# Utjecaj kružnog raskrižja na sigurnost prometa

**Erceg, Marko**

**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:119:725798

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marko Erceg

# UTJECAJ KRUŽNOG RASKRIŽJA NA SIGURNOST PROMETA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 24. travnja 2017.

Zavod: **Zavod za cestovni promet**
Predmet: **Sigurnost cestovnog i gradskog prometa I**

# ZAVRŠNI ZADATAK br. 4084

Pristupnik: **Marko Erceg (0135232657)**
Studij: Promet
Smjer: Cestovni promet

Zadatak: **Utjecaj kružnog raskrižja na sigurnost prometa**

Opis zadatka:

U završnom radu potrebno je objasniti što su kružna raskrižja u općenitom smislu i navesti njihovu podjelu i značajke te opremu i uređenje. Na osnovu podataka iz planiranja i projektiranja kružnih raskrižja treba analizirati prednosti kružnih raskrižja i samim time njihov utjecaj na sigurnost prometa. Na kraju završnog rada predložiti će se jedno od rješenja uvođenjem kružnog raskrižja u svrhu povećanja sigurnosti prometa.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Grgo Luburić

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

# UTJECAJ KRUŽNOG RASKRIŽJA NA SIGURNOST PROMETA

# INFLUENCE OF ROUNDABOUTS ON TRAFFIC SAFETY

Mentor: izv. prof. dr. sc. Grgo Luburić

Student: Marko Erceg
JMBAG: 0135232657

Zagreb, kolovoz 2017.

## SAŽETAK

*Kružno raskrižje je prometna građevina, gdje je kretanje vozila određeno središnjim kružnim otokom i kružnim kolnikom te privozima s razdjelnim otocima i s prometnim znakovima. Prva pojava raskrižja s kružnim tokom kao oblikovno strukturni elementi javili su se početkom XX. stoljeća, mnogo prije dominacije motornog prometa. Procjenjuje se da je danas u svijetu izgrađeno preko četrdeset tisuća kružnih raskrižja. Taj prirast možemo osjetiti i u Hrvatskoj, gdje kružna raskrižja poprimaju sve veću važnost. S obzirom na veliko povećanje prometa u gradovima kružna raskrižja su idealna alternativna rješenja pri projektiranju i planiranju raskrižja zbog mnogih svojih prednosti. Ukoliko su pravilno primjenjena i oblikovana znatno doprinose povećanju propusne moći i razine usluge raskrižja, kao i povećanju stupnja prometne sigurnosti zbog malog broja konfliktnih točaka. Prilikom eksploatacije smanjuju ukupno vrijeme putovanja, vrijeme čekanja vozila na raskrižju, potrošnju goriva, te smanjuju štetne utjecaje na okoliš putem smanjenja ispušnih plinova.*



KLJUČNE RIJEČI*: kružna raskrižja; sigurnost; utjecaj; otok; privoz*



## SUMMARY

*A roundabout is a traffic structure, where the movement of a vehicle is defined by the central circular island and circular roadway, and with the dividing islands and traffic signs. The first signs of intersection with circular traffic flow as a form of structural elements were seen at the beginning of XX. century, long before the domination of motor traffic. It's estimated that over forty thousand roundabouts have been built in the world today. This increase can also be felt in Croatia, where roundabouts are becoming increasingly important. Due to the large increase in traffic in cities, roundabouts are the ideal alternative solutions for designing and planning intersections due to many of its advantages. If they are properly applied and shaped, they significantly contribute to increasing the intersection capacity and level of service as well as increasing the degree of traffic safety due to the small number of conflict points. During the exploitation, they reduce the total travel time, the waiting time of the vehicle at the intersection, fuel consumption, and reduce the environmental impact by reducing exhaust emissions.*



KEYWORDS: *roundabouts; safety; influence; island; driveway*

SADRŽAJ

1 UVOD ..... 1
2 PODJELA I ZNAČAJKE KRUŽNIH RASKRIŽJA ..... 2
2.1 Općenito o kružnim raskrižjima ..... 2
2.2 Značajke kružnih raskrižja ..... 3
2.3 Podjela kužnih raskrižja ..... 4
2.3.1 Podjela po lokaciji i veličini ..... 4
2.3.2 Podjela po broju privoza i prometnih tokova ..... 5
2.3.3 Podjela s obzirom na namjenu ..... 5
3 OPREMA I UREĐENJE KRUŽNIH RASKRIŽJA ..... 6
3.1 Prometna signalizacija kružnih raskrižja ..... 6
3.1.1 Prometna signalizacija izvan-urbanog kružnog raskrižja ..... 6
3.1.2 Prometna signalizacija urbanog kružnog raskrižja ..... 8
3.1.3 Vođenje prometa kroz kružno raskrižje ..... 9
3.2 Oprema kružnih raskrižja ..... 11
3.2.1 Razdjelni otoci ..... 11
3.2.2 Pješački prijelazi i prijelazi biciklističkih staza ..... 12
3.2.3 Provozni dio središnjeg otoka ..... 13
3.2.4 Cestovni rubnjaci ..... 14
3.2.5 Rasvjeta kružnog raskrižja ..... 14
3.3 Uređenje kružnih raskrižja ..... 15
3.3.1 Krajobrazno uređenje kružnih raskrižja ..... 15
3.3.2 Postavljanje objekata/građevina kod uređenja kružnih raskrižja ..... 17
4 PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE KRUŽNIH RASKRIŽJA ..... 18
4.1 Propusna moć ..... 18
4.2 Horizontalno i vertikalno vođenje kružnih raskrižja ..... 20
4.2.1 Horizontalno vođenje ..... 20
4.2.2 Vertikalno vođenje ..... 22
4.2.3 Poprečni nagib kolnika i odvodnja ..... 23
5 PREDNOSTI KRUŽNIH RASKRIŽJA I NJIHOV UTJECAJ NA SIGURNOST PROMETA ..... 24
5.1 Utjecaj kružnih raskrižja na sigurnost i protočnost prometa ..... 24
5.1.1 Brzina vožnje ..... 25

5.1.2 Konfliktne točke ... 26
5.1.3 Smanjenje vremenskih gubitaka ... 27
5.2 Utjecaj kružnih raskrižja na urbanu sredinu ... 28
5.3 Utjecaj kružnih raskrižja na društveno-gospodarske odnose ... 30
5.4 Utjecaj kružnih raskrižja na ekologiju ... 31
6 PRIJEDLOG POVEĆANJA SIGURNOSTI PROMETA UVOĐENJEM KRUŽNOG RASKRIŽJA NA RASKRIŽJU DUBROVAČKE ULICE I ULICE STJEPANA IVIČEVIĆA U MAKARSKOJ ... 33
6.1 Značajke i analiza kritičnog raskrižja ... 33
6.2 Opis planiranog zahvata ... 34
6.2.1 Poprečni profil ... 35
6.2.2 Uzdužni profil ... 37
6.2.3 Kolnička konstrukcija ... 37
6.2.4 Odvodnja i ostala komunalna infrastruktura ... 38
6.3 Prikaz raskrižja prije i poslije rekonstrukcije ... 39
7 ZAKLJUČAK ... 40
LITERATURA ... 41
POPIS SLIKA ... 42
POPIS TABLICA ... 42

# 1 UVOD

Raskrižja su prometne površine na kojima se u istoj razini ili u različitim razinama križaju dvije ili više cesta, a prometni tokovi se spajaju, razdvajaju, križaju ili prepliću. Zbog prometnih radnji i učestalih konflikata, na raskrižjima su izrazito naglašeni problemi propusnosti i sigurnosti prometa. Danas se javljaju sve snažniji poticaji za promjene u planiranju i projektiranju prometa i prometne infrastrukture, kako bi se u budućnosti povećala propusna moć i smanjio negativan utjecaj prometa.

U posljednih dvadeset godina primjetna je velika primjena kružnih raskrižja u zemljama Zapadne Europe, a u posljednje vrijeme zainteresiranost i popularnost za ovaj tip raskrižja javio se i u zemljama Jugoistočne Europe. Kružna raskrižja su prometne građevine po kojima je kretanje vozila određeno središnjim kružnim otokom u smjeru obrnutom od kazaljke na satu, kružnim kolnikom te privozima s razdjelnim otocima i prometnim znakovima.

Ovim radom pokušat će se ukazati na važnost korištenja kružnih raskrižja zbog njihovog jednostavnog koncepta i pozitivnog efekta na odvijanje prometa i prometne sigurnosti kao i smanjenja negativnih utjecaja na okoliš te smanjenja troškova izgradnje i održavanja.

Tema završnog rada su kružna raskrižja i njihov utjecaj na sigurnost i protočnost prometa. U ovom uvodnom dijelu iznijet će se ukratko sadržaj zavšnog rada koji je obrađen u sedam osnovnih poglavlja:

1. Uvod
2. Podjela i značajke kružnih raskrižja
3. Oprema i uređenje kružnih raskrižja
4. Planiranje i projektiranje kružnih raskrižja
5. Prednosti kružnih raskrižja i njihov utjecaj na sigurnost prometa
6. Prijedlog povećanja sigurnosti prometa uvođenjem kružnog raskrižja na raskrižju Dubrovačke ulice i Ulice Stjepana Ivičevića u Makarskoj
7. Zaključak

U drugom poglavlju govori se općenito o kružnim raskrižjima, odnosno njihovim značajkama i opisana je generalna podjela kružnih raskrižja. U trećem poglavlju prikazana je signalizacija izvan-urbanog i urbanog kružnog raskrižja kao i osnovna oprema i uređenje kružnog raskrižja.

U četvrtom poglavlju obrađeno je horizontalno i vertikalno vođenje kružnih raskrižja te propusna moć što su glavni temelji za planiranje i projektiranje kružnih raskrižja. U petom poglavlju detaljno su prikazane sve prednosti kružnih raskrižja i njihov utjecaj na sigurnost prometa, urbanu sredinu, društveno-gospodarske odnose i ekologiju.

U šestom, odnosno zadnjem poglavlju ove razrade, iznesen je prijedlog povećanja sigurnosti prometa uvođenjem kružnog raskrižja na najkritičnijem Makarskom raskrižju.

# 2 PODJELA I ZNAČAJKE KRUŽNIH RASKRIŽJA

## 2.1 Općenito o kružnim raskrižjima

Prva pojava raskrižja s kružnim tokom (tzv. kružna raskrižja, RKT) kao oblikovno strukturni elementi javili su se početkom XX. stoljeća, mnogo prije dominacije motornog prometa. Prva praktična uporaba kružnog raskrižja bila je na lokalitetu Columbus Circle u New Yorku 1905. godine. Veći značaj ova raskrižja dobivaju tek pedesetih godina prošlog stoljeća, kada je u Velikoj Britaniji uvedeno pravilo da vozila unutar kružnog toka imaju prednost pred nadolazećim vozilima. Taj događaj bio je prekretnica u razvoju kružnih raskrižja.

U Europi tek posljednjih dvadesetak godina počinje intenzivna gradnja kružnih raskrižja. Procjenjuje se da ih je 1999/2000. godine u svijetu bilo oko trideset i pet tisuća, od čega samo u Francuskoj dvanaest tisuća. Europske zemlje koje se ističu po broju izvedenih kružnih raskrižja, osim Francuske, su Nizozemska sa svojih tri i pol tisuće i Velika Britanija. Zemlje kao Švedska, Švicarska, Danska, Finska, Njemačka i Austrija, također vode politiku njihove velike izgradnje.

Uz prisutan sukcesivni prirast, posebno u tranzicijskim zemljama, procjenjuje se da je danas u svijetu izgrađeno preko četrdeset tisuća kružnih raskrižja. Taj prirast možemo osjetiti i u Hrvatskoj, gdje kružna raskrižja poprimaju sve veću važnost [1].

Prema suvremenoj definiciji kružno raskrižje je prometna građevina, gdje je kretanje vozila određeno središnjim kružnim otokom i kružnim kolnikom te privozima s razdjelnim otocima i s prometnim znakovima.

U odnosu na klasična, ova se raskrižja također mogu definirati kao nesemaforizirana raskrižja u jednoj razini, u kojima se promet u pravilu odvija:

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

Za bicikle i pješake vrijede pravila kao i u ostalim raskrižjima u jednoj razini. Dugačkim je vozilima u kružnoj vožnji dopušteno korištenje proširene unutarnje strane kružnog kolničkog traka (prijelaznog prstena), dok za kraća vozila ne postoji takva potreba [2].

## 2.2 Značajke kružnih raskrižja

Kružna raskrižja su raskrižja s kombinacijom prekinutog i neprekinutog prometnog toka. Prednost prolaza imaju vozila koja se nalaze u kružnom toku pred vozilima na privozima, budući da ovdje ne vrijedi pravilo "desne strane". Kružna raskrižja omogućuju vožnju smanjenim brzinama i s velikim skretnim kutem prednjih kotača. Vozilo se na ulazu u kružno raskrižje, u slučaju slobodnog kružnog toka, ne treba zaustavljati, već je dozvoljeno smanjenom brzinom ući u kružni tok. Dugim je vozilima dopušteno koristiti i prošireni dio kružnog kolničkog traka (tzv. povozni dio središnjeg otoka). Za pješake i bicikliste vrijede jednaka pravila kao i za druge oblike raskrižja u razini.

Prednosti pred ostalim oblicima raskrižja su:

- mnogo veća sigurnost prometa (s manjim brojem konfliktnih točaka i sa smanjenim brzinama u kružnom toku) uz manje posljedice prometnih nezgoda (bez čelnih i sudara pod pravim kutem)
- manja zauzetost zemljišta i troškovi održavanja
- veća propusna moć raskrižja, uz manje proizvedene buke i štetnih plinova
- kraće čekanje na privozima (kontinuitet vožnje) i mogućnost propuštanja jačih prometnih tokova
- dobro rješenje pri ravnomjernijem opterećenju privoza i kao mjera za smirivanje prometa
- dobro rješenje za slučajeve s više privoza (pet ili više)
- mogućnost dobrog uklapanja u okolni prostor [2]

Nedostaci kružnih raskrižja su:

- slabo rješenje za slučaj velikoga prometnog toka sa skretanjem ulijevo (zbog duljih putovanja, s otežavajućim presijecanjima i preplitanjima)
- s povećanjem broja kružnih prometnih trakova smanjuje se razina prometne sigurnosti
- veliko, odnosno višetračno kružno raskrižje nije najpogodnije za osobe s posebnim potrebama (slabovidni, invalidi, starije osobe...) odnosno u blizini ustanova za obrazovanje i odgoj (vrtići, škole), zbog kretanja u kolonama, veći broj i širi privozi (ponekad) itd.
- produljenje putanje pješaka i vozila s obzirom na izravno kanalizirana klasična raskrižja
- problemi pri većem biciklističkom ili pješačkom prometu, koji presijecaju jedan ili više privoza prema raskrižju [2]

## 2.3 Podjela kužnih 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.

### 2.3.1 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.

#### *2.3.1.1 Kružna raskrižja u naselju*

*Mini kružna raskrižja* ($D_v \leq 26$ m) - izvode se u gušće izgrađenim gradovima s ciljem distribucije i smirivanja manjih prometnih tokova ($V_k \leq 25$ km/h). Zbog malih dimenzija razdjelni otoci su montažni, a biciklisti i pješaci vode se izvan prometne plohe mini kružnog raskrižja. U usporedbi s drugim nesemaforiziranim raskrižjima, ima čak veću propusnu moć i mnogo veću sigurnost prometnih sudionika, pa uz najmanje troškove zemljišta i izvedbe predstavlja visoko konkurentno rješenje. Zbog nepokrivenosti zakonodavnim okvirima u nas te zbog određenih atipičnih svojstava (dimenzioniraju se po specifičnim obrascima), nisu kod nas izgrađeni u većem broju.

*Mala kružna raskrižja* (22 m $\leq D_v \leq$ 35 m) - u načelu se također izvode samo u urbanim sredinama, pri čemu je brzina u kružnom toku manja od 30 km/h. Najčešće se izvode na ulazu u naselje, a očekivana propusna moć je do 15 000 voz/dan.

*Srednje velika kružna raskrižja* (35 m $\leq D_v \leq$ 45 m) - grade se na jače opterećenim gradskim i prigradskim čvornim točkama, a oblikovni elementi omogućuju brzine u raskrižju $V_k < 40$ km/h. Pješaci i biciklisti se također vode izvan kolnika (i iznad rubnjaka), a usječeni razdjelni otoci se koriste na praktičan način za osiguranje nemotornog prometa pri prijelazu preko privoznih cesta.

#### *2.3.1.2 Kružna raskrižja izvan naselja*

*Srednje velika kružna raskrižja* (35 m $\leq D_v \leq$ 45 m) – primjenjuju se na mjestima gdje se ne očekuju intenzivniji biciklistički i pješački tokovi. Odabrani projektno – tehnički elementi su oblikovani tako da omogućuju dobru propusnost (22 000 voz/dan) i brzinu ulaza u kružni tok ne veću od 40 km/h.

*Srednje velika dvotračna kružna raskrižja* (50 m $\leq D_v \leq$ 90 m) – obično se izvode na mjestima velikih prometnih opterećenja izvan i na rubnim dijelovima naselja [2].

*Velika kružna raskrižja* ($D_v \geq 90$ m) – primjenjuju se izrazito na cestama velikog učinka (križanje autocesta i brzih cesta, te cesta 1. razreda). Biciklistički i pješački promet nije sastavni dio raskrižja te se vodi odvojeno [2].

Slika 1. Primjer velikog kružnog raskrižja u Zagrebu, [14]

### 2.3.2 Podjela po broju privoza i prometnih tokova

U pogledu broja privoza kružna raskrižja su: s *tri privoza (tzv. trokraka)*, s *četiri privoza* te s *pet i više privoza*. S obzirom na broj prometnih trakova u kružnom kolniku, kružna raskrižja se najčešće dijele na *jednotračna* i *dvotračna*.

Broj prometnih trakova u kružnom toku mora biti jednak ili veći broju prometnih trakova na ulazima i izlazima privoza. Kompromis između dobre propusnosti i dovoljne prometne sigurnosti postiže se s dva prometna traka u kružnom toku, što se obično regulira smjernicama [2].

### 2.3.3 Podjela s obzirom na namjenu

- 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 veće propusne moći uz dostatnu sigurnost prometa (isključivo izvan naselja) [2]

# 3 OPREMA I UREĐENJE KRUŽNIH RASKRIŽJA

## 3.1 Prometna signalizacija kružnih raskrižja

Prometna signalizacija kružnog raskrižja sastoji se od vertikalne signalizacije (prometni znakovi i putokazne ploče), horizontalne signalizacije (oznake na kolniku) i opreme ceste te ima veliki značaj za sve sudionike u prometu.

Pomoću signalizacije sudionik u prometu odabire željeni put i smjer kretanja, poduzima odgovarajuće radnje u prometu i prilagođava svoje ponašanje. Prometna signalizacija treba olakšati vozačima prolazak kroz kružno raskrižje te utjecati na povećanje sigurnosti prometa.

Prometna signalizacija u kružnom raskrižju postavlja se na način da bude jasna i dosljedna te da ne zbunjuje vozače pri prolasku kroz raskrižje. Broj znakova ovisi o stvarnom stanju na terenu, ali ih ne treba postavljati previše, jer postavljanjem prevelikog broja znakova može se postići suprotan učinak koji će zbunjivati vozače [3].

### 3.1.1 Prometna signalizacija izvan-urbanog kružnog raskrižja

*Izvan-urbano kružno raskrižje* je kružno raskrižje izvan izgrađenog urbanog prostora na kojem se odvija promet motornih vozila, na kojemu u pravilu nema pješačkog prometa, osim eventualno, biciklista.

Svako izvan-urbano kružno raskrižje mora biti opremljeno barem sljedećim prometnim znakovima:

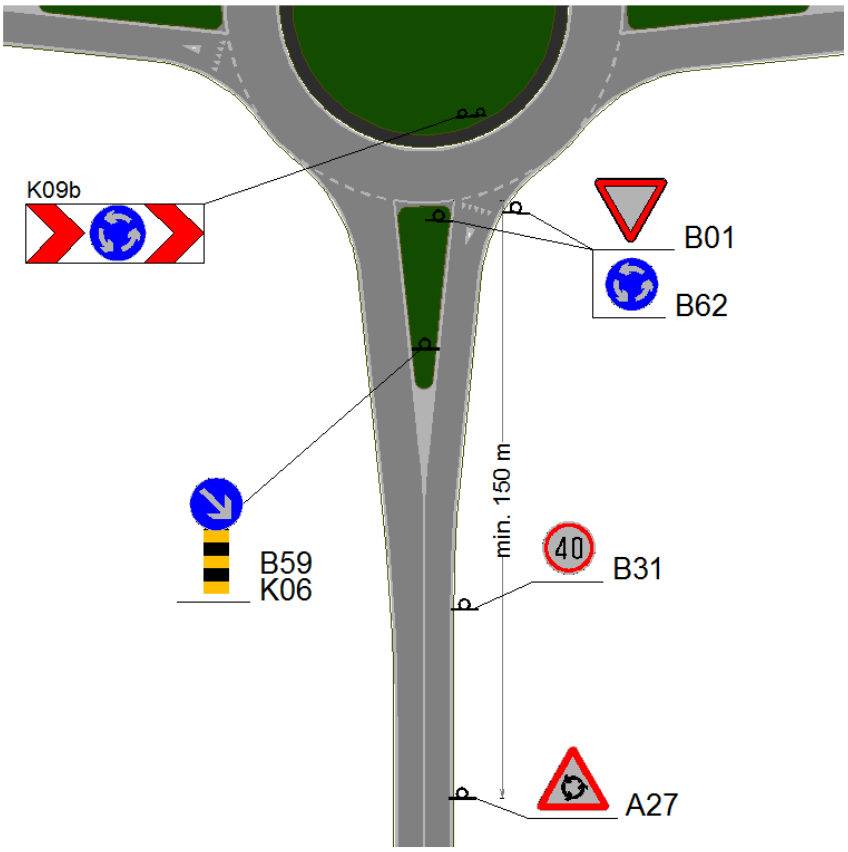
- znak B01 (raskrižje s cestom s prednošću prolaza) i B62 (kružni tok prometa) na zajedničkom stupu na ušću ulaza u kružno raskrižje, neposredno pred isprekidane crte zaustavljanja. Kod izvanurbanih kružnih raskrižja preporuka je da se ovi znakovi postave obostrano
- znak B59 (obvezno obilaženje s desne strane) i K06 (ploča za označivanje prometnog otoka) na zajedničkom stupu na vanjskom dijelu razdjelnog otoka (na vrhu otoka u smjeru vožnje)
- znak K09b (prijedlog novog znaka u Pravilniku) označuje središnji otok na izvan urbanim kružnim raskrižjima i postavlja se na neprovoznom dijelu središnjeg otoka u produžetku središnjice voznog traka na uvozu [3]

Na području približavanja raskrižju:

- znakom "raskrižje s kružnim prometom" (A27)
- znakom "ograničenje brzine" (B31) na odgovarajućoj udaljenosti od kružnoga raskrižja, na kojoj treba omogućiti smanjenje brzine na cestama izvan naselja ovisno o situaciji na terenu [3]

Na svakom izvan-urbanom kružnom raskrižju treba biti, u načelu, 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 kružnoga 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
- polje za usmjerivanje prometa između dva traka sa suprotnim smjerovima pred razdjelnim otokom (H27)
- razdjelnom crtom ispred razdjelnog otoka na području približavanja raskrižju propisane širine [3]




Slika 2. Primjer postavljanja prometne signalizacije na privozu izvanurbanog kružnog raskrižja, [4]

### 3.1.2 Prometna signalizacija urbanog kružnog raskrižja

*Urbano kružno raskrižje* je raskrižje smješteno unutar izgrađenog urbanog prostora na kojem je predviđen promet motornih vozila, pješaka i/ili biciklista, te je potrebno posvetiti dostatnu pozornost pravilnom izboru i postavljanju prometne signalizacije i opreme.

Svako urbano kružno raskrižje mora biti opremljeno barem sljedećim prometnim znakovima:

- 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 (obvezno 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, znakom C03 (obilježen prijelaz biciklističke staze) ako su u kružnom raskrižju prisutni biciklisti [3]

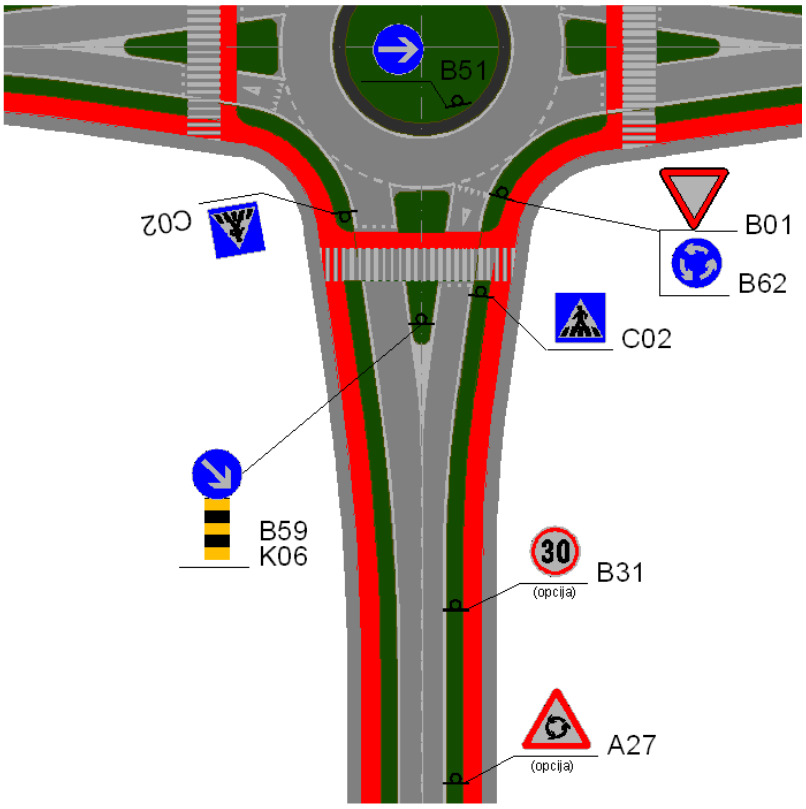
Na području približavanja raskrižju:

- znak A27 (raskrižje s kružnim prometom)
- znak B31 (ograničenje brzine) na odgovarajućoj udaljenosti od kružnoga raskrižja, na kojoj treba omogućiti smanjenje brzine na cestama unutar naselja

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 kružnoga 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 usmjerivanje prometa između dva traka sa suprotnim smjerovima pred razdjelnim otokom (H27)
- razdjelnom crtom ispred razdjelnog otoka na području približavanja raskrižju propisane širine [3]

Ukoliko razdjelni otok nije dovoljne širine za sigurno zaustavljanje pješaka i biciklista (za slučaj prijelaza pješaka, razdjelni otok treba imati širinu min. 2,00 m, odnosno za bicikliste min. 2,50 m), pješački prijelaz iscrtava se u kontinuitetu cijelom širinom [3].

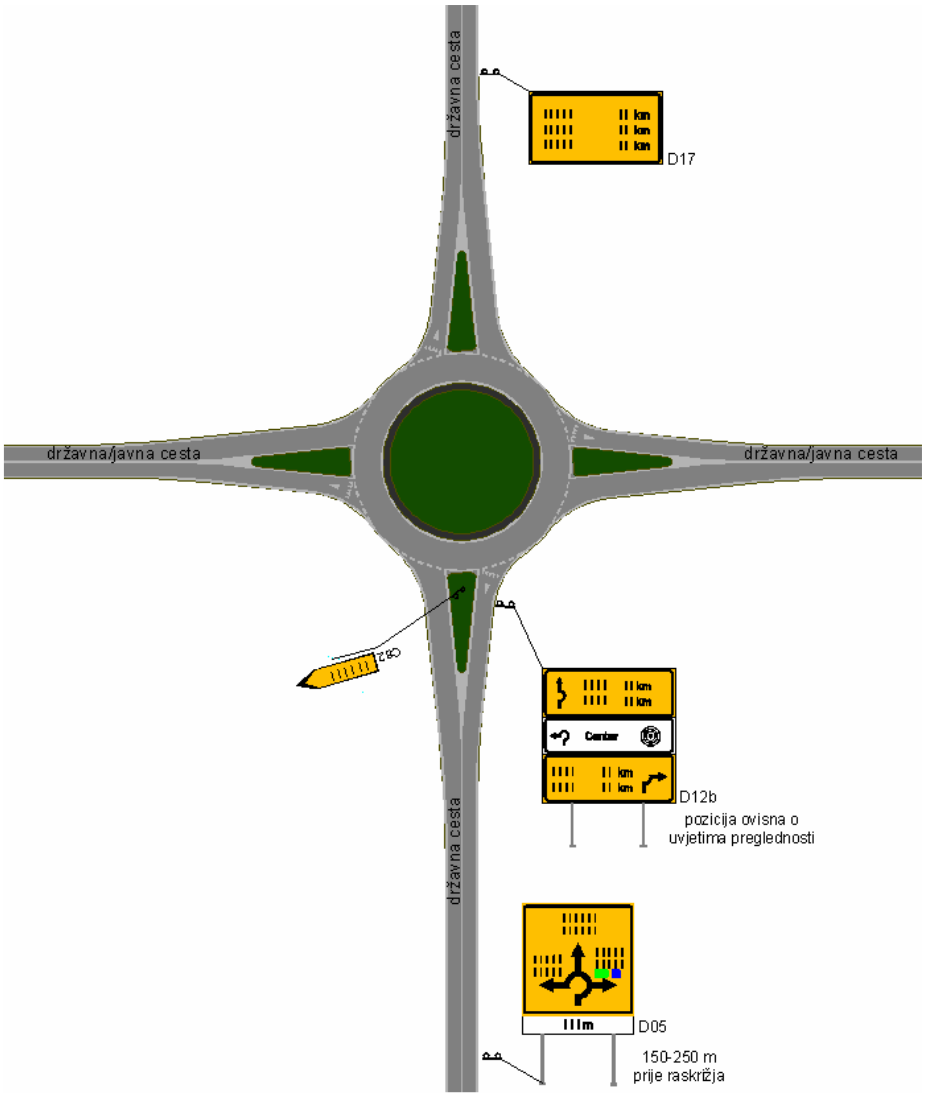



Slika 3. Primjer postavljanja prometne signalizacije na privozu urbanog kružnog raskrižja, [4]

### 3.1.3 Vođenje prometa kroz kružno raskrižje

Ovisno o namjeni i lokaciji kružnog raskrižja, ono mora biti opremljeno prometnim znakovima za vođenje (usmjerivanje) prometa. U slučaju raskrižja dviju državnih ili državne ceste sa drugom javnom cestom potrebno je postaviti drugi, četvrti i peti stupanj vođenja, a treći ako je cesta s više prometnih traka. Za vođenje prometa u kružnom raskrižju postavlja se sljedeća prometna signalizacija:

- znak D05 (raskrižje kružnog oblika) postavlja se na udaljenost 150-250 m prije raskrižja, ovisno o situaciji na terenu
- znak D12b označuje smjer ceste za naseljeno mjesto ispisano na znaku i udaljenost u kilometrima (osim u bijelom polju) na jednotračnim kružnim raskrižjima, mjesto postavljanja ovisi o uvjetima preglednosti
- 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 udaljenost najviše 500 m od raskrižja [3]




Slika 4. Primjer postavljanja signalizacije za vođenje prometa na raskrižju državnih cesta

## 3.2 Oprema kružnih raskrižja

### 3.2.1 Razdjelni otoci

Razdjelni otok je od kolnika uzdignuta površina građevinski oblikovana materijalima različite teksture. Oblikuje se unutar površine određene linijama vodiljama ulaza, izlaza i kružnog kolnika. U izvanurbanim područjima najčešće se izvodi kao ozelenjena površina obrubljena cestovnim rubnjakom visine do 15 cm, a u urbanim područjima s površinom za prolaz pješaka.

Uzdignuti razdjelni otok je obvezni dio privoza kružnom raskrižju na državnim cestama. Prema tlocrtnom oblikovanju razlikuju se kapljasti (izduženi), trokutasti i ljevkasti razdjelni otoci. Na privozima s fizički odvojenim kolnicima razdjelni otok je završni dio razdjelnog traka privoza. Na malim i srednje velikim kružnim raskrižjima najčešće se koriste trokutasti otoci.

Minimalna dimenzija razdjelnog otoka određena je položajem i veličinom vertikalne prometne signalizacije. Znakovi C81 za izlaz iz kružnog raskrižja te K06 i B59 za prilaz kružnom raskrižju obvezno se postavljaju na razdjelnom otoku. Veličina znakova treba biti prilagođena kategoriji ceste i širini kolnika, a širina razdjelnog otoka takva da osigurava potrebnu zaštitnu širinu između znaka i ruba kolnika.

Kada se razdjelni otok koristi i kao površina za zaustavljanje pješaka i/ili biciklista, njegova širina treba u području prijelaza biti najmanje 2.0 m. Izuzetak su razdjelni otoci na privozima s neprekinutim pješačkim i/ili biciklističkim prijelazima [3].

Slika 5. Razdjelni otok unutar površine za razdvajanje prometa, [3]

### 3.2.2 Pješački prijelazi i prijelazi biciklističkih staza

Izvedba prijelaza za pješake i bicikliste omogućava prometnu sigurnost pješaka i biciklista pri prijelazu privoza kružnog raskrižja. Prijelazi trebaju biti smješteni tako da podržavaju pješačke tokove u zoni kružnog raskrižja i na na sebe privuku najveći mogući broj pješaka.

Posebnu pozornost preglednosti na pješake potrebno je posvetiti na kružnim raskrižjima u blizini kojih su locirana autobusna stajališta. Autobusi, zaustavljeni na stajalištima ne smiju ograničavati preglednost vozačima i pješacima [3].

Prijelazi moraju biti odmaknuti barem za duljinu jednog vozila (4,5-5,0 m) od kružnog kolnika, kako bi se smanjile konfliktne situacije između pješaka i vozila. Prolazi za pješake i bicikliste trebaju biti spušteni do razine kolnika, kako bi se omogućio prolaz osobama s posebnim potrebama odnosno biciklistima u vožnji ili čekanju na prijelaz [2].

Izvedba uzdignutih pješačkih/biciklističkih prijelaza primjerena je urbanim sredinama s jače izraženim pješačkim/biciklističkim prometom. Takvim oblikovanjem vrši se i smanjenje brzine vozila na ulazu ali je nepovoljno na privozima kojima prometuju vozila javnog gradskog prijevoza [3].

Slika 6. Pješački i biciklistički prijelazi u kružnom raskrižju, [9]

### 3.2.3 Provozni dio središnjeg otoka

Provozni dio središnjeg otoka zajedno s kružnim kolnikom omogućava prolaz kroz raskrižje dugim vozilima. Primjenjuje se kod malih i srednje velikih kružnih raskrižja radi izbjegavanja izvedbe neprimjereno širokog kružnog kolnika.

Provozni dio središnjeg otoka treba biti izveden na način i od materijala da vozače kratkih vozila odvraća od korištenja odnosno da ga koriste samo ona vozila koja bez njegovog korištenja ne bi mogla proći kružnim raskrižjem.

Takvi uvjeti postižu se denivelacijom, dovoljno velikim nagibom plohe prema van (do 8 %) i hrapavom površinom povoznog djela središnjeg otoka. Širina povoznog dijela iznosi minimalno 1.0 m.

Dimenzioniranju elemenata i izboru vrste materijala potrebno je pristupiti vrlo oprezno kako bi se spriječila oštećenja. Najčešće se koriste granitne kocke položene u betonsku podlogu. Preporuča se korištenje elemenata većih dimenzija. Izvedbe s umjetnim materijalima također mogu biti uspješne.

Visina rubova kojima prolaze kotači vozila ne smije biti veća od 3 cm. Izvedba povoznog dijela kolnika bez dovoljno hrapave površine (horizontalna signalizacija) neće odvratiti vozače kratkih vozila od korištenja povoznog dijela kolnika i može uzrokovati prevelike brzine i mimoilaženje vozila u kružnom kolniku [3].

Slika 7. Provozni dio središnjeg otoka, [3]

### 3.2.4 Cestovni rubnjaci

Za oblikovanje rubova kolnika koriste se cestovni rubnjaci čime se postiže uočljivost, ali i određuju uvjeti sakupljanja površinskih oborinskih voda. Visina ugrađenog rubnjaka treba biti 12 do 15 cm. Isti elementi koriste se i za izvedbu prijelaznih površina kao polegnuti rubnjaci i u tom slučaju visina ugrađenog rubnjaka ne treba biti veća od 3 cm.

Bojanjem cestovnih rubnjaka može se naglasiti uočljivost rubova kolnika. Boju ili kombinaciju boja potrebno je uskladiti s hortikulturnim uređenjem i uvjetima na lokaciji kako bi se učinkovito naglasili rubovi kolnika. Dobra uočljivost rubova kolnika postiže se postavljanjem svjetlećih oznaka - markera na rubnjacima [3].

### 3.2.5 Rasvjeta kružnog raskrižja

Rasvjeta raskrižja ima za cilj dostatno osvijetliti prometne površine noću i u posebnim vremenskim prilikama. Predviđena je izvedba na svim frekventnijim mjestima, a izrazitije reguliranje kvalitete rasvjete je na privozima i na kružnom kolniku odnosno središnjem otoku raskrižja s kružnim tokom prometa [2].

Svaki prilaz, odnosno izlaz iz raskrižja treba biti osvijetljen na dužini od cca 100 m (min. 3 rasvjetna stupa) od ulaska u raskrižje. Boja svjetlosti i visina svjetiljki moraju biti jednake na cijelom području raskrižja. Visina postavljanja određuje se prema uvjetima okolnog prostora. Kvaliteta rasvjete raskrižja mora biti najmanje jednaka kvaliteti rasvjete koja je postavljena na glavnoj prilaznoj ulici, a preporučljivo je da bude do 1,5 puta jača [3].

Slika 8. Primjer rasvjete kružnog raskrižja u Puli, [15]

## 3.3 Uređenje kružnih raskrižja

### 3.3.1 Krajobrazno uređenje kružnih raskrižja

Osnovni uvjet prilikom krajobraznog uređenja kružnih raskrižja je osigurati sigurno odvijanje prometa (preglednost i optičko vođenje odgovarajućom sadnjom) te ih istovremeno naglasiti u oblikovnom smislu. Središnji otok kružnog raskrižja pruža priliku za krajobrazno uređenje i poboljšanje koje druge vrste prometnih rješenja raskrižja ne mogu pružiti.

Projekt krajobraznog uređenja, ovisno o veličini i lokaciji kružnog raskrižja, trebao bi biti sastavni dio projekta raskrižja, kako na razini državnih cesta, tako i na razini ostalih javnih cesta i gradskih ulica. Krajobrazno uređenje treba biti projektirano tako da se poveća učinkovitost i sigurnost prometovanja u kružnom raskrižju, a istovremeno djeluje i na poboljšanje estetike na širem području.

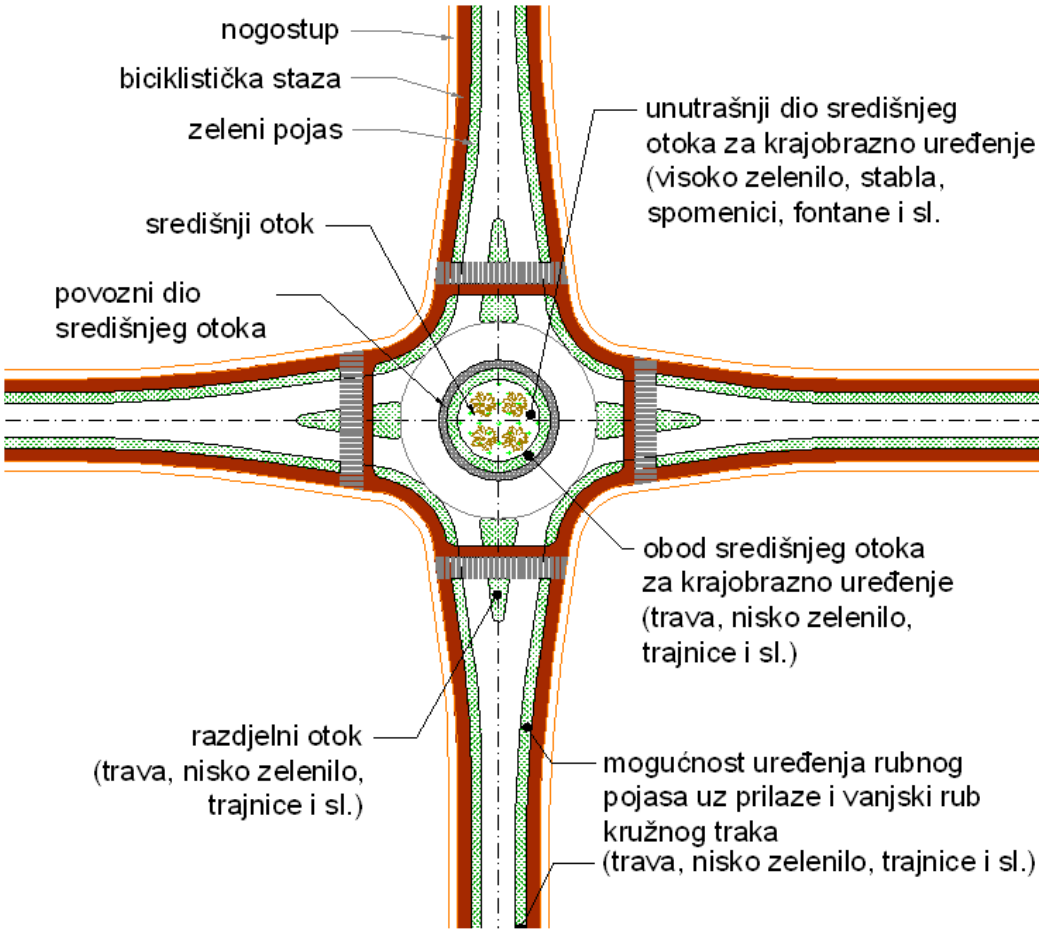
Prilagođavanjem zemljišta (npr. sadnjom u središnjem otoku) moguće je jasnije upozoriti vozače da se približavaju kružnom raskrižju. Sakrivanjem vozila na suprotnoj strani kružnog raskrižja (bez smanjenja potrebne preglednosti), može se eliminirati konfuznost koju kod nekih vozača uzrokuje pogled na odvijanje prometa u cijelom kružnom raskrižju.

Prilikom oblikovanja okoline kružnog raskrižja i središnjeg otoka potrebno je uvažavati neka osnovna načela: preglednost u raskrižju, estetska načela (usklađenost s okolinom) i načela funkcionalnosti (održavanje, zimsko održavanje). Zbog toga je prilikom uređenja okoline kružnog raskrižja i samog kružnog raskrižja neophodan zajednički rad stručnjaka različitih struka [3].

Kod uređenja središnjeg otoka treba se pridržavati sljedećih načela i preporuka:

- prilagođavanjem zemljišta (npr. zelenilo u središnjem otoku) treba vozače jasno upozoriti na približavanje kružnom raskrižju
- uređenje treba ili poboljšati, ili barem ne ometati vidljivost kružnog raskrižja
- ne smije dovoditi do opasnih situacija u prometu na kružnom raskrižju
- osigurati potrebnu horizontalnu preglednost u raskrižju
- ne smije zaklanjati prometnu signalizaciju u raskrižju
- osigurati zaklanjanje pogleda na promet na suprotnoj strani kružnog raskrižja, čime se eliminira zbunjenost vozača koju uzrokuje pregled nad odvijanjem prometa u cjelokupnom kružnom raskrižju.
- središnji otok mora biti oblikovan (zelenilo) tako da noću onemogućava bliještanje (zasljepljivanje) nasuprot dolazećih vozila
- treba jasno ukazati vozaču da ne može proći ravno kroz raskrižje
- obeshrabriti pješački promet kroz središte otoka [3]
- treba utjecati na poboljšanje estetike na području ulice i slike urbanog okoliša koliko god je to moguće

- održavanje raskrižja treba biti što jednostavnije i lakše izvedivo bez ometanja i ugrožavanja sigurnosti prometa.
- prilikom izbora zelenila potrebno je uvažavati prije svega činjenicu da u središnji otok najbolje pristaje autohtono raslinje [3]




Slika 9. Krajobrazno uređenje kružnog raskrižja u urbanoj sredini, [3]

### 3.3.2 Postavljanje objekata/građevina kod uređenja kružnih raskrižja

Na gradskim ulicama gdje su brzine vožnje manje dopušteno je prilikom uređenja središnjih otoka kružnih raskrižja postavljati i čvrste objekte/građevine. Tako se danas središnji otok gradskih raskrižja često koristi za postavljanje umjetničkih kreacija, od manjih do onih monumentalnih. Ovakav je tip uređenja prihvatljiv i poželjan, ali pod uvjetom da ti objekti ne ometaju trokut preglednosti i da ne utječu na promet vozila u kružnom traku.

Lokalna zajednica često želi u kružno raskrižje postaviti neke objekte i sadržaje koji obilježavaju zajednicu, uključujući fontane, spomenike ili druga obilježja lokalne sredine. U nekim sredinama kružno raskrižje može pomoći u iskazivanju obilježja mjesta ili regije, na način da se dio kulturne baštine ili neko izrazito obilježje regije prikaže na središnjem otoku kružnog raskrižja. Na ulasku u turistička mjesta preko obilježja na središnjem otoku kružnog raskrižja mogu se turistima dati informacija o odredištu.

Postavljanje reklamnih sadržaja, znakova i drugih građevina ili uređaji za vizualne ili auditivne informacije i reklame u središnjem kružnom otoku nije dopušteno.

Kod postavljanja objekata/građevina u središnji otok kružnog raskrižja treba se držati načela da se stavlja nešto vrlo konkretno za što nije potrebno duže vrijeme od 3 sekunde da se spozna. U protivnom to može biti opasno jer vozač prilikom ulaska u kružno raskrižje, zbog potrebne pozornosti na ostale sudionike u prometu, ima ograničeno vrijeme za spoznavanje okoliša i uređenja kružnog raskrižja. Kada se postavlja neko obilježje na središnjem otoku kružnog raskrižja, to mora biti informacija u tipu ideograma [3].

Slika 10. Uređenje kružnog raskrižja fontanom u Roseville, California, [16]

# 4 PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE KRUŽNIH RASKRIŽJA

## 4.1 Propusna moć

Propusna moć (kapacitet) kružnog raskrižja (C) kazuje koliko vozila prođe kroz kružno raskrižje u jedinici vremena bez obzira na duljinu čekanja.

Dva glavna faktora koja utječu na propusnu moć kružnog raskrižja su:

- promet na svakom pojedinom ulazu u kružno raskrižje
- promet u samom kružnom raskrižju

Osim navedenog na propusnu moć kružnog raskrižja utječe i postojanje i intenzitet pješačkog i biciklističkog prometa u području kružnog raskrižja te ponašanje vozača (duljine reakcija) i vremenski uvjeti (kada nisu standardni).

Propusna moć kružnog raskrižja se dobije tako da se zbroji propusnost svih prilaza $Q_{Ei}$ u kružnom raskrižju:

$$C = \sum_1^n QEi \text{ [voz/h]}, \qquad n \text{ – broj prilaza}$$

Propusnost ulaza $Q_E$ određuje koliko vozila ulazi u kružno raskrižje na jednom ulazu u jedinici vremena.

$$Q_E = f\,(Q_C, \text{geometrije})$$

gdje je:

QC - kružni prometni tok

Radi se o teoretskoj vrijednosti koja mora biti jednaka ili veća od zbroja jakosti prometa u kružnom raskrižju i jakosti prometa na ulazu u kružni tok koji se spajaju u konfliktnoj točci na ulazu u kružni tok.

Pravilo je kretanja u kružnom raskrižju da vozila na ulazu propuštaju vozila unutar kružnog toka pa je tako jakost konfliktnog prometa na ulazu mjerodavna za određivanje propusne moći ulaza [3].

Propusna moć ulaza je ovisna o jakosti prometa u samom kružnom raskrižju i jakosti prometa na izlazu iz kružnog raskrižja korigiranog tzv. konfliktnim faktorom (ά), u ovom slučaju se podrazumijeva da se radi o ulazu i izlazu na istom priključku. Konfliktni faktor je faktor kojim se izlazni promet reducira na mogući konfliktni promet.

Pokazuje se da iako ulazni prometni tok nema izravan kontakt sa izlaznim prometom ponašanje vozača na izlazu iz kružnog raskrižja ima značajan utjecaj na vrijeme čekanja na ulazu i posljedično na propusnu moć kružnog raskrižja.

Geometrijski elementi koji utječu na kapacitet kružnog raskrižja su:

- udaljenost između ulaza i izlaza, koja utječe na uvjete uključivanja vozila u kruži tok
- način priključivanja privoza – okomito postavljeni priključci omogućavaju bolju preglednost uz smanjenu brzinu kretanja što, pokazuje se, rezultira boljom procjenom raspoložive vremenske praznine i efikasnijim uključivanjem u kružni tok

Izračun propusne moći kružnih raskrižja je moguće provesti na dva načina:

- prvi način je iterativan: provjerava se neki preporučeni oblik (dimenzije) kružnog raskrižja koji je bio izabran na osnovi prostornih, urbanističkih i/ili drugih mjerila. Na osnovi kapacitetnog proračuna mogu se mijenjati dimenzije projektnih elemenata sve dok rezultati proračuna ne daju najveću moguću propusnu moć u planskom razdoblju

- drugi način proračuna je da se na osnovi poznatih prometnih opterećenja traže optimalni projektni elementi, koji će omogućavati dostatnu propusnost. U tom slučaju slijedi prostorno i urbanističko provjeravanje predlaganog rješenja

Metode kojima se može provjeriti kapacitet kružnog raskrižja su empirijske metode, analitičke metode i na njima temeljeni kompjutorski programi te simulacijske metode.

Preciznost ovih metoda je vrlo različita, empirijske metode se mogu koristiti samo za preliminarno definiranje tipa kružnog raskrižja jer daju podatak o okvirnoj propusnoj moći nekog tipa kružnog raskrižja, ali ne i o stvarnoj propusnoj moći u konkretnim uvjetima odvijanja prometa. Za precizniju provjeru potrebno je koristiti neku od analitičkih metoda [3].

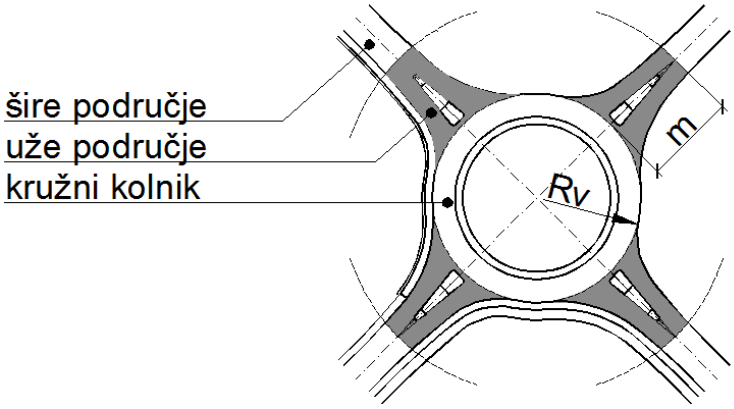
## 4.2 Horizontalno i vertikalno vođenje kružnih raskrižja

Osnovni projektno tehnički elementi predstavljeni su kroz tlocrtne i visinske odnose kružnog kolnika i privoza i čine jedinstvenu oblikovnu cjelinu raskrižja. Razlikuje se šire i uže područje te kružni kolnik.

*Kružni kolnik* je prostor geometrijski opisan vanjskim polumjerom kružnog raskrižja (Rv).

*Uže područje* raskrižja određeno je duljinom površine za usmjeravanje prometa (m) i sadrži sve elemente poprečnog presjeka prilazne ceste.

*Šire područje raskrižja* obuhvaća dio prilazne ceste na kojem su izmijenjeni elementi prilazne ceste (tlocrtno i visinsko oblikovanje i uklapanje) ili su uvedena ograničenja u odvijanju prometa (prometna signalizacija) u funkciji kružnog raskrižja [3].



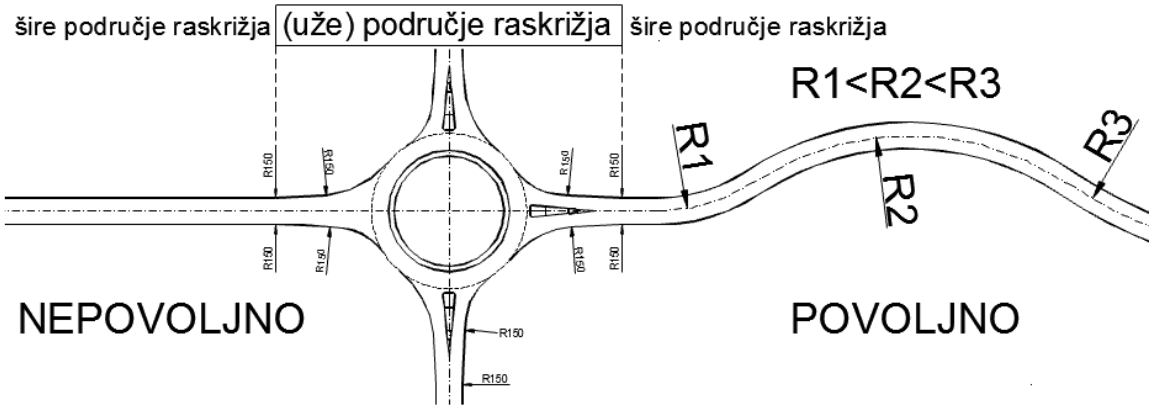

Slika 11. Područja kružnog raskrižja, [3]

### 4.2.1 Horizontalno vođenje

Horizontalno vođenje osi privoza ka kružnom raskrižju treba biti podređeno uvjetima sigurnosti prometa. Oblikovanjem svih elemenata raskrižja korisnicima treba pravovremeno pružiti informaciju o uvjetima prometovanja i ograničiti mogućnost nepravilnog kretanja vozila i pješaka/biciklista na ulazu u kružno raskrižje.

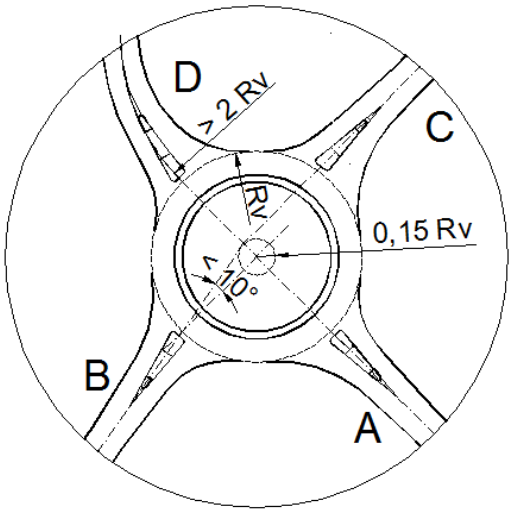
Smanjenje brzine pred ulazom u kružna raskrižja posebno je važno na izvanurbanim kružnim raskrižjima te kod preoblikovanja standardnih tipova raskrižja u kružna. Ovo je moguće postići postupnim smanjenjem polumjera kružnih lukova zavoja u slijedu pred kružnim raskrižjem. Time smanjujemo mogućnost prekasnog uočavanja kružnog raskrižja i nalete vozila na samom ulazu u kružno raskrižje [3].

Pravac, kao element trasiranja u širem području nije zabranjen, ali se ne preporučuje. U načelu, koristi se kao postojeći element ceste pri preoblikovanju standardnog raskrižja ili u naselju gdje je položaj ceste zbog izgrađenosti unaprijed određen.




Slika 12. Položaj osi ceste na širem području prilaza kružnom raskrižju, [3]

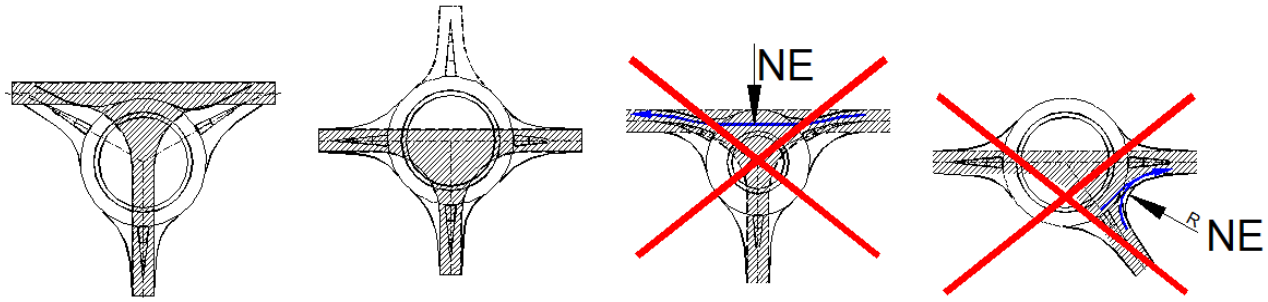
U užem području kružnog raskrižja povoljno je koristiti pravac. Pravcem se u pravilu postiže okomitost privoza na kružni kolnik što je povoljno sa stajališta sigurnosti prometa. Kružni luk malog polumjera poželjno je izbjegavati zbog nepovoljne usmjerenosti privoza na kružni kolnik.




Slika 13. Položaj osi privoza u užem području kružnog raskrižja, [3]

Kod novoprojektiranih kružnih raskrižja privozi se u pravilu postavljaju simetrično, a kod preoblikovanja postojećih „T“ i višekrakih raskrižja u kružna, pažnju treba posvetiti položaju kružnog kolnika u odnosu na postojeće privoze uzimajući u obzir postojeću izgrađenost, prometno opterećenje i uvjete preglednosti [3].

Potrebno je izbjegavati rješenja koja omogućavaju velike brzine vožnje kroz kružno raskrižje, neuobičajene putanje vozila ili stvaraju zabunu kod vozača. Općenito, ne smije se zanemariti sigurnost svih sudionika u prometu [3].



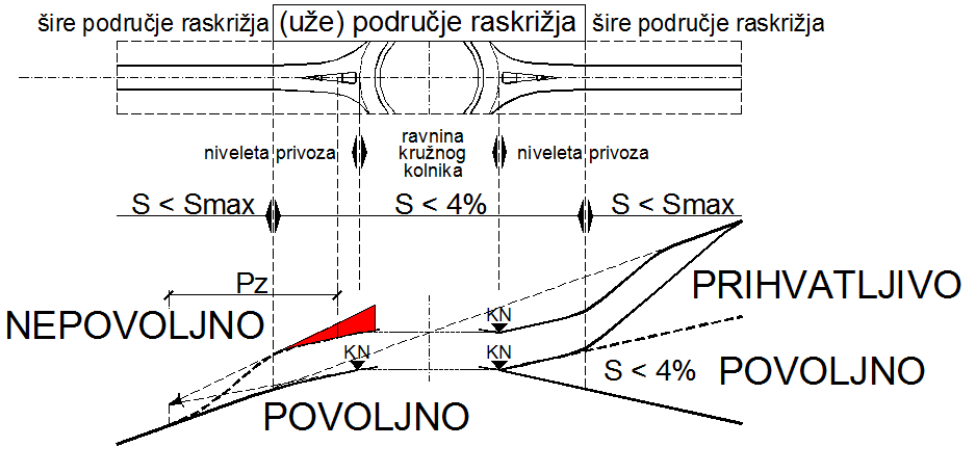

Slika 14. Povoljan i nepovoljan odnos privoza, [3]

### 4.2.2 Vertikalno vođenje

Pri oblikovanju kružnih raskrižja posebnu pozornost treba posvetiti visinskom oblikovanju. Niveleta privoza raskrižju, položaj i poprečni nagib kružnog kolnika, te poprečni nagib kolnika privoza, elementi su visinskog oblikovanja koji trebaju biti usklađeni [3].

Privozne ceste prema kružnom raskrižju ne smiju se voditi tako da bi tvorile izbočenje i smanjivale preglednost na ulazu u kružno raskrižje. Lom priključnih niveleta treba biti manji od 4%, a u suprotnom slučaju potrebno je izvesti zaobljenje s polumjerom od barem 500 m. Vertikalno zaobljenje ne smije sezati u kružni kolnik. Jedina neprimjerena lokacija kružnih raskrižja je na krajevima dugih i strmih odsječaka ceste.

Ako je lokacija kružnog raskrižja u tjemenu konkavnog zaobljenja nivelete ceste, vozač ima odličnu preglednost, ali su i brzine na ulazu u raskrižje veće. Ako je pak lokacija kružnog raskrižja u tjemenu konveksnog zaobljenja nivelete, brzine na ulazu su manje, ali preglednost nije tako dobra te je preporučljivo postavljanje vertikalne i horizontalne signalizacije i rasvjete [2].




Slika 15. Vertikalno oblikovanje u kružnom raskrižju, [3]

### 4.2.3 Poprečni nagib kolnika i odvodnja

Glavne zadaće poprečnog nagiba kružnog kolnika su prikladna površinska odvodnja i osiguravanje stabilnosti vozila u kružnom kolniku.

Na malim i srednje velikim kružnim raskrižjima koriste se dva načina izvedbe poprečnog nagiba kružnog kolnika :

- poprečni nagib (pad) prema van i
- poprečni nagib (pad) prema unutra

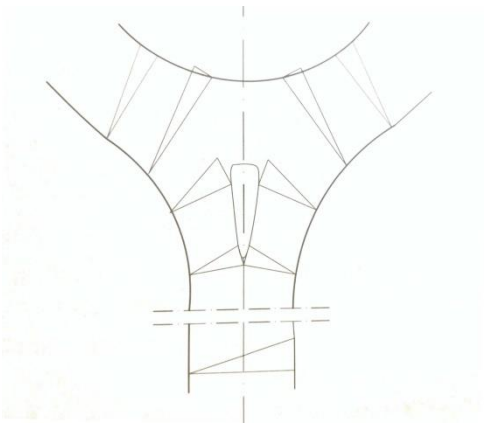
Vitoperenje kružnog kolnika u pravilu treba izbjegavati i primijeniti samo kada je neophodno pri preoblikovanju postojećih u kružna raskrižja. Poprečni nagib ne bi trebao biti veći od 2.5% [3].

U praksi se najviše upotrebljava poprečni nagib kružnog traka prema van. Na taj način postiže se najbolje i najlakše odvodnjavanje, a nije problematična izvedba prijelaza između priključnog traka i kružnog kolnika.

Loše osobine poprečnog nagiba prema van dolaze do izražaja u lošim vremenskim uvjetima, kada zbog kombinacije negativnog poprečnog nagiba i smanjenja prijanjanja između pneumatika i kolnika može doći do klizanja vozila prema vanjskom rubu kružnog kolnika već pri malim brzinama.

Poprečni nagib prema unutra sa stajališta dinamike vožnje bio bi pravilan nagib u kružnom kolniku (smanjuje se djelovanje centrifugalne sile), ali projektanti ovu vrstu nagiba rijetko upotrebljavaju. Razlog je u činjenici da dolazi do stvaranja vodenih nakupina na ulazu i izlazu iz raskrižja (te zaostajanja vode na središnjem otoku), pa bi trebala kompliciranija izvedba odvodnje.

Prikupljene količine vode uz rub kolnika najbolje je odvesti bočnim kanalizacijskim sustavom. Posebnu pažnju treba posvetiti prometnim površinama za bicikliste i pješake, budući da su to osjetljiviji učesnici u prometu [2].



Slika 16. Poprečni nagib kružnog kolnika prema vanjskoj strani, [2]

# 5 PREDNOSTI KRUŽNIH RASKRIŽJA I NJIHOV UTJECAJ NA SIGURNOST PROMETA

## 5.1 Utjecaj kružnih raskrižja na sigurnost i protočnost prometa

Primjena prometnih rješenja s kružnim raskrižjem u praksi se pokazala kao kvalitetna mjera za povećanje stupnja sigurnosti odvijanja prometa, rezultat čega je značajan pad broja prometnih nesreća i ublažavanje posljedica. Geometrija i fizički oblik kružnih raskrižja eliminiraju brojne konfliktne točke koje su prisutne na klasičnom raskrižju, prisiljavaju vozača na smanjivanje brzine, čime se smanjuje ukupan broj potencijalnih konflikta na raskrižju, kao i same posljedice eventualnih konflikata.

Zbog geometrije modernih kružnih raskrižja smanjuje se brzina i kut ulaska u raskrižje, a time i energija sudara. Kod klasičnih raskrižja najčešći tip prometne nesreće jest frontalni ili bočni sudar s velikom kinetičkom energijom, što za posljedicu ima najveća oštećenja i ozljede. Sudari koji se javljaju na kružnim raskrižjima su obično mnogo blaži nego na klasičnom četverokrakom raskrižju, a time su i posljedice, odnosno ozljede obično blaže [5].

Prema podatcima iz opsežnih istraživanja o utjecaju suvremenih kružnih raskrižja na sigurnost prometa u urbanim sredinama koja su provedena u SAD-u, kod primjene ovog tipa prometnih rješenja rezultati su sljedeći:

- smanjenje ukupnog broja prometnih nesreća za 39 %
- smanjenje teških tjelesnih ozljeda za 76 %
- smanjenje smrtnih slučajeva za 90 %

Smanjenje prometnih nesreća na izvangradskim raskrižjima, prema istraživanju u SAD-u na 17 raskrižja koja su rekonstruirana u kružna, dovelo je do sljedećih rezultata:

- smanjenje prometnih nesreća s ozlijeđenima za 84 %
- smanjenje broja ozlijeđenih osoba za 89 %
- smanjenje broja smrtno stradalih za 100 %

U tablici 1 prikazani su rezultati istraživanja vezani uz prosječno smanjenje broja prometnih nesreća u različitim zemljama [5].

Tablica 1. Prosječno smanjenje broja prometnih nesreća u različitim zemljama

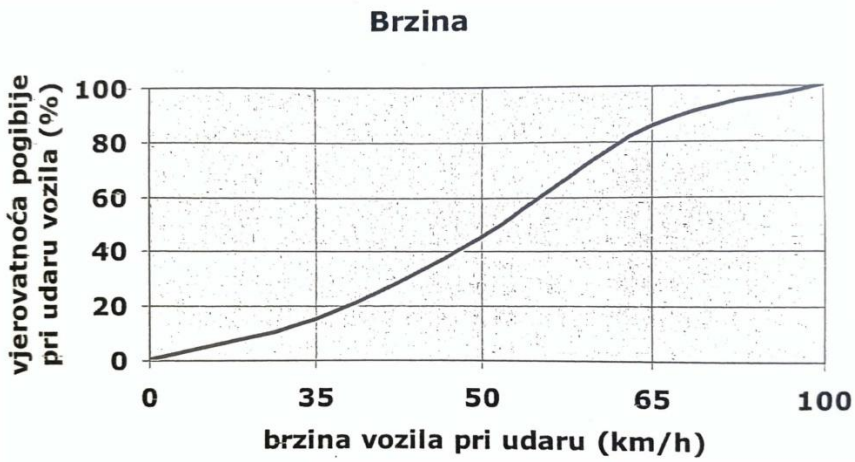
| **Država** | **Prosječno smanjenje %** | |
|---|---|---|
| | Sve nesreće | Nesreće s ozljeđenima |
| Australija | 41 - 46 | 45 - 87 |
| Francuska | - | 57 - 78 |
| Njemačka | 36 | - |
| Nizozemska | 47 | - |
| Velika Britanija | - | 25 - 39 |
| SAD | 35 | 76 |

Izvor: [5]

### 5.1.1 Brzina vožnje

Velika brzina vožnje je najčešći uzrok nastanka prometnih nesreća. Prometne nesreće su bitan pokazatelj prometne sigurnosti. Brzina vožnje od 36 km/h je prema nekim istraživanjima granična brzina između nastanka lakših i težih fizičkih povreda pješaka i biciklista.

Dostizanje visokog nivoa prometne sigurnosti je jedino moguće pri malim brzinama i homogenoj prometnoj situaciji koja se očituje u maloj razlici u brzinama vožnje i smjeru kretanja. Tamo gdje su razlike u brzinama kretanja velike neophodno je sudionike u prometu razdvojiti što se postiže pravilnim izborom vrste i oblika raskrižja [6].




Slika 17. Utjecaj brzine vožnje na vjerojatnost smrti pješaka, [6]

Klasična raskrižja, nasuprot rotorima, omogućavaju zbog zadržavanja smjera kretanja znatno veće prolazne brzine od gore navedene kritične brzine. U periodima dana kada je prometno opterećenje manje (van perioda vršnog sata) i noću, često se na klasičnim raskrižjima vozi prebrzo i ne poštuje pravo prednosti prolaza (na semaforiziranim raskrižjima prolaz kroz crveno svjetlo), što dovodi do sudara vozila, često sa tragičnim posljedicama [6].

Kod rotora se nesreće sa tragičnim posljedicama zbog nepoštivanja prava prednosti gotovo i ne događaju, a ako se i događaju onda zbog uvjetovane male brzine za posljedicu imaju samo materijalne štete. Ukoliko je brzina vožnje mjerodavna uvijek se preporučuje primjena rotora. Rotori smanjuju brzinu vožnje što utječe na smanjenje mogućnosti nastanka nesreća i veličine posljedica [6].

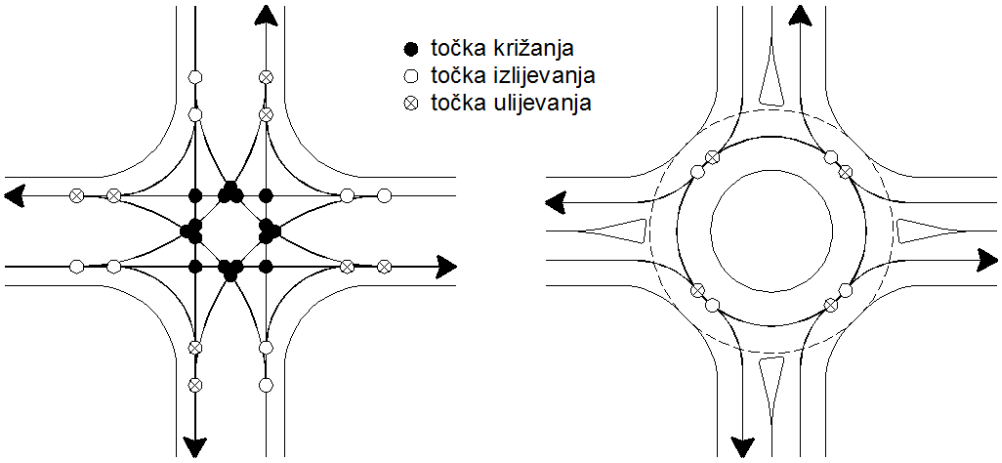
### 5.1.2 Konfliktne točke

Raskrižja su prometne površine na kojima se prometni tokovi križaju, prepliću, ulijevaju i izlijevaju te na taj način stvaraju konfliktne točke i konfliktna područja.

Broj konfliktnih točaka i veličina konfliktnog područja raskrižja ovisi o vrsti raskrižja te broju priključnih prometnih tokova. Što raskrižje ima veći broj konfliktnih točaka i što je veće konfliktno područje, to je nivo prometne sigurnosti raskrižja niži.

Nivo prometne sigurnosti na raskrižjima moguće je povećati smanjenjem broja konfliktnih točaka kao i smanjenjem veličine konfliktnog područja. Ovo se postiže izborom načina vođenja prometnih tokova odnosno oblikovanjem i uređenjem raskrižja te izborom vrste raskrižja [6].

Glavna prednost jednotračnih kružnih raskrižja, u odnosu na standardna trokraka ili četverokraka raskrižja, je nepostojanje konfliktne zone unutar raskrižja te eliminacija konfliktnih točaka prvog reda (križanje) i drugog reda (preplitanje). Ujedno se ovakvim rješnjem raskrižja smanjuje ukupni broj konfliktnih točaka trećeg reda (izlijevanje, ulijevanje) [3].




Slika 18. Konfliktne točke kod standardnog četverokrakog i jednotračnog kružnog raskrižja, [3]

Teoretski klasično četverokrako raskrižje ima 32 potencijalne konfliktne točke (16 križanja, 8 izlijevanja i 8 ulijevanja), a jednotračno četverokrako kružno raskrižje svega 8 potencijalnih konfliktnih točaka (4 ulijevanja i 4 izlijevanja).

U kružnim raskrižjima je moguće očekivati nekoliko vrsta prometnih nezgoda koje nisu svojstvene klasičnim tipovima raskrižja 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 čeoni 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 [3].

### 5.1.3 Smanjenje vremenskih gubitaka

Vremenski gubici vozila u zoni raskrižja obuhvaćaju vrijeme vožnje (ili vrijeme stajanja) u koloni i vrijeme provedeno na liniji zaustavljanja, odnosno kod kružnog raskrižja vrijeme uzrokovano čekanjem pojave vremenskih praznina u konfliktnom kružnom traku.

S porastom udjela lijevih skretača značajno rastu i vremenski gubici na raskrižju. Rekonstrukcijom klasičnog raskrižja u kružno mogu se ostvariti značajne uštede u vremenu putovanja, jer se prometni tok na kružnom raskrižju odvija, u pravilu, bez zaustavljanja vozila (ili s vrlo kratkim zaustavljanjem), za razliku od uvjeta na klasičnom raskrižju sa svjetlosnom signalizacijom (na kojemu neki od prometnih tokova uvijek moraju stati pred raskrižjem).

Tablica 2. Prosječno trajanje zaustavljanja na raskrižju

| | Prosječno trajanje zaustavljanja vozila na raskrižju (u sekundama) | |
|---|---|---|
| | 10 % udio lijevih skretača | 30 % udio lijevih skretača |
| Kružno raskrižje | 2 | 7,5 |
| Semaforizirano raskrižje | 14 | 19 |

Izvor: [5]

Najveće uštede vremena pri prolasku kroz kružno raskrižje, u odnosu na klasično raskrižje, mogu se očekivati kod podjednakog prometnog opterećenja po prilaznim ulicama. Neposredna posljedica uštede vremena je i manja potrošnja goriva kod motornih vozila, a posredna se očituje kroz povoljniji utjecaj na okoliš, odnosno manju emisiju štetnih produkata izgaranja goriva [5].

## 5.2 Utjecaj kružnih raskrižja na urbanu sredinu

Prometna infrastruktura, uz osnovnu zadaću pružanja prometnih usluga korisnicima, nužno ima i velik utjecaj na okoliš, pa je treba planirati tako da se uklopi ili čak nadopuni određeni okoliš. Dobro dizajnirana i uklopljena u urbani okoliš, kružna raskrižja predstavljaju važan element identiteta naselja, gradske četvrti ili ulice.

Uvođenjem kružnih raskrižja postiže se učinak smanjivanja brzine kretanja vozila kroz naselje, smanjivanje čekanja na raskrižju, povećanje zelenila, što sve utječe na obilježja ulice i povećanje kvalitete života u urbanoj sredini.

Zbog velikog broja vozila i povećanja dimenzija višetračnih raskrižja, središta gradova postala su mjesta koja nisu privlačna ili su opasna za kretanje pješaka. Izgradnja trakova za lijeve i desne skretače iziskuje značajnu potrebu za prostorom. Taj prostor mogao bi se iskoristiti za šire nogostupe, razdjelne zelene pojaseve, biciklističke trakove, postavljanje elemenata urbane opreme i sl., čime bi se povećala kvaliteta života.

U SAD-u se sve češće cijeli koridori ulica planiraju i izvode kao prometna rješenja s nizom kružnih raskrižja, kao ključnim elementom koridora. Svaki presjek duž koridora predstavlja mogućnost i priliku da u kružnom raskrižju stvori žarišnu točku percepcije, a raskrižja u ulici postaju zone smirenog prometa, sigurne i udobne za sve sudionike u prometu, posebice nemotorizirane sudionike bez obzira na njihovu dob i sposobnosti. Svako kružno raskrižje u koridoru učinkovito propušta promet, smanjuje redove čekanja vozila unutar koridora, olakšava uključivanje u promet sudionika iz sporednih ulica te povoljno utječe na potrošnju goriva i emisiju ispušnih plinova [5].

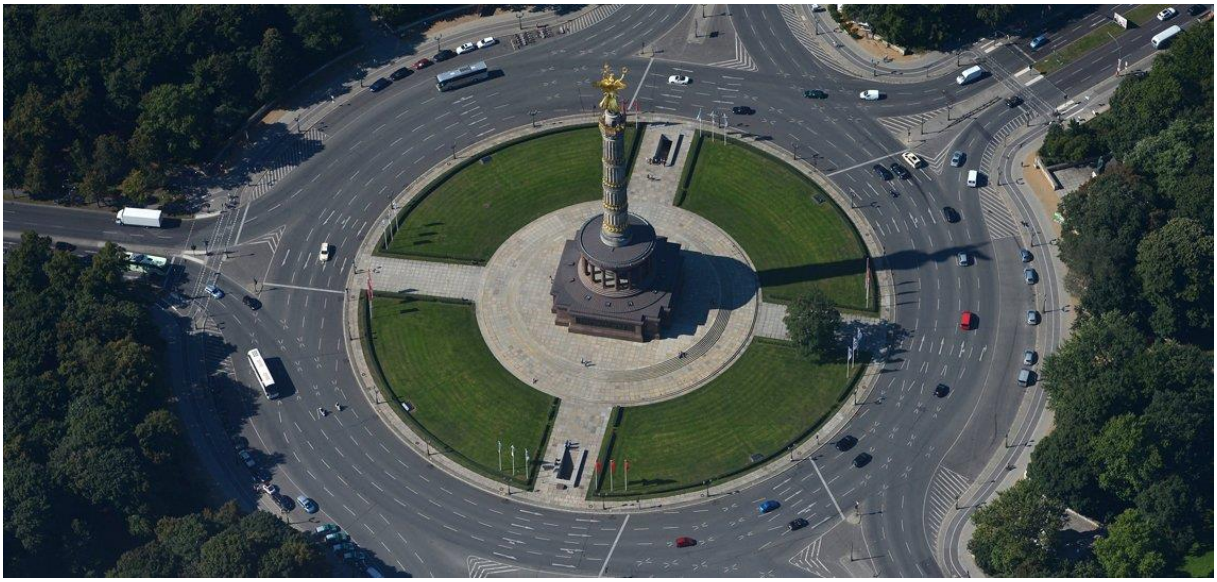
Slika 19. Niz kružnih raskrižja duž koridora u SAD-u, [17]

Budući da kod primjene kružnih raskrižja nisu potrebni trakovi za lijeve skretače, po cijeloj dužini dionice između raskrižja mogu se urediti kontinuirane površine kao zeleni razdjelni pojas koji smanjuje loš učinak širokih asfaltnih površina, djeluje na usporavanje prometa, daje ljepšu sliku u okolišu, te stvara mogućnost hortikulturnog ili tematskog uređenja javne površine u skladu s lokalnim uvjetima.

Ovisno o lokalnim uvjetima, površina dobivena uklanjanjem trakova za lijeve skretače može se urediti kao biciklistička traka, površina za parkiranje, proširenje nogostupa i sl.

Kružna raskrižja mogu se koristiti u kontekstu uređenja prostora, gdje slobodan prostor središnjeg otoka kružnog raskrižja može poslužiti kao prostor za stvaranje novih specifičnih urbanih dizajnerskih rješenja, kao mjesto za urbanu umjetnost kroz koju će se manifestirati određene specifičnosti urbane sredine i koji se uz posebno promišljeno uređenje u krajoliku može koristiti kao svojevrsni Land Art.

U našim područjima središnji otok kružnog raskrižja najčešće se uređuje sadnjom trave i/ili sezonskog cvijeća, u rijetkim slučajevima radi se krajobrazni projekt uređenja, dok o izvedbi umjetničkih djela na središnjem otoku za sada nema saznanja [5].



Slika 20. Stup pobjede (Siegessäule) - spomenik u središnjem otoku kružnog raskrižja, Berlin, [18]

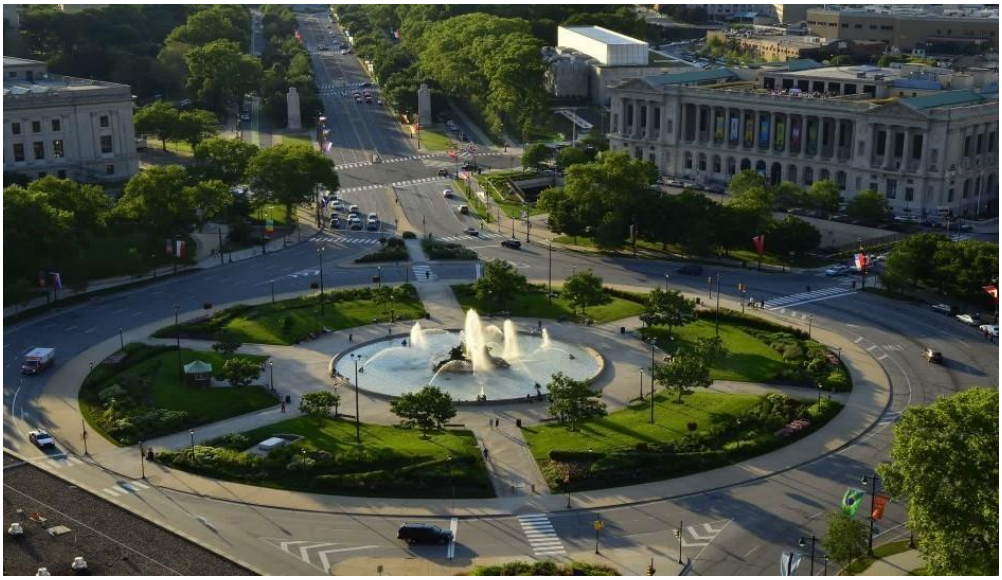
## 5.3 Utjecaj kružnih raskrižja na društveno-gospodarske odnose

Gospodarska održivost kružnih raskrižja u kontekstu održivog prometa ogleda se kroz obilježja sljedećih pokazatelja:

- smanjenje troškova posljedica prometnih nesreća
- trošak održavanja i upravljanja kod kružnih raskrižja niži je nego kod semaforiziranih raskrižja
- smanjenje troškova putovanja kroz kružna raskrižja u odnosu na semaforizirana
- izgradnja kružnih raskrižja na mjestu klasičnih semaforiziranih raskrižja može smanjiti potrošnju goriva za oko 30 %
- prema istraživanjima na 10 kružnih raskrižja u američkoj državi Virginiji, smanjenje potrošnje goriva iznosilo je više od 200.000 litara goriva na godinu

Studija izrađena za područje američke države Kansas iz 2003. godine pokazala je da se kod primjene prometnih rješenja s kružnim raskrižjem postiglo prosječno smanjenje kašnjenja vozila za 75 %, a zaustavljanja vozila za 52 %. Iz navedenih istraživanja vidljivo je da se rekonstrukcijom klasičnih raskrižja u suvremena kružna raskrižja može smanjiti ukupna potrošnja goriva. Budući da cijena goriva sudjeluje u najvećem iznosu troškova prijevoza, niža potrošnja goriva na kružnim raskrižjima znači i niže troškove putovanja.

Prednost kružnih raskrižja ogleda se i u smanjenju gubitka slobodnog vremena zbog manjeg čekanja na raskrižju. Skraćivanje vremena čekanja na kružnim raskrižjima u usporedbi sa signaliziranim raskrižjima smanjuje razinu frustracija i agresivnosti kod vozača, čime se povećava sigurnost vožnje. Prema provedenim istraživanjima, vozači koji čekaju ne zeleno svjetlo osjećaju veću potrebu voziti agresivnije nego netko tko vozi kroz kružno raskrižje i na prilazu usporava te nailazi na znak s oduzetom prednošću i crtkanom zaustavnom crtom [5].



Slika 21. Primjer modernog kružnog raskrižja, Philadelphia, Pennsylvania, [19]

## 5.4 Utjecaj kružnih raskrižja na ekologiju

Kada su pravilno projektirana i izvedena, suvremena kružna raskrižja, u usporedbi s drugim tipovima raskrižja, mogu značajno smanjiti količinu štetnih tvari koju vozila ispuštaju u atmosferu prilikom prolaska kroz raskrižje, ukoliko su prometna opterećenja unutar kapaciteta.

Na semaforiziranim raskrižjima mnogi vozači moraju čekati i do 20 sekundi ili dulje za zeleno svjetlo, čak i tijekom izvanvršnog perioda, odnosno i onda kada na susjednim privozima raskrižja nije prisutno niti jedno vozilo. Takve su situacije na kružnim raskrižjima uklonjene tako da, ako nema prometa iz susjednih privoza, vozila prolaze kroz raskrižje bez zaustavljanja, uz smanjenu brzinu.

Kada je vozilo zaustavljeno na raskrižju, emitira više štetnih plinova kao što su ugljikov monoksid i dušikov oksid u atmosferu. Te emisije u velikim količinama pridonose zagađenju zraka i nastajanju smoga, što negativno utječe na ljude i okoliš. Skraćivanjem zadržavanja vozila na raskrižju smanjuje se ispuštanje štetnih tvari u okoliš, ali i smanjuje potrošnja goriva.

Studija koju je 2003. godine provelo sveučilište iz američke države Kansas (Kansas State University, Manhattan, KS, SAD) na tri raskrižja preuređena iz klasičnih u kružna, pokazala je jasno vidljivo smanjenje ispuštanja štetnih tvari:

- ugljikov monoksid (CO) 32 %
- dušikov oksid (N2O) 34 %
- ugljikov dioksid (CO2) 37 %
- ugljikovodik (CH) 42 %

Druge provedene studije pokazuju da se postižu pozitivni učinci za okoliš kada se raskrižja (semaforizirana ili nesemaforizirana) preurede u kružna. U američkoj državi Kolorado provedena je detaljna studija koja je obuhvatila 15 raskrižja odabranih za procjenu utjecaja na okoliš i potrošnju energije i to za različite vrste prometnih rješenja: nesemaforizirano, semaforizirano i kružno.

Raskrižja su podijeljena u tri skupine, ovisno o količini prometa u vršnom satu: prva skupina raskrižja s niskim prometom od 500 do 1.000 vozila/h, druga skupina raskrižja s umjerenim prometom od 1.000 do 2.000 vozila/h i treća skupina raskrižja s visokim prometnim opterećenjem od preko 2.000 vozila/h.

U tablici 3 prikazani su rezultati simulacija koje su rađene za svih 15 raskrižja i to za inačice: nesemaforizirano ili semaforizirano vs. kružno raskrižje [5].

Tablica 3. Smanjenje potrošnje goriva i emisije $CO_2$ po skupinama raskrižja

| | | POTROŠNJA GORIVA | | EMISIJA $CO_2$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Skupina** | **Usporedba** | **Smanjenje litara/god.** | **Smanjenje %** | **Smanjenje tona/god.** | **Smanjenje %** |
| Nisko | nesemaforizirano vs. jednotračno kružno | 36.226 | 19,4 | 90,9 | 19,5 |
| Umjereno | semaforizirano vs. jednotračno kružno | 15.141 | 5,6 | 37,7 | 5,5 |
| Visoko | semaforizirano vs. dvotračno kružno | 89.782 | 13,3 | 224,5 | 13,3 |

Izvor: [5]

Prema dobivenim rezultatima kružna raskrižja omogućuju značajno smanjenje potrošnje goriva i emisije $CO_2$. Smanjenja potrošnje goriva za oko 6 do 20 % može se očekivati kada su kružna raskrižja izvedena umjesto semaforiziranih.

Slične pogodnosti vezane uz primjenu kružnih raskrižja mogu se očekivati kada se uspoređuju emisije $CO_2$ za svaku vrstu prometnog rješenja raskrižja. Najveće koristi ostvarene su za raskrižja s nižim vršnim prometom i to u slučajevima kada se klasično raskrižje zamijeni jednotračnim kružnim raskrižjem, kao i na raskrižjima s većim opterećenjem, kada se zamijene dvotračnim kružnim umjesto velikih semaforiziranih raskrižja.

Rezultati navedenih istraživanja pokazuju kako prometna rješenja s kružnim raskrižjem mogu značajno pridonijeti očuvanju okoliša i ostalim svojim osobinama mogu značajno pridonijeti sustavu održivog prometa.

# 6 PRIJEDLOG POVEĆANJA SIGURNOSTI PROMETA UVOĐENJEM KRUŽNOG RASKRIŽJA NA RASKRIŽJU DUBROVAČKE ULICE I ULICE STJEPANA IVIČEVIĆA U MAKARSKOJ

## 6.1 Značajke i analiza kritičnog raskrižja

Promet se na području Republike Hrvatske povećava iz godine u godinu, a na prometnicama koje gravitiraju moru intezitet prometa je naročito velik u ljetnom periodu, tj. u vrijeme turističke sezone, što naročito dolazi do izražaja nakon izgradnje i puštanja u promet cjelokupne dionice autoceste Zagreb – Split – Vrgorac i dalje prema Pločama.

S obzirom na neusklađeni razvoj prometne mreže i urbanizacije u prošlosti, na postojećim državnim cestama nažalost je još uvijek više dionica, a posebno križanja koja su neadekvatno riješena i ne odgovaraju suvremenim prometnim uvjetima.

Na području Makarske je postojeće križanje na državnoj cesti D8 (jadranska magistrala) sa državnom cestom D512 za Ravču (Vrgorac) te županijskom cestom ŽC6197 (ujedno i gradska ulica Stjepana Ivičevića) koje zapravo predstavlja istočni ulaz u grad, jedno od prometno kritičnijih mjesta. Predmetno križanje je prometno i građevinski neadekvatno za postojeće prometne uvjete, te se isto prvenstveno očituje stvaranjem prometnih čepova.

Poboljšanje uvjeta odvijanja prometa u okviru postojećeg križanja je izvšeno 2005. godine dogradnjom prometnih traka na D8 za vozila koja skreću u lijevo, kako bi se povećala protočnost prometa na glavnom smjeru (jadranska magistrala). Također su djelomično uređeni privozi D512 i ŽC6197 te je izvršena semaforizacija raskrižja.

Time se znatno poboljšala protočnost i sigurnost u odnosu na prethodno stanje, ali s obzirom na postojeći volumen prometa to nije dovoljno. Daljnje poboljšanje nije moguće postići isključivo u okviru postojećeg cestovnog zemljišta te je rješenje nužno tražiti u rekonstrukciji križanja, uz potrebna proširenja.

Predmet ovog projekta je uređenje postojećeg križanja državnih cesta D8 i D512 i županijske ceste ŽC6197 na dionici 021, Makarska (D512) – Drvenik (D412) u stacionaži km 0+000 na području Grada Makarske uz objedinjavanje svih prometnih pravaca, čime bi se povećala sigurnost odvijanja prometa u široj zoni križanja [10].

## 6.2 Opis planiranog zahvata

Kao optimalno rješenje tj. rješenje koje na prometno najbolji način omogućuje što sigurnije odvijanje prometa odabrano je rješenje tipa kružnog križanja (rotor).

Veličina križanja (u prvom redu vanjski radijus), usvojeni su s obzirom na osnovne utjecajne faktore kao što su veličina prometa na pojedinim privozima, terenski uvjeti (preglednost cijelog križanja), mogućnosti uklapanja u postojeće prometnice i drugo. Također je usvojen jednostavni tip kružnog križanja, tj. rotor sa jednom voznom trakom.

U skladu s navedenim, usvojen je vanjski radijus od 25,0 metara, a unutarnji radijus od 17,0 metara. Širina voznog traka iznosi 8,0 metara (uključivo rubne trake sa svake strane od 0,50 m). Gabariti su određeni u skladu s važećim standardima za ovaj tip križanja u sličnim uvjetima, a omogućen je nesmetan prolaz svih tipova vozila, uključujući i šlepere i auto-vlakove.

Za ova najveća vozila u tlocrtnom rješenju je osiguran i dodatni pojas od 2,0 metra, tzv. provozni dio rotora, koji se izvodi od granitnih kocaka položenih u sloju pijeska i cementa iznad betonske podloge i koji se u slučaju potrebe može koristiti kao vozni dio. Ovaj dio je od kolnika odvojen polegnutim ili utopljenim betonskim rubnjakom 15/25 cm izdignutim za 3,0 cm iznad asfaltnog zastora i izvodi se u nagibu od 4,0% također prema vani.

Unutrašnji dio kružnog križanja uređuje se ozelenjavanjem i sadnjom niskog ukrasnog raslinja. Uređenje te površine predviđeno je izvršiti na način da se ne ometa preglednost u zoni križanja. Zelena površina je od provoznog dijela odvojena betonskim rubnjakom 15/25 cm izdignutim za 15,0 cm. Uz nužno postavljanje prometnih znakova i opreme, u ovom dijelu je moguće postaviti i odgovarajući prepoznatljivi turistički ili slični znak (eventualno skulpturu), ali na način da se ne ugrozi potrebna preglednost.

S obzirom da se radi o urbanoj sredini, duž pojedinih privoza i po obodu samog rotora predviđena je izgradnja pješačkih nogostupa širine 1,60 m koji je od kolnika odvojen betonskim rubnjakom izdignutim za 15 cm od kote nivelete. Na pojedinim privozima gdje ima više prostora predviđeno je uređenje razdjelnog zelenog pojasa koji se nalazi između ruba kolnika i nogostupa.

U rotoru se sastaju 4 privoza, privoz D8 iz smjera Splita, privoz D512 iz smjera Vrgorca, privoz D8 iz smjera Dubrovnika i privoz ŽC6197 iz smjera centra Makarske. Tlocrtno i visinsko rješenje rotora je takvo da je omogućeno uklapanje u postojeće stanje na svim privozima.

Svi privozi su dvosmjerni s predviđenim prometnim otocima kojima se kanalizira promet na mjestu samog priključka [10].

### 6.2.1 Poprečni profil

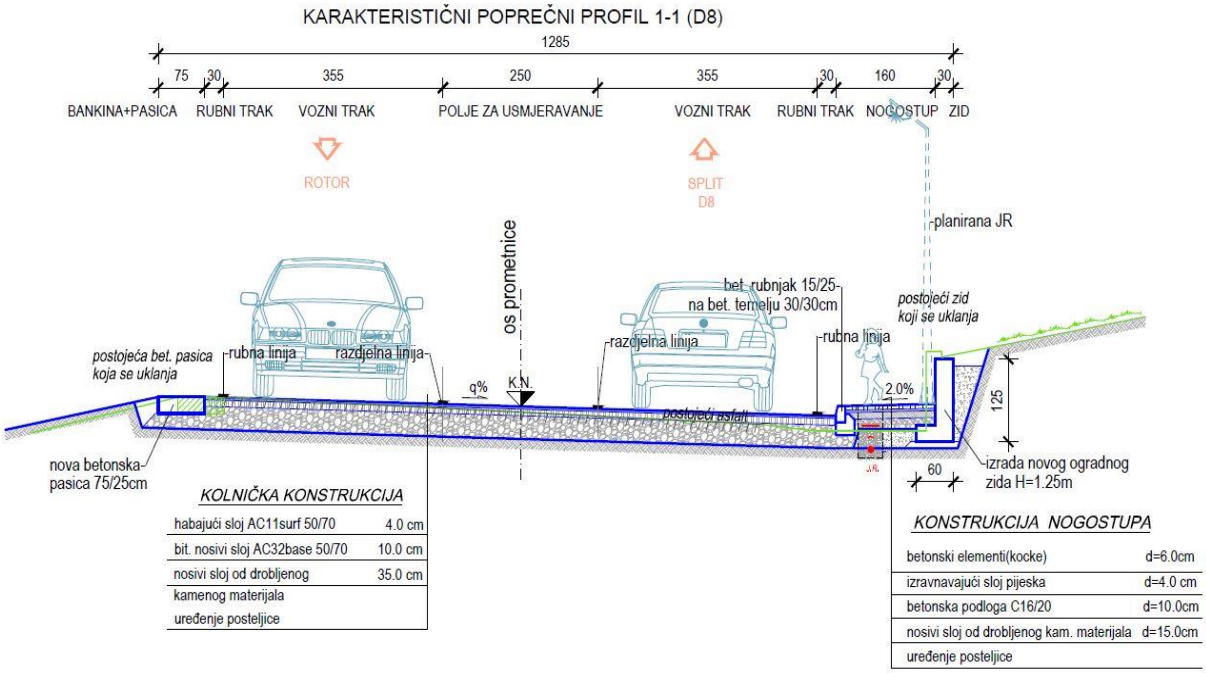
Temeljem detaljnog geodetskog snimka, utvrđeni su postojeći elementi trase i elementi poprečnog profila. Tako širina privoza na dijelu državne ceste D8 (privozi 1 i 3) iznosi 10,20 metara i sastoji se od 2 vozna traka širine 3,85 metara svaki, te središnjeg traka pretvorenog u polje za usmjeravanje širine 2,50 metara.

Na dijelu državne ceste D512 (privoz 2) kolnik je širine 6,40 metara (2 vozna traka širine 3,20 metara svaki uključivo rubni trak), te na dijelu županijske ceste Ž6197 (privoz 4) širina kolnika iznosi 7,0 metara (2 vozna traka širine 3,50 metara svaki uključivo rubni trak) [10].

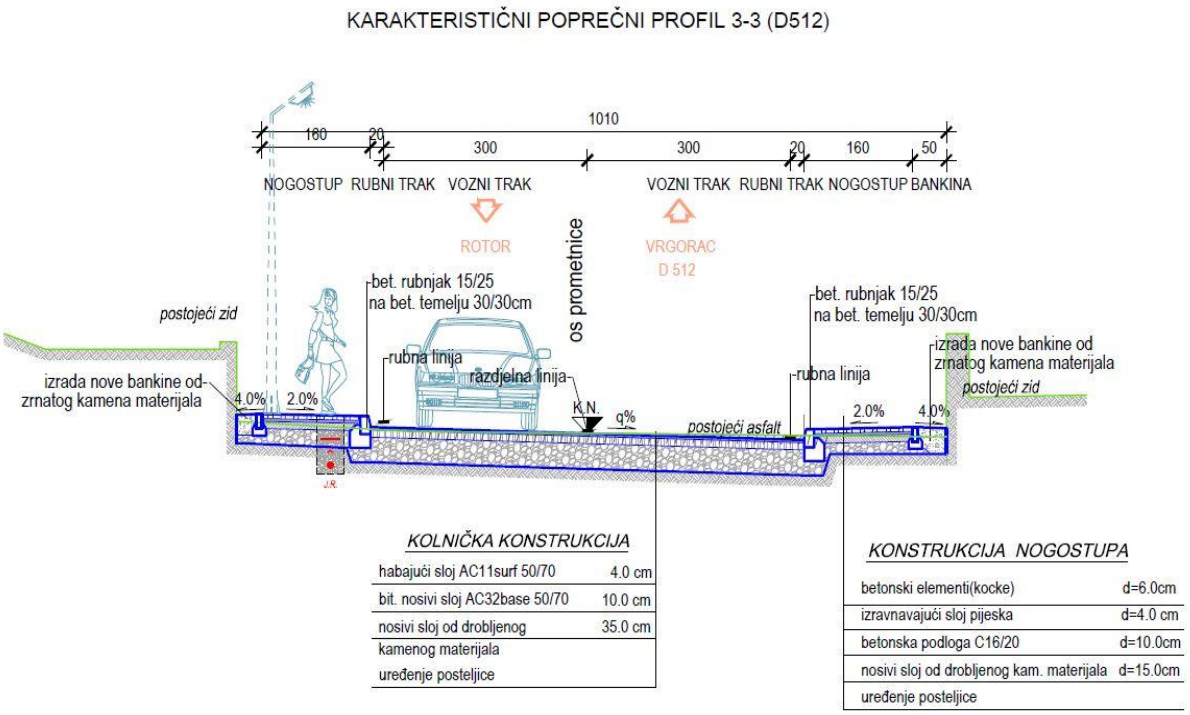
Tablica 4. Prikaz osnovnih elemenata poprečnog profila kružnog raskrižja

| **Element** | **Veličina na privozima 1, 3 i 4** | **Veličina na privozu 2** |
|---|---|---|
| Širina kolnika u pravcu | 2 x 3,25 = 6,50 m | 2 x 3,00 = 6,00 m |
| Širina rubnog traka | 0,30 m | 0,20 m |
| Širina bankine iza nogostupa | 0,30 – 0,50 m | 0,30 – 0,50 m |
| Širina berme iza nogostupa | 0,30 – 0,50 m | 0,30 – 0,50 m |
| Širina nogostupa | 1,6 – 2,0 m | 1,6 – 2,0 m |
| Poprečni nagib kolnika u pravcu | 2,50 % | 2,50 % |
| Nagib pokosa nasipa | 1:1,5 | 1:1,5 |
| Nagib pokosa usjeka | 2:1 | 2:1 |

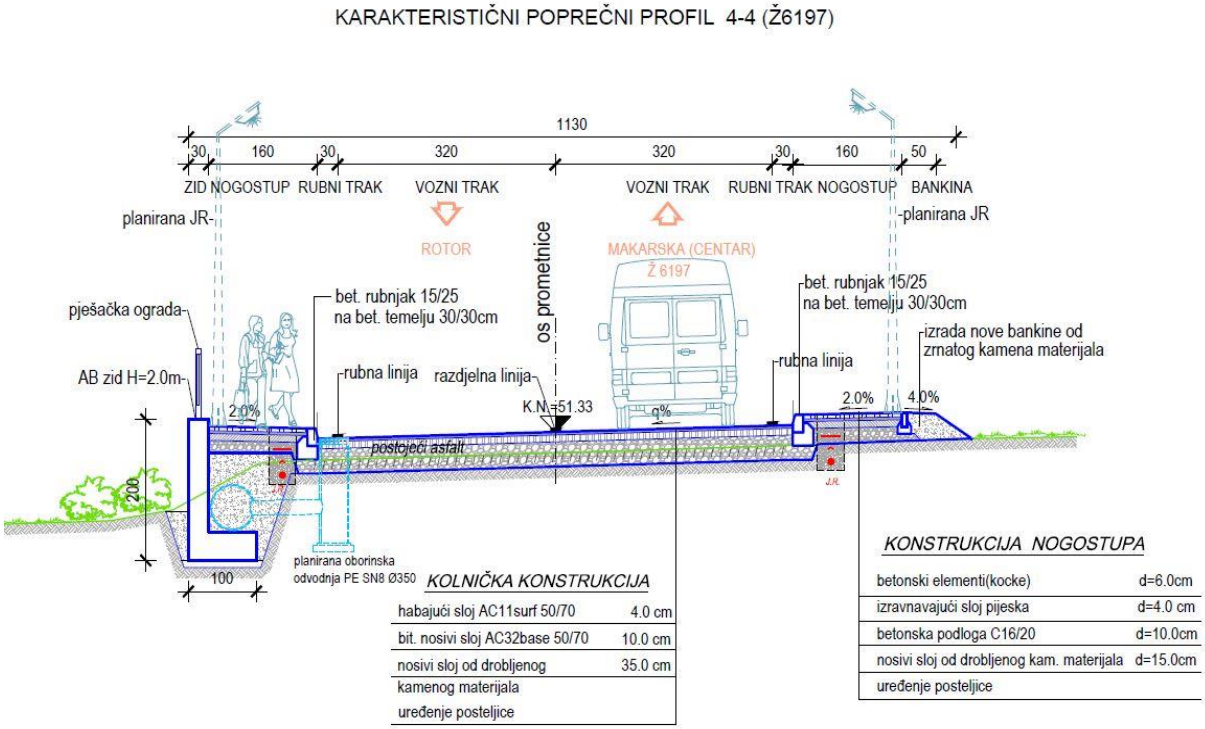
Izvor: [10]




Slika 22. Karakteristični poprečni profil državne ceste D8 (privoz 1 i 3), [10]




Slika 23. Karakteristični poprečni profil državne ceste D512 (privoz 2), [10]

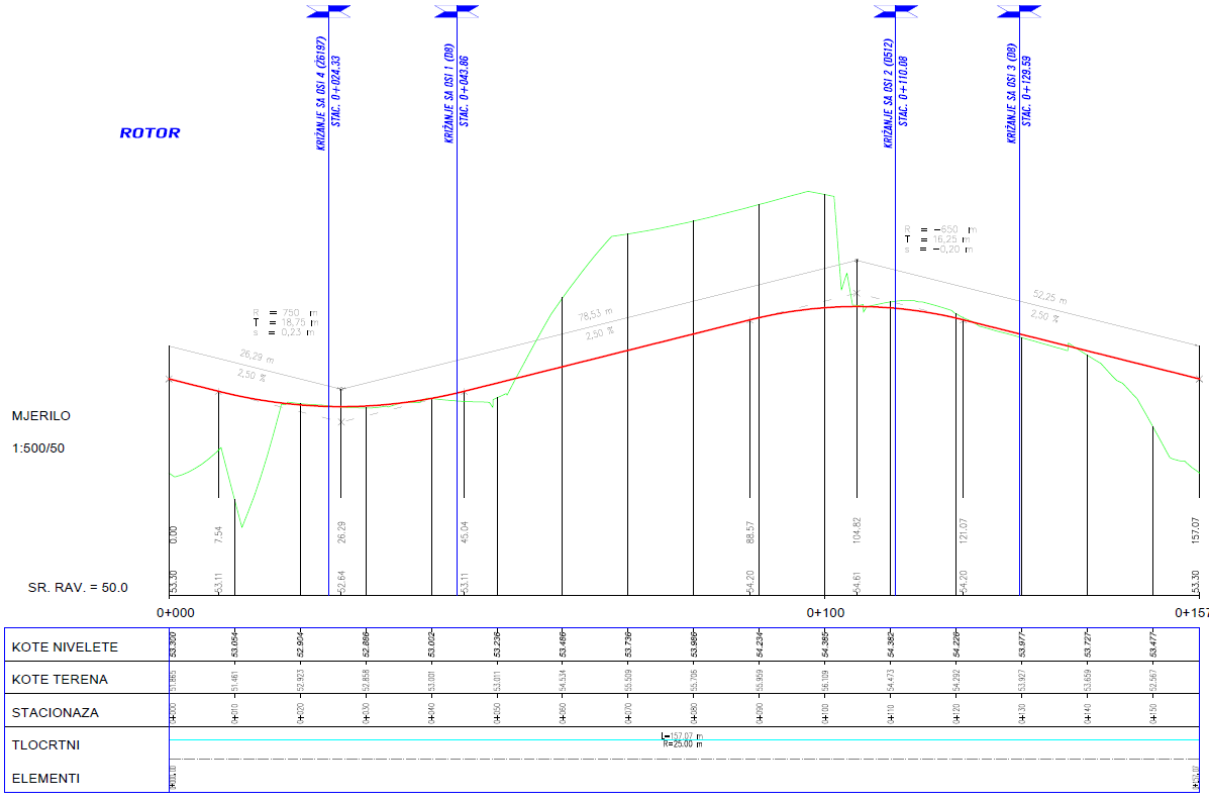



Slika 24. Karakteristični poprečni profil županijske ceste Ž6197 (privoz 4), [10]

### 6.2.2 Uzdužni profil

Uzdužni nagib u području rotora je blaži i iznosi 2,50%. Uzdužni nagib na pojedinim privozima je uvjetovan mogućnosti uklapanja istih na postojeće stanje, a iznose do 2,3% na privozima 1 i 3, odnosno do 4,5% na privozu 4 i maksimalni uzdužni nagib na cjelokupnom zahvatu kod privoza 2 iznosi 8,5%.

Vertikalna zaobljenja nivelete u području križanja pojedinih privoza i samog rotora su u pravilu veća od minimalnih i udovoljavaju nesmetanom prolazu svih vozila [10].



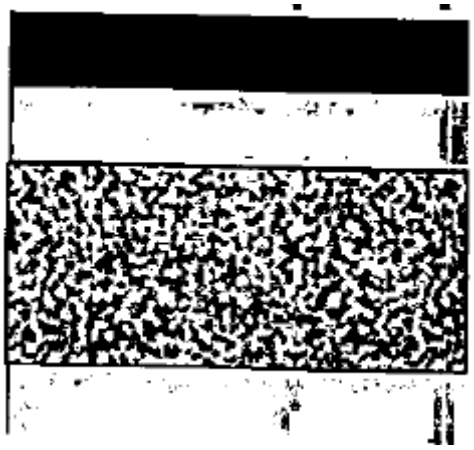

Slika 25. Uzdužni profil rotora, [10]

### 6.2.3 Kolnička konstrukcija

S obzirom da je riječ o rekonstrukciji postojećeg križanja i prometnice pri čemu se vrši širenje i dogradnja istih, te ispravljanje tlocrtnih i visinskih elemenata, postojeću kolničku konstrukciju je moguće samo djelomično zadržati. Na dijelu trase gdje se vrši proširenje postojećeg kolnika i izrada novih kolničkih privoza potrebno je izvesti potpuno novu kolničku konstrukciju [10].

Nova kolnička konstrukcija je utvrđena s obzirom na osnovne utjecajne parametre: veličina postojećeg i planiranog prometnog opterećenja; klimatski uvjeti u kojima se konstrukcija izvodi, uključujući i opasnost od smrzavanja; kvaliteta podloge; raspoloživi lokalni materijali za izgradnju.

S obzirom na navedeno usvojena je nova kolnička konstrukcija sljedećeg sastava za teško prometno opterećenje:



Slika 26. Kolnička konstrukcija kružnog raskrižja, [10]

Habajući sloj, d = 4,0 cm, asfaltbeton
Bitumenizirani nosivi sloj, d = 10,0 cm
Nosivi sloj, d = 35,0 cm, drobljena kamena sitnež
Posteljica, zemljani, miješani ili kameni materijal

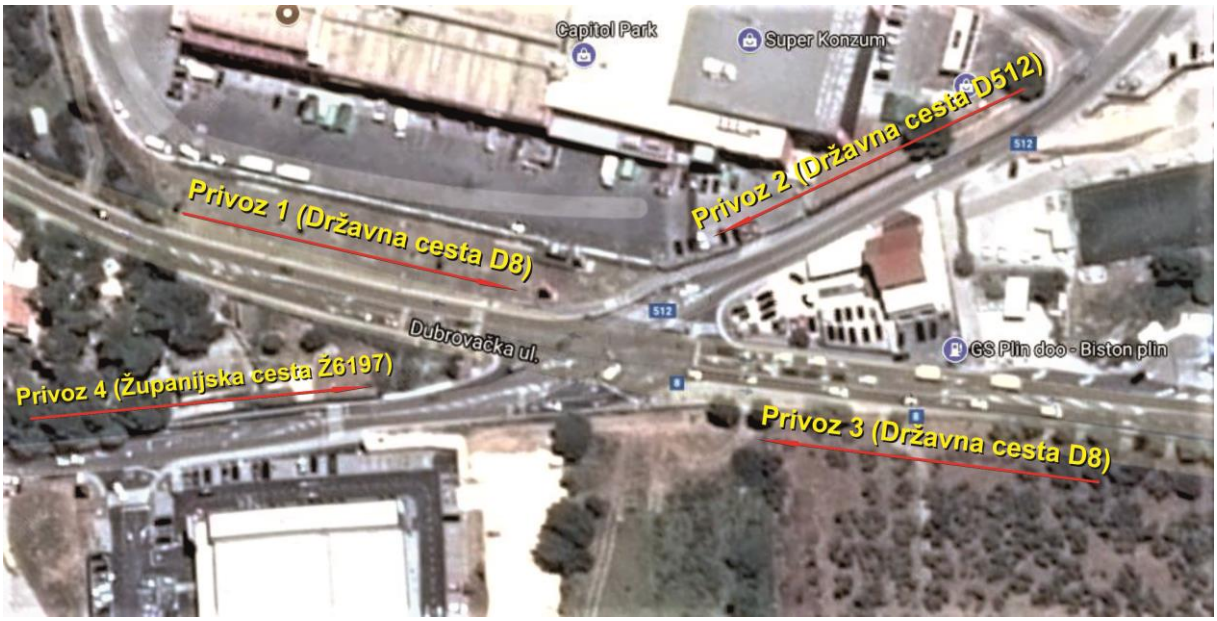
### 6.2.4 Odvodnja i ostala komunalna infrastruktura

Odvodnja oborinskih voda sa kolnika i okolnih površina omogućena je uzdužnim i poprečnim nagibom kolnika i ostalih površina. Projektirano rješenje oborinske kanalizacije predmetnog križanja i pripadajućih privoza predviđa izgradnju zatvorenog sustava odvodnje primjenom tipskih slivnika i okana raspoređenih duž planiranog zahvata, te tretiranje prikupljenih voda kroz tipski separator i privremeno ispuštanje u upojni bunar.

Također je predviđeno proširenje i djelomično izmještanje postojeće javne rasvjete shodno novom rješenju samog križanja koje je potrebno adekvatno osvijetliti, te proširenje vodovodne mreže u svrhu ostvarenja hidrantske mreže i održavanja zelenih površina samog križanja [10].

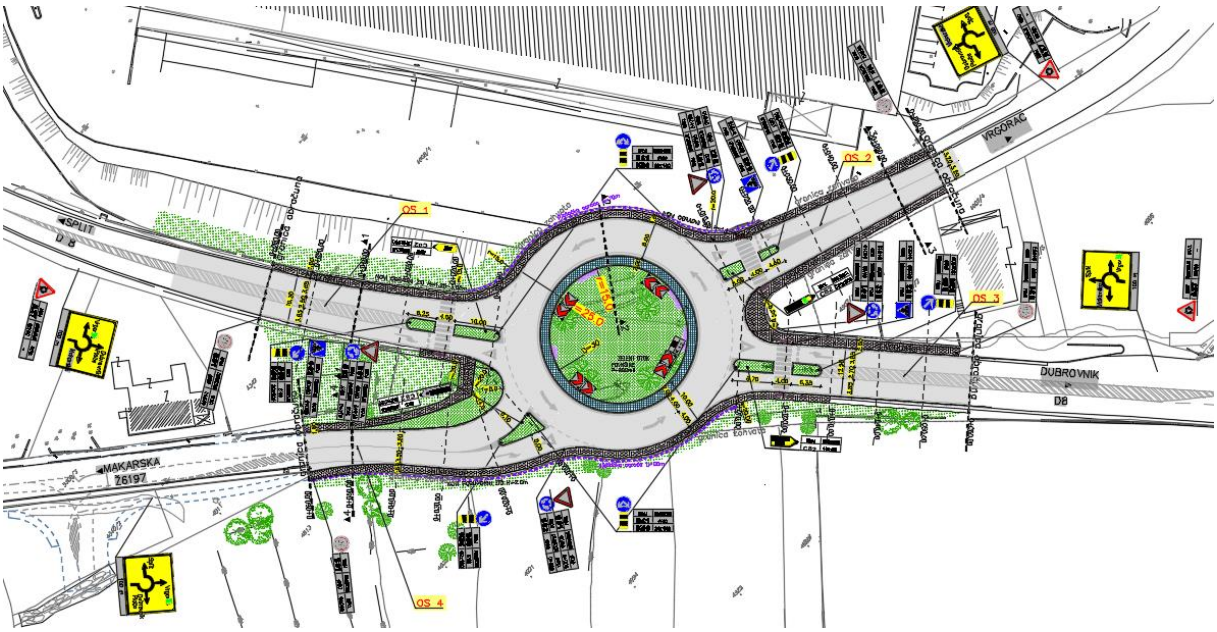
## 6.3 Prikaz raskrižja prije i poslije rekonstrukcije

**Klasično raskrižje** prije rekonstrukcije:




Slika 27. Raskrižje Dubrovačke ulice i Ulice Stjepana Ivičevića prije rekonstrukcije

**Kružno raskrižje** poslije rekonstrukcije:




Slika 28. Raskrižje Dubrovačke ulice i Ulice Stjepana Ivičevića poslije rekonstrukcije, [10]

# 7 ZAKLJUČAK

Kroz brojna provedena istraživanja može se zaključiti da kružna raskrižja imaju jedinstvene značajke koje im daju prednost u odnosu na druge tipove raskrižja.

S aspekta prometne sigurnosti kružna raskrižja u velikom broju slučajeva imaju prednost u odnosu na klasična raskrižja. Brzina vožnje u kružnom raskrižju je mala a time je i manja mogućnost prouzrokovanja nesreća. Kružno raskrižje sadrži manji broj konfliktnih točaka pa je šansa da jedna nezgoda završi sa tragičnim posljedicama znatno manja nego kod klasičnih raskrižja.

Pri jednako raspoređenom opterećenju na prilazima, kružno raskrižje omogućava bolji protok prometa nego klasično raskrižje pa je samim time vrijeme čekanja na ulazak u rotor puno kraće nego kod jednako opterećenog semaforiziranog raskrižja.

Također kružna raskrižja imaju i pozitivan efekt u pogledu zaštite životne sredine i estetskog prostornog uređenja. Kružno raskrižje nudi mogućnost stvaranja ugodnije slike u okolišu i mogućnost kvalitetnog estetskog uređenja i oblikovanja središnjeg otoka.

Gledano sa aspekta ekonomičnosti troškovi građenja kružnih raskrižja i klasičnih raskrižja su približno isti, ali su troškovi održavanja kružnih raskrižja znatno niži u odnosu na troškove održavanja semaforiziranih raskrižja. Primjena kružnog raskrižja nudi i mogućnost značajnog smanjenja potrošnje goriva, smanjenja emisije štetnih plinova i smanjenja buke.

Na osnovu navedenog može se zaključiti da su kružna raskrižja jako povoljan tip raskrižja, međutim to ne znači da su u svim situacijama najbolje rješenje. Raskrižja koja su jako opterećena često je nemoguće drugačije regulirati nego semaforima. U konkretnom slučaju novogradnje ili rekonstrukcije, potrebno je situaciju analizirati i usporediti projektna rješenja te na osnovu analize izabrati bolje i sigurnije rješenje.

# LITERATURA


[1] Omazić, I., Dimter, S., Barišić, I.: *Kružna raskrižja - suvremeni način rješavanja prometa u gradovima*, Sveučilište J.J. Strossmayera, Osijek, 2010.

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

[3] Deluka-Tibljaš, A., Tollazzi, T., Barišić, I., Babić, S., Šurdonja, S., Renčelj, M., i Pranjić, I., *Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2014.

[4] Deluka-Tibljaš, A., Tollazzi, T., Barišić, I., Babić, S., Šurdonja, S., Renčelj, M., i Pranjić, I., *Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama*, Dodatak F (Prometna signalizacija na kružnim raskrižjima – primjeri i specifikacija), Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2014.

[5] Barišić, I., Pevalek V., Pilepić D.: *Utjecaj primjene prometnih rješenja s kružnim raskrižjem na sustav održivog prometa*, Zbornik Veleučilišta u Rijeci, vol. 4, no. 1, p. 171-192, 2016.

[6] Kenjić, Z.: *Kružne raskrsnice - rotori*, priručnik za planiranje i projektovanje kružnih raskrsnica – rotora, Institut Sarajevo, 2009.

[7] Pilko, H., Barišić, I. i Bošnjak, H., *Kružna raskrižja u urbanim sredinama*, 6. Kongres o cestama, Opatija, 2015.

[8] Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa, Narodne Novine, broj 110/01

[9] Ištoka-Otković, I.: *Raskrižja u razini III – Kružna raskrižja*, autorizirana predavanja, Sveučilište J.J. Strossmayera, Osijek, akademska godina 2017.

[10] Gusić, R.: *Rekonstrukcija križanja D8, D512, ŽC6197*, Istočni ulaz u Makarsku, Idejni projekt, Platea Konzalting d.o.o., 2014.

[11] Cerovac, V.: *Tehnika i sigurnost prometa*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.

[12] Luburić, G.: *Sigurnost cestovnog i gradskog prometa I* - radni materijal za predavanja, Fakultet prometnih znanosti, 2010.

[13] Legac, I.: *Cestovne prometnice I*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.

[14] URL: http://www.zagreb-movies.com/galleries/gallery/030920-Rotor.jpg, 08.2017.

[15] URL:http://www.pula.hr/site_media/media/uploads/posts/gallery/rotor_sijana_3.jpg.1024x0_q85.jpg, 08.2017.

[16] URL:http://www.landscapeonline.com/research/lasn/2010/08/img/Fountains/Fountains-1.jpg, 08.2017.

[17] URL: http://www.roundaboutsusa.com/assets/galleries/899/dsc_0021_large_.JPG, 08.2017.

[18] URL: https://pbs.twimg.com/media/CtZaK9UXYAIVB_2.jpg, 08.2017.

[19] URL: http://cdn.phillymag.com/wp-content/uploads/2015/02/poster-e1423015443557.jpg, 08.2017.

## POPIS SLIKA

Slika 1. Primjer velikog kružnog raskrižja u Zagrebu, [14] ..... 5
Slika 2. Primjer postavljanja prometne signalizacije na privozu izvanurbanog kružnog raskrižja, [4] ..... 7
Slika 3. Primjer postavljanja prometne signalizacije na privozu urbanog kružnog raskrižja, [4] ..... 9
Slika 4. Primjer postavljanja signalizacije za vođenje prometa na raskrižju državnih cesta ... 10
Slika 5. Razdjelni otok unutar površine za razdvajanje prometa, [3] ..... 11
Slika 6. Pješački i biciklistički prijelazi u kružnom raskrižju, [9] ..... 12
Slika 7. Provozni dio središnjeg otoka, [3] ..... 13
Slika 8. Primjer rasvjete kružnog raskrižja u Puli, [15] ..... 14
Slika 9. Krajobrazno uređenje kružnog raskrižja u urbanoj sredini, [3] ..... 16
Slika 10. Uređenje kružnog raskrižja fontanom u Roseville, California, [16] ..... 17
Slika 11. Područja kružnog raskrižja, [3] ..... 20
Slika 12. Položaj osi ceste na širem području prilaza kružnom raskrižju, [3] ..... 21
Slika 13. Položaj osi privoza u užem području kružnog raskrižja, [3] ..... 21
Slika 14. Povoljan i nepovoljan odnos privoza, [3] ..... 22
Slika 15. Vertikalno oblikovanje u kružnom raskrižju, [3] ..... 22
Slika 16. Poprečni nagib kružnog kolnika prema vanjskoj strani, [2] ..... 23
Slika 17. Utjecaj brzine vožnje na vjerojatnost smrti pješaka, [6] ..... 25
Slika 18. Konfliktne točke kod standardnog četverokrakog i jednotračnog kružnog raskrižja, [3] ..... 26
Slika 19. Niz kružnih raskrižja duž koridira u SAD-u, [17] ..... 28
Slika 20. Stup pobjede (Siegessäule) - spomenik u središnjem otoku kružnog raskrižja, Berlin, [18] ..... 29
Slika 21. Primjer modernog kružnog raskrižja, Philadelphia, Pennsylvania, [19] ..... 30
Slika 22. Karakteristični poprečni profil državne ceste D8 (privoz 1 i 3), [10] ..... 35
Slika 23. Karakteristični poprečni profil državne ceste D512 (privoz 2), [10] ..... 36
Slika 24. Karakteristični poprečni profil županijske ceste Ž6197 (privoz 4), [10] ..... 36
Slika 25. Uzdužni profil rotora, [10] ..... 37
Slika 26. Kolnička konstrukcija kružnog raskrižja, [10] ..... 38
Slika 27. Raskrižje Dubrovačke ulice i Ulice Stjepana Ivičevića prije rekonstrukcije ..... 39
Slika 28. Raskrižje Dubrovačke ulice i Ulice Stjepana Ivičevića poslije rekonstrukcije, [10] 39

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Prosječno smanjenje broja prometnih nesreća u različitim zemljama ..... 25
Tablica 2. Prosječno trajanje zaustavljanja na raskrižju ..... 27
Tablica 3. Smanjenje potrošnje goriva i emisije $CO_2$ po skupinama raskrižja ..... 32
Tablica 4. Prikaz osnovnih elemenata poprečnog profila kružnog raskrižja ..... 35

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 **Utjecaj kružnog raskrižja na sigurnost prometa**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 4.9.2017

Marko Erg
(potpis)