot V_{D,PAJ}}{V_{L,PAJ} + V_{R,PAJ} + V_{D,PAJ}} \quad (11)$$

Gdje je:

- $f_{(1-4),HV}$  – faktor prilagodbe teških vozila za pojedini privoz,
- $f_{x,HV,L,R,D}$  – faktor prilagodbe teških vozila za pojedini manevar x (lijevo, ravno, desno) [voz/h],
- $V_{L,R,D,PAJ}$  – intenzitet za manevar x (lijevo, ravno, desno) [voz/h].

Nakon toga potrebno je pretvoriti intenzitet ulaza u jedinice [voz/h] u zavisnosti o faktora prilagodbe za teška vozila:

$$V_{(1-4)} = Q_{(1-4),PAJ} \cdot f_{(1-4),HV} \quad (12)$$

Gdje je:

- $V_{(1-4)}$  – stvarni intenzitet pojedinog privoza [voz/h],
- $Q_{(1-4),PAJ}$  – intenzitet ulaza privoza [PAJ/h],
- $f_{(1-4),HV}$  – faktor prilagodbe teških vozila za pojedini privoz.

Stvarni (realni) kapacitet ulaza privoza glasi:

$$C_u = C_{u,PAJ} \cdot f_{HVe} \cdot f_{pj} \quad (13)$$

Gdje je:

- $C_u$  – kapacitet ulaza [voz/h],
- $C_{u,PAJ}$  – kapacitet ulaza [PAJ/h],
- $f_{HVe}$  – faktor prilagodbe teških vozila za pojedini privoz,
- $f_{pj}$  – faktor prilagodbe za kapacitet ulaza privoza.

Stupanj zasićenja – pri analizi propusne moći potrebno je provjeriti stupanj zasićenja privoza  $x$ , koji se dobije iz omjera volumena privoza i propusne moći privoza. Stupanj zasićenja predstavlja usporedbu između potražnje i propusne moći ulaza te pruža izravnu procjenu da li određeno oblikovno rješenje zadovoljava pretpostavljene potrebe. S obzirom da HCM2010 ne definira standarde za stupanj zasićenja, prema svjetskim iskustvima i praksi vrijednosti od 0,85 i 0,90 predstavljaju zadovoljavajući stupanj zasićenja. Pri vrijednostima stupnja zasićenja većim od 0,85 potrebno je provesti i analizu osjetljivosti kako bi se ocijenilo da li skokovite promjene u volumenu utječu na duljinu repa čekanja i vrijeme kašnjenja. Očito je kako pri vrijednostima većima od 0,9 dolazi do zagušenja na privozima [8].

$$x = \frac{v_x [\text{voz} / \text{h}]}{C_u [\text{voz} / \text{h}]} \quad (14)$$

Gdje je:

- $x$  – stupanj zasićenja pojedinog privoza,
- $v_x$  – stvarni intezitet pojedinog privoza [voz/h],
- $C_u$  – kapacitet ulaza [voz/h].

Kontrola kašnjenja je standardni parametar koji se koristi za mjerenje učinkovitosti kružnih i klasičnih raskrižja. Kontrola kašnjenja je potrebno vrijeme koje vozač utroši na; usporenje vozila do zaustavljanja iza zadnjeg vozila u repu čekanja, vrijeme provedeno u repu čekanja, čekanje prihvatljivog trenutka uključivanja u kružni prometni tok, pri čemu ne ugrožava sebe i ostale sudionike u prometu izvršavanjem radnje uključivanja u kružni prometni tok [8].

Jednadžba za prikaz kontrole kašnjenja glasi:

$$d = \frac{3600}{C_u} + 900T \left[ x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_u}\right)x}{450T}} \right] + 5 \cdot \min(x, 1) \text{ [s / voz]} \quad (15)$$

Gdje je:

- $d$  – prosječno vrijeme kašnjenja manevra [s/voz],
- $x$  – stupanj zasićenja pojedinog privoza,
- $C_u$  – kapacitet ulaza [voz/h],
- $T$  – vremenski period (za cijeli sat  $T = 1$ , za 15 minuta  $T = 0,25$ )
- $+ 5 \text{ min}$  se dodaje kada stupanj zasićenja prelazi 1,0 [8].

Posebno treba obratiti pozornost na volumen vozila koja ulaze u kružni kolnik, te da stupanj zasićenja ne prelazi vrijednost 1,0 jer u protivnom kontrola kašnjenja raste eksponencijalno u pogledu većih zasićenja [12]. Određivanje prosječnog vremena kašnjenja za privoz  $1/A$  prikazano je na sljedeći način:

$$d_A = \frac{v_1 \cdot d_1 + v_2 \cdot d_2 + v_3 \cdot d_3}{v_1 + v_2 + v_3} \text{ [s/voz]} \quad (16)$$

Dok je prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja s kružnim tokom prometa u cjelini prikazano na sljedeći način:

$$d_{RKT} = \frac{v_A \cdot d_A + v_B \cdot d_B + v_C \cdot d_C + v_D \cdot d_D}{v_A + v_B + v_C + v_D} \text{ [s/voz]} \quad (17)$$

Gdje je:

- $d_{RKT}$  – prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja s kružnim tokom prometa [s/voz],
- $d_{A\_D}$  – prosječno vrijeme kašnjenja privoza (A do D) [s/voz],
- $v_{A\_D}$  – volumen prometa promatranog privoza (A do D) [voz/h].

Duljina repa čekanja predstavlja bitan parametar oblikovnosti raskrižja s kružnim tokom prometa u pogledu geometrijskih veličina privoza. Definira se kao duljina nakupljanja vozila koja čekaju da uđu u kružni kolnik [8]. Prilikom projektiranja kružnih raskrižja treba voditi

računa da se u 95% slučajeva ne premaši duljina nakupljanja vozila pred ulazom u kružni prometni tok. S obzirom da stupanj zasićenja ne smije prelaziti iznad 1,0, prilikom projektiranja raskrižja treba voditi računa da se uzima pravovaljana duljina nakupljanja vozila. Jednadžba za 95% nakupljanje glasi:

$$Q_{95} = 900T \left[ x - 1 + \sqrt{(1-x)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C_u}\right) \cdot x}{150T}} \right] \left(\frac{C_u}{3600}\right) [\text{voz}] \quad (18)$$

Gdje je:

- $Q_{95}$  – 95% duljina repa čekanja [voz],
- $x$  – stupanj zasićenja pojedinog privoza,
- $C_u$  – kapacitet ulaza [voz/h],
- $T$  – vremenski period (za cijeli sat  $T = 1$ , za 15 minuta  $T = 0,25$ ) [8].

## 5. METODOLOGIJA UTVRĐIVANJA PROPUSNE MOĆI RASKRIŽJA S TURBO KRUŽNIM TOKOM PROMETA

Analitički modeli za proračun propusne moći turbo kružnog raskrižja baziraju se na modificiranim jednadžbama Bovyja i Hagringa. Modifikacije su izvedene na osnovu nizozemskih eksperimenata, izvedenih u realnim uvjetima [7].

### 5.1. Modificirana Bovyjeva jednadžba

Izvorna Bovyjeva jednadžba glasi:

$$Le = \frac{(1500 - 8/9 * (\beta * M_K + \alpha * M_A))}{\gamma} \quad (19)$$

Gdje je:

- $Le$  – propusna moć ulaza [PAJ/h]
- $M_K$  – jakost kružnog prometnog toka [PAJ/h]
- $M_A$  – jakost prometnog toka na izlazu [PAJ/h]
- $\alpha$  – faktor ulaznog prometnog toka u usporedbi s izlaznim [-]
- $\beta$  – faktor broja voznih trakova u kružnom kolniku [-]
- $\gamma$  – faktor broja voznih trakova na ulazima [-] [7].

Raspodjelom prometa u turbo kružnom raskrižju je složenija od raspodjele u jednostranom i dvostanom kružnom raskrižju, stoga je osnovnu Bovyjevu jednadžbu, ukoliko je želimo primijeniti za turbo kružno raskrižje, potrebno modificirati. U nizozemskoj je izabrana baš Bovyjeva jednadžba za proračun propusne moći turbo kružnih raskrižja iz dva glavna razloga:

- Sadrži utjecaj „lijevo skrećućeg prometnog toka“
- Omogućava jednostavno modeliranje raspodjele prometa po voznim trakovima [7].

Kod turbo kružnih raskrižja je , zbog nemogućnosti promjene voznih trakova na kružnom kolniku, raspodjela prometa jasno definirana [7].



Korekcijski faktori utjecaja izlaznog prometnog toka „a“ (u izvornoj jednadžbi  $\alpha$ ) i utjecaja kružnog prometnog toka, različiti su za dva kružna vozna traka u kružnom kolniku [7].

L.G.H. Fortuijn, izumitelj turbo kružnog raskrižja, jednadžbu je modificirao na način da je parametar  $\beta$  podijelio na  $b_1$  – unutrašnji kružni vozni trak i  $b_2$  – vanjski kružni vozni trak. Na taj način se svaki vozni trak može odvojeno unijeti u proračun. Ovisno o raspodjeli jakosti prometnog toka po kružnim voznim trakovima,  $b_1$  i  $b_2$  mogu imati minimalnu ili maksimalnu vrijednost ( $b_{\min}$  i  $b_{\max}$ ) [7].

Modificirana Bovyjeva jednadžba za proračun propusne moći turbo kružnih raskrižja glasi:

$$C_{E,1} = C_0 - b_m * Q_{R,m} - b_M * Q_{R,M} - a_1 * Q_S$$
$$C_{E,2}^* = C_{02}^* - b_2 * Q_{RZ}^* - a_{2,1} * Q_{SN}^* \quad (20)$$

Gdje je:

- Indeks 1 – lijevi prometni trak na ulazu
- Indeks 2 – desni prometni trak na ulazu
- Indeks m – manja od dviju jakosti prometnog toka u kružnom kolniku
- Indeks M – veća od dviju jakosti prometnog toka u kružnom kolniku
- Indeks N – jakost prometnog toka na unutrašnjem voznom traku kružnog kolnika
- Indeks Z jakost prometnog toka na vanjskom voznom traku kružnog raskrižja [7].

Osnovne karakteristike modificirane Bovyjeve metode su:

- Proračun kapaciteta svakog prometnog traka na ulazu vrši se posebno
- Kapacitet pojedinog ulaza je suma kapaciteta pojedinih prometnih trakova na tom ulazu
- Povećanje maksimalnog teoretskog kapaciteta voznog traka na ulazu s 1500 voz/h na 1550 voz/h [7].

Parametri za proračun propusne sposobnosti po modificiranoj Bovyjevoj metodi su:

- $C_0=1550$
- $b_{\max}=0.82$
- $b_{\min}=0.68$

- $a_1=0.21$  (u slučaju da je širina središnjeg razdjelnog otoka 2.5 m)
- $a_2=0.21$  (u slučaju da je širina središnjeg razdjelnog otoka 2.5 m)
- $a_1=0.21$  (u slučaju da je širina središnjeg razdjelnog otoka 7.0 m)
- $a_2=0.21$  (u slučaju da je širina središnjeg razdjelnog otoka 7.0 m)
- osobno vozilo = 1 PAJ
- teretno vozilo = 1.9 PAJ
- teretno vozilo s prikolicom i tegljač = 2.4 PAJ [7].

Usprkos njenoj jednostavnosti, Bovyjeva jednadžba daje prihvatljive rezultate. Jednadžba se smatra jednostavnom zato jer se bazira na geometriji kružnog raskrižja i linearnoj raspodjeli rezultata [7].

## 5.2. Modificirana Hagringova jednadžba

Hagringova jednadžba za proračun propusne moći temelji se na eksponencijalnoj raspodjeli prometa u kružnom kolniku. Prosječno vrijeme čekanja na ulazu i kritična vremenska praznina određuje se posebno za svaki kružni vozni trak. Usvaja se pretpostavka da su minimalne vremenske praznine na oba traka u kružnom kolniku jednake [7]. Osnovna jednadžba za propusnu moć dvotračnog turbo kružnog raskrižja po Hagringu je:

$$C_{E,j} = 3600 * \Lambda * \prod_{j=1}^n \frac{\varphi_j * q_{RS,j}}{\lambda} * \frac{e^{-\sum_k \lambda_k * t_{Cj,k}}}{e^{-\Lambda * t_M * (1 - e^{-\sum_m \lambda_m * t_{Fj,m}})}} \quad (21)$$

$$q_{RS} = q_R + d_{E,S} * q_S$$

$$\lambda_j = \frac{\varphi_j * q_{RS,j}}{1 - t_M * q_{R,j}}$$

$$\varphi = 1 - t_M * q_R$$

gdje je:

$C_{E,j}$  - kapacitet traka „j“ na ulazu [PAJ/h]

$$\Lambda = \sum j \lambda_j$$

$n=2$

$d$  - konfliktni faktor

$q_R$  - jakost prometnog toka na traku „j“ u kružnom kolniku [PAJ/h]

$t_{Cj,k}$  - kritična vremenska praznina na traku „j“ (minimalno kritično vrijeme – gap time) [s]

$t_{Fj,m}$  – minimalna praznina (headway) u kružnom prometnom toku [s]

$\lambda$  - faktor utjecaja jakosti prometnog toka na vremensku prazninu [-]

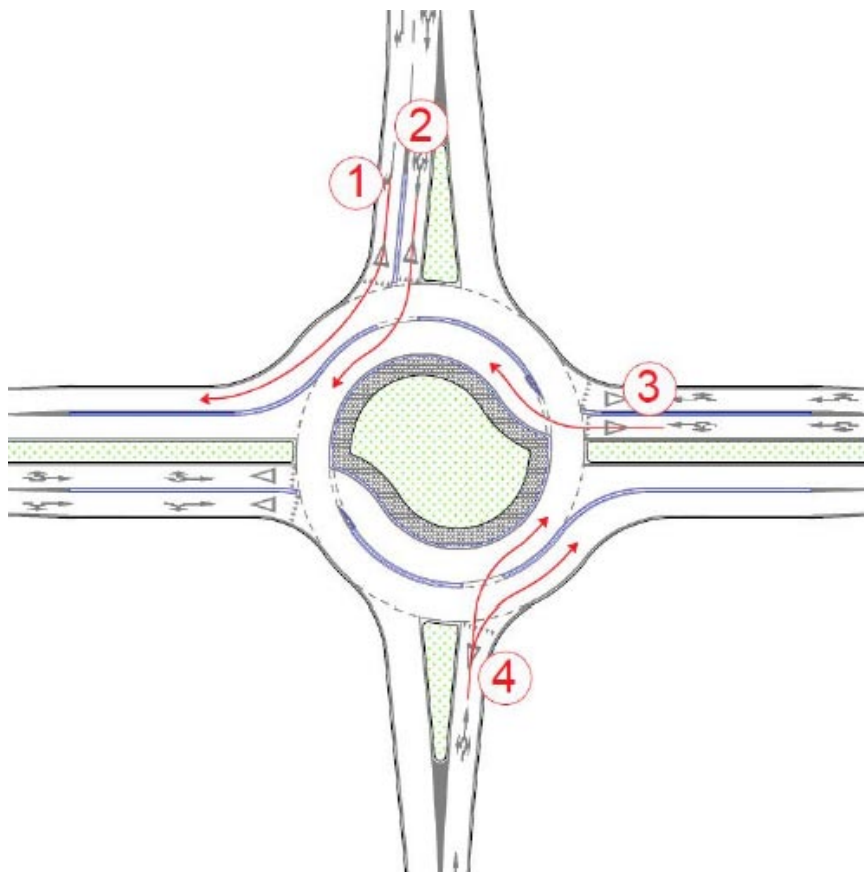
$\varphi$  - faktor odnosa (srazmjera) slobodnih vozila u kružnom prometnom toku [-]

$q_{RS} = q_R + d_{E,S} * q_S$  - jakost kružnog prometnog toka, zajedno s jakošću konfliktnog prometnog toka [PAJ/h] [7].

Na temelju osnovne Hagringove jednadžbe razvijena je jednadžba za proračun propusne moći samo lijevog traka na ulazu. Na lijevom ulaznom voznom traku u turbo kružno raskrižje moguće su dvije situacije:

- U prvoj situaciji ulazni prometni tok presijeca prometni tok na vanjskom kružnom voznom traku i ulijeva se u prometni tok na unutrašnjem kružnom voznom traku (situacija 2 na slici 5.1). u tom slučaju ulazni prometni tok koristi vremenske praznine na oba kružna toka.
- U drugoj situaciji ulazni prometni tok presijeca prometni tok na vanjskom traku (situacija 3 na slici 5.1). u tom slučaju ulazni prometni tok koristi samo vremenske praznine na vanjskom kružnom toku [7].

Proračun propusne moći desnog traka na ulazu predodređen je na osnovnom Hagringovom jednadžbom (situacija 1 na slici 5.1.). ulazni prometni tok na jednostranom ulazu na slici 5.1. prikazan kao situacija 4 [7].



Slika 5.1. Situacije u dvotračnom turbo kružnom raskrižju [7]

Parametri koji se koriste prilikom proračuna propusne moći po Hagringovoj metodi prikazane se u tablici 5.1.

Tablica 5.1. Parametri za proračun propusne moći po Hagringovoj metodi [7]

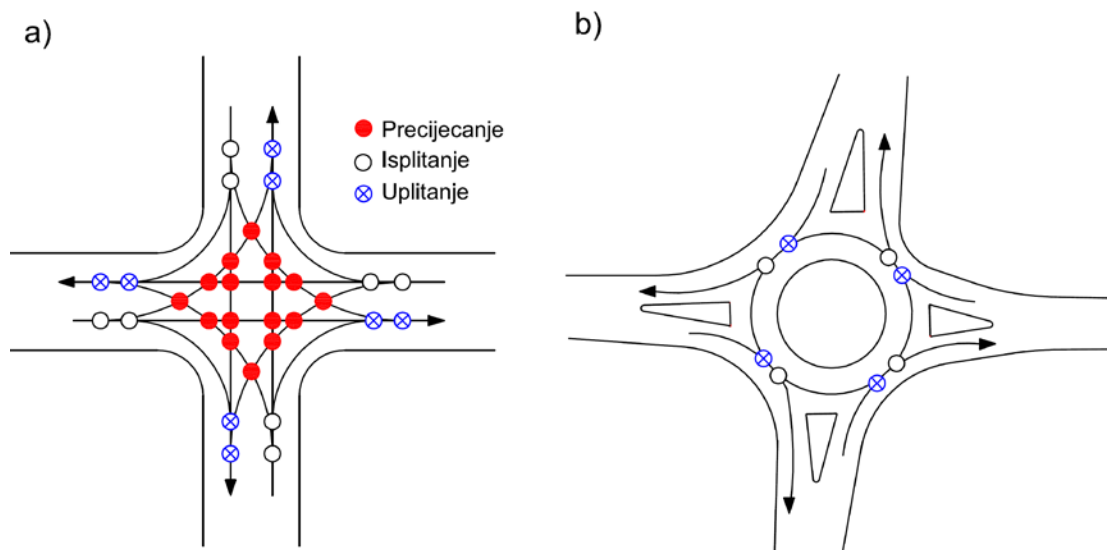
	Situacija 1	Situacija 2	Situacija 3
$t_c$		3,0	
$t_c$	3,0	3,2	2,9
$t_F$	2,0	2,0	2,0
$t_M$	1,9	1,9	1,9

## 6. SIGURNOST PROMETA RASKRIŽJA S KRUŽNIM TOKOM PROMETA

### 6.1. Sigurnost prometa raskrižja s klasičnim kružnim tokom prometa

#### ❖ Sigurnost motoriziranog prometa

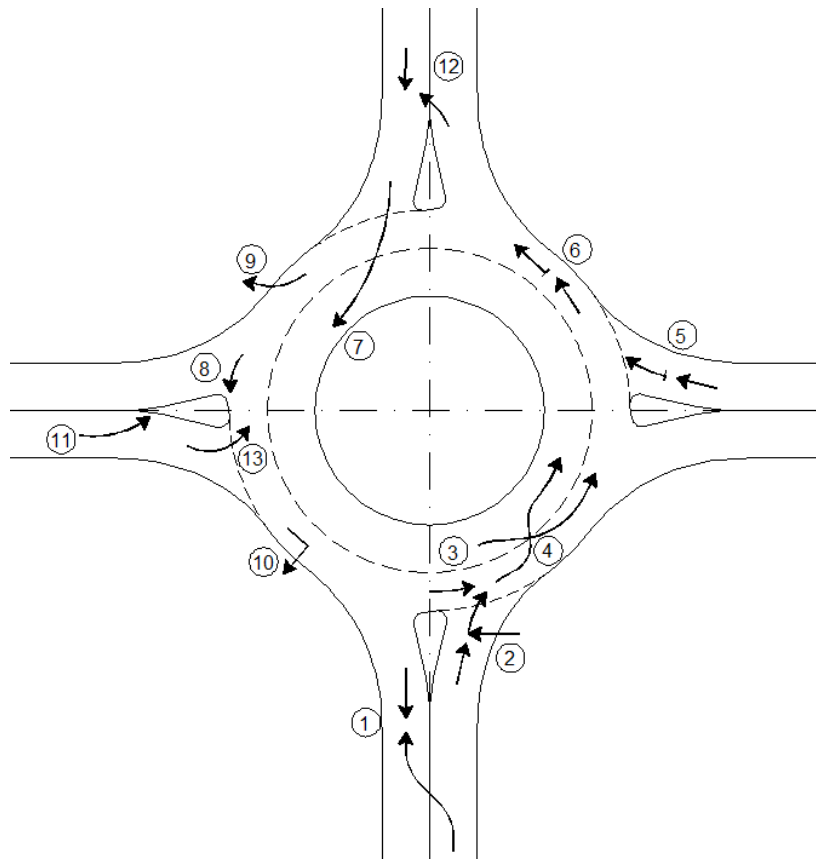
Sa stajališta osiguravanja prometne sigurnosti, glavna prednost jednotračnih kružnih raskrižja je (u usporedbi s klasičnim trokrakim i četverokrakim raskrižjem) u eliminaciji konfliktne površine i konfliktnih točaka presijecanja i preplitanja kao i smanjenje broja konfliktnih točaka uplitanja i isplitanja. Teorijski gledano, klasično četverokrako raskrižje ima 32 konfliktne točke (16 presijecanja, 8 uplitanja i 8 isplitanja), a jednotračno četverokrako kružno raskrižje samo 8 točaka nižeg reda (4 uplitanja i 4 isplitanja) [5].



Slika 6.1. Konfliktne točke u a) klasičnom i b) kružnom četverokrakom raskrižja [5]

U kružnim raskrižjima je moguće očekivati nekoliko vrsta prometnih nezgoda koje nisu svojstvene klasičnim tipovima (slika 6.2.), a i posljedice prometnih nezgoda u kružnim raskrižjima su različite od onih na klasičnim raskrižjima. Prometne nezgode u kružnim raskrižjima imaju lakše posljedice od onih na klasičnim raskrižjima i u pravilu bez smrtno stradalih i teže ozlijeđenih osoba. Posljedica je to činjenice da se u kružnim raskrižjima ne događaju čeonu sudari kod kojih su najteže posljedice. Kod kružnih raskrižja su sudari među

vozilima uglavnom bočni pod oštrim kutom ili se događaju kao posljedica nalijetanja vozila sa stražnje strane [2].



Slika 6.2. Prometne nesreće u kružnom kolniku [2]

Sudari između motornih vozila i biciklista i pješaka koji prelaze krak kružnog raskrižja su isti kao i kod klasičnih raskrižja, ali su posljedice sudara u pravilu lakše uslijed manje brzine vozila na ulazu i izlazu kružnog raskrižja.

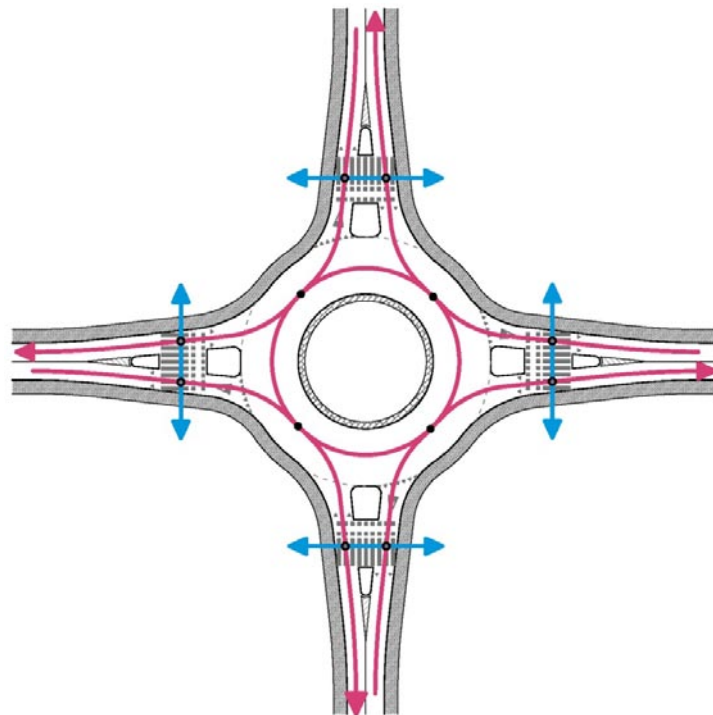
Tipične vrste prometnih nesreća u kružnom raskrižju su:

1. pretjecanje ispred kružnog raskrižja
2. sudar sa biciklistom/pješakom
3. sudar na ulazu
4. sudar pri promjeni voznog traka
5. nalet straga pri ulazu u kružno raskrižje
6. nalet straga pri izlazu iz kružnog raskrižja
7. nalet na središnji otok
8. nalet na razdjelni otok pri izlazu iz kružnog raskrižja

9. izlijetanje iz kružnog kolničkog traka
10. prevrtanje
11. nalet na razdjelni otok pri ulazu iz kružnog raskrižja
12. zanošenje (klizanje) vozila pri izlazu iz kružnog raskrižja
13. vožnja u suprotnom smjeru od kretanja prometa u kružnom raskrižju [2].

❖ Sigurnost nemotoriziranog prometa

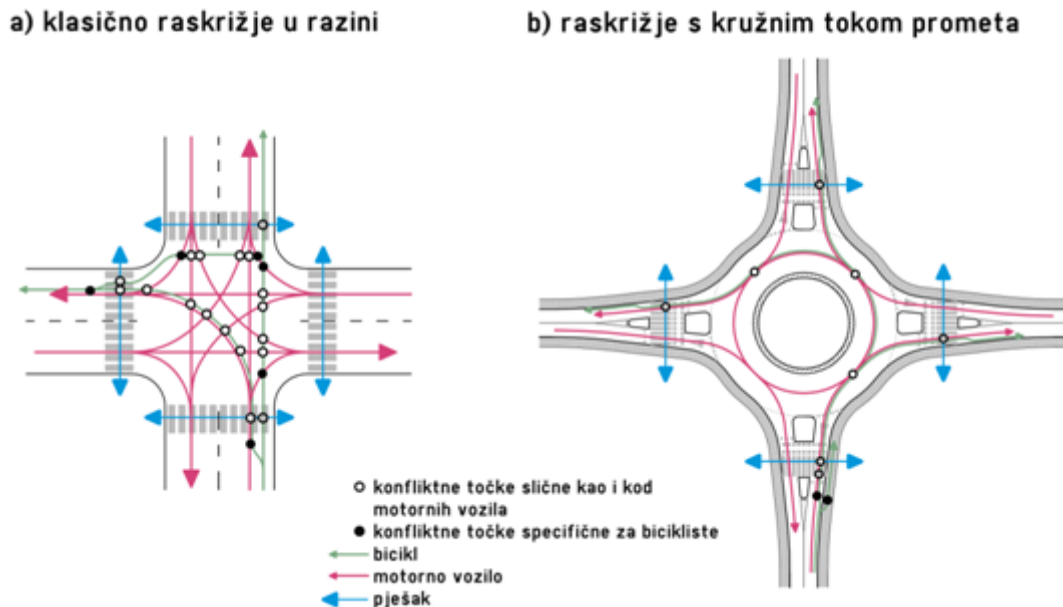
- **Prometna sigurnost pješaka** u kružnim raskrižjima prvenstveno ovisi o položaju i duljini pješačkih prijelaza i preglednosti u kružnom raskrižju, ali manje načinu izvedbe razdjelnih otoka i prometne signalizacije. Udaljavanjem pješačkih prijelaza od kružnog kolnika za jedno do dva vozila (prostor za čekanje) omogućuje vozačima da prilikom nailaska na kružno raskrižje prvo obrate pažnju na pješački prijelaz pa zatim na vozila koja se kreću kružnim kolnikom [5].



Slika 6.2 Prikaz konfliktnih točaka pješaka i motornih vozila [5]

**Prometna sigurnost biciklista** u kružnom raskrižju ovisi u prvom redu o načinu vođenja biciklista u području kružnog raskrižja, pravilnoj izvedbi prometne signalizacije i načinu izvedbe razdjelnih otoka. Biciklistička staza je također udaljena od kružnog kolnika za

jedno do dva vozila. Ovisno o veličini motornog prometa u raskrižju i ostalim prilikama, primjenjuju se dva načina vođenja biciklista: zajedničko (uz vanjski rub kružnog kolnika) i odvojeno (izvan kolnika) [1].



Slika 6.3. Prikaz konfliktnih točaka za bicikliste na raskrižju s četiri privoza; a) klasičnom raskrižju u razini i b) raskrižju s kružnim tokom prometa [5]

❖ Preglednost u kružnom raskrižju

U postupku modeliranja treba okvirno provjeriti preglednost, a u sklopu projektiranja i detaljiranja neophodno je provesti provjeru i osiguranje preglednosti u raskrižju. Kod kružnih raskrižja govori se o više vrsta preglednosti, ovisno o prometnoj radnji [1].

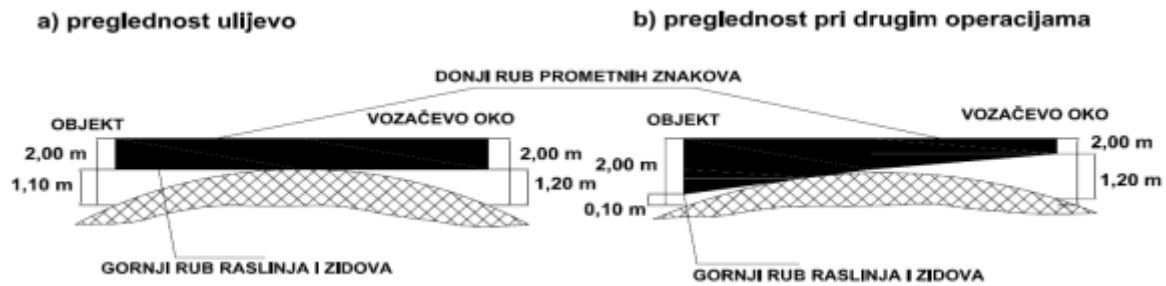
Postoje dvije vrste preglednosti:

- Preglednost na ulazu u kružno raskrižje (i oko središnjeg otoka)
- Preglednost pri ostalim prometnim radnjama (kruženju, napuštanju kružnog raskrižja) [1,2].

To razvrstavanje prouzročeno je prvenstveno zbog visine prepreke koju vozač mora uočiti, a pregledno polje na ulazu ulijevo i preko središnjeg otoka mora biti omogućeno od visine oka vozača 1.1 metar do visine prepreke od 1.1 m, a pregledno polje mora sezati do visine 2.0 m iznad površine kolnika. Prometni znakovi na tom području ne smiju biti

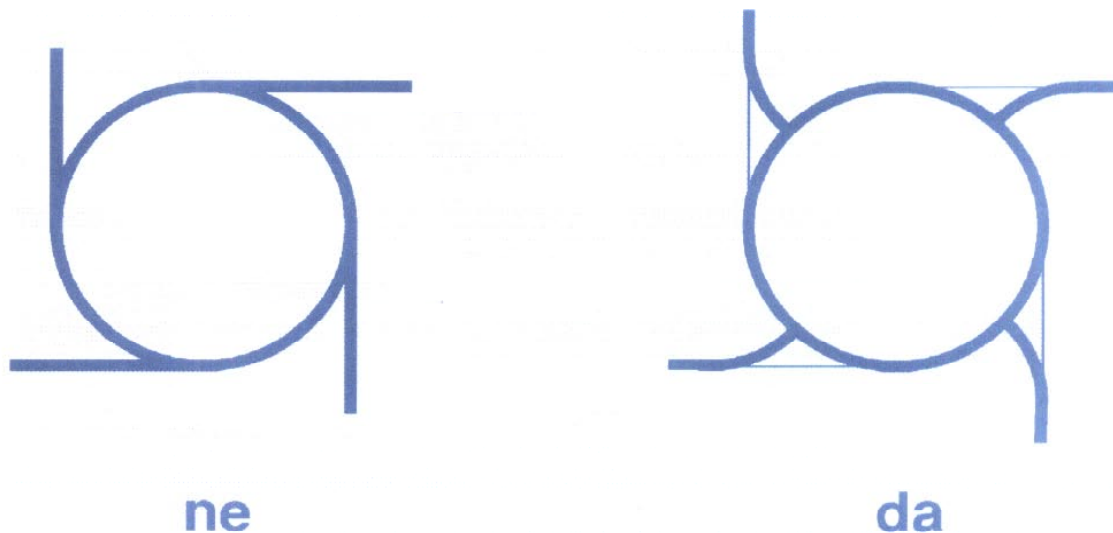


postavljeni niže od 2.0 metara, mjereno od površine kolnika do donjeg ruba prometnog znaka [1,2].



Slika 6.5. Prostor preglednosti u kružnom raskrižju [1]

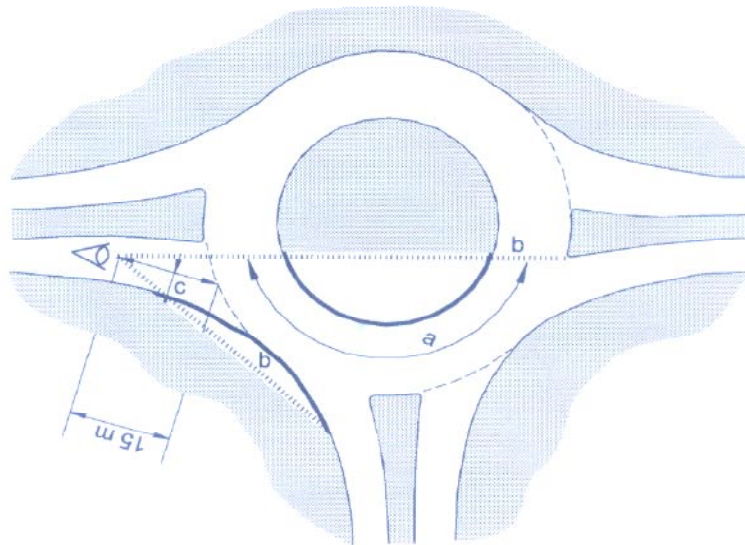
Vođenje prilaznih cesta u raskrižje mora biti izveden na način da os privoza bude okomita na tangentu osi kružnog traka u točki u kojoj se ove osi sijeku. Taj način doprinosi smanjenju brzine vozila pri ulazu u kružni tok te osigurava dobru preglednost. (Slika 6.6). Tangencijalno vođenje ulaza u raskrižje uzrokuje nerazumljivost pravila o prvenstvu prolaza u kružnom raskrižju, velike brzine na ulazima, nepregledno ulaženje u kružno raskrižje i nalet vozila. Najbolje je da se produžeci osovina svih privoza sijeku u jednoj točki – središtu kružnog raskrižja [2].



Slika 6.6. Tangencijalno i okomito vođenje privoza kružnom raskrižju [2]

Vozačima svih vozila koja se približavaju razdjelnoj crti treba osigurati ako je moguće preglednost nad cjelokupnom širinom kružnog kolnika pred njima, i to na duljini (izmjerenoj

uzduž središnjice kružnog kolnika) koja odgovara veličini kružnog raskrižja. Preglednost se provjerava iz sredine desnog prometnog traka na udaljenosti 15 m pred razdjelnom crtom (slika 6.7.).



Slika 6.7. Čelna preglednost na ulazu u kružno raskrižje [5].

Kazalo:

- a) Pregledna udaljenost u ovisnosti o brzini u kružnom raskrižju
- b) Granica preglednog polja
- c) Polovična širina ne proširenog kolničkog traka [5].

Provozni dio središnjeg otoka u kružnom raskrižju mora biti oblikovan na način da odvraća vozače od kretanja po njemu, tako da ne bi dolazilo do pretjecanja vozila unutar kružnog raskrižja, a istovremeno omogućava kretanje dugačkim vozilima (autobusi, kamioni) da slobodno bez poteškoća prođu kroz kružno raskrižje [2].

Uređenje središnjeg otoka (hortikulturno uređenje, spomenici, fontane i drugi objekti u središnjem otoku) je od velikog utjecaja na prometnu sigurnost, jer nepravilno izvedeno uređenje može smanjiti njezinu razinu, a pravilno uređenje čak je povećava [2].

## ❖ Prometna signalizacija

Prometni znakovi, gusto i visoko raslinje, parkirna vozila, stabla i drugi uzdignuti elementi i objekti smiju biti unutar preglednog polja samo ako ne ometaju preglednost [1].

Prometna signalizacija u kružnom raskrižju predstavlja se na način da bude jasna i dosljedna te da ne zbunjuje vozače pri prolasku kroz raskrižje. Rješenje prometne signalizacije mora biti usklađeno sa važećim Pravilnikom o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama [2].

Prometnu signalizaciju dijelimo na:

- Vertikalnu (uspravnu)
- Horizontalnu (tlocrtnu)
- Svjetlosnu [11].

### **Vertikalna signalizacija:**

Svako urbano kružno raskrižje mora biti opremljeno barem sljedećim prometnim:

- Znak B01 (raskrižje s cestom s prednošću prolaza) i B62 (kružni tok prometa) na zajedničkom stupu na ušću ulaza u kružno raskrižje, neposredno pred isprekidane crte zaustavljanja.
- Znak B59 (obavezno obilaženje s desne strane) i K06 (ploča za označivanje prometnog otoka) na zajedničkom stupu na vanjskom dijelu razdjelnog otoka (na vrhu otoka u smjeru vožnje).
- Znak B51 (obavezan smjer desno) postavlja se na neprovoznom dijelu središnjeg otoka u produžetku središnjice voznog traka na uvozu.
- Znak C02 (obilježen pješački prijelaz), a po potrebi, znak C03 (obilježen prijelaz biciklističke staze) ako su u kružnom raskrižju prisutni biciklisti [2].

Na području približavanja raskrižju:

- A27 (raskrižje s kružnim prometom). Ovaj znak ne postavlja se ukoliko postoji više kružnih raskrižja na potezu ulice, a preporuka je da se postavi ukoliko se radi o prvom

kružnom raskrižju na ulasku u naselje ili pojedinačnom primjeru kružnog raskrižja u naselju.

- Znak B32 (ograničenje brzine) na odgovarajućoj udaljenosti od kružnog raskrižja, na kojoj treba omogućiti smanjenje brzine na cestama unutar naselja [2].

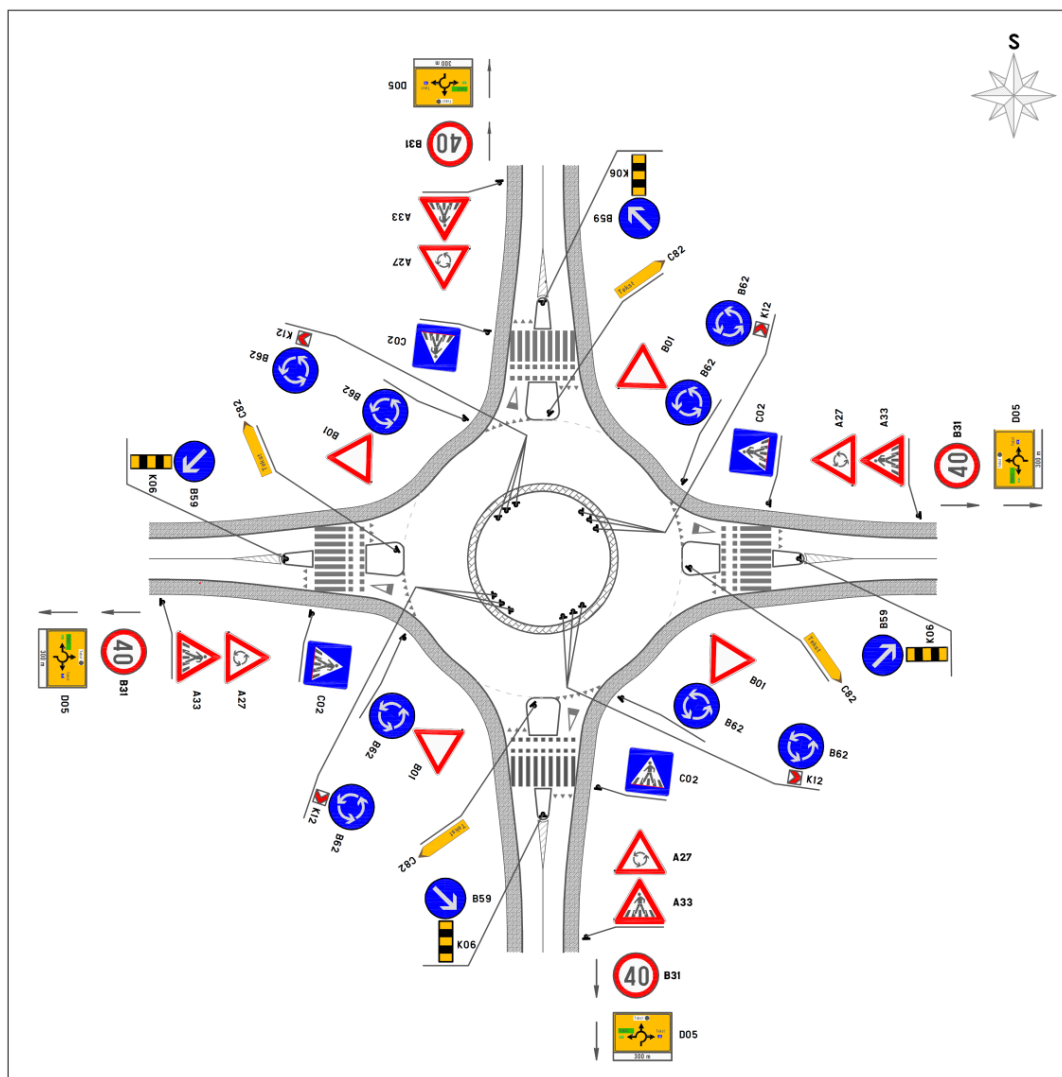
Za vođenje prometa u kružnom raskrižju postavlja se sljedeća prometna signalizacija:

- Znak D05 (raskrižje kružnog oblika) postavlja se na udaljenosti 150-250 m prije raskrižja, ovisno o situaciji na terenu
- Znak D12b (prijedlog novog znaka u Pravilniku) označuje smjer ceste za naseljeno mjesto ispisano na znaku i udaljenost u kilometrima (osim u bijelom polju) na jednostranim kružnim raskrižjima, mjesto postavljanja ovisi o uvjetima preglednosti. Kad se prometni znak postavlja iznad kolnika (na portal), za svaku prometnu traku mora se postaviti posebni prometni znak.
- Znak C81 ili C82 (putokaz) postavlja se na unutarnjem dijelu razdjelnog otoka na izlaznom traku iz kružnog raskrižja
- Znak D17 (potvrda smjera) označuje potvrdu smjera kretanja nakon prolaza raskrižja. Postavlja se na udaljenosti najviše 500 m od raskrižja [2].

### **Horizontalna signalizacija:**

Na svakom urbanom kružnom raskrižju treba biti, u pravilu, postavljena barem sljedeća horizontalna signalizacija (oznake na kolniku):

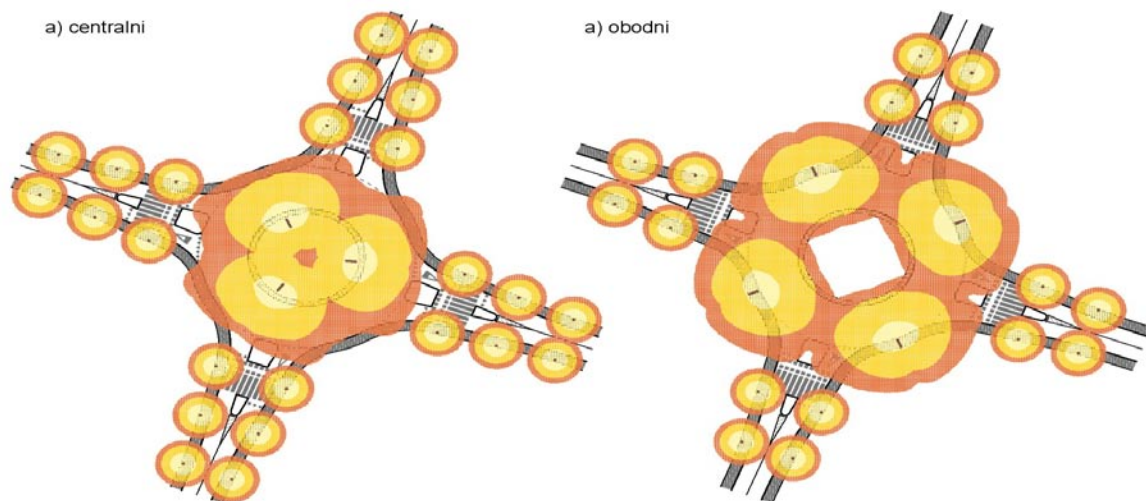
- Rubna crta uz rub kolnika kroz raskrižje, uz središnje i razdjelne otoke
- Kratka isprekidana crta za označivanje vanjskog ruba kružnog raskrižja na spoju privoza
- Isprekidana crta zaustavljanja (H12 ili H13) na ulasku u kružni kolnički trak
- Trokut upozorenja H12 označen na kolniku ispred isprekidane crte zaustavljanja
- Isprekidana crta zaustavljanja (H12) ispred pješačkog/biciklističkog prijelaza
- Pješački prijelaz (H18), prema potrebi prijelaz biciklističke staze preko kolnika (H19)
- Polje za usmjeravanje prometa između dva traka sa suprotnim smjerovima pred razdjelnim otokom (H27)
- Razdjelnom crtom ispred razdjelnog otoka na području približavanja raskrižju propisane širine [2].



Slika 6.8. Primjer obilježavanja kružnog raskrižja vertikalnom i horizontalnom signalizacijom [5]

### Svjetlosna signalizacija:

Rasvjeta kružnog raskrižja radi prometne sigurnosti noću bitno je da kružna raskrižja budu primjereno osvijetljena, odnosno da budu ravnomjerno osvijetljena da su ulazi u kružno raskrižje jednako osvijetljeni kao i središnji otok [5].

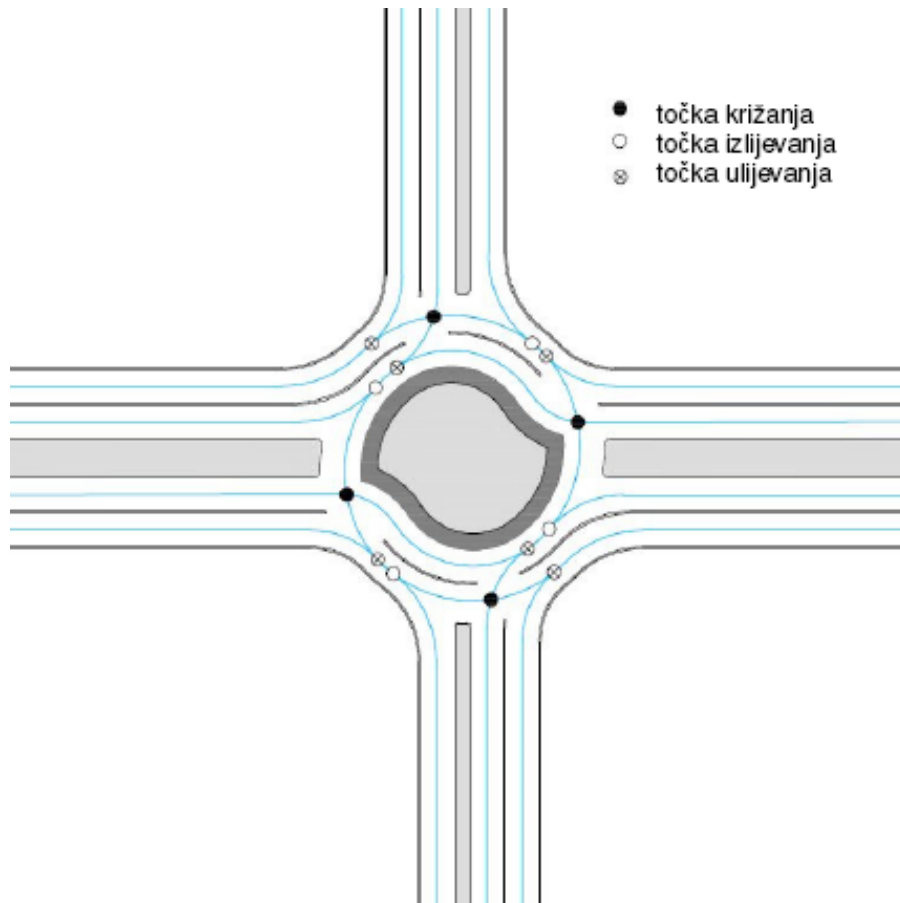


Slika 6.9. Tlocrtni prikaz rasvjete kružnog raskrižja [6]

## 6.2. Sigurnost prometa raskrižja s turbo kružnim tokom prometa

### ❖ Sigurnost motoriziranog prometa

U situacijama kada jednotračni rotori nemaju dovoljan kapacitet, a dvotračni rotori imaju evidentne nedostatke u pogledu prometne sigurnosti, preporučuje se primjena turbo kružnog raskrižja bez obzira ako turbo kružno raskrižje ima više konfliktnih točaka. Jednotračno četverokrako kružno raskrižje samo 8 točaka nižeg reda (4 ulijevanja i 4 izlijevanja), dvotračno kružno raskrižje sa dvotračnim ulazima i izlazima ima ukupno 24 konfliktne točke (8 konfliktnih točaka ulijevanja i izlijevanja i po 4 konfliktne točke križanja na ulazima i izlazima). Standardno turbo kružno raskrižje ima samo 14 konfliktnih točaka (6 ulijevanja, 4 križanja na ulazima i 4 izlijevanja). 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 za to da su turbo kružna raskrižja prometno sigurnija od običnih dvotračnih kružnih raskrižja [3,7].



Slika 6.10. Konfliktne točke u turbo kružnom raskrižju s dvotračnim ulazima i s po jednim parom jednotračnih i dvotračnih izlaza [7]

#### ❖ Sigurnost nemotoriziranog prometa

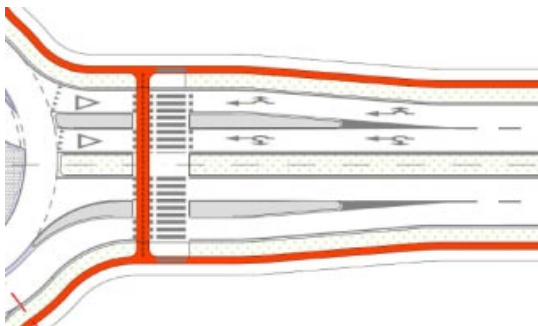
Posebnu pažnju je potrebno posvetiti prometnoj sigurnosti nemotoriziranih sudionika u turbo kružnim raskrižjima. Prometna sigurnost nemotoriziranih sudionika u turbo kružnom raskrižju se postiže pomoću jednog ili više navedenih načina, odnosno mjera:

- Kontrolom brzine na ulazima i izlazima u fazi projektiranja
- Izvedbom samo jednog voznog traka na izlazu iz turbo kružnog raskrižja
- Odvajanjem ulaznih i izlaznih voznih trakova razdjelnim otokom
- Smicanje prijelaza za pješake i bicikliste na ulazu i izlazu
- Vođenjem nemotoriziranih sudionika u drugoj razini [7].

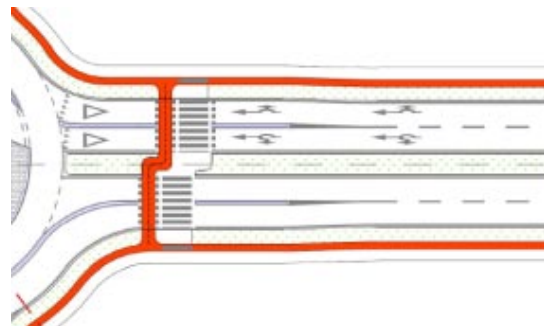
Ukoliko se u turbo kružnom raskrižju očekuje veliki broj nemotoriziranih sudionika u prometu i ukoliko je vođenje nemotoriziranog prometa izvedeno preko prijelaza za pješake, razinu njihove prometne sigurnosti moguće je dodatno povećati nekom od načina:

- Razdvajanjem ulaznih/izlaznih prometnih trakova razdjelnim otokom
- Smicanjem prijelaza između ulaza i izlaza
- Primjenom mjera za smirivanje prometa na priključcima – trapeznom platformom u kombinaciji s prijelazom [7].

Odvajanje ulaznih i izlaznih vozni trakova razdjelnim otocima izvodi se u slučaju povećanog broja nemotoriziranih sudionika u prometu i kada se stanovišta propusne moći nije prihvatljivo da se na ulazu/izlazu izvede samo jedan vozni trak i u slučaju kada imamo na raspolaganju dovoljno prostora za izvedbu razdjelnih otoka ili ako nije ispunjen uvjet za vođenje nemotoriziranih sudionika u drugoj razini (slika 6.11.) Smicanje prijelaza za bicikliste i pješake na ulazu i izlazu smije se upotrijebiti samo izvan naselja i to u iznimnim slučajevima kada nije moguće primijeniti nikakvo drugo rješenje. Smicanje se radi da ne bi došlo do prevelikih brzina biciklista prilikom prelaska preko središnjeg razdjelnog otoka. Smicanje prijelaza za bicikliste se izvodi na dužini koja je jednaka širini dvosmjerne biciklističke staze i na udaljenosti oko 10 metara od vanjskog ruba turbo kružnog raskrižja [7].



Slika 6.11. Razdvajanje ulaznih i izlaznih prometnih trakova razdjelnim otocima na ulazima i izlazima [7]



Slika 6.12. Smicanje prijelaza za bicikliste i pješake između ulaza i izlaza [7]

#### ❖ Preglednost u turbo kružnom raskrižju

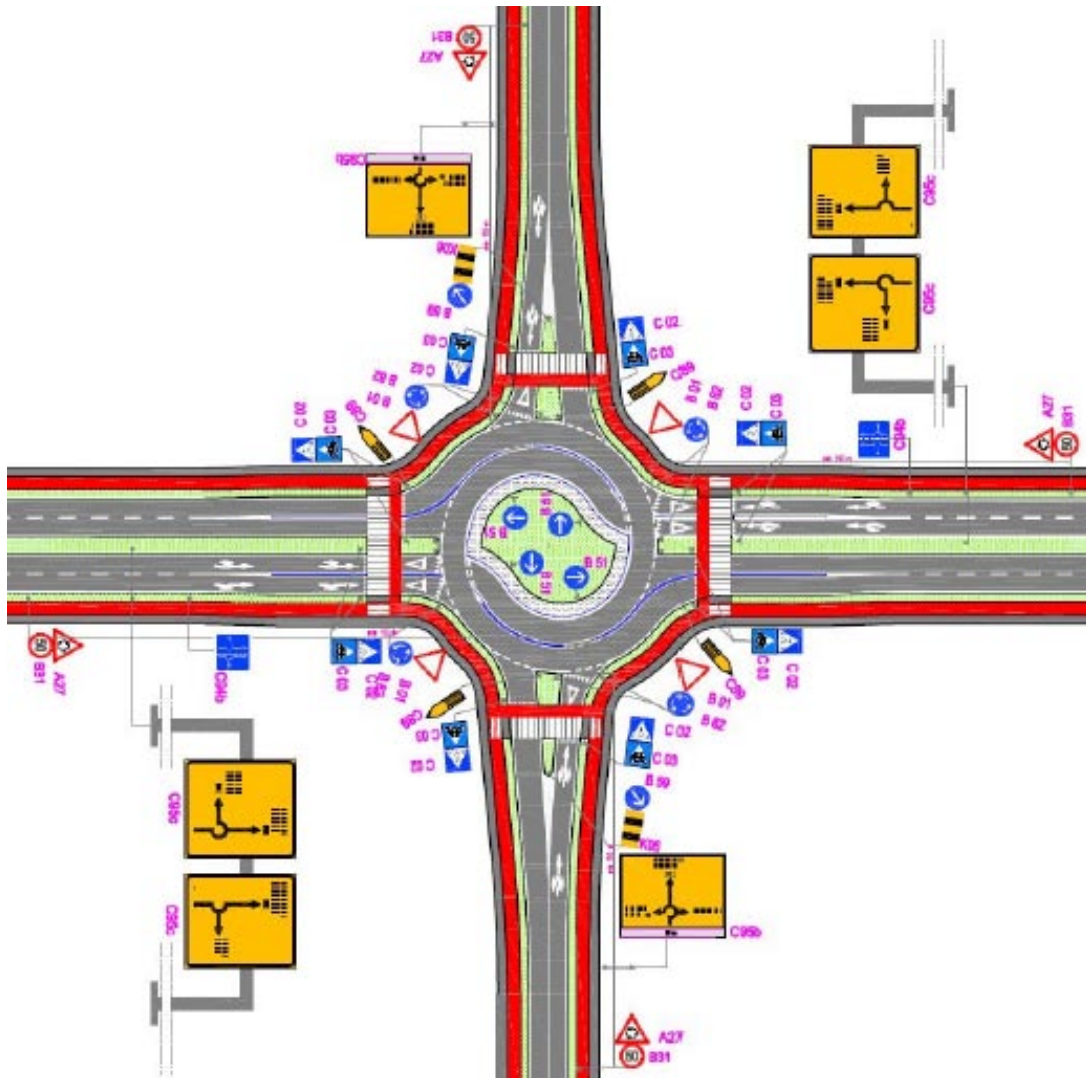
Vrste preglednosti u turbo kružnom raskrižju su jednake klasičnom kružnom raskrižju. (poglavlje 6.1.)

U turbo kružnom raskrižju su vozni trakovi fizički odvojeni, što znači da na kružnom kolniku promjena vozni trakova nije moguća. To znači da vozač mora već prije ulaska u



turbo kružno raskrižje odabrati odgovarajući prometni trak kako bi se kretao u željenom smjeru. Kada ovome dodamo i činjenicu da vanjski vozni trak u turbo kružnom raskrižju ne omogućava polukružno okretanje, onda je jasno da je prometna signalizacija u turbo kružnom raskrižju izuzetno značajna [7].

Turbo kružna raskrižja opremljena su prometnim znakovima, oznakama na kolniku i opremom koja su definiranim važećim Pravilnikom o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama. (trenutno u tijeku izmjena i dopuna) [7]. Iako su u tijeku izmjena i dopuna, turbo kružno raskrižje se može opremiti sa prometnom signalizacijom za klasična kružna raskrižja (poglavlje 6.1.)



Slika 6.13. Prometna signalizacija turbo kružnog raskrižja u naselju [7]

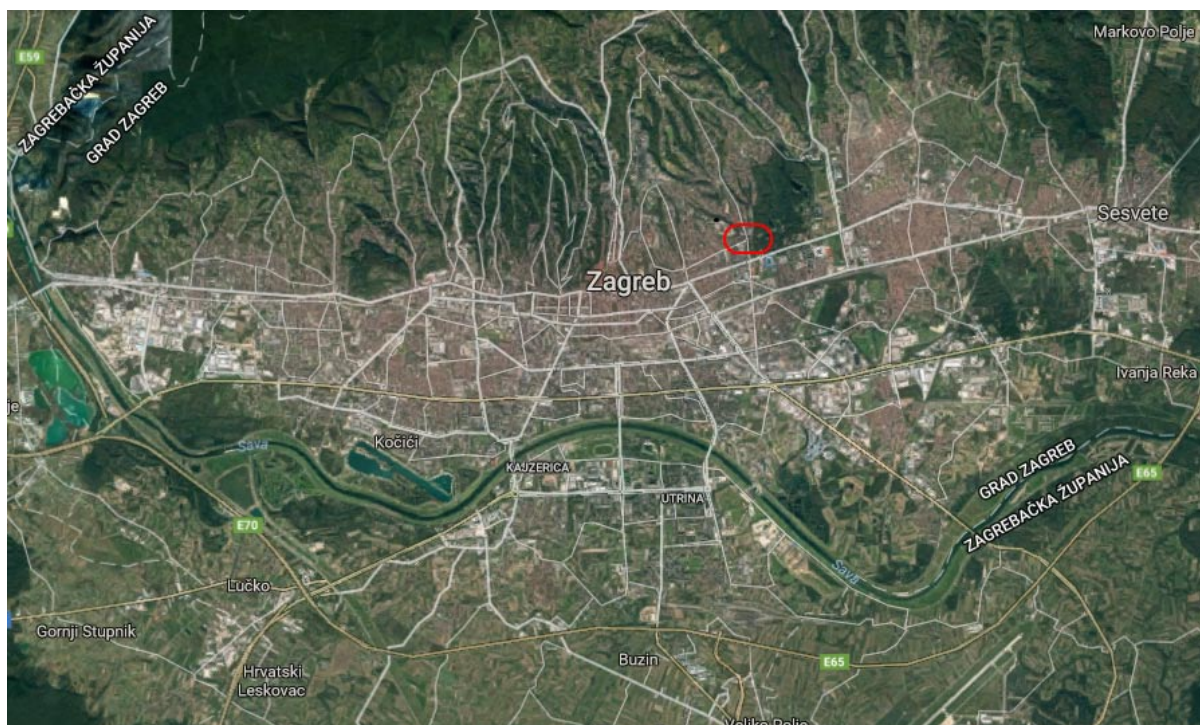
## 7. ANALIZA RASKRIŽJA S KRUŽNIM TOKOM PROMETA PETROVA ULICA- BUKOVAČKA ULICA

### 7.1. Podaci o kružnom raskrižju

#### ❖ Dispozicija u gradskoj mreži

Raskrižje je izrađeno 2006. godine na mjestu četverokrakog klasičnog semaforiziranog raskrižja s presijecanjem prometnih tokova, prvenstveno iz razloga smanjenja većih zastoja i povećanja stupnja sigurnosti svih sudionika u prometu, a po veličini je svrstano u mala kružna raskrižja s 4 privoza. Kružno raskrižje se nalazi na križanju Petrove ulice u smjeru zapada, Bukovačke ceste u smjeru sjever-jug i ulice Prilesje u smjeru istok s dominantnim tokovima osobnih vozila.

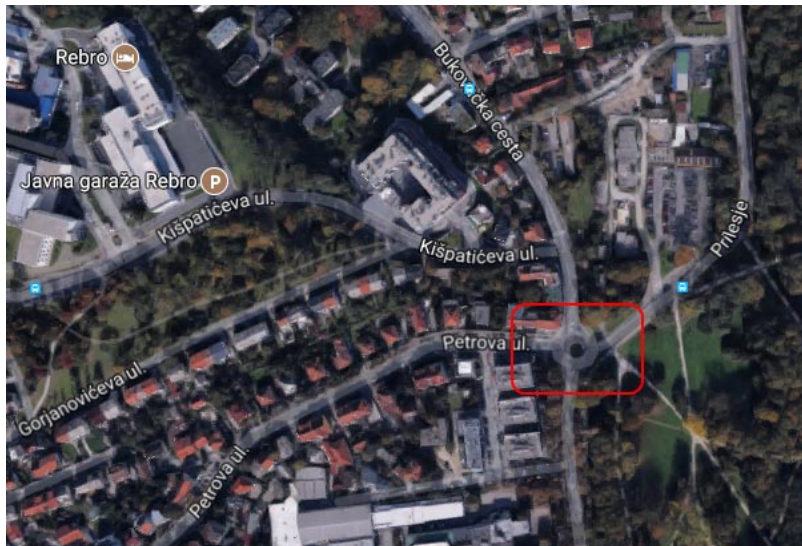
Na slici 7.1. prikazan je grad Zagreb i dispozicija kružnog raskrižja Petrova ulica-Bukovačka cesta (označeno crvenom bojom) u gradskoj mreži na makro razini. Raskrižje je udaljeno skoro 3 km zračne linije od glavnog Trga bana Josipa Jelačića.



Slika 7.1. Makro dispozicija u gradskoj mreži [13]



Na slici 7.2. prikazana je dispozicija kružnog raskrižja Petrova ulica-Bukovačka cesta u gradskoj mreži na mikro razini. Raskrižje se nalazi uz park Maksimir i blizu bolnice Rebro. U jutarnjim satima je raskrižje, Petrova ulica – Bukovačka cesta, jako opterećeno zbog ljudi koji idu na posao i zbog ljudi koji trebaju posjetiti bolnicu Rebro.



Slika 7.2. Mikro dispozicija u gradskoj mreži [13]

a) Petrova ulica (Zapad)



b) Ulica Prilesje (istok)



c) Bukovačka cesta (Sjever)



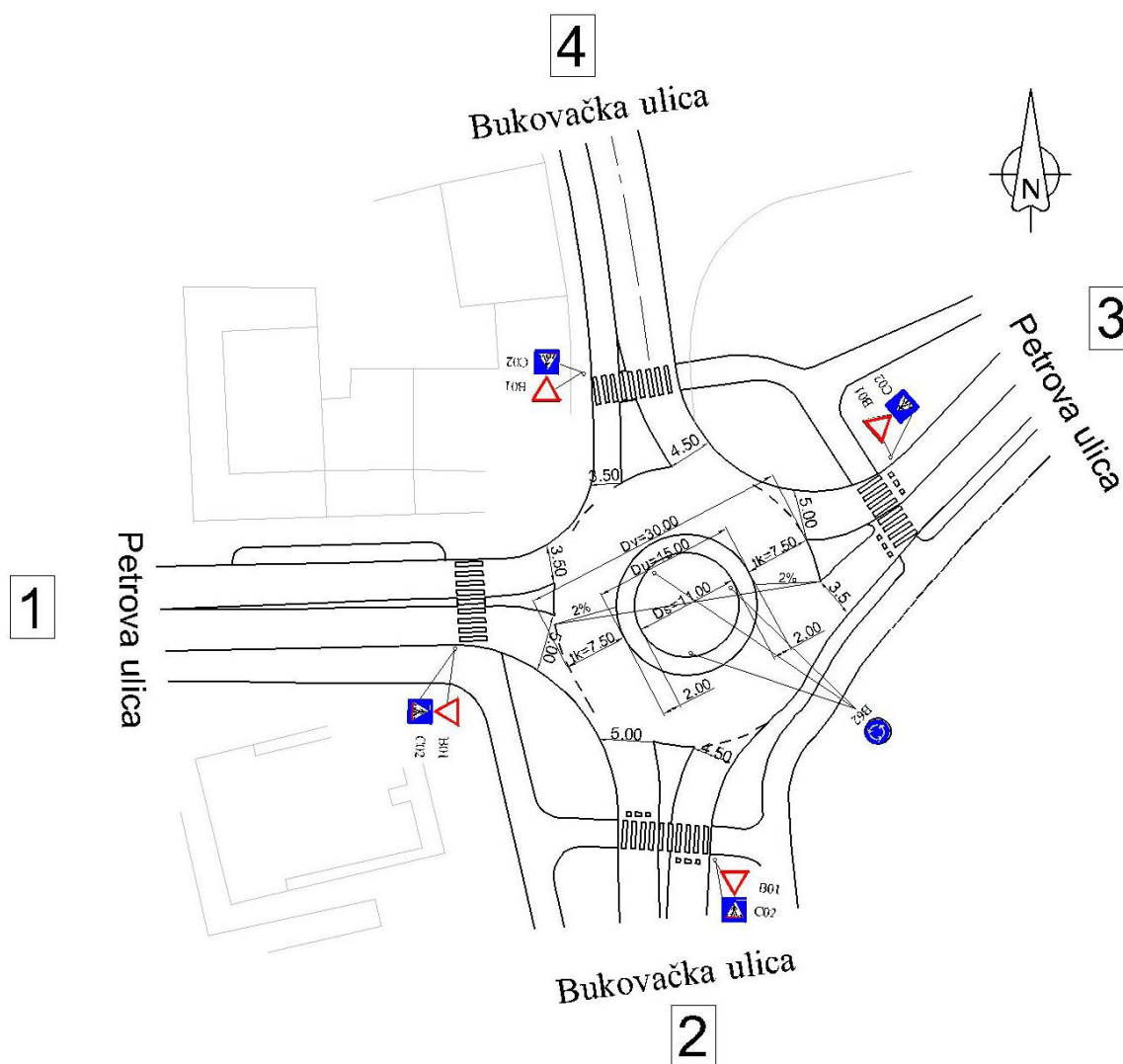
d) Bukovačka cesta (Jug)



Slika 7.3. Privozi a) Petrova ulica (Zapad), b) Ulica Prilesje (istok), c) Bukovačka cesta (Sjever), d) Bukovačka cesta (Jug) [13]

#### ❖ Projektno oblikovni elementi

Oblik je pravilnog malog gradskog raskrižja vanjskog promjera  $D_v=30\text{m}$ . Kružni jednotračni kolnik je širine 7,5 m, dok je unutarnji promjer  $D_u=15\text{ m}$ . Kružni kolnik ima poprečni nagib od 2% prema vani. Jednotračni privozi su širine 3.5 m. Pješački promet je na izdignutim pješačkim stazama sa iscrtanim pješačkim prijelazom preko kolnika i s propisanom prometnom opremom.



Slika 7.4. Tlocrtni oblikovni elementi [5]

Procjena stupnja sigurnosti provedena je na osnovi videozapisa, podataka MUP-a, te na analizi preglednosti oblikovnih elemenata i opremljenosti raskrižja.

- Preglednost u području raskrižja

Provedena analiza svih vidova preglednosti obavljena je terenskim opservacijama, a čelna preglednost i preglednost u lijevo zabilježena je Sony kamerom 2015. i 2016. godine. Preglednost sa Sony kamerom je iz svih smjerova dobra, ali ponekad zbog zagušenja prometa vidljivost je bila smanjena. Preglednost u području raskrižja 2017. godine je odlična jer se promet snimao sa Samsung kamerom koja snima 360° i zbog toga se moglo jako dobro pratiti svako kretanje određenog vozila ili pješaka bez ikakvih manjih ili većih zapreka kao što su zagušenje prometa, veliko vozilo koje bi zaklanjalo pogled kameri ili neko nepropisno parkirano vozilo koje bi djelomično zaklanjalo pogled kameri, te se na taj način ne bi moglo točno izbrojati promet vozila i pješaka.

- Opremljenost raskrižja

Horizontalna i vertikalna signalizacija postavljena je u skladu sa propisima. Rasvjeta, odvodnja i krajobrazno uređenje je kvalitetno postavljeno i u funkciji je.

- Učestale poteškoće i nedostaci

Odvijanje motoriziranog i nemotoriziranog prometa u vršnim opterećenjima odvija se bez većih poteškoća, ali se povremeno pojavljuju zastoji (zagušenje prometa) i repovi čekanja.

- Ponašanje vozača

Veći broj vozača poštuje prometne znakove i stanje u raskrižju, pa su prometni tokovi bez većih nezgoda. Pojedini vozači iskorištavaju iscertani razdjelni otok kao privremeno zaustavljanje radi čekanja pojedine osobe (Slika 7.5.).



Slika 7.5. Npropisno zaustavljeno vozilo

- Dijagram kolizije u raskrižju

Na osnovi službenih podataka MUP-a ustanovljeno je sljedeće (Tablica 7.1., 7.2.):

- U promatranih 6 godina registriran je mali broj prometnih nesreća
- Posljedice su male materijalne štete na vozilima i bez smrtno stradalih. [15]

Tablica 7.1. Vrste prometnih opterećenja na raskrižju Petrova ulica – Bukovačka cesta [15]

VRSTE PROMETNIH NESREĆA	2006. god.	2007. god.	2008. god.	2014. god.	2015. god.	2016. god.
1. Nalet na pješaka	0	0	2	1	0	0
2. Nalet na biciklista	0	0	0	0	0	1
3. sudar pri uvozu	2	2	1	1	1	1
4. Sudar pri preplitanju	0	0	0	0	0	0
5. nalet na vozilo ispred	4	0	4	1	1	0
6. nalet pri izvozu	0	0	1	0	0	0
7. vožnja u pogrešnom smjeru	0	0	0	0	0	0
8. izlijetanje s kružnog kolnika	0	0	0	0	0	0
<b>UKUPNO</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

Tablica 7.2. Posljedice prometnih opterećenja na raskrižju Petrova ulica – Bukovačka cesta [15]

POS LJEDICA PROMETNIH NESREĆA	2006. god.	2007. god.	2008. god.	2014. god.	2015. god.	2016. god.
1. Smrtno stradali	0	0	0	0	0	0
2. ozlijeđeni	4	1	3	1	1	1
<b>UKUPNO:</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

## 7.2. Prikupljanje prometnih podataka

Mjerenje prometnog opterećenja u kružnom raskrižju se promatralo tri radna dana (19.03.2015., 24.05.2016. i 02.05.2016. godine) od 7:30 do 8:30 [h]. Zbog velikog broja nemotoriziranog i motoriziranog prometa na kružnom raskrižju, umjesto standardnog brojenja prometa koje je teško pratiti, prometni tok se snimao pomoću kamere Sony (slika 7.6.) 2015. i 2016. godine, a 2017. godine pomoću kamere Samsung Gear 360 (slika 7.7.) koja snima cijelu situaciju unutar kružnog raskrižja.



Slika 7.6. Lokacija kamere Sony



Slika 7.7. Kamera Samsung Gear 360 [14]



Kod postavljanja kamere Sony sa strane, primijećeno je da su vozači, pješaci i biciklisti gledali u kameru i promatrali što se tamo radi, zbog čega im je bila odvučena pažnja i koncentracija, dok kamera Samsung Gear 360 nije ometala promet jer je malih dimenzija i bila je smještena u središte kružnog raskrižja i zbog toga je bila neprimjetna. (Slika 7.8., 7.9.)



Slika 7.8. Kamera Samsung Gear 360 smještena u središtu kružnog raskrižja – neprimjetna sa određene udaljenosti





Slika 7.9. Kamera Samsung Gear 360 smještena u središtu kružnog raskrižja – primjećuje se iz blizine

S obzirom da kroz raskrižje prolazi veliki broj vozila, teško je ručno izbrojati sav promet koji prolazi kroz to raskrižje i radi toga, zbog preciznije analize, brojanje prometa se odradilo naknadno preko video zapisa. (Slika 7.10.)

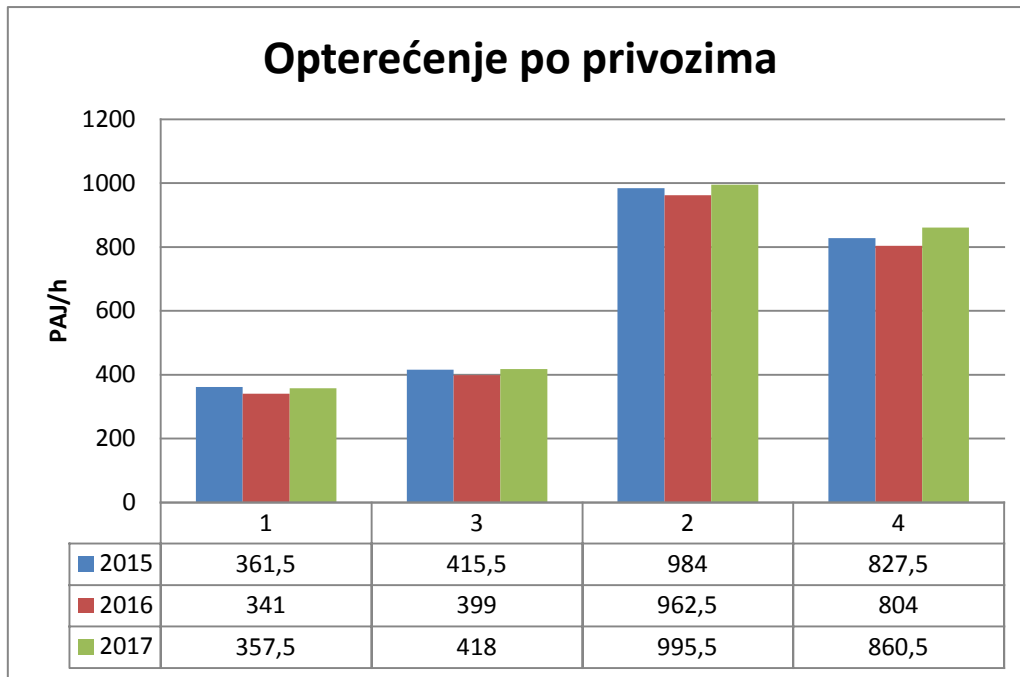


Slika 7.10. Prikaz kako se vidi iz kamere Samsung Gear 360

### 7.3. Analiza parametara

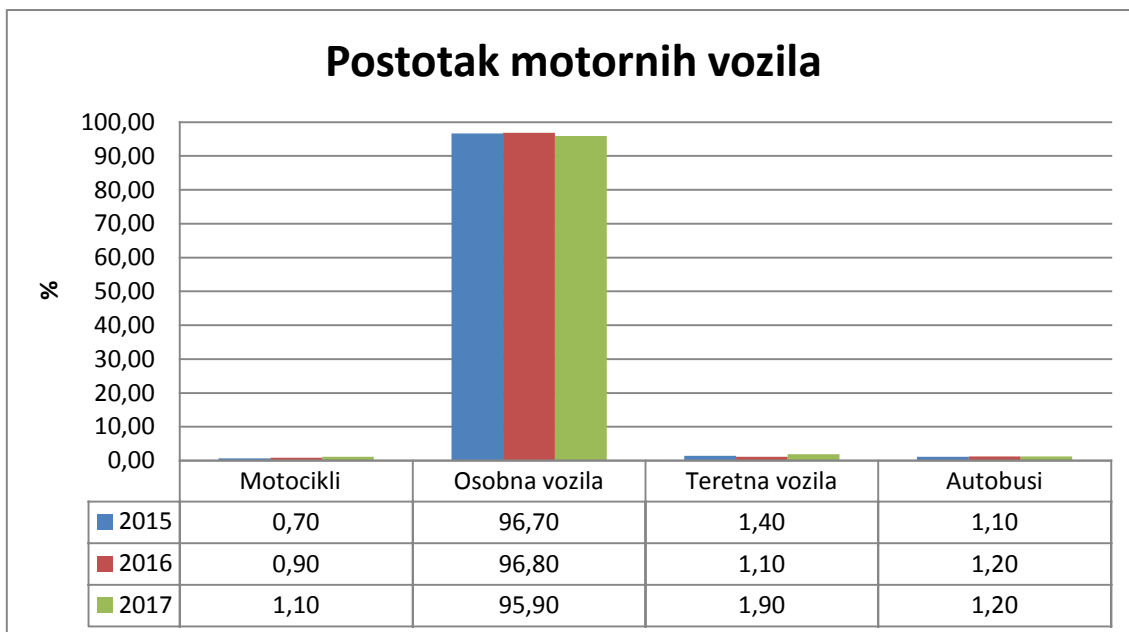
Zabilježavanje broja motoriziranih i nemotoriziranih sudionika u prometu se zabilježavalo na posebni listić koji se zove Brojači listić (Brojači listić se nalazi u prilogu 1, 2, 3). U brojačem listiću se vidi da se promet brojao u 15 minutnim intervalima gdje se može vidjeti koliko je motornih vozila skrenulo u određeni privoz. Brojanje se vršilo u 15 minutnim intervalima jer nije jednako raspoređeno prometno opterećenje na pojedinom privozima tokom 60 minutnog vremena, nego je prometno opterećenje u svakom vremenu drugačije, a to je jako važno kada se računa razina usluge za pojedini privoz ili za cijelo raskrižje. Grafikon 7.1. prikazuje prometno opterećenje pojedinog privoza za pojedinu godinu izraženog u PAJ/h. Pomoću tog grafa možemo vidjeti da je prometno opterećenje za 2015. i 2017. godinu skoro isto, a za 2016. dosta manje vozila u odnosu na 2017. godinu. No mora se napomenuti da se prikupljanje podataka nažalost nije vršilo na isti datum. Prikupljanje podataka 2016. godine se vršilo 24. svibnja, a to je bilo dva dana prije blagdana Tijelovo.

Možda zbog blizine tog blagdana, dosta ljudi je odlučilo ostati doma ili se bolnica Rebro rasteretila za taj tjedan da se i bolničari mogu odmoriti. Također na grafikonu 7.1. može se vidjeti da su privoz 1 (Petrova ulica) i privoz 3 (Ulica Prilesje) „sporedne ceste“ jer kroz te privoze prolazi manji broj vozila u odnosu na privoz 2 ((Bukovačka cesta (Jug)) i privoz 4 (Bukovačka cesta (Sjever)). Razlog tomu je veliki broj ljudi koji trebaju ići na pregled doktoru ili na posao.



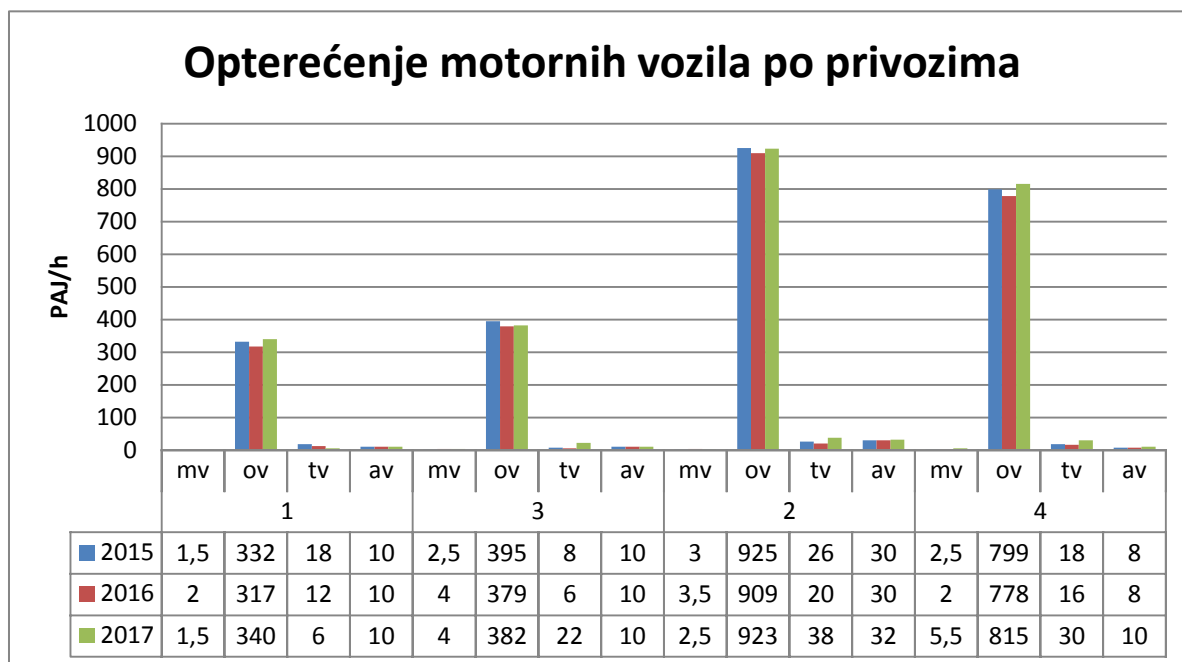
Grafikon 7.1. Opterećenje po privozima

Grafikon 7.2. prikazuje postotak motornih vozila koji su prošli kroz cijelo raskrižje Petrova ulica-Bukovačka cesta u promatranom vremenskom razdoblju. Iz grafikona se može jasno vidjeti da su osobna vozila skoro jedina vozila koja prolaze kroz to raskrižje.



Grafikon 7.2. postotak motornih vozila kroz kružno raskrižje

Grafikon 7.3. prikazuje opterećenje pojedinog privoza izraženog u PAJ/h. Oznaka mv predstavlja motocikliste, ov – osobno vozilo, tv – teretno vozilo, av – autobusno vozilo.



Grafikon 7.3. Opterećenje motornih vozila po privozima

## 8. FUNKCIONALNA UČINKOVITOST KLASIČNOG I TURBO KRUŽNOG RASKRIŽJA

### 8.1. Funkcionalna učinkovitost prometnog opterećenja za 2015. godinu

Analiza prometnih parametara (tablica 8.1., 8.2., 8.3., 8.4., 8.5., 8.6) provedena je metodom HCM2010 za prometna opterećenja navedena u poglavlju 4.1. U tablici 8.1. je prikazan intenzitet ulaza za svaki privoz i PHV. Iz tablice se može jasno vidjeti da su privozi  $Q_B(2)$  i  $Q_D(4)$  jako opterećeni u odnosu na ostale privoze.

Tablica 8.1. Intenzitet ulaza svakog privoza i PHV

PHF	0,91
$Q_A(1)$	349
$Q_B(2)$	959
$Q_C(3)$	409
$Q_D(4)$	817

Iz tablice 8.2. se vidi koliko je običnih i teretnih vozila skrenulo u određeni privoz. Tablica također prikazuje koliko iznosi intenzitet vozila za manevar X izraženim u vozilima po satu, intenzitet za manevar X izraženim u PAJ po satu i također nam prikazuje faktor prilagodbe za teška vozila.

Tablica 8.2. Stvarni intenzitet pojedinog manevara x, Postotak teških vozila, Intenzitet vozila za manevar x, intenzitet za manevar x, Faktor prilagodbe za teška vozila

		STVARNI INTENZITET POJEDINOG MANEVRA X [voz/h]	POSTOTAK TEŠKIH VOZILA [%]	INTENZITET VOZILA ZA MANEVAR X [voz/h]	INTENZITET ZA MANEVAR X [PAJ/h]	FAKTOR PRILAGODBE ZA TEŠKA VOZILA
Privozi	X	$V_x$	$Ph_{v,x}$ [%]	$v_x$	$v_x/PAJ$	$f_x/HV$
1	1	134	0,00%	147	147,43	1,00
	2	41	7,32%	45	48,41	0,93
	3	174	6,32%	191	203,54	0,94
3	7	257	2,72%	283	290,46	0,97
	8	59	1,69%	65	66,01	0,98
	9	93	1,08%	102	103,42	0,99
2	4	64	4,69%	70	73,72	0,96
	5	739	2,03%	813	829,58	0,98
	6	156	6,41%	172	182,64	0,94
4	10	45	6,67%	50	52,81	0,94
	11	632	1,42%	695	705,25	0,99
	12	140	0,71%	154	155,13	0,99

Tablica 8.3. prikazuje koliko iznosi konfliktni tok za pojedini privoz izražen u PAJ po satu, propusnu moć ulaznog dijela privoza izraženog u PAJ po satu, faktor prilagodbe za teška vozila pojedinog privoza i stvarni intenzitet pojedinog privoza izraženog u vozilima po satu.

Tablica 8.3. Konfliktni tok za pojedini privoz, Propusna moć ulaznog dijela privoza, Faktor prilagodbe za teška vozila pojedinog privoza, Stvarni intenzitet pojedinog privoza

	KONFLIKTNI TOK ZA POJEDINI PRIVOZ [PAJ/h]	PROPSNA MOĆ ULAZNOG DIJELA PRIVOZA [PAJ/h]	FAKTOR PRILAGODBE ZA TEŠKA VOZILA POJEDINOG PRIVOZA	STVARNI INTENZITET POJEDINOG PRIVOZA [voz/h]
Privozi	$V_{cx,PAJ}$	$C_{u,PAJ}$	$f_{,HVe}$	$V$
1	1048,53	396,01	0,96	383,98
3	1050,73	395,14	0,98	450,00
2	248,65	881,23	0,97	1055,13
4	430,19	734,93	0,98	898,89

Tablica 8.4. prikazuje intenzitet ulaza privoza izraženog u PAJ po satu, stvarni realni kapacitet ulaza izraženog u vozilima po satu, utjecaj pješaka na kapacitet ulaza privoza i stupanj zasićenja pojedinog privoza.

Tablica 8.4. Intenzitet ulaza privoza, Stvarni realni kapacitet, Utjecaj pješaka na kapacitet ulaza privoza, Stupanj zasićenja pojedinog privoza

	INTENZITET ULAZA PRIVOZA [PAJ/h]	STVARNI REALNI KAPACITET ULAZA [voz/h]	UTJECAJ PJEŠAKA NA KAPACITET ULAZA PRIVOZA	STUPANJ ZASIĆENJA POJEDINOG PRIVOZA
Privozi	$Q_{PAJ}$	$C_u$	$f_{pj}$	X
1	399,39	380,74	1,00	1,01
3	459,90	386,64	1,00	1,16
2	1085,93	848,61	0,99	1,24
4	913,20	640,57	0,89	1,40

Tablica 8.5. prikazuje koliko iznosi prosječno vrijeme kašnjenja za svaki privoz i za cijelo raskrižje izraženog u sekundama po vozilu. Također prikazuje kolika je razina usluge za svaki privoz i za cijelo raskrižje i pokazuje nam koliko vozila čeka u redu za ulaz u raskrižje.

Tablica 8.5. Prosječno vrijeme kašnjenja privoza, Prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja, Duljina repa čekanja

	PROSJEČNO VRIJEME KAŠNJENJA PRIVOZA [s/voz]		PROSJEČNO VRIJEME KAŠNJENA RASKRIŽJA [s/voz]		95% DULJINA REPA ČEKANJA [voz]
Privozi	d	LOS [po privozima]	dRKT	LOS	$Q_{95}$
1	81,91	F	151,92	F	12,20
3	130,15	F			17,54
2	137,29	F			36,62
4	209,90	F			40,59

## 8.2. Funkcionalna učinkovitost prometnog opterećenja za 2016. godinu

Analiza prometnih parametara (tablica 8.7., 8.8., 8.9., 8.10., 8.11., 8.12) provedena je metodom HCM2010 za prometna opterećenja navedena u poglavlju 4.1. U tablici 8.7. je prikazan intenzitet ulaza za svaki privoz i PHV. Iz tablice se može jasno vidjeti da su privozi  $Q_B(2)$  i  $Q_D(4)$  jako opterećeni u odnosu na ostale privoze.

Tablica 8.7. Intenzitet ulaza svakog privoza i PHV

PHF	0,90
$Q_A(1)$	332
$Q_B(2)$	941
$Q_C(3)$	395
$Q_D(4)$	794

Iz tablice 8.8. se vidi koliko je običnih i teretnih vozila skrenulo u određeni privoz. Tablica također prikazuje koliko iznosi intenzitet vozila za manevar X izraženim u vozilima po satu, intenzitet za manevar X izraženim u PAJ po satu i također nam prikazuje faktor prilagodbe za teška vozila.

Tablica 8.8. Stvarni intenzitet pojedinog manevra x, Postotak teških vozila, Intenzitet vozila za manevar x, intenzitet za manevar x, Faktor prilagodbe za teška vozila

		STVARNI INTENZITET POJEDINOG MANEVRA X [voz/h]	POSTOTAK TEŠKIH VOZILA [%]	INTENZITET VOZILA ZA MANEVAR X [voz/h]	INTENZITET ZA MANEVAR X [PAJ/h]	FAKTOR PRILAGODBE ZA TEŠKA VOZILA
Privozi	X	$V_x$	$Phv,x$ [%]	$v_x$	$v_x/PAJ$	$f_x/HV$
1	1	128	0,00%	142	142,25	1,00
	2	38	5,26%	42	44,45	0,95
	3	166	5,42%	184	194,48	0,95
3	7	255	2,75%	283	291,16	0,97
	8	56	0,00%	62	62,23	1,00
	9	84	1,19%	93	94,46	0,99
2	4	61	1,64%	68	68,90	0,98
	5	729	1,92%	810	825,69	0,98
	6	151	6,62%	168	178,92	0,94
4	10	35	5,71%	39	41,12	0,95
	11	628	1,43%	698	707,89	0,99
	12	131	0,76%	146	146,69	0,99

Tablica 8.9. prikazuje koliko iznosi konfliktni tok za pojedini privoz izražen u PAJ po satu, propusnu moć ulaznog djela privoza izraženog u PAJ po satu, faktor prilagodbe za teška vozila pojedinog privoza i stvarni intenzitet pojedinog privoza izraženog u vozilima po satu.

Tablica 8.9. Konfliktni tok za pojedini privoz, Propusna moć ulaznog dijela privoza, Faktor prilagodbe za teška vozila pojedinog privoza, Stvarni intenzitet pojedinog privoza

	KONFLIKTNI TOK ZA POJEDINI PRIVOZ [PAJ/h]	PROPSNA MOĆ ULAZNOG DIJELA PRIVOZA [PAJ/h]	FAKTOR PRILAGODBE ZA TEŠKA VOZILA POJEDINOG PRIVOZA	STVARNI INTENZITET POJEDINOG PRIVOZA [voz/h]
Privozi	$V_{cx,PAJ}$	$C_{u,PAJ}$	$f_{,HVe}$	$V$
1	1040,17	399,34	0,97	368,95
3	1036,84	400,67	0,98	438,96
2	227,81	899,79	0,97	1045,73
4	422,29	740,76	0,99	882,37

Tablica 8.10. prikazuje intenzitet ulaza privoza izraženog u PAJ po satu, stvarni realni kapacitet ulaza izraženog u vozilima po satu, utjecaj pješaka na kapacitet ulaza privoza i stupanj zasićenja pojedinog privoza.

Tablica 8.10. Intenzitet ulaza privoza, Stvarni realni kapacitet, Utjecaj pješaka na kapacitet ulaza privoza, Stupanj zasićenja pojedinog privoza

	INTENZITET ULAZA PRIVOZA [PAJ/h]	STVARNI REALNI KAPACITET ULAZA [voz/h]	UTJECAJ PJEŠAKA NA KAPACITET ULAZA PRIVOZA	STUPANJ ZASIĆENJA POJEDINOG PRIVOZA
Privozi	$Q_{,PAJ}$	$C_u$	$f_{pj}$	$X$
1	381,17	386,53	1,00	0,95
3	447,85	392,72	1,00	1,12
2	1073,51	869,78	0,99	1,20
4	895,70	645,91	0,89	1,37



Tablica 8.11. prikazuje koliko iznosi prosječno vrijeme kašnjenja za svaki privoz i za cijelo raskrižje izraženog u sekundama po vozilu. Također prikazuje kolika je razina usluge za svaki privoz i za cijelo raskrižje i pokazuje nam koliko vozila čeka u redu za ulaz u raskrižje.

Tablica 8.11. Prosječno vrijeme kašnjenja privoza, Prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja, Duljina repa čekanja

	PROSJEČNO VRIJEME KAŠNJENJA PRIVOZA [s/voz]		PROSJEČNO VRIJEME KAŠNJENA RASKRIŽJA [s/voz]		95% DULJINA REPA ČEKANJA [voz]
Privozi	d	LOS [po privozima]	dRKT	LOS	Q <sub>95</sub>
1	63,15	F	135,28	F	10,71
3	113,55	F			16,04
2	120,31	F			33,65
4	193,99	F			38,21

### 8.3. Funkcionalna učinkovitost prometnog opterećenja za 2017. godinu

Analiza prometnih parametara (tablica 8.13, 8.14., 8.15., 8.16., 8.17., 8.18. ) provedena je metodom HCM2010 za prometna opterećenja navedena u poglavlju 4.1. U tablici 8.13. je prikazan intenzitet ulaza za svaki privoz i PHV. Iz tablice se može jasno vidjeti da su privozi Q<sub>B</sub>(2) i Q<sub>D</sub>(4) jako opterećeni u odnosu na ostale privoze.

Tablica 8.13. Intenzitet ulaza svakog privoza i PHV

PHF	0,94
Q <sub>A</sub> (1)	351
Q <sub>B</sub> (2)	963
Q <sub>C</sub> (3)	406
Q <sub>D</sub> (4)	846

Iz tablice 8.14. se vidi koliko je običnih i teretnih vozila skrenulo u određeni privoz. Tablica također prikazuje koliko iznosi intenzitet vozila za manevar X izraženim u vozilima po satu, intenzitet za manevar X izraženim u PAJ po satu i također nam prikazuje faktor prilagodbe za teška vozila.

Tablica 8.14. Stvarni intenzitet pojedinog manevara x, Postotak teških vozila, Intenzitet vozila za manevar x, intenzitet za manevar x, Faktor prilagodbe za teška vozila

		STVARNI INTENZITET POJEDINOG MANEVARA X [voz/h]	POSTOTAK TEŠKIH VOZILA [%]	INTENZITET VOZILA ZA MANEVAR X [voz/h]	INTENZITET ZA MANEVAR X [PAJ/h]	FAKTOR PRILAGODBE ZA TEŠKA VOZILA
Privozi	X	$V_x$	$Ph_{v,x}$ [%]	$v_x$	$v_x/PAJ$	$f_x/HV$
1	1	149	1,34%	159	161,24	0,99
	2	40	2,50%	43	43,78	0,98
	3	162	3,09%	173	178,32	0,97
3	7	263	4,94%	281	294,72	0,95
	8	50	0,00%	53	53,39	1,00
	9	93	3,23%	99	102,51	0,97
2	4	48	4,17%	51	53,39	0,96
	5	823	1,94%	879	895,89	0,98
	6	92	18,48%	98	116,39	0,84
4	10	44	2,27%	47	48,05	0,98
	11	675	2,22%	721	736,79	0,98
	12	127	3,15%	136	139,88	0,97

Tablica 8.15. prikazuje koliko iznosi konfliktni tok za pojedini privoz izražen u PAJ po satu, propusnu moć ulaznog djela privoza izraženog u PAJ po satu, faktor prilagodbe za teška vozila pojedinog privoza i stvarni intenzitet pojedinog privoza izraženog u vozilima po satu.

Tablica 8.15. Konfliktni tok za pojedini privoz, Propusna moć ulaznog dijela privoza, Faktor prilagodbe za teška vozila pojedinog privoza, Stvarni intenzitet pojedinog privoza

	KONFLIKTNI TOK ZA POJEDINI PRIVOZ [PAJ/h]	PROPSNA MOĆ ULAZNOG DIJELA PRIVOZA [PAJ/h]	FAKTOR PRILAGODBE ZA TEŠKA VOZILA POJEDINOG PRIVOZA	STVARNI INTENZITET POJEDINOG PRIVOZA [voz/h]
Privozi	$V_{cx,PAJ}$	$C_{u,PAJ}$	$f_{,HVe}$	$V$
1	1079,56	383,91	0,98	374,80
3	1110,52	372,21	0,96	433,53
2	253,07	877,35	0,96	1028,30
4	401,50	756,33	0,98	903,37

Tablica 8.16. prikazuje intenzitet ulaza privoza izraženog u PAJ po satu, stvarni realni kapacitet ulaza izraženog u vozilima po satu, utjecaj pješaka na kapacitet ulaza privoza i stupanj zasićenja pojedinog privoza.

Tablica 8.16. Intenzitet ulaza privoza, Stvarni realni kapacitet, Utjecaj pješaka na kapacitet ulaza privoza, Stupanj zasićenja pojedinog privoza

	INTENZITET ULAZA PRIVOZA [PAJ/h]	STVARNI REALNI KAPACITET ULAZA [voz/h]	UTJECAJ PJEŠAKA NA KAPACITET ULAZA PRIVOZA	STUPANJ ZASIĆENJA POJEDINOG PRIVOZA
Privozi	Q,PAJ	Cu	fpj	X
1	383,34	375,36	1,00	1,00
3	450,62	358,10	1,00	1,21
2	1065,67	838,11	0,99	1,23
4	924,72	654,35	0,89	1,38

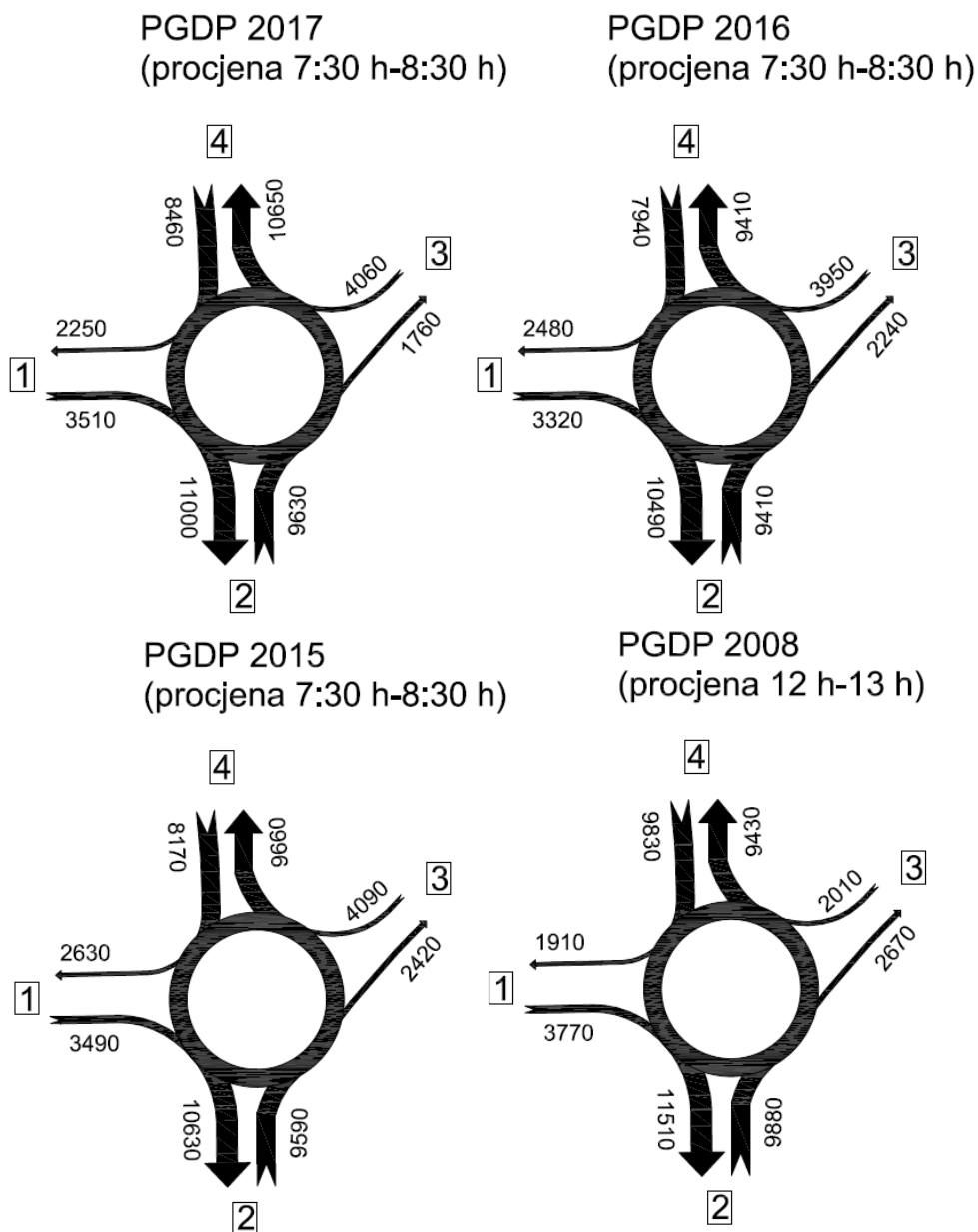
Tablica 8.17. prikazuje koliko iznosi prosječno vrijeme kašnjenja za svaki privoz i za cijelo raskrižje izraženog u sekundama po vozilu. Također prikazuje kolika je razina usluge za svaki privoz i za cijelo raskrižje i pokazuje nam koliko vozila čeka u redu za ulaz u raskrižje.

Tablica 8.17. Prosječno vrijeme kašnjenja privoza, Prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja, Duljina repa čekanja

	PROSJEČNO VRIJEME KAŠNJENJA PRIVOZA [s/voz]		PROSJEČNO VRIJEME KAŠNJENA RASKRIŽJA [s/voz]		95% DULJINA REPA ČEKANJA [voz]
Privozi	d	LOS [po privozima]	dRKT	LOS	Q95
1	74,90	F	149,04	F	11,82
3	150,33	F			18,31
2	130,91	F			34,84
4	199,81	F			39,67

## 8.4. PGDP

Prosječan godišnji dnevni promet raskrižja Petrova ulica i Bukovačka ulica se nalazi na slici 8.1. Na slici se mogu vidjeti razlike broja vozila po privozima pri ulasku u raskrižje i izlasku iz raskrižja za pojedinu godinu. Iz slike se vidi da je prometno opterećenje na privozima 2 i 4 skoro tri puta veće u odnosu na privoze 1 i 3. Privozi 1 i 3 imaju mali broj vozila koji prođu kroz raskrižje, ali zbog velikog broja vozila na privozima 2 i 4, vozila ne mogu ući u kružno raskrižje zbog kontinuiranog naleta vozila sa privoza 2 i 4 i ponekad zbog zagušenja prometa. Iz tog razloga privozi 1 i 3 imaju ocjenu razine usluge F.



Slika 8.1. Prosječan godišnji dnevni promet

## 8.5. Funkcionalna učinkovitost prometnog opterećenja turbo kružnog raskrižja

### ❖ Modificirana Bovyjeva jednadžba

Modificirana Bovyjeva jednadžba (Jednadžba 20) za proračun propusne moći turbo kružnih raskrižja nije jednostavna kao što to piše u literaturi pod [7]. Na samom promatranju jednadžbe se vidi da jednadžba za desni prometni trak ( $C_{E,2}^*$ ) u odnosu na lijevi prometni trak ( $C_{E,1}^*$ ), ima jasno napisan pod parametar (a) prvo indeks, pa onda broj parametra koji se ubacuje. Ostali parametri nisu dobro razjašnjeni jer u prvoj jednadžbi piše  $b_m$ ,  $b_M$ ,  $a_1$ , i također nije objašnjeno što znači indeks S. U drugoj jednadžbi piše parametar b sa indeksom 2, ali ne piše dali se ubacuje  $b_{min}$  ili  $b_{max}$ . U drugoj jednadžbi postoje indeksi Z, N i S, ali druga jednadžba označava desni prometni trak koji je ujedno i vanjski prometni trak pa je dobro što piše indeks Z, ali indeks N ne može biti u jednadžbi jer piše da je indeks N za unutarnji vozni trak. Vanjski prometni trak ne može postati unutarnji, nego samo unutarnji vozni trak može postati vanjski prometni trak. To se jasno može vidjeti na slici 3.1.

$$C_{E,1} = C_0 - b_m * Q_{R,m} - b_M * Q_{R,M} - a_1 * Q_S$$
$$C_{E,2}^* = C_{02}^* - b_2 * Q_{RZ}^* - a_{2,1} * Q_{SN}^* \quad (20)$$

Iako modificirana Bovyjeva jednadžba nije dovoljno jasna, ipak se probalo riješiti na način da su  $Q_{R,m}$ ,  $Q_{R,M}$ ,  $Q_{RZ}^*$ ,  $Q_{SN}^*$  i  $Q_S$  ustvari intenzitet ulaza pojedinog traka, a pod  $b_m$  je stavljen  $b_{min}$ , pod  $b_M$  i  $b_2$  je stavljen  $b_{max}$ , a pod  $a_1$  je stavljen  $a_1$ . Intenzitet ulaza pojedinog traka (intenzitet za manevar izraženog u PAJ/h) se izvuklo iz tablice 8.14.

#### **Privoz 1:**

##### **Lijevi prometni trak:**

$$C_{E,1} = C_0 - b_m * Q_{R,m} - b_M * Q_{R,M} - a_1 * Q_S$$

$$C_{E,1} = 1550 - 0,68 * 205,02 - 0,82 * 205,02 - 0,21 * 205,02$$

$$C_{E,1} = 1199,4158 \text{ PAJ/h}$$

##### **Desni prometni trak:**

$$C_{E,2}^* = C_{02}^* - b_2 * Q_{RZ}^* - a_{2,1} * Q_{SN}^*$$

$$C_{E,2}^* = 1550 - 0,82 * 178,32 - 0,21 * 178,32$$

$$C_{E,2}^* = 1366,3304 \text{ PAJ/h}$$

**Propusna moć privoza:**

$$C_u = C_{E,1} + C_{E,2}^* = 1199,4158 + 1366,3304 = 2565,7462 \text{ PAJ/h}$$

**Privoz 2:**

**Lijevo prometni trak:**

$$C_{E,1} = C_0 - b_m * Q_{R,m} - b_M * Q_{R,M} - a_1 * Q_S$$

$$C_{E,1} = 1550 - 0,68 * 501,335 - 0,82 * 501,335 - 0,21 * 501,335$$

$$C_{E,1} = 692,717 \text{ PAJ/h}$$

**Desno prometni trak:**

$$C_{E,2}^* = C_{02}^* - b_2 * Q_{RZ}^* - a_{2,1} * Q_{SN}^*$$

$$C_{E,2}^* = 1550 - 0,82 * 564,335 - 0,21 * 564,335$$

$$C_{E,2}^* = 968,735 \text{ PAJ/h}$$

**Propusna moć privoza:**

$$C_u = C_{E,1} + C_{E,2}^* = 692,717 + 968,735 = 1661,452 \text{ PAJ/h}$$

**Privoz 3:**

**Lijevo prometni trak:**

$$C_{E,1} = C_0 - b_m * Q_{R,m} - b_M * Q_{R,M} - a_1 * Q_S$$

$$C_{E,1} = 1550 - 0,68 * 348,11 - 0,82 * 348,11 - 0,21 * 348,11$$

$$C_{E,1} = 954,732 \text{ PAJ/h}$$

**Desno prometni trak:**

$$C_{E,2}^* = C_{02}^* - b_2 * Q_{RZ}^* - a_{2,1} * Q_{SN}^*$$

$$C_{E,2}^* = 1550 - 0,82 * 102,51 - 0,21 * 102,51$$

$$C_{E,2}^* = 1444,415 \text{ PAJ/h}$$

**Propusna moć privoza:**

$$C_u = C_{E,1} + C_{E,2}^* = 954,732 + 1444,415 = 2399,147 \text{ PAJ/h}$$

**Privoz 4:**

**Lijevo prometni trak:**

$$C_{E,1} = C_0 - b_m * Q_{R,m} - b_M * Q_{R,M} - a_1 * Q_S$$

$$C_{E,1} = 1550 - 0,68 * 416,445 - 0,82 * 416,445 - 0,21 * 416,445$$

$$C_{E,1} = 837,879 \text{ PAJ/h}$$

**Desni prometni trak:**

$$C_{E,2}^* = C_{02}^* - b_2 * Q_{RZ}^* - a_{2,1} * Q_{SN}^*$$

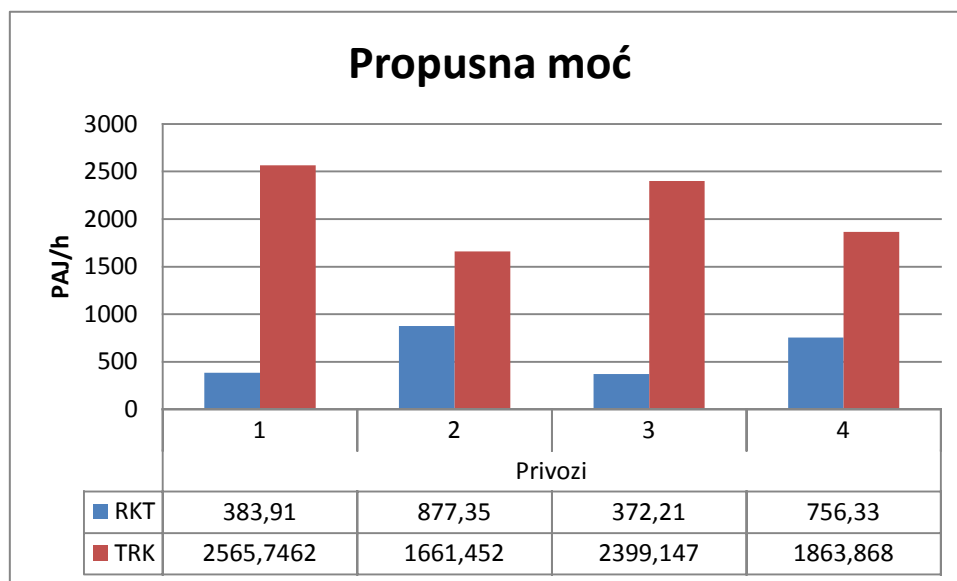
$$C_{E,2}^* = 1550 - 0,82 * 508,275 - 0,21 * 508,275$$

$$C_{E,2}^* = 1025,989 \text{ PAJ/h}$$

**Propusna moć privoza:**

$$C_u = C_{E,1} + C_{E,2}^* = 837,879 + 1025,989 = 1863,868 \text{ PAJ/h}$$

Promatrajući ova rješenja možemo vidjeti da je propusna moć na svakom privozu dosta veća u odnosu na propusnu moć klasičnog kružnog raskrižja. Razlika se može jasnije vidjeti u grafikonu 8.1.



Grafikon 8.1. Propusna moć klasičnog i turbo kružnog raskrižja

Gledajući grafikon 8.1., možemo zaključiti da ovaj način rješavanja nije dobar jer su razlike velike. Pogotovo kada gledamo glavne privoze 2 i 4, gdje se vidi da je njihova propusna moć manja u odnosu na propusnu moć privoza 1 i 3 koji su u ovom slučaju sporedni privozi. Takav krajnji rezultat nije moguć jer se u ovoj rekonstrukciji raskrižja odlučilo da su privozi 2 i 4 glavni, pa bi zbog toga propusna moć na glavnim privozima trebala biti veća od privoza 1 i 3.

## ❖ Modificirana Hangrigova jednadžba

U modificiranoj Hangrigovoj jednadžbi ima dosta nejasnoća. Jedino su definirane vrijednosti parametara u tablici 5.1. Postavljajući jednadžbu odmah je vidljivo da se na početku mnogo toga krati. Na primjer u jednadžbi  $\lambda_j = \frac{\varphi_j * q_{RS,j}}{1 - t_M * q_{R,j}}$  vidimo da se  $\varphi(\text{fi})$  krati sa donjom jednadžbom jer je  $\varphi = 1 - t_M * q_R$ . Kada se ti simboli pokrate, ostane samo  $q_{RS,j}$ , koji se onda ubacuje u jednadžbu i opet krati sa  $q_{RS,j}$ . Stavljanjem svih tih simbola u jednadžbu dobijemo novu jednadžbu koja glasi:

$$C_{E,j} = 3600 * \Lambda * \prod_{j=1}^n \varphi_j * \frac{e^{-\sum_k \lambda_k * t_{Cj,k}}}{e^{-\Lambda * t_M * (1 - e^{-\sum_m \lambda_m * t_{Fj,m}})}} \quad (21)$$

No, niti to nije problem, jer jednadžba za  $q_{RS}$  kaže da je to jakost kružnog prometnog toka zajedno s jakošću konfliktnog prometnog toka. Zbrajanjem tih dviju vrijednosti za vozni trak 1, dobivamo vrijednost 306,46 PAJ/h. Ubacivanjem vrijednosti parametara u jednadžbu, rezultat brojnika je  $e^{-306,46 * 2,9} = 0$ , a rezultat nazivnika je  $1 - e^{306,46 * 2} = \text{ERROR}$ .

Već na samom početku ove jednadžbe se pokazalo loše, pa se može i po tome vidjeti da se i sa ovom jednadžbom ne može napraviti proračun za turbo kružno raskrižje.



## 9. PRIJEDLOG REKONSTRUKCIJE RASKRIŽJA S KRUŽNIM TOKOM PROMETA PETROVA ULICA- BUKOVAČKA CESTA

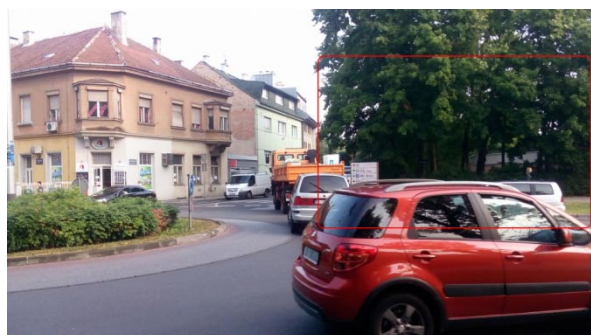
Kružno raskrižje na križanju Petrove ulice i Bukovačke ceste u gradu Zagrebu ima mnogo motoriziranih sudionika u prometu gdje je razina usluge jako loša i gdje nastaju velike duljine repa čekanja. Bilo bi dobro na tom križanju izvesti turbo kružno raskrižje, a ne dvotračno kružno raskrižje zbog veće sigurnosti, a i zbog mogućnosti većeg protoka vozila. Iz tog razloga, prijedlog rekonstrukcije raskrižja s klasičnim kružnim tokom prometa na križanju Petrove ulice – Bukovačke ceste u gradu Zagrebu je turbo kružno raskrižje (Prilog 4.).

Za rekonstrukciju će se koristiti kombinacija standardnog i jajastog tipa kružnog raskrižja gdje će glavni smjer biti Bukovačka cesta koja će imati dva vozna traka na ulazu i izlazu, a Petrova ulica samo jedan ulazni i jedan izlazni vozni trak, a ulica Prilesje dva ulazna i jedan izlazni vozni trak. U nastavku će se opisivati dijelovi predloženog raskrižja. (Slika 9.3., 9.4., 9.5., 9.6., 9.7.)

Prijedlog turbo kružnog raskrižja mora biti mini turbo kružno raskrižje, a ne standardno ili neko drugo zbog toga jer nema dosta mjesta za izvedbu. Jedino gdje se može širiti turbo kružno raskrižje je park Maksimir i zatvoreni objekt koji se nalazi s desne strane prilikom ulaska u kružni tok iz ulice Prilesje i s lijeve strane kada se ide od bolnice Rebro. (slika 9.1., 9.2.)



Slika 9.1. Zatvoreni objekt



Slika 9.2. Zatvoreni objekt

Rekonstrukcijom kružnog raskrižja se uz rekonstrukciju kolničkog dijela rekonstruirala i biciklistička i pješačka staza. Biciklistička staza je širine 1 metra, a širina pješačke staze 1,6 metara. S obzirom da dosta pješaka i biciklista prijelazi kolnički trak, dodan je i razdjelni otok

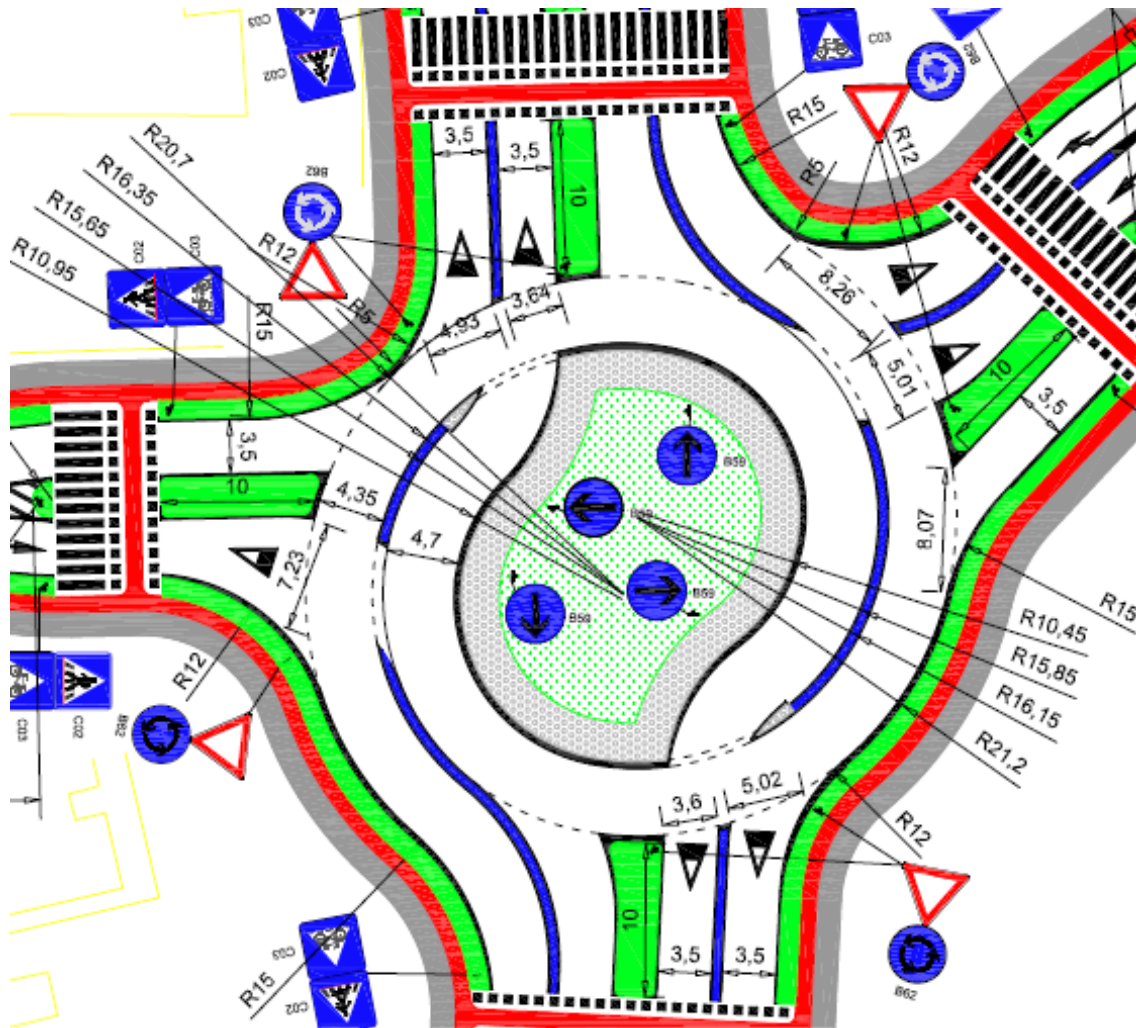
širine 2,5 metara gdje bez problema može stati bicikl ili osoba sa bebinim kolicima radi sigurnog prijelaza preko kolničkog traka. (Slika 9.3.)

Osnovne značajke turbo kružnog raskrižja i način njegove izvedbe se nalaze u poglavlju 3.

Dijelovi mini turbo kružnog raskrižja Petrova ulica – Bukovačka cesta:

- Središnji dio kružnog raskrižja
- Privoz s Petrove ulice (Zapad)
- Privoz s Bukovačke ceste (Jug)
- Privoz s Bukovačke ceste (Sjever)
- Privoz s ulice Prilesje (Istok)
- **Središnji dio kružnog raskrižja**

Središnji dio kružnog raskrižja sastoji se od središnjeg otoka koji ima nepovozni dio u kojem se nalaze prometni znakovi koji usmjeravaju promet, uvjetno povozni dio širine 2,5 metara koji olakšava ulaz i izlaz dužim vozilima i povozni dio koji smiju sva vozila koristiti. No, vozila ne trebaju koristiti povozni dio središnjeg otoka jer je prometnica dosta široka. Vanjski vozni trak je širine 4,35 metara, dok je unutarnji vozni trak širine 4,7 metara. Širine voznih trakova su dovoljne i za autobusno vozilo duljine 12 metara (Prilog 5.). Raskrižje je konstruirano tako da vozila koja uđu u unutrašnji vozni trak, kasnije kroz vožnju raskrižjem prijeđu u vanjski vozni trak bez prestrojavanja. Na taj način se omogućuje vozilu da sigurno izađe iz turbo kružnog raskrižja u odnosu na dvotračno kružno raskrižje gdje se vozilo mora iz unutarnjeg voznog traka prvo prestrojiti u vanjski vozni trak, pa tek onda izaći iz kružnog raskrižja. Vozni trakovi su odvojeni pomoću delineatora koji sprječavaju prestrojavanje drugih vozila u kružnom raskrižju gdje se i na taj način uspjela povećati sigurnost prometa u turbo kružnom raskrižju. Također se kružni vozni trak sastoji od „špice“ koji naglašava vozaču da nema prestrojavanja u turbo kružnom raskrižju.

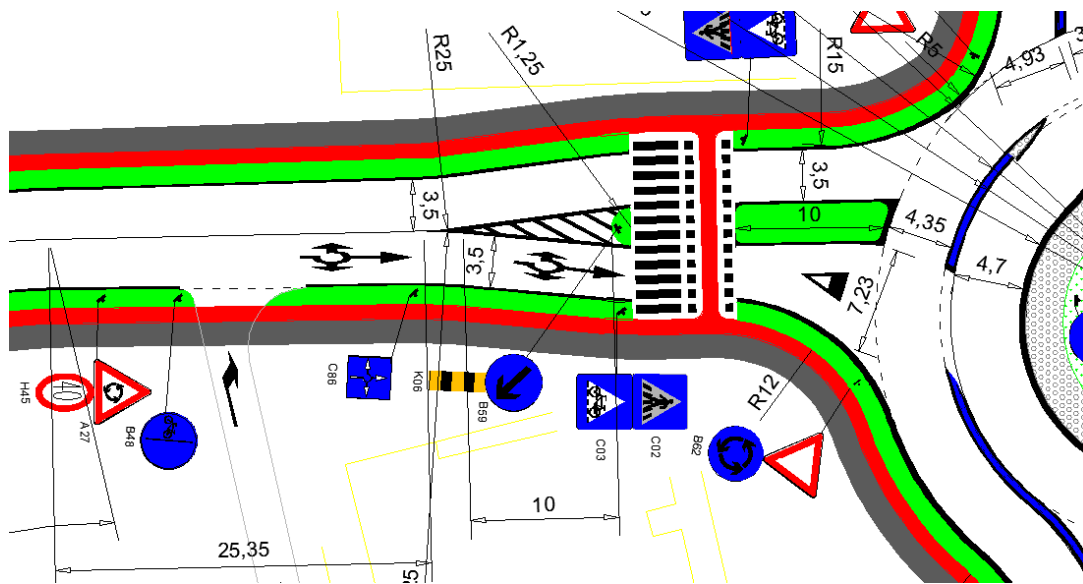


Slika 9.3. Središnji dio kružnog raskrižja

- **Privoz s Petrove ulice (Zapad)**

Privoz s Petrove ulice ima po jedan ulazni i jedan izlazni trak širine 3,5 metara, razdjelni otok širine 2,5 metara za siguran prelazak pješaka, biciklista, invalida i ostalih nemotoriziranih sudionika u prometu. Pješački i biciklistički prijelaz je odmaknut 10 metara od kružnog kolnika radi toga da stane jedno ili više vozila prije ulaska u kružno raskrižje, jer na taj način vozači ne moraju paziti u isto vrijeme i na nemotorizirani promet i na vozila u kružnom raskrižju. Odmaknuti pješački i biciklistički prijelaz je dobar i za vozila koja izlaze iz turbo kružnog raskrižja jer se na taj način ne blokira vozni trak u raskrižju. Prilaz prema turbo kružnom raskrižju je označen pomoću prometnih znakova koji upozoravaju vozače da prilaze turbo

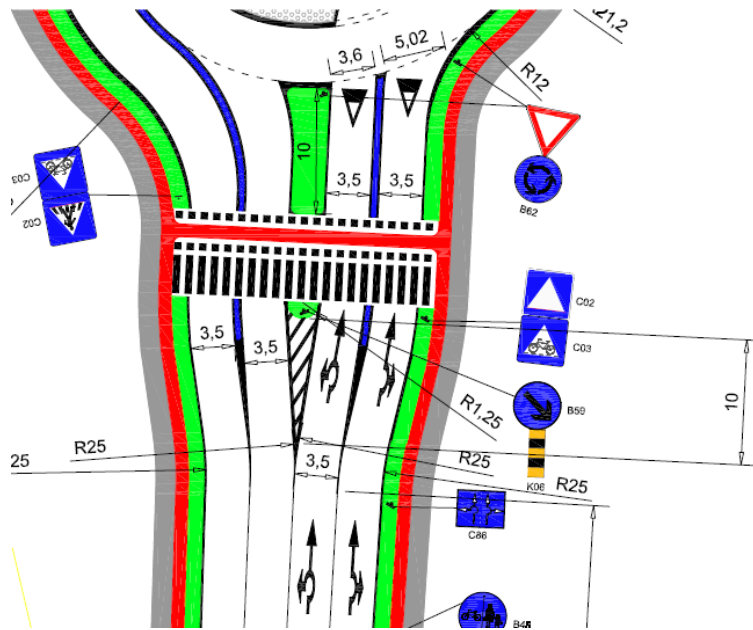
kružnom raskrižju i također ih upozoravaju koja vozna traka vodi u željenom smjeru vozača.



Slika 9.4. Petrova ulica (Zapad)

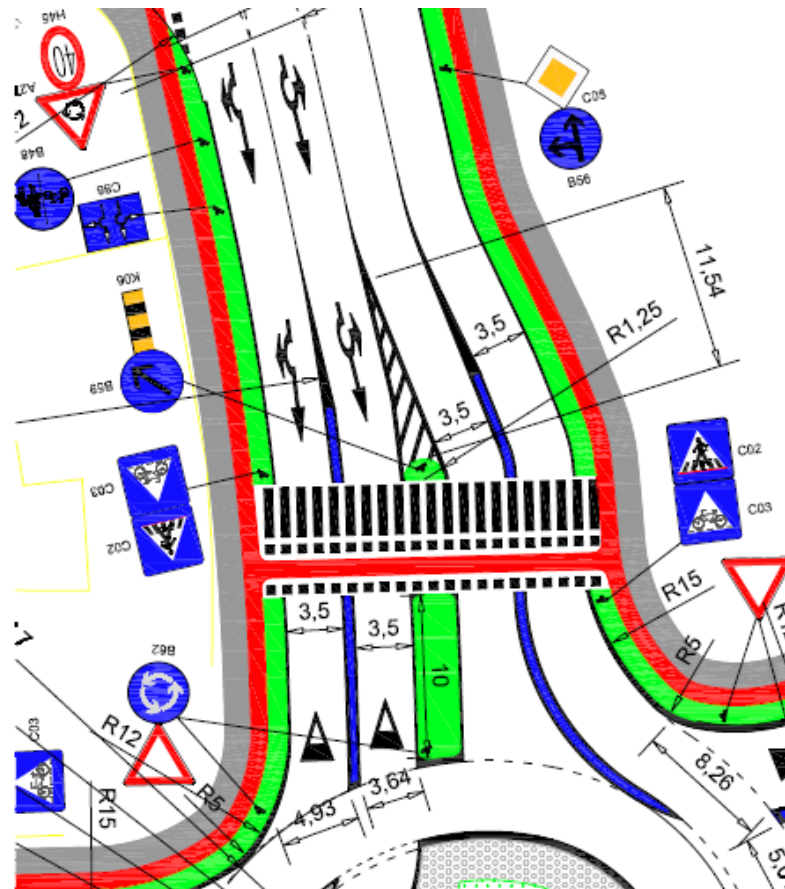
- **Privoz s Bukovačke ceste (Jug)**

Privoz s Bukovačke ceste (Jug) ima po dva ulazna i dva izlazna vozna traka koji su širine 3,5 metara. I na ovom privozu je pješački i biciklistički promet odmaknut za 10 metara od turbo kružnog raskrižja i privoz je također opremljen prometnim znakovima za vođenje vozača kroz turbo kružno raskrižje. Vozni trakovi su odmaknuti razdjelnim otokom širine 2,5 metara, a vozni trakovi koji idu u istome smjeru su odmaknuti jedan od drugog pomoću delineatora koji sprječavaju prestrajavanje netom prije ulaska u turbo kružno raskrižje. Vozila se moraju ranije prestrajiti u željenu voznu traku jer samo lijeva vozna traka vozi ravno i lijevo, dok desna prometna traka vozi ravno i desno. Na taj način se sprečavaju sudari s unutarnjom i vanjskom voznom trakom. Privoz s Bukovačke ceste (Sjever) je na isti način projektiran.



Slika 9.5. Bukovačka cesta (Jug)

- **Privoz s Bukovačke ceste (Sjever)**

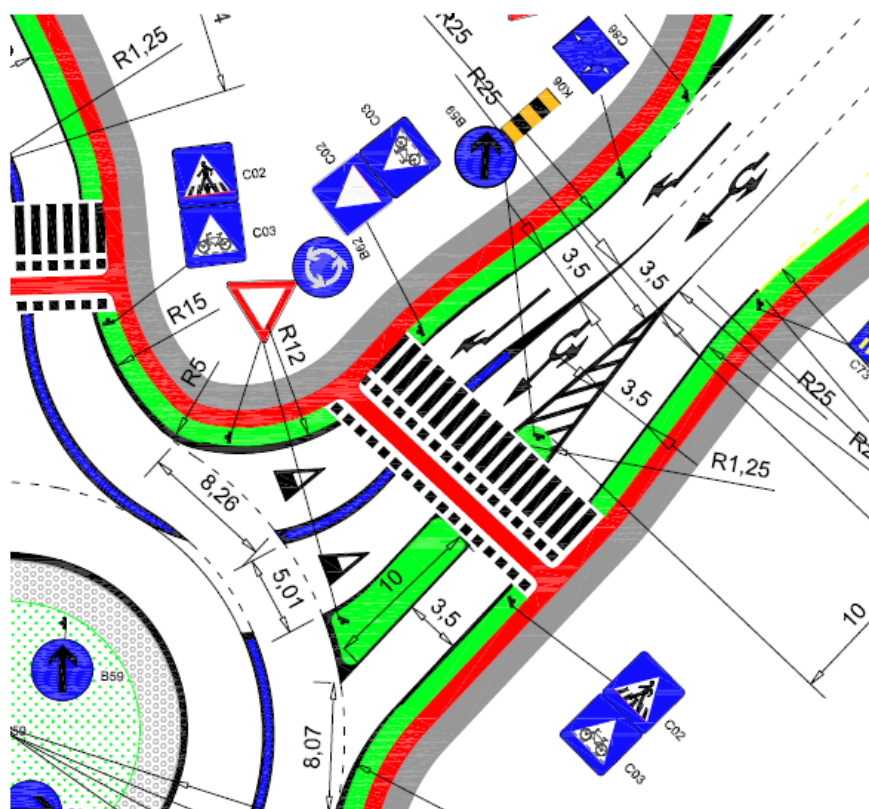


Slika 9.6. Bukovačka cesta (Sjever)



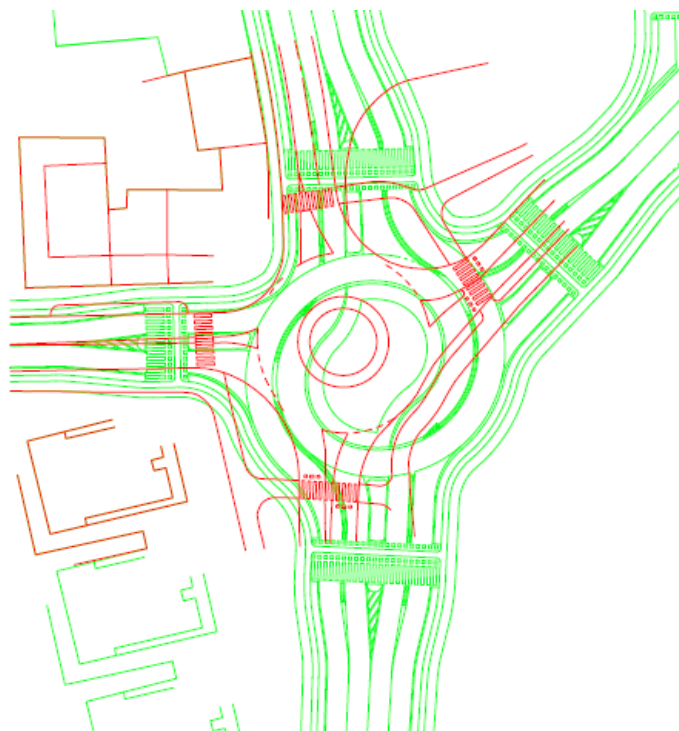
- **Privoz s ulice Prilesje (Istok)**

Privoz s ulice Prilesje ima po dva ulazna vozna traka i po jedan izlazni trak širine 3,5 metara. I na ovom privozu je pješački promet odmaknut za 10 metara od turbo kružnog raskrižja i također je opremljen sa prometnim znakovima i vozni trakovi su odvojeni pomoću razdjelnog otoka širine 2,5 metara, dok su vozni trakovi koji idu u istom smjeru odvojeni pomoću delineatora.



Slika 9.7. Ulica Prilesje (Istok)

Mini turbo kružno raskrižje zauzima više zemljine površine nego malo kružno raskrižje, što se jasno može vidjeti na slici 9.8. Crvena boja prikazuje postojeće stanje raskrižja, dok zelena boja prikazuje kako bi kružno raskrižje trebalo izgledati nakon rekonstrukcije. Na slici se vidi da se postojeće zgrade nisu morale micati jer je bilo dovoljno mjesta za rekonstrukciju prema parku Maksimiru. Jedino se morao maknuti prazan objekt koji se vidi na slici 9.1. i 9.2..

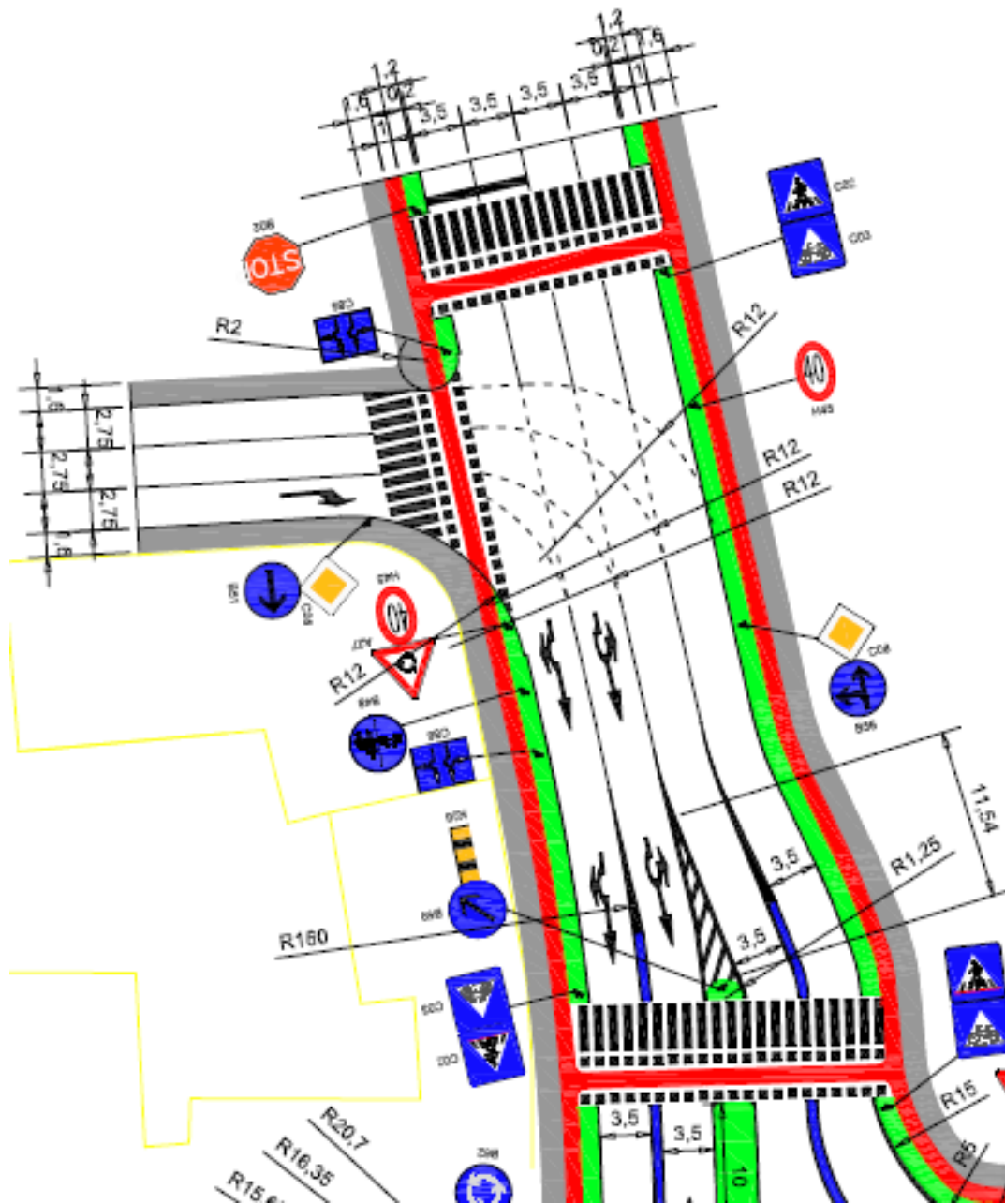


Slika 9.8. Usporedba postojećeg stanja (crveno) i predloženog (zeleno)

Rekonstrukcija raskrižja ne bi imala učinka ako se ne bi riješio problem i na raskrižju Kišpatičeve ulice i Bukovačke ceste. Prijedlog za to križanje je da Kišpatičeva ulica ima tri vozna traka gdje bi se jedna traka priključivala na Bukovačku cestu, a ostale dvije bi se priključivale od Bukovačke i to iz smjera turbo kružnog raskrižja. Kišpatičeva ulica je širine 8.36 (slika 9.9) pa se zbog toga mogu izvesti tri vozna traka širine 2.75 metara. Na taj način bi se spriječilo stvaranje zastoja u kružnom kolniku (slika 9.10.) jer trenutno postoji samo jedan vozni trak za skretanje prema bolnici Rebro a veći dio vozila ujutro ide u bolnicu.



Slika 9.9. Prikaz širine Kišpatičeve ulice



Slika 9.10. Prijedlog rekonstrukcije raskrižja Kišpatičeva ulica – Bukovačka cesta



## 10. ZAKLJUČAK

Pomoću proračuna za klasično kružno raskrižje po metodi HCM2010 možemo vidjeti da je razina usluge na cijelom kružnom raskrižju u tri različita datuma jako loša (Razina usluge = F). Za 2015. godinu prosječno vrijeme kašnjenja iznosi 151,92 s/voz, za 2016. godinu iznosi 135,28 s/voz i za 2017. godinu iznosi 149,04 s/voz. Smjernice za proračun turbo kružnog raskrižja po modificiranoj Bovyjevoj metodi i modificiranoj Hangrigovoj metodi nije jasno napisano, zbog čega se nažalost pomoću proračuna ne može usporediti koje je raskrižje bolje.

Bez obzira na proračune, prijedlog rekonstrukcije klasičnog kružnog raskrižja je mini turbo kružno raskrižje. Prijedlog je mini turbo kružno raskrižje jer bi standardno turbo kružno raskrižje zauzimalo previše mjesta, a mini turbo raskrižje ima dovoljno široke vozne trakove koji su odvojeni pomoću delineatora, gdje unutarnji vozni trak iznosi 4,7 metara, a vanjski vozni trak 4,35 metara. Širine voznih trakova su dovoljne i za autobusno vozilo duljine 12 metara. U slučaju dolaska većeg teretnog vozila, mini turbo kružno raskrižje ima uvjetno povozni dio središnjeg otoka širine 2,5 metara. Uz rekonstrukciju raskrižja Pretova ulica – Bukovačka cesta, rekonstruirano je i raskrižje Kišpatičeve ulice – Bukovačke cesta, gdje bi se u Kišpatičevoj ulici napravila tri vozna traka i na taj način povećala protočnost vozila na oba raskrižja.

Na temelju provedenog istraživanja u ovome Završnom radu zaključujem da je turbo kružno raskrižje puno bolje rješenje nego klasično kružno raskrižje zbog veće sigurnosti motoriziranog prometa i zbog mogućnosti većeg protoka vozila.

## LITERATURA

- [1] Legac, I. i dr.: *Gradske prometnice*, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2011.
- [2] Tomislav Cvetko i dr: Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, srpanj 2014.
- [3] Kenjić, Z.: *Priručnik za planiranje i projektovanje kružnih raskrsnica – rotora*, IPSA Institut Sarajevo, Sarajevo, avgust 2009.
- [4] Smjernice za projektiranje i opremanje raskrižja kružnog oblika – rotora, Institut prometa i veza, Zagreb, kolovoz 2002.
- [5] Pilko, H.: *Optimiziranje oblikovne i sigurnosne komponente raskrižja s kružnim tokom prometa*, doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2014.
- [6] NCHRP – National Cooperative Highway Research Program: Roundabouts: An Informational Guide, Second Edition, Report No. 672, Transportation Research Board, Washington, D. C., USA, 2010.
- [7] Tomislav Cvetko i dr: Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika na državnim cestama, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, rujan 2014.
- [8] HCM – Highway Capacity Manual, Volume 3: Interrupted flow. Transport Research Laboratory, Washington, D. C., USA, 2010.
- [9] FHWA – Federal Highway Administration: Roundabouts: An Informational Guide, Publication No. FHWA-RD-00-067, Kittelson & Associates, Inc., Portland, Oregon, USA, June 2000.
- [10] Legac, I.: Raskrižja javnih cesta/Cestovne prometnice II., Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2008.
- [11] Cerovac, V.: Tehnika i sigurnost prometa, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1997.
- [12] NCHRP – National Cooperative Highway Research Program: Roundabouts in the United States, Report No. 572, National Academy Press, Washington, D. C., 2007.
- [13] <http://www.karta-zagreba.com/karta-zagreba/>, (pristupljeno: kolovoz 2017.)
- [14] <http://www.samsung.com/uk/wearables/gear-360-c200/>, (pristupljeno: kolovoz 2017.)
- [15] Podaci iz MUP-a, Odjel za sigurnost cestovnog prometa (prikupljeno: Lipanj 2017.)

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Osnovni elementi urbanog kružnog raskrižja [2] .....	3
Slika 2.2. Elementi za provjeru provoznosti kružnog kolnika i privoza [1] .....	10
Slika 2.3. Povožni dio središnjeg otoka [2] .....	11
Slika 2.5. Položaj sjecišta osovina privoza s obzirom na središte kružnog raskrižja; a – dobro, b – prihvatljivo odstupanje do 15°, c – loše [4] .....	14
Slika 2.6. Poprečni nagib ulaza, izlaza i kružnog kolnika [2] .....	14
Slika 2.7. Smještanje autobusnih stajališta uz kružno raskrižje [5] .....	16
Slika 3.1. Oznake glavnih elemenata turbo kružnog raskrižja u naselju [7] .....	17
Slika 3.2. Standardno turbo kružno raskrižje [7] .....	20
Slika 3.3. Jajasti turbo kružni tok [7] .....	20
Slika 3.4. Kombinacija standardnog i jajastog oblika turbo kružnog raskrižja .....	21
Slika 3.5. Koljenasti turbo kružni tok [7] .....	21
Slika 3.6. Rastegnuti koljenasti turbo kružni tok [7] .....	22
Slika 3.7. Spiralni turbo kružni tok [3] .....	22
Slika 3.8. Turbina turbo kružni tok [3] .....	23
Slika 3.9. Glavni projektni elementi – polumjeri turbo kružnog raskrižja .....	24
Slika 3.10. Elementi i dimenzije mini turbo kružnog raskrižja .....	26
Slika 3.11. Polumjeri ulaznih i izlaznih krivina .....	27
Slika 3.12. Udaljenost između vanjskih i unutrašnjih točaka translacijske osovine mini turbo kružnog raskrižja .....	28
Slika 3.13. Oblikovanje turbo kružnog raskrižja pomoću „turbo bloka“ .....	29
Slika 3.14. Trokutasti oblik [7] .....	29
Slika 3.15. Kapljasti oblik [7] .....	29
Slika 3.16. Širina razdjelnog otoka .....	30
Slika 3.17. Prijelaz za pješake i bicikliste .....	31
Slika 3.18. Dijelovi središnjeg otoka turbo kružnog raskrižja [7] .....	32
Slika 3.19. Presjek delineatora i detalj izvedbe [7] .....	33
Slika 3.20. Montažni rubnjak – delineator [7] .....	33
Slika 3.21. Elementi „špice“ [7] .....	34
Slika 3.22. Početak montažnog rubnjaka – „špica“ [7] .....	34
Slika 4.1. Oznake broja privoza i pripadajuća podjela prometnih tokova za potrebe modela [5] .....	38
Slika 5.1. Situacije u dvotračnom turbo kružnom raskrižju [7] .....	49
Slika 6.1. Konfliktne točke u a) klasičnom i b) kružnom četverokrakom raskrižju [5] .....	50

Slika 6.2. Prometne nesreće u kružnom kolniku [2].....	51
Slika 6.2 Prikaz konfliktnih točaka pješaka i motornih vozila [5].....	52
Slika 6.3. Prikaz konfliktnih točaka za bicikliste na raskrižju s četiri privoza; a) klasičnom raskrižju u razini i b) raskrižju s kružnim tokom prometa [5].....	53
Slika 6.5. Prostor preglednosti u kružnom raskrižju [1] .....	54
Slika 6.7. Čelna preglednost na ulazu u kružno raskrižje [5]. .....	55
Slika 6.8. Primjer obilježavanja kružnog raskrižja vertikalnom i horizontalnom signalizacijom [5].....	58
Slika 6.9. Tlocrtni prikaz rasvjete kružnog raskrižja [6] .....	59
Slika 6.10. Konfliktna točka u turbo kružnom raskrižju s dvotračnim ulazima i s po jednim parom jednotračnih i dvotračnih izlaza [7] .....	60
Slika 6.11. Razdvajanje ulaznih i izlaznih prometnih trakova razdjelnim otocima na ulazima i izlazima [7] .....	61
Slika 6.12. Smicanje prijelaza za bicikliste i pješake između ulaza i izlaza [7] .....	61
Slika 6.13. Prometna signalizacija turbo kružnog raskrižja u naselju [7].....	62
Slika 7.1. Makro dispozicija u gradskoj mreži [13] .....	63
Slika 7.2. Mikro dispozicija u gradskoj mreži [13] .....	64
Slika 7.3. Privozi a) Petrova ulica (Zapad), b) Ulica Prilesje (istok), c) Bukovačka cesta (Sjever), d) Bukovačka cesta (Jug) [13] .....	64
Slika 7.4. Tlocrtni oblikovni elementi [5].....	65
Slika 7.5. Npropisno zaustavljeno vozilo .....	67
Slika 7.6. Lokacija kamere Sony.....	68
Slika 7.7. Kamera Samsung Gear 360 [14].....	68
Slika 7.8. Kamera Samsung Gear 360 smještena u središtu kružnog raskrižja – neprimjetna sa određene udaljenosti .....	69
Slika 7.9. Kamera Samsung Gear 360 smještena u središtu kružnog raskrižja – primjećuje se iz blizine .....	70
Slika 7.10. Prikaz kako se vidi iz kamere Samsung Gear 360.....	70
Slika 8.1. Prosječan godišnji dnevni promet.....	81
Slika 9.1. Zatvoreni objekt .....	86
Slika 9.2. Zatvoreni objekt .....	86
Slika 9.3. Središnji dio kružnog raskrižja.....	88
Slika 9.4. Petrova ulica (Zapad) .....	89
Slika 9.5. Bukovačka cesta (Jug) .....	90
Slika 9.7. Ulica Prilesje (Istok).....	91
Slika 9.8. Usporedba postojećeg stanja (crveno) i predloženog (zeleno) .....	92

Slika 9.9. Prikaz širine Kišpatičeve ulice.....	92
Slika 9.10. Prijedlog rekonstrukcije raskrižja Kišpatičeva ulica – Bukovačka cesta .....	93

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Okvirni oblikovni i prometno-tehnički elementi kružnih raskrižja [1].....	7
Tablica 2.2. Vanjski polumjer kružnog raskrižja ovisno o polumjeru središnjeg otoka prema za mjerodavno vozilo – teretno vozilo s prikolicom [4].....	12
Tablica 3.1. Preporučene dimenzije turbo kružnog raskrižja u ovisnosti o njegovoj veličini [3,7].....	24
Tablica 3.2. Polumjeri „R“ turbo kružnog raskrižja mini veličine [3,7] .....	25
Tablica 3.3. Polumjeri „r“ turbo kružnog raskrižja mini veličine [3,7].....	25
Tablica 4.1. Određivanje razine usluge na temelju prosječnog vremena kašnjenja [6].....	36
Tablica 4.2. Koeficijenti ekvivalentnih jedinica vozila prema [8].....	40
Tablica 4.3. Određivanje kapaciteta jednotračnog ulaza privoza s obzirom na intenzitet pješaka [8].	41
Tablica 5.1. Parametri za proračun propusne moći po Hagringovoj metodi [7] .....	49
Tablica 7.1. Vrste prometnih opterećenja na raskrižju Petrova ulica – Bukovačka cesta [15] .....	67
Tablica 7.2. Posljedice prometnih opterećenja na raskrižju Petrova ulica – Bukovačka cesta [15].....	68
Tablica 8.1. Intenzitet ulaza svakog privoza i PHV.....	73
Tablica 8.2. Stvarni intenzitet pojedinog manevra x, Postotak teških vozila, Intenzitet vozila za manevar x, intenzitet za manevar x, Faktor prilagodbe za teška vozila.....	74
Tablica 8.3. Konfliktni tok za pojedini privoz, Propusna moć ulaznog dijela privoza, Faktor prilagodbe za teška vozila pojedinog privoza, Stvarni intenzitet pojedinog privoza.....	74
Tablica 8.4. Intenzitet ulaza privoza, Stvarni realni kapacitet, Utjecaj pješaka na kapacitet ulaza privoza, Stupanj zasićenja pojedinog privoza.....	75
Tablica 8.5. Prosječno vrijeme kašnjenja privoza, Prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja, Duljina repa čekanja.....	75
Tablica 8.7. Intenzitet ulaza svakog privoza i PHV.....	76
Tablica 8.8. Stvarni intenzitet pojedinog manevra x, Postotak teških vozila, Intenzitet vozila za manevar x, intenzitet za manevar x, Faktor prilagodbe za teška vozila.....	76
Tablica 8.9. Konfliktni tok za pojedini privoz, Propusna moć ulaznog dijela privoza, Faktor prilagodbe za teška vozila pojedinog privoza, Stvarni intenzitet pojedinog privoza.....	77
Tablica 8.10. Intenzitet ulaza privoza, Stvarni realni kapacitet, Utjecaj pješaka na kapacitet ulaza privoza, Stupanj zasićenja pojedinog privoza.....	77

Tablica 8.11. Prosječno vrijeme kašnjenja privoza, Prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja, Duljina repa čekanja.....	78
Tablica 8.13. Intenzitet ulaza svakog privoza i PHV .....	78
Tablica 8.14. Stvarni intenzitet pojedinog manevra x, Postotak teških vozila, Intenzitet vozila za manevar x, intenzitet za manevar x, Faktor prilagodbe za teška vozila.....	79
Tablica 8.15. Konfliktni tok za pojedini privoz, Propusna moć ulaznog dijela privoza, Faktor prilagodbe za teška vozila pojedinog privoza, Stvarni intenzitet pojedinog privoza.....	79
Tablica 8.16. Intenzitet ulaza privoza, Stvarni realni kapacitet, Utjecaj pješaka na kapacitet ulaza privoza, Stupanj zasićenja pojedinog privoza.....	80
Tablica 8.17. Prosječno vrijeme kašnjenja privoza, Prosječno vrijeme kašnjenja raskrižja, Duljina repa čekanja.....	80

## **POPIS GRAFIKONA**

Grafikon 7.1. Opterećenje po privozima .....	71
Grafikon 7.2. postotak motornih vozila kroz kružno raskrižje .....	72
Grafikon 7.3. Opterećenje motornih vozila po privozima.....	72
Grafikon 8.1. Propusna moć klasičnog i turbo kružnog raskrižja .....	84

## **POPIS PRILOGA**

- Prilog 1. Brojači listić za 2015. godinu
- Prilog 2. Brojači listić za 2016. godinu
- Prilog 3. Brojači listić za 2017. godinu
- Prilog 4. Tlocrt raskrižja s turbo kružnim tokom prometa
- Prilog 5. Tlocrt raskrižja s turbo kružnim tokom prometa s trajektorijama vozila



Prilog 2.: Prikaz brojačkog listića za mjerenje prometnog opterećenja raskrižja Bukovačka- Petrova 2016. godine.

BROJAČI LISTIĆ

Raskrižje s kružnim tokom prometa: Petrova-Bukovačka, 24.05.2016.; 7:30 - 8:30h

PRIVOZI	1 - 2				1 - 3				1 - 4				1 - 2,3,4				UKUPNO [PAJ/h]	UKUPNO [voz/h]	PJEŠACI [pj/h]	BICIKLISTI [bic/h]
	KATEGORIJA VOZILA	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA	AUTOBUSI	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA	AUTOBUSI	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA	AUTOBUSI	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA				
VRJEME																				
0' - 15'	0	38	0	1	0	7	1	0	0	32	0		0	77	1	1	81	79	129	3
16' - 30'	0	40	1	1	0	9	0	0	0	28	0		0	77	1	1	81	79	101	6
31' - 45'	1	41	1	1	0	9	1	0	1	32	0	0	2	82	2	1	89	87	79	2
46' - 60'	2	35	2	2	0	11	0	0	0	35	0		2	81	2	2	90	87	55	3
UKUPNO KROZ 1 SAT [PAJ/h]	1,5	154	8	10	0	36	4	0	0,5	127	0	0	2	317	12	10	341			
	173,5				40				127,5											
UKUPNO KROZ 1 SAT [voz/h]	3	154	4	5	0	36	2	0	1	127	0	0	4	317	6	5		332	364	14
	166				38				128											

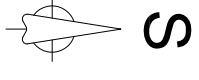
PRIVOZI	2 - 3				2 - 4				2 - 1				2 - 3,4,1				UKUPNO [PAJ/h]	UKUPNO [voz/h]	PJEŠACI [pj/h]	BICIKLISTI [bic/h]
	KATEGORIJA VOZILA	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA	AUTOBUSI	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA	AUTOBUSI	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA	AUTOBUSI	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA				
VRJEME																				
0' - 15'	0	29	1	1	0	148	1	3	2	13	0	0	2	190	2	4	203	198	15	1
16' - 30'	0	43	2	2	2	211	1	3	0	19	0	0	2	273	3	5	290	283	19	0
31' - 45'	0	39	1	1	1	205	1	2	1	15	0	0	2	259	2	3	270	266	13	3
46' - 60'	0	30	1	1	1	147	1	2	0	10	1	0	1	187	3	3	199,5	194	4	1
UKUPNO KROZ 1 SAT [PAJ/h]	0	141	10	10	2	711	8	20	1,5	57	2	0	3,5	909	20	30	962,5			
	161				741				60,5											
UKUPNO KROZ 1 SAT [voz/h]	0	141	5	5	4	711	4	10	3	57	1	0	7	909	10	15		941	51	5
	151				729				61											

PRIVOZI	3 - 4				3 - 1				3 - 2				3 - 4, 1, 2				UKUPNO [PAJ/h]	UKUPNO [voz/h]	PJEŠACI [pj/h]	BICIKLISTI [bic/h]
	KATEGORIJA VOZILA	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA	AUTOBUSI	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA	AUTOBUSI	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA	AUTOBUSI	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA				
VRJEME																				
0' - 15'	0	22	0	0	0	15	0	0	0	70	1	1	0	107	1	1	111	109	13	4
16' - 30'	2	18	1	0	1	19	0	0	2	55	0	1	5	92	1	1	98,5	99	72	0
31' - 45'	0	17	0	0	0	13	0		0	59	0	1	0	89	0	1	91	90	63	1
46' - 60'	1	23	0	0	1	7	0	0	1	61	1	2	3	91	1	2	98,5	97	48	1
UKUPNO KROZ 1 SAT [PAJ/h]	1,5	80	2	0	1	54	0	0	1,5	245	4	10	4	379	6	10	399			
	83,5				55				260,5											
UKUPNO KROZ 1 SAT [voz/h]	3	80	1	0	2	54	0	0	3	245	2	5	8	379	3	5		395	196	6
	84				56				255											

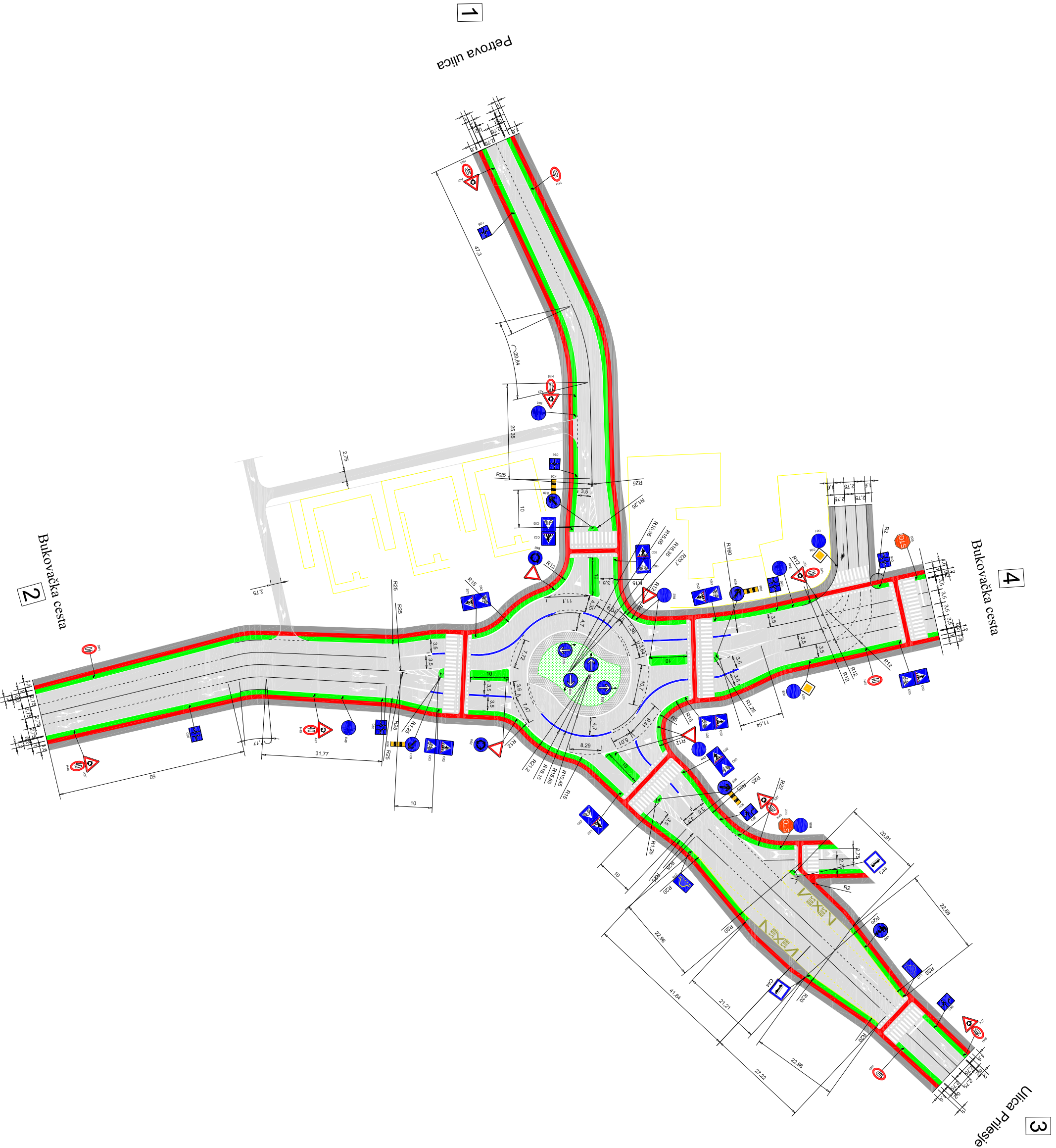
PRIVOZI	4 - 3				4 - 2				4 - 1				4 - 3,2,1				UKUPNO [PAJ/h]	UKUPNO [voz/h]	PJEŠACI [pj/h]	BICIKLISTI [bic/h]
	KATEGORIJA VOZILA	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA	AUTOBUSI	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA	AUTOBUSI	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA	AUTOBUSI	MOTOCIKLI	OSOBN VOZILA	TERETNA VOZILA				
VRJEME																				
0' - 15'	0	5	1	0	0	138	1	1	0	23	1	0	0	166	3	1	174	170	102	2
16' - 30'	2	11	0	0	1	168	1	1	0	39	0	0	3	218	1	1	223,5	223	95	3
31' - 45'	0	9	1	0	0	171	1	1	0	44	0	0	0	224	2	1	230	227	88	5
46' - 60'	0	6	0	0	1	140	2	1	0	24	0	0	1	170	2	1	176,5	174	49	2
UKUPNO KROZ 1 SAT [PAJ/h]	1	31	4	0	1	617	10	8	0	130	2	0	2	778	16	8	804			
	36				636				132											
UKUPNO KROZ 1 SAT [voz/h]	2	31	2	0	2	617	5	4	0	130	1	0	4	778	8	4		794	334	12
	35				628				131											







S



4

Bukovacka cesta

3

Ulica Prilešle

1

Petrova ulica

2

Bukovacka cesta

# PRILOG 4

## ZAVRŠNI RAD

MJ 1:1000 Student: Domagoj Majcan 0135224172

Tlocrt raskrižja s turbo kružnim tokom prometa

Mentor: dr.sc. Hrvoje Pilko Datum: 30.08.2017.



3

Ulica Prilesje

4

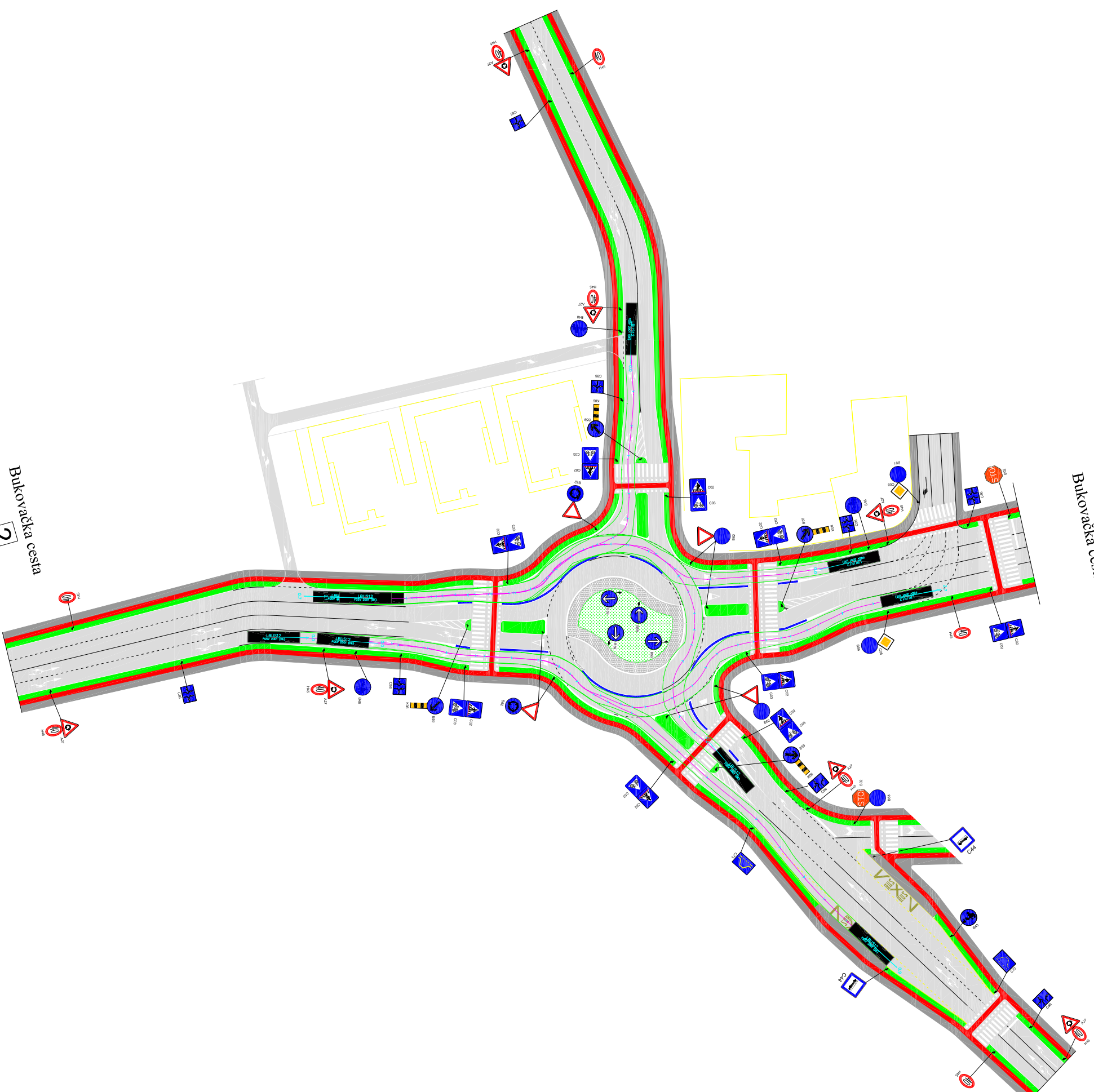
Bukovačka cesta

1

Petrova ulica

2

Bukovačka cesta



PRILOG 5

ZAVRŠNI RAD

MJ 1:1000 Student: Domagoj Majcan 0135224172

Tlocrt raskrižja s turbo kružnim tokom prometa s trajektorijama vozila

Mentor: dr.sc. Hrvoje Pilko Datum: 30.08.2017.



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni 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 \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom **Prijedlog rekonstrukcije raskrižja Petrova ulica - Bukovačka cesta u**  
**gradu Zagrebu**

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

U Zagrebu, 04.09.2017 \_\_\_\_\_

Student/ica:

*Domagoj Mojean*  
\_\_\_\_\_  
(potpis)