Prednosti i nedostaci primjene kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika

Kovačić, Fran

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:119:670589

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Fran Kovačić

PREDNOSTI I NEDOSTACI PRIMJENE KRUŽNIH RASKRIŽJA SA SPIRALNIM TOKOM KRUŽNOG KOLNIKA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

PREDNOSTI I NEDOSTACI PRIMJENE KRUŽNIH RASKRIŽJA SA SPIRALNIM TOKOM KRUŽNOG KOLNIKA

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF IMPLEMENTATION OF ROUNDABOUTS WITH A SPIRAL FLOW IN A CIRCULATORY ROADWAY

Mentor : Doc. dr. sc. Luka Novačko

Student: Fran Kovačić

JMBAG: 0135241567

Zagreb, rujan 2020.

SAŽETAK

Kod raskrižja, bilo da se radi o trokrakom, četverokrakom ili kružnom raskrižju, zbog prometnih radnji i mogućih konfliktnih točaka koje se pojavljuju uslijed spajanja, razdvajanja, križanja i preplitanja, često zbog smanjenje sigurnosti dolazi do prometnih nezgoda te smanjenja propusne moći. Kako bi se ti faktori povećali, prometno raskrižje treba voditi sa što manjim brojem konfliktnih točaka. Smanjenje konfliktnih točaka može se dobiti na način vođenja raskrižja pomoću kružnog raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika. Turbo kružno raskrižje koje je ujedno i tema ovog rada u odnosu na klasična kružna raskrižja ima odvojene prometne trakove unutar raskrižja čime umanjuje mogućnosti konfliktnih točaka vozila unutar i vozila koja ulaze u samo raskrižje. U radu su detaljno opisane njegove učinkovitosti, prednosti, nedostaci te samo planiranje i projektiranje turbo kružnih raskrižja kao i potrebna horizontalna i vertikalna signalizacija.

SUMMARY

At an intersection, whether it is a three-lane, four-lane or a roundabout, due to traffic actions and possible points of conflict that occur because of mergers, separations, intersections and intertwining the safety is reduced which results in frequent traffic accidents and traffic jams. In order to increase these factors, the traffic intersection should be run with as few points of conflict as possible. Reduction of conflict points can be obtained by guiding the intersection by means of a roundabout with a spiral flow of the roundabout. The turbo roundabout, which is also the topic of this paper in relation to classic roundabout, has separate traffic lanes within the intersection, which reduces the possibility of conflicting points of vehicles inside of the roundabout and the vehicles just entering it. The paper describes in detail its efficiencies, advantages, disadvantages and the planning and design of turbo roundabout as well as the required horizontal and vertical signalization.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. DEFINIRANJE I PODRUČJE PRIMJENE TURBO KRUŽNIH RASKRIŽJA 3

2.1. Kružno raskrižje i njihova podjela 6

2.1.1. Podjela kružnog raskrižja s obzirom na lokaciju, veličinu i oblik 7

2.1.2. Podjela kružnih raskrižja s obzirom na namjenu 8

2.1.3. Podjela kružnih raskrižja s obzirom na broj krakova i voznih trakova 8

2.1.4. Podjela s obzirom na način vođenja glavnih smjerova/prometnih tokova 9

2.2. Turbo kružno raskrižje 9

2.2.1. Povijest turbo kružnih raskrižja 13

2.2.2. Karakteristike turbo kružnih raskrižja 15

2.2.3. Vrste turbo kružnih raskrižja 17

3. PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE TURBO KRUŽNIH RASKRIŽJA 22

3.1. Planiranje turbo kružnog raskrižja 22

3.2. Kriteriji za primjenu turbo kružnog raskrižja 24

3.3. Projektno – tehnički elementi turbo kružnog raskrižja 25

3.3.1. Osnovni projektni elementi 25

3.3.2. Polumjer turbo kružnog raskrižja 26

3.3.3. Središnji kružni luk 30

3.3.4. Provjera brzine kroz turbo kružno raskrižje 34

3.3.5. Središnji razdjelni otok 36

3.3.6. Središnji razdjelni otok na priključnoj cesti 37

3.3.7. Prijelazi za pješake i/ili bicikliste 39

3.3.7.1. Pothodnici i nathodnici 41

3.3.8. Specifični projektni elementi turbo kružnog raskrižja 42

4. PREDNOSTI I NEDOSTACI TURBO KRUŽNIH RASKRIŽJA U ODNOSU NA KLASIČNA KRUŽNA RASKRIŽJA 44
4.1. Prednosti 44
4.2. Nedostaci 45
5. PRORAČUN RAZINE USLUGE I KAPACITETA TURBO KRUŽNIH RASKRIŽJA 46
5.1. Proračun razine usluge 46
5.2. Proračun kapaciteta turbo raskrižja 47
5.2.1. Analitički proračun propusne moći više tračnih kružnih raskrižja 49
5.2.1.1. Bovyjeva jenadžba 49
5.2.1.2. Hagringova jednadžba 52
6. PROMETNA SIGNALIZACIJA I OPREMA TURBO KRUŽNIH RASKRIŽJA 55
6.1. Vertikalna signalizacija 55
6.2. Horizontalna signalizacija 57
6.3. Rasvjeta 58
6.4. Uređenje turbo kružnog raskrižja 59
6.5. Uređenje središnjeg otoka 59
7. PRIMJERI PRIMJENE KRUŽNIH RASKRIŽJA U HRVATSKOJ 60
8. ZAKLJUČAK 66
LITERATURA 67
POPIS SLIKA 69
POPIS TABLICA 71

1. UVOD

Kvalitetan prometni sustav čija je svrha obavljanje transporta ljudi, roba i informacija u odgovarajućim prometnim entitetima, zauzimanjem dijela kapaciteta prometne infrastrukture prema utvrđenim pravilima i protokolima, temelj je gospodarskog prosperiteta svake države. Po svojoj funkciji u gospodarstvu i šire, kao i u društvu te u cjelini.

Raskrižja predstavljaju infrastrukturne dijelove gdje se spajaju dvije ili više prometnica. Prilikom razdvajanja, spajanja, preplitanja te presijecanja prometnih tokova koji dolaze uslijed promjene smjerova kretanja vozila, dolazi do konfliktnih situacija koji su ključni za samu sigurnost te propusnu moć raskrižja. Prema vrsti postoje semaforizirana i nesemaforizirana raskrižja kao i ona s kružnim tokom prometa, odnosno kružna raskrižja kao modernizirano kružno raskrižje sa spiralnim tokom kružnog prometa tzv. turbo kružno raskrižje koje je i predmet ovog rada. Sama kružna raskrižja primjenom nastoje poboljšati propusnu moć raskrižja i povećati sigurnost prometa na raskrižju.

Rad je strukturiran u osam glavnih cjelina međusobno povezanih dijelova koji predstavljaju jednu cjelinu:

1. Uvod
2. Definiranje i područje primjene turbo kružnih raskrižja
3. Planiranje i projektiranje turbo kružnih raskrižja
4. Prednosti i nedostaci turbo kružnih raskrižja u odnosu na klasična kružna raskrižja
5. Proračun razine usluge i kapaciteta turbo kružnih raskrižja
6. Prometna signalizacija i oprema turbo kružnih raskrižja
7. Primjeri primjene kružnih raskrižja u hrvatskoj
8. Zaključak

U drugom poglavlju govori se općenito o raskrižjima, kružnim raskrižjima te turbo kružnim raskrižjima gdje je obuhvaćeno sve o osnovnim značajkama te su dane jasne definicije, vrste raskrižja te njihovi načini primjene.

U trećem poglavlju prikazani su osnovni kriteriji za odabir vrste raskrižja, kriteriji za primjenu turbo kružnih raskrižja te su obuhvaćeni svi projektno – tehnički elementi potrebni za planiranje i izgradnju raskrižja.

U četvrtom poglavlju prikazane su prednosti i nedostatci turbo kružnih raskrižja u odnosu na klasična raskrižja.

U petom poglavlju, prema smjernicama za projektiranje turbo kružnih raskrižja na državnim cestama, dane su jasne definicije potrebne za određivanje razine usluge te proračuni kapaciteta turbo kružnih raskrižja.

U šestom poglavlju opisuje se raskrižje s aspekta prometne infrastrukture te sama oprema turbo kružnih raskrižja kao i potrebna horizontalna signalizacija, rasvjeta i samo njihovo uređenje.

U sedmom su poglavlju dati primjeri o primjeni turbo kružnih raskrižja u Hrvatskoj.

U završnom dijelu rada, Zaključku dana su zaključna razmatranja. Na kraju rada se nalazi popis bibliografskih jedinica korištenih prilikom izrade rada te popis slika, tablica i grafikona.

2. DEFINIRANJE I PODRUČJE PRIMJENE TURBO KRUŽNIH RASKRIŽJA

Raskrižja su točke u cestovnoj mreži u kojima se povezuju dvije ili više prometnica, a prometni tokovi se spajaju, razdvajaju, križaju i prepliću. Zbog prometnih radnji i mogućih konflikata koji se ne pojavljuju na otvorenim potezima ceste, na raskrižju su naglašeni problemi propusne moći i sigurnosti prometa.

Raskrižja se u cestovnoj mreži pojavljuju u više oblika, a općenito se mogu razvrstati na raskrižja u jednoj ili više razina, raskrižja s kružnim tokom prometa i kombinirana raskrižja [1].

Detaljno sagledavanje i proučavanje neophodno je pri određivanju načina i mjesta rješavanja raskrižja jer loše koncipirano i oblikovano raskrižje predstavlja opasnost za sigurnost prometa.

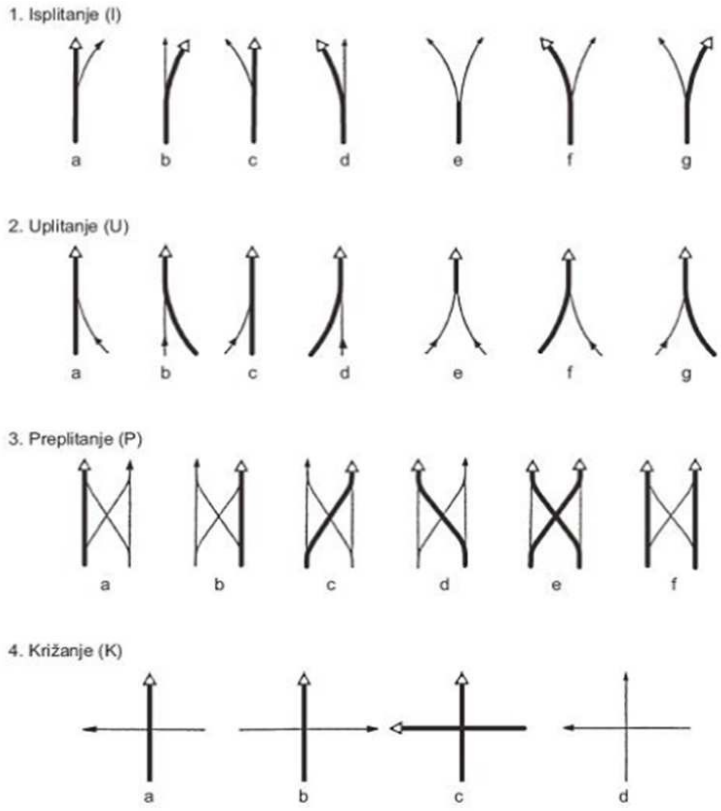
Složeni zahtjevi u vidu projektiranja i uporabe raskrižja trebaju se provjeriti uz osnovna mjerila od kojih su najvažnija:

1. sigurnost prometa,
2. kvaliteta odvijanja prometa,
3. utjecaj raskrižja na okoliš,
4. ekonomičnost rješenja.

Osnovne prometne radnje koje uzrokuju konfliktne situacije nastaju zbog promjene smjera vozila i brzine. Prema tome u području raskrižja spadaju sljedeće radnje:

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

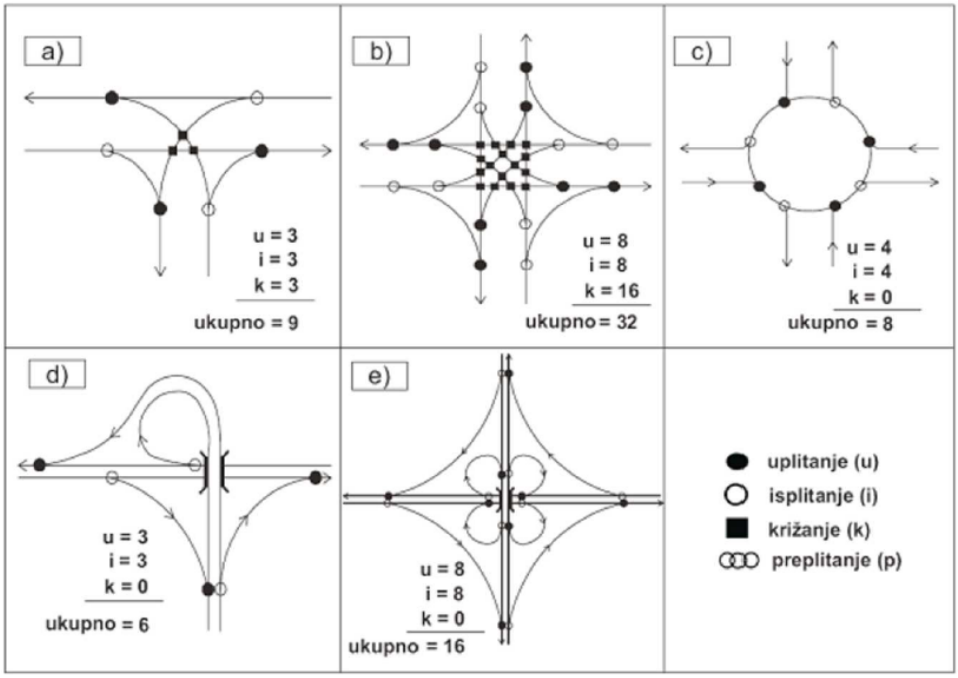
Slika (1) nam prikazuje manevre prema gradaciji s naznačenim glavnim tokom u raskrižju.



***Slika 1**. Prometne radnje u raskrižju*

***IZVOR:** [1]*

Zbroj konfliktnih točaka koje nastaju uslijed odvijanja prometnog toga, a uzrokovane su isplitanjem, uplitanjem, preplitanjem i križanjem mogu se definirati kao konfliktne situacije. Njihov broj ovisi o vrsti raskrižja, a stvaran broj o prometnom opterećenju, geometrijskom oblikovanju te slobodnoj vidljivosti. Na slici 2. vidimo da najmanji broj konfliktnih točaka ima raskrižje vođeno s kružnim tokom prometa u vidu raskrižja u razini, odnosno izvan razine oblika trube [1].



Slika 2. *Konfliktne točke u raskrižjima*

IZVOR: *[1]*

Definiranjem osnovnih prometnih radnji i konfliktnih točaka unutar raskrižja, raskrižja možemo podijeliti odnosno razvrstati prema nekoliko mjerila:

- prometno – planerska
- prometno – tehnička
- prometno – građevinska.

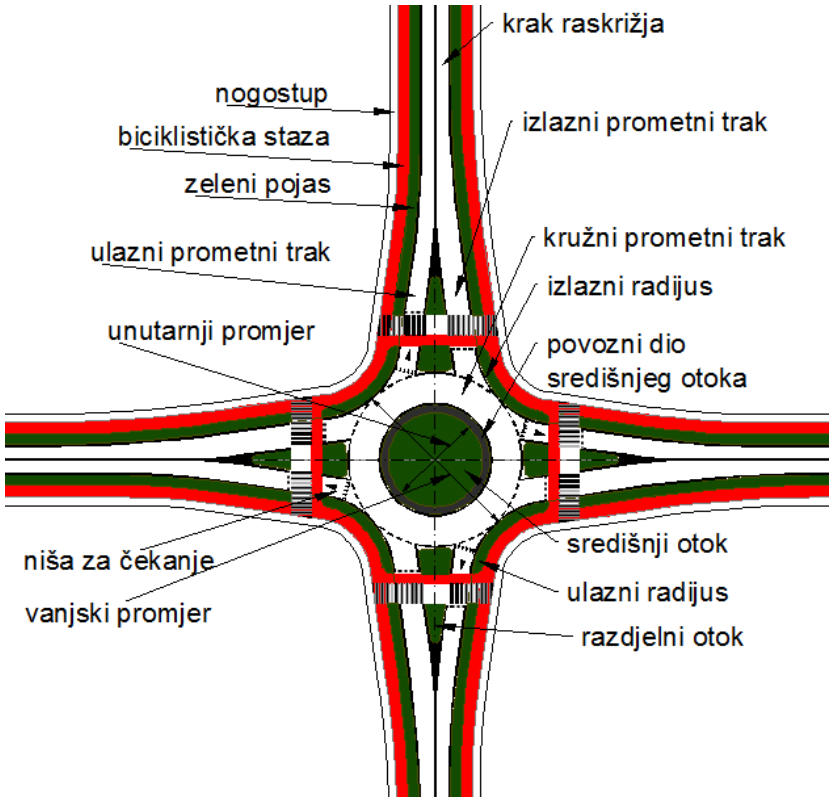
Uobičajena podjela raskrižja jest na raskrižja u razini (RUR), raskrižja izvan razine (RIR) te kombinirana i posebna raskrižja. Također, u raskrižja u razini pripadaju i klasična površinska raskrižja te kružna raskrižja koja su detaljnije razrađena u poglavlju 2.1. [1].

Raskrižja u razini (RUR) su najzastupljenija u cestovnoj mreži i čine ih klasična rješenja u obliku "T" priključka te križanja s kružnim tokom prometa u jednoj razini. S aspekta propusne moći ovakvi tipovi raskrižja zadovoljavaju prometna opterećenja po privozima do Qmjer ≤ 800 (voz/h) po smjeru do tvp ≥ 6 s. Mjerodavno satno opterećenje (Qmjer) predstavlja trideseto do šezdeseto po veličini satno opterećenje dok tvo predstavlja srednju vremensku prazninu toka.

Raskrižja izvan razine (RIR) povezuju konfliktne prometne tokove uz najviši stupanj sigurnosti i maksimalan protok vozila. Ovakva raskrižja visokog učinka dolaze do izričaja kada je ukupno prometno opterećenje glavnog i sporednog privoza veće od Q = 12 000 [voz/dan] [1].

2.1. Kružno raskrižje i njihova podjela

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. Ti privozi opremljeni su pomoću razdjelnih otoka te pomoću prometnih znakova, a promet unutar kružnog raskrižja odvija se u smjeru suprotno kretanju kazaljke na satu [2].



***Slika 3**. Osnovni elementi urbanog kružnog raskrižja*

***IZVOR**: [3]*

Kružna raskrižja, nazivaju se još i raskrižja s kružnim tokom prometa (RKT) te donose određene posebnosti u svojim izvedbama, ali i prednosti te nedostatke. Posebnosti kružnih raskrižja mogu se okarakterizirati i prikazati kombinacijom prekinutog i neprekinutog toka. Također, vozila se ne moraju zaustavljati prilikom ulaska u kružni tok već je potrebno smanjiti brzinu i povećati oprez dok vozila koja se nalaze u kružnom toku imaju prvenstvo prolaza pred ostalim vozilima na prilazima. Prednosti kružnih raskrižja u odnosu na obična raskrižja nalaze se u smanjenom broju konfliktnih točaka, brzinama koje možemo promatrati kroz smirivanje prometa koji će se s aspekta sigurnosti, reflektirati kao smanjenje od prometnih nezgoda. Prednosti se također mogu izraziti za slučajeve s više privoza (pet ili više) gdje će se omogućiti veća propusna moć raskrižja uz manje proizvedene buke i štetnih plinova. Naravno, uz mnoge

prednosti postoje i nedostaci kružnih raskrižja koji su vezani uz slučajeve smanjene prometne sigurnosti. S povećanjem broja prometnih trakova u kružnom toku i s izraženim prometnim tokom sa skretanjem ulijevo dolazi do otežavajućih presijecanja i preplitanja. [2]



***Slika 4**. Primjer kružnog raskrižja (RKT)*

***IZVOR**: [4]*

2.1.1. Podjela kružnog raskrižja s obzirom na lokaciju, veličinu i oblik

S obzirom na lokaciju, veličinu i oblik, kružna raskrižja mogu se podijeliti na urbana i izvan-urbana raskrižja.

- Urbana kružna raskrižja:

a) **Mini kružna raskrižja** primjenjuju se u urbanoj sredini s namjenom distribucije i smirivanja prometa brzinama do 25 km/h. Imaju veću propusnu moć, veći stupanj sigurnosti prometnih sudionika te manje troškove izrade u odnosu na druga nesemaforizirana raskrižja, a njihov okvirni kapacitet iznosi izjednosmeđu 10 000 – 15 000 vozila na dan.

b) **Mala urbana kružna raskrižja** se izvode u urbanim sredinama gdje je očekivana brzina 30 km/h te se najčešće izvode na samim ulazima u manja naselja očekivane propusne moći 15 000 – 18 000 vozila/dan.

c) **Srednje velika urbana kružna raskrižja** općenito se grade na jače prometno opterećenim gradskim i prigradskim točkama brzine, do 40 km/h, gdje se pješaci i

biciklisti voze izvan kolnika. Propusna moć srednje velikog urbanog kružnog raskrižja je 20 000 – 22 000 vozila/dan.

- Izvan – urbana kružna raskrižja:

a) **Srednje velika kružna raskrižja** izvode se na križanjima javnih cesta izvan urbanih područja gdje su brzine veće od 40 km/h, a propusna moć je oko 22 000 – 24 000 vozila/dan. Ova raskrižja nisu predviđena za kretanje pješaka i biciklističkog prometa. Njihovo kretanje bilo bi poželjno voditi izdvojenim biciklističkim stazama.
b) **Velika kružna raskrižja** izvode se u iznimnim slučajevima, cestama velikog učinka, obično na autocestovnim križanjima s brzim cestama te cestama 1. kategorije. Biciklistički promet i promet pješaka vodi se odvojeno i nije sastavni dio takvih kružnih raskrižja [1].

2.1.2. Podjela kružnih raskrižja s obzirom na namjenu

Prema namjeni kružna raskrižja dijele se u tri skupine:

- kružna raskrižja za smirivanje prometa (u urbanim područjima intenzivne izgrađenosti i prijelaznim urbanim područjima)
- kružna raskrižja za ograničavanje prometa (na mjestima gdje se želi ograničiti promet i s prikladnim geometrijskim elementima postići maksimalnu dopuštenu ili unaprijed propisanu propusnu moć)
- kružna raskrižja za postizanje što veće propusne moći uz dostatnu prometnu sigurnost (samo izvan urbanih sredina) [1].

2.1.3. Podjela kružnih raskrižja s obzirom na broj krakova i voznih trakova

S obzirom na broj krakova, kružna raskrižja se dijele na:

- trokraka
- četverokraka
- peterokraka i višekraka [1].

2.1.4. Podjela s obzirom na način vođenja glavnih smjerova/prometnih tokova

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

- prometni tokovi u razini
- prometni tokovi izvan razine [1].

2.2. Turbo kružno raskrižje

Turbo kružna raskrižja razvila su se iz dvotračnih kružnih raskrižja zbog potrebe povećanja sigurnosti prometnog toka u kružnim raskrižjima.

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

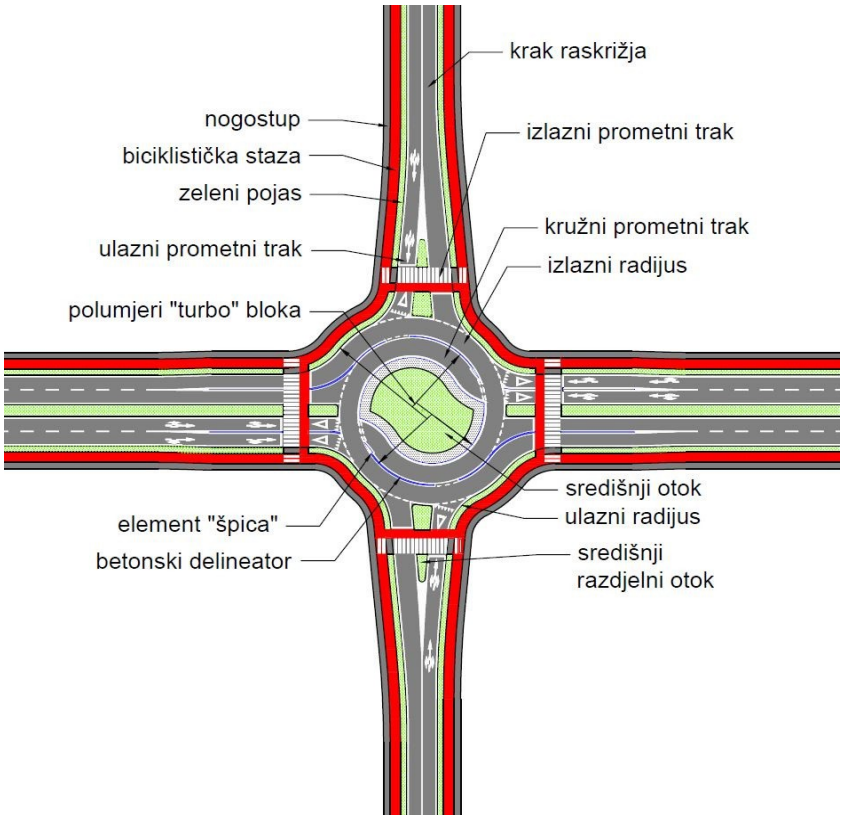
Kod turbo kružnih raskrižja prometni tokovi odvojeni su prije ulaska u samo raskrižje, unutar raskrižja te na izlazu iz turbo kružnog raskrižja. Prometni tokovi odvajaju se posebnim izdignutim betonskim elementima – delineatorima, kojima se sprječavaju preplitanja unutar toka. Prilikom ulaska u turbo kružno raskrižje vozač mora unaprijed znati, odnosno odlučiti na kojem izlazu želi izaći iz raskrižja jer je unutar raskrižja onemogućeno prestrojavanje. Samim razdvajanjem prometnih tokova postiže se smanjenje broja konfliktnih točaka i smanjenje brzine vožnje unutar raskrižja [5].



Slika 5*.Primjer turbo kružnog raskrižja u Nizozemskoj*

IZVOR*: [6]*

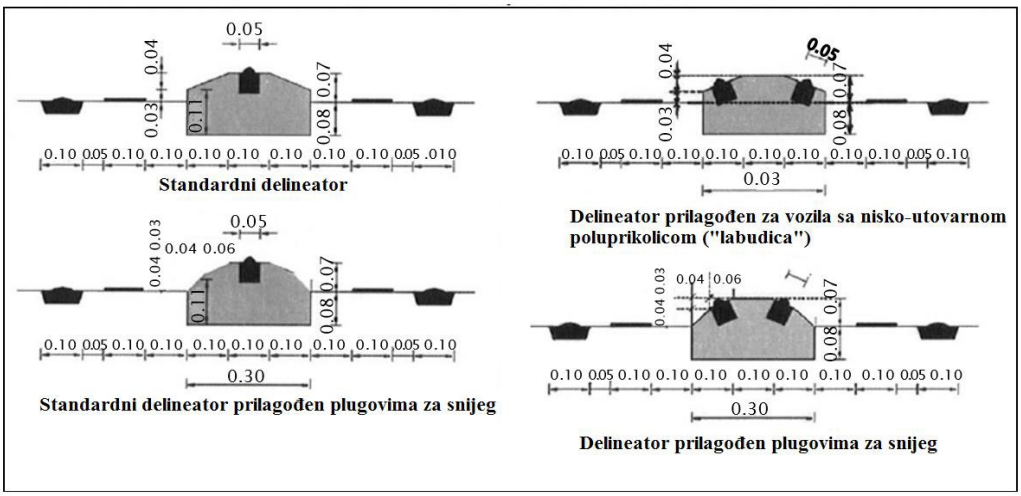
U nastavku na slikama (Slika 7. i Slika 8.) prikazani su i definirani osnovni pojmovi vezni uz turbo kružna raskrižja: [3]



Slika 6. *Oznake glavnih elemenata turbo kružnog raskrižja u naselju*

Izvor: *[3]*

- **Standardno dvotračno kružno raskrižje** je kružno raskrižje u kojem je kružni kolnik izveden s dva koncentrična kružna vozna traka međusobno odvojena isprekidanom crtom koja omogućava promjenu kružnog voznog traka uzduž cijelog kružnog kolnika, uobičajeno s dvotračnim ulazima i dvotračnim ili jednotračnim izlazima.
- **Turbo kružno raskrižje** je kanalizirano dvo ili trotračno kružno raskrižje sa spiralnim tokom kružnog kolnika na kojega se priključuju tri ili četiri priključne ceste, a vozni trakovi su međusobno odvojeni uzdignutim razdjelnim elementima (delineatorima) koji sprječavaju promjenu voznog traka (preplitanje prometnih tokova) na kružnom kolniku.
- **Delineator u turbo kružnom raskrižju** je betonski predgotovljeni element koji sprječava preplitanje prometnih tokova, odnosno promjenu voznog traka na kružnom kolniku. Promjena voznog traka na kružnom kolniku iznimno je dozvoljena samo interventnim vozilima na interventnim vožnjama (slika 7,8.).



Slika 7. *Presjeci izvedbenih delineatora*

Izvor: *[7]*



Slika 8*. Delineator*

Izvor: [10]

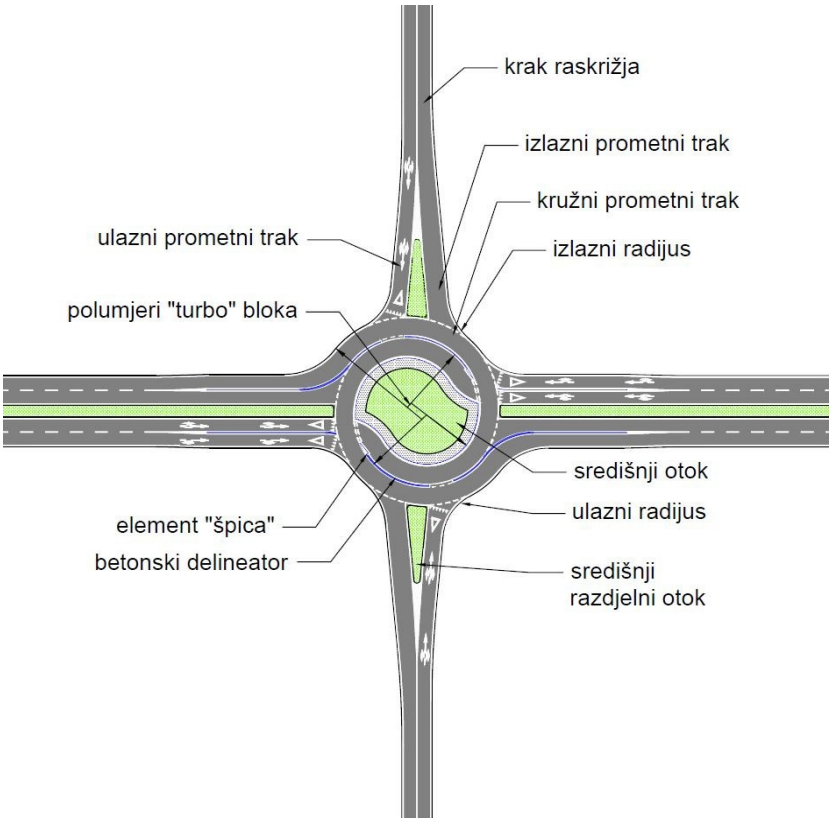
- **"Špica"** je uređenje početka elementa za sprječavanje prometnog manevra preplitanja prometnih tokova u kružnom kolniku. (slika 8.).



Slika 9. *Izvedba delinatora - "špica"*

Izvor: *[8]*

- **Središnji otok** turbo kružnog raskrižja je središnji otok nepravilnog oblika, lociran u sredini turbo kružnog raskrižja. Nepravilan oblik otoka proizlazi iz konstrukcije spiralnog kružnog kolnika.
- **Središnji razdjelni otok** je uzdignuti otok između ulaznih i izlaznih traka na prilazu u turbo kružno raskrižje, koji poboljšava razinu prometne sigurnosti pješaka/biciklista prilikom prelaska kraka turbo kružnog raskrižja.
- **Razdjelni otoci na ulazu/izlazu iz turbo kružnog raskrižja** su uzdignuti otoci između dva ulazna odnosno izlazna vozna traka na ulazu odnosno izlazu iz turbo kružnog raskrižja, koji pješacima i biciklistima omogućavaju sigurniji prelazak voznih trakova (odvojeno odnosno jedan po jedan).
- **Polumjeri turbo kružnog raskrižja** za razliku od standardnog jednona tajtračnog kružnog raskrižja, turbo kružno raskrižje ima (zbog spiralnog toka kružnog kolnika) više polumjera. Kod četverokrakog turbo kružnog raskrižja je 8 polumjera (4 za projektno tehničke elemente i 4 za tlocrtnu signalizaciju).
- **Turbo blok** je blok ili skup svih potrebnih polumjera koje je potrebno na određeni način zarotirati i tako dobiti trajektorije kretanja, odnosno vozne trakove.
- **"Pokrivena površina"** odnosno širina provoznosti je površina koju vozilo koristi ("pokrije") u kružnom raskrižju prilikom vožnje u određenom smjeru.



Slika 10. *Oznake glavnih elemenata turbo kružnog raskrižja izvan naselja*

Izvor: *[3]*

2.2.1. Povijest turbo kružnih raskrižja

Nizozemac dr. Lambertus Fortuijn 1996. godine na Sveučilištu u Delftu razvio je prvo turbo kružno raskrižje zbog rješavanja loših sigurnosnih uvjeta višetračnih kružnih raskrižja u Nizozemskoj. Prvo takvo raskrižje izvedeno je 2000. godine, gdje je do 2013. godine izgrađeno više od 200 turbo kružnih raskrižja na području Nizozemske. Sukladno time koncept ovakvih raskrižja proširio se diljem Europe gdje danas prema dostupnim podacima broji više 408 turbo kružnih raskrižja u 21 zemlji [9].

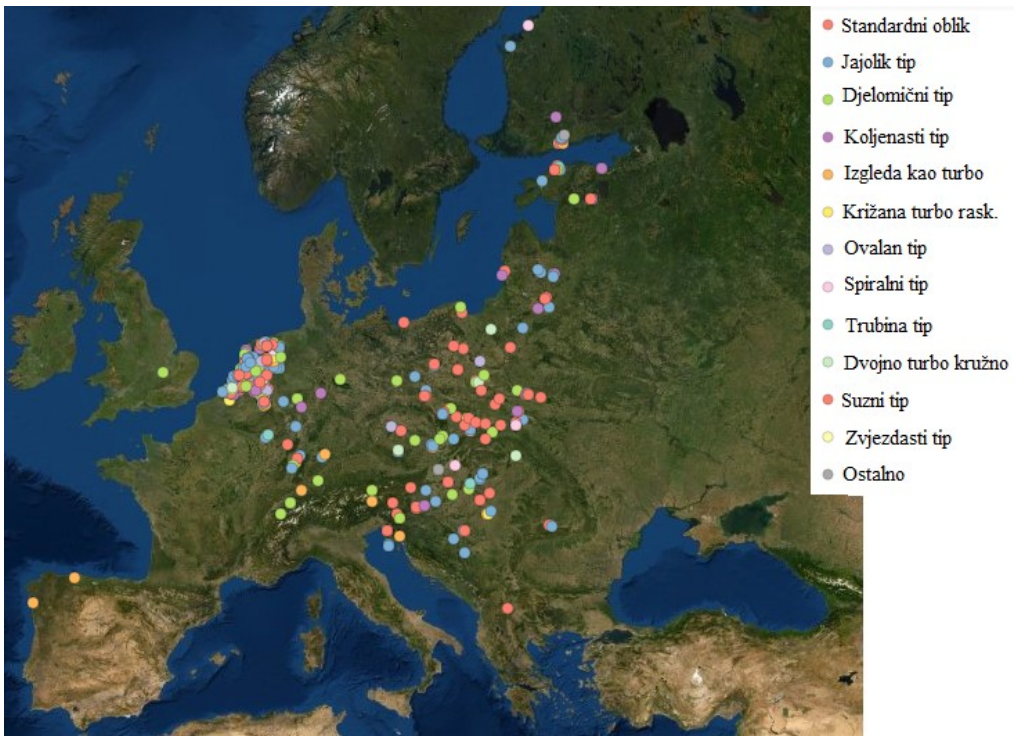
U tablici 1. može se vidjeti prikaz broja turbo raskrižja prema pojedinim državama u Svijetu.

Država	Unutar izgrađenog područja	Izvan izgrađenog područja	Ukupno
Aruba	/	5	5
Austrija	/	2	2
Belgija	2	/	2
Bosna i Hercegovina	1	/	1
Češka	6	11	17

Država	Unutar izgrađenog područja	Izvan izgrađenog područja	Ukupno
Estonija	1	14	15
Finska	6	7	13
Hrvatska	4	5	9
Južna Afrika	/	1	1
Kanada	/	2	2
Litva	/	2	2
Luksemburg	1	/	1
Mađarska	1	6	7
Makedonija	1	/	1
Nizozemska	94	261	355
Njemačka	11	8	19
Poljska	18	27	45
Rumunjska	/	3	3
Slovenija	10	2	12
Slovačka	1	2	3
Španjolska	2	/	2
USA	/	3	3
Velika Britanija	1	/	1
Ukupno	142	338	480

Tablica 1. *Broj turbo kružnih raskrižja prema državama*

Izvor: *Obrada autora prema [12]*



Slika 11*. Prikaz turbo kružnih raskrižja u Europi*

Izvor: *[12]*

Izradom turbo kružnih raskrižja Fortuijn je imao dva glavna cilja, na ulazima i izlazima te unutar kružnog toga spriječiti prestrojavanja upotrebom delineatora što bi u konačnici rezultiralo smanjenjem konfliktnih točaka te smanjiti brzine zbog odjeljivanja trakova [11].

Također, od ključnijih značajka dizajna turbo kružnih raskrižja uključuje spiralne cestovne oznake koje usmjeravaju promet iznutra prema van, reducirajući tako konflikte unutar raskrižja. Montažno uzdignuti razdjelnici traka (delineatori) kontroliraju putanju i brzinu vozila, održavajući vozilo u svojoj traci te prije ulaska u kružno raskrižje vozila moraju odabrati odgovarajuću prometnu traku [9].

2.2.2. Karakteristike turbo kružnih raskrižja

Obilježje turbo kružnog raskrižja jest take karakteristike da se vozne trake ne protežu koncentrično već su smaknute tako da formiraju spiralni tok.

Kako bi se neko kružno raskrižje moglo biti turbo kružno raskrižje mora ispunjavati četiri osnovna, ali i dva preduvjeta.

Osnovni uvjeti su:

- uvjet koji proizlazi iz propusne moći, govori da se najmanje jednoj prilaznoj cesti daje prednost prometnim tokovima u dvjema kružnim voznim trakovima koji na tom mjestu predstavljaju kružni kolnik,
- promet na najviše dva kružna vozna traka može imati prednost pred prometnim tokom na ulazu (uvjet koji proizlazi iz prometne sigurnosti),
- također, uvjet iz prometne sigurnosti govori da se na kružnom raskrižju ne smiju pojaviti konfliktne točke preplitanja na kružnom kolniku i konfliktne točke križanja na ulazima i izlazima iz kružnog raskrižja,
- spiralno izvedena tlocrtna signalizacija mora biti oblikovana tako da postupno prelazi iz manjeg (unutrašnjeg) na veći (vanjski) polumjer (uvjet proizlazi iz udobnosti vožnje).

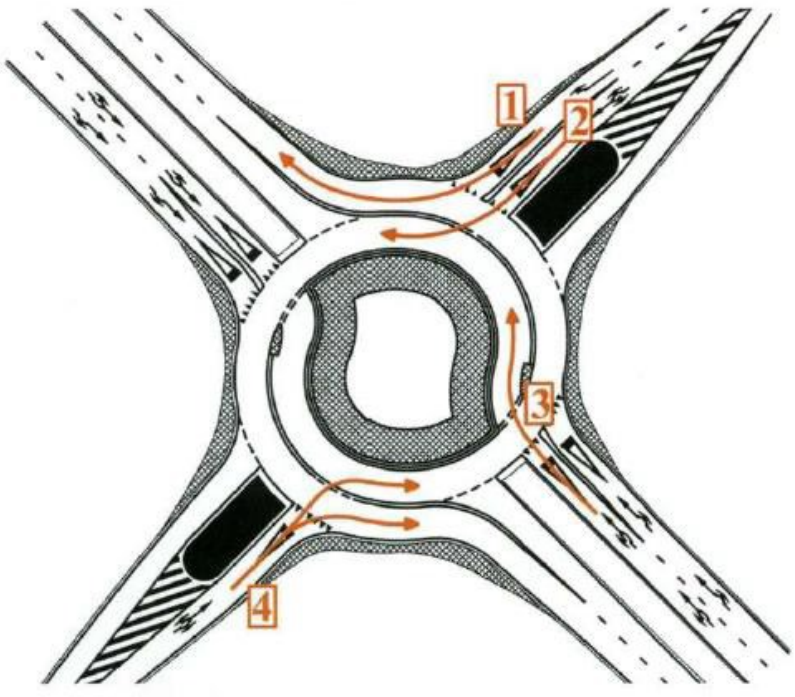
Preduvjeti su:

- na glavnim prometnim smjerovima izlazi su izvedeni s po dva vozna traka, a na sporednim prometnim smjerovima izlazi mogu biti dvotračni ili jednotračni (uvjet koji proizlazi iz propusne moći),

- iz prometne sigurnosti na svakom kružnom elementu može postojati samo jedna točka odnosno mjesto na kojem vozač može odlučiti hoće li kružno raskrižje napustiti ili nastaviti s vožnjom po kružnom kolniku.

Za svako kružno raskrižje kojeg namjeravamo rekonstruirati u turbo kružno raskrižje potrebno je provjeriti da li ispunjava sve prije navedene uvjete [3].

Na slici 13. može se vidjeti četiri načina ulaska u turbo kružno raskrižje gdje vozne trake u turbo kružnom raskrižju su u direktnoj vezi s voznim trakama na prilazima.



***Slika 12**. Načini ulaska u turbo kružno raskrižje*

***Izvor:** [13]*

Desna traka na ulazu se priključuje na vanjsku traku u kružnom raskrižju i vodi do prvog izlaza (**1**). Lijeva traka na ulazu se priključuje na unutrašnju traku u kružnom raskrižju i vodi do sljedećih izlaza (**2 i 3**). Jednotračni ulaz (**4**) omogućava obje opcije.

Na ovaj način se promet u kružnom raskrižju kanalizira, čime promet na glavnom smjeru dobiva prioritet što pozitivno utječe na povećanje propusne moći. Kanaliziranje prometnih tokova podrazumijeva kontrolirano vođenje prometnih tokova između ili duž elemenata za kanaliziranje, koji mogu biti denivelirani ili koji su odgovarajućom horizontalnom signalizacijom označeni na kolniku. Kanaliziranjem se smanjuje broj konfliktnih točaka,

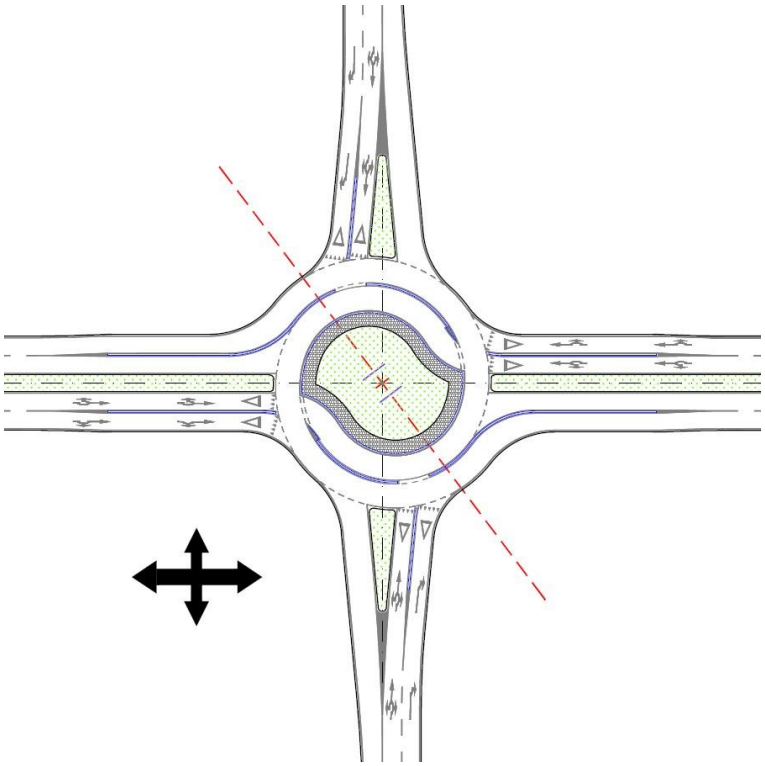
veličina konfliktnog područja i postiže bolja orijentacije. Kanaliziranje mora biti izvršeno tako da je vozaču koji vozi preko položaja konfliktne točke omogućena vožnja kroz kružno raskrižje bez ikakvih iznenađenja tokom kretanja [13].

2.2.3. Vrste turbo kružnih raskrižja

Postoji više vrsta, odnosno varijanata turbo kružnih raskrižja ako uzmemo u obzir planirani volumen prometa te raspodjelu kapaciteta u kružnom raskrižju. Međusobno se razlikuju s obzirom na prevladavajući smjer glavnog prometnog toka [3].

Vrste kružnih raskrižja [13]:

- **Standardni tip**

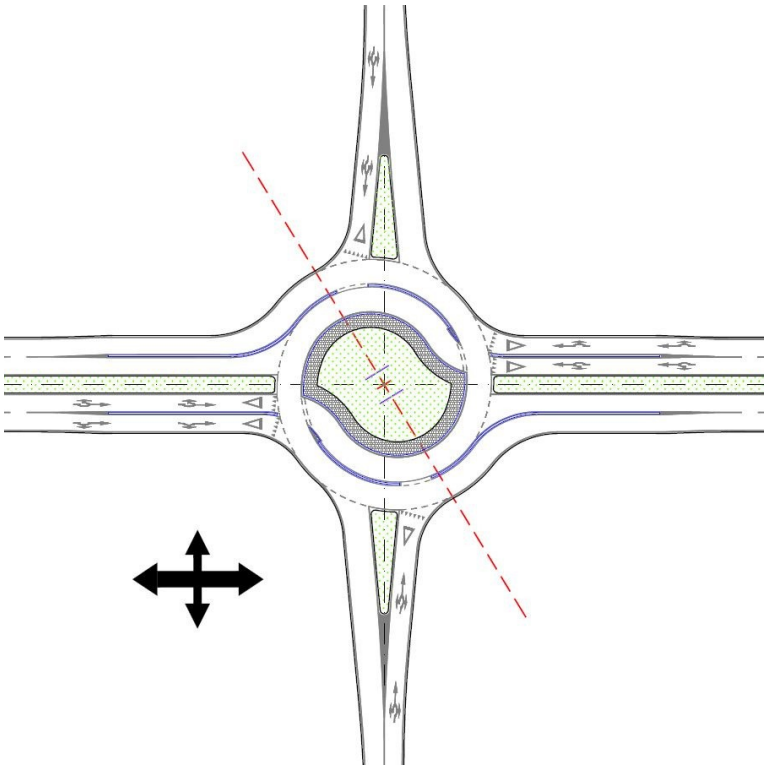


Slika 13. *Standardni tip turbo kružnog raskrižja*

Izvor: *[3]*

Standardno turbo kružno raskrižje primjenjuje se kada je na glavnom smjeru prometni tok jak. Standardni tip na glavnom smjeru ima dvije ulazne i dvije izlazne vozne trake dok sporedni smjer ima dvije ulazne i jednu izlaznu traku.

- **Jajolik tip**



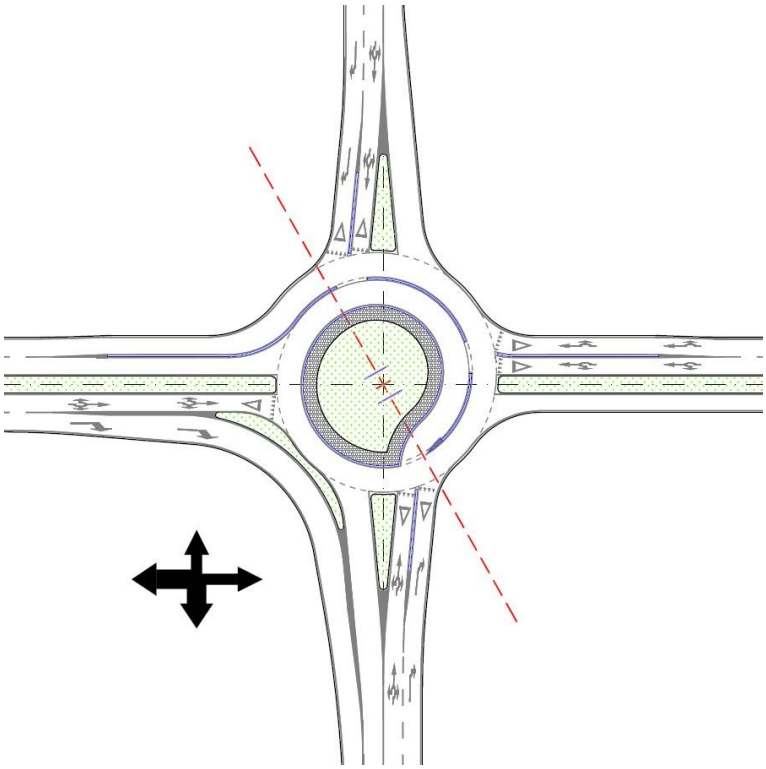
Slika 14. *Jajolik tip turbo kružnog raskrižja*

Izvor: *[3]*

Jajolik tip se također primjenjuje kada je na glavnom smjeru jak prometni tok. Sastoji se od dvije ulazne i dvije izlazne vozne trake dok na sporednom smjeru ima jednu ulaznu i izlaznu traku.

- **Koljenasti tip**

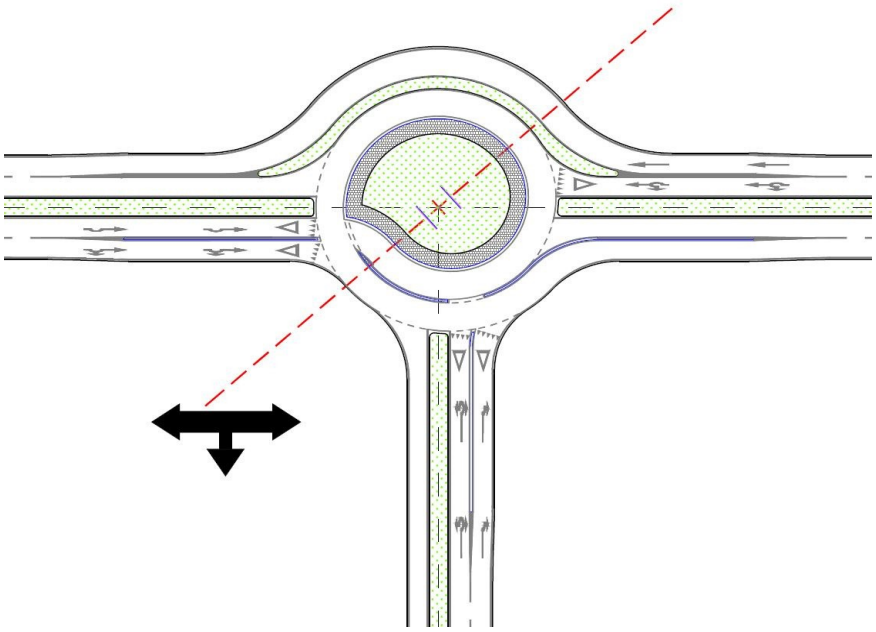
Koljenasto turbo kružno raskrižje primjenjuje se kada glavni prometni tok skreće. Prometni tok koji skreće lijevo ima dvije prometne trake na raspolaganju kao i suprotni tok koji skreće desno. Ostali prilazi mogu biti jednotračni ili dvotračni, ovisno o uvjetima na terenu.



Slika 15. *Koljenasti tip turbo kružnog raskrižja*

Izvor: *[3]*

Koljenasti tip turbo kružnog raskrižja postoji u izvedbi kod trokrakih raskrižja, poznato i pod imenom rastegnuto koljenasto turbo kružno raskrižje.

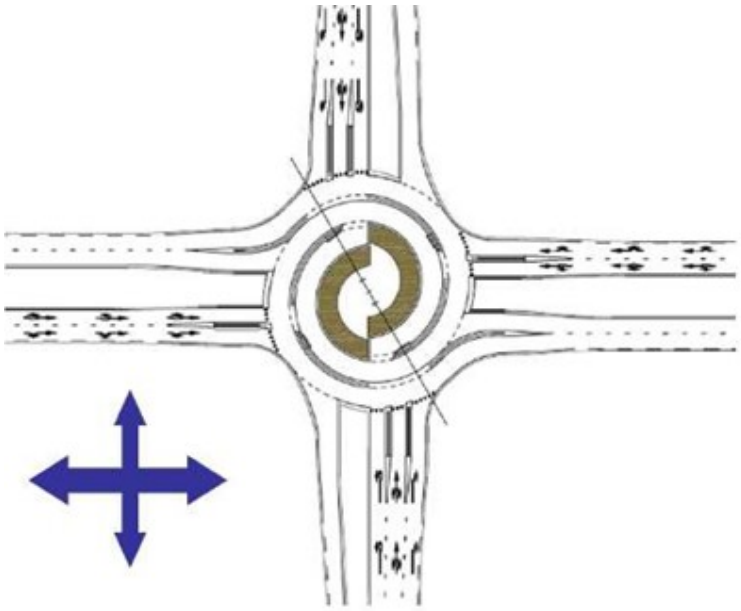


Slika 16. *Rastegnuti koljenasti tip turbo kružnog raskrižja*

Izvor: *[3]*

- **Spiralni tip**

Glavni smjer ima tri prometne trake na ulazu i dvije na izlazu, a sporedni smjer po dvije prometne trake na ulazu i dvije na izlazu. Spiralno turbo kružno raskrižje se izvodi kada su glavni i sporedni smjerovi jednako jako opterećeni.

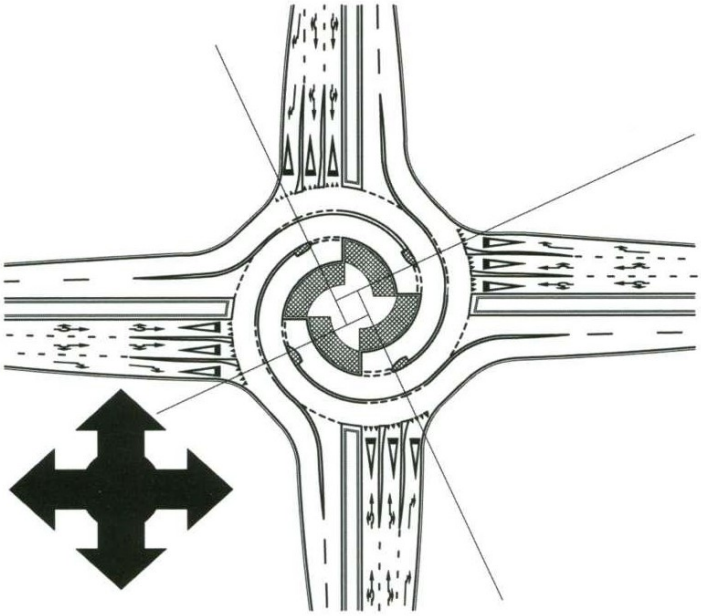


Slika 17. *Spiralno turbo kružno raskrižje*

Izvor: *[14]*

- **Turbina tip**

Turbina turbo kružno raskrižje koristi kada su oba prometna smjera podjednako i jako opterećena. Svi ulazi na glavnom i sporednom privozu imaju po tri prometne trake, a izlazi dvije.



Slika 18. *Turbina turbo kružno raskrižje*

Izvor: *[13]*

3. PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE TURBO KRUŽNIH RASKRIŽJA

3.1. Planiranje turbo kružnog raskrižja

U procesu planiranja koji prethodi projektiranju odnosno geometrijskom oblikovanju, neophodno je utvrditi određenu vrstu raskrižja. Proces planiranja započinje izborom tipa raskrižja na određenoj projektnoj lokaciji. Potencijalna rješenja potrebno je primjenom kriterijske analize usporediti i procijeniti njihovu primjenljivost [13].

Prema literaturi [13] osnovni kriteriji koji se uzimaju u obzir prilikom odabira vrste raskrižja su:

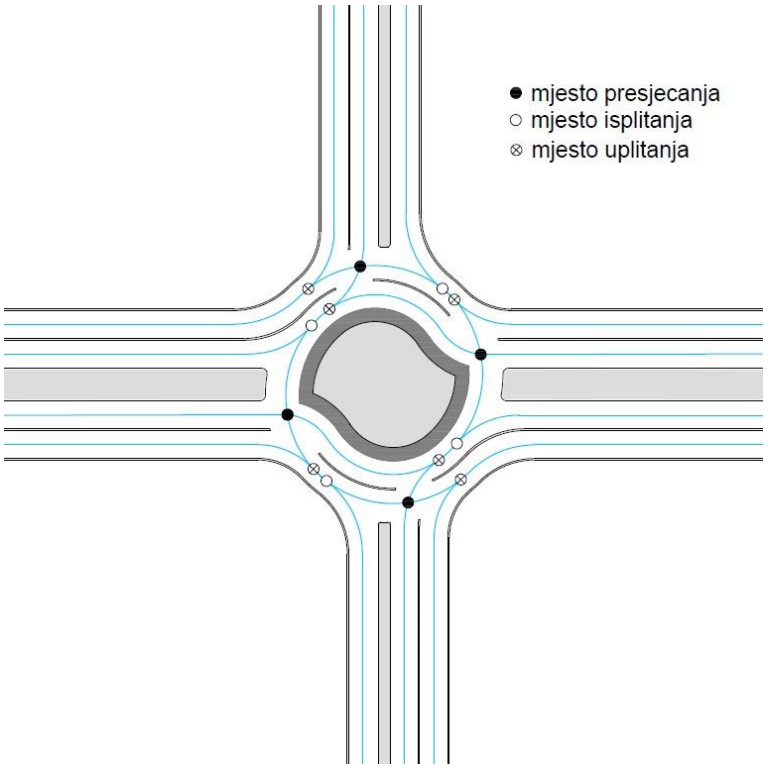
- **Kriterij prometne sigurnosti**

Jedan je od osnovnih kriterija po kojem se određuje kvaliteta prometa. Prometna sigurnost zavisi o raznim faktorima, prije svega od vrsti raskrižja, brzini vožnje i broja potencijalnih konfliktnih točaka.

Izbor vrste raskrižja treba uskladiti s funkcionalnom kategorizacijom prometa, odnosno tip raskrižja odabrati s obzirom na funkciju i značaj tokova kojima se povezuju. Primjena kružnog prometa moguća je na raskrižjima glavnih, sabirnih i pristupnih cesta uz proglašavanje glavnog i sporednog smjera.

Velike brzine vožnje najčešći su uzrok nastanka prometnih nesreća te su bitan pokazatelj (ne)sigurnosti. Naletom brzine od 30 km/h na pješaka, vjerojatnost fatalnog ishoda iznosi 10% dok se pri brzini od 50 km/h ta vjerojatnost povećava na 85% [15]. Na klasičnim se raskrižjima, zbog zadržavanja smjera kretanja, brzina može povećati znatno više nego u gore navedenim. Stoga možemo zaključiti da implementacija kružnih raskrižja smanjuje brzinu vožnje (35-37 km/h) što može znatno utjecati na smanjenje mogućnosti nastanka prometne nesreće.

Konfliktne točke odnosno njihov broj ovisi o tipu raskrižja te broju priključnih tokova. Što je njihov broj veći raskrižje ima veći broj konfliktnih točaka te je veće konfliktno područje što rezultira niskom prometnom sigurnošću tog raskrižja (pogledati konfliktne točke u poglavlju 2.).



Slika 19. *Konfliktne točke u turbo kružnom raskrižju s dvotračnim ulazima i s po jednim parom jednotračnih i dvotračnih izlaza*

IZVOR: *[13]*

- **Kriterij propusne moći**

Prometno opterećenje osnova je za projektiranje dijelova prometnog sustava, ono podrazumijeva kvalitetu protoka koja je određena kapacitetom raskrižja, stupnjem zasićenosti i vremenom čekanja.

Kapacitet raskrižja podrazumijeva najveći broj vozila koji u određenom vremenskom intervalu može proći kroz kružno raskrižje, neovisno o vremenu čekanja. Kod planiranja i projektiranja potrebno je u ranoj fazi planskog perioda provesti empirijske metode provjere kapaciteta bazirane na rezultatima višestrukih istraživanja. Jedan od pokazatelja jest maksimalni dnevni promet izražen u ukupnom broju vozila na dan. Ako se na raskrižju očekuje dnevni intenzitet prometa manji od 25.000 vozila/dan preporučuje se primjena jednotračnih rotora, no u slučaju većih intenziteta preporučuje se primjena turbo kružnog raskrižja.

Stupanj zasićenosti jest drugi bitan pokazatelj kvalitete protoka prometa. To je odnos između intenziteta i kapaciteta, a govori nam o tome da je, ako je stupanj zasićenja veći od 1, došlo do potpunog zastoja.

Vrijeme čekanja koristi se kao kvalitativni pokazatelj razine usluge. Razina usluge definira razinu raskrižja kao što se može vidjeti u tablici 2.

Razina usluge	Prosječno vrijeme kašnjenja (s/voz)	
	Nesemaforizirano raskrižje	Semaforizirano raskrižje
A	0 - 10	0 - 10
B	>10 - 15	>10 - 20
C	>15 - 25	>20 - 35
D	>25 - 35	>35 - 55
E	>35 - 50	>55 - 80
F	>50	>80

Tablica 2. *Određivanje razine usluge na temelju prosječnog vremena kašnjenja*

IZVOR: *Izradio autor prema HCM*

- **Kriterij ekonomičnosti**

Kriterij ekonomičnosti obuhvaća vrednovanje troškova i koristi, gdje se pod troškovima podrazumijevaju troškovi građenja, eksploatacije i održavanja. Koristi se mogu izraziti preko podizanja razine sigurnosti, kvaliteti protoka prometa i pozitivnom utjecaju na okolinu. Dobiti također obuhvaćaju smanjenje društvenih troškova izazvanih prometnim nesrećama, smanjenje vremena putovanja, vrednovanje pozitivnog efekta smanjenja buke i zagađenja okoline.

- **Kriterij prostornog uklapanja**

Za određivanje potrebne površine i uklapanja u prostor potrebne su određene mjerodavnosti. Kod klasičnih raskrižja to su broj i dužine traka, dok je kod kružnog raskrižja to veličina vanjskog radijusa. Također pri razmatranju kriterija prostornog uklapanja treba voditi računa o estetskom izgledu te uklapanju samog raskrižja u okolinu.

3.2. Kriteriji za primjenu turbo kružnog raskrižja

Rješenja turbo kružnih raskrižja prihvatljiva su na lokacijama izvan naselja i u prilaznim područjima na kojima nema ili se očekuje samo manji broj nemotoriziranih sudionika u prometu. Turbo kružno raskrižje u naselju je prihvatljivo ako je vođenje nemotoriziranih sudionika na području samog turbo kružnog raskrižja riješeno na prometno siguran način.

Turbo kružno raskrižje prihvatljivo je rješenje u sljedećim slučajevima:

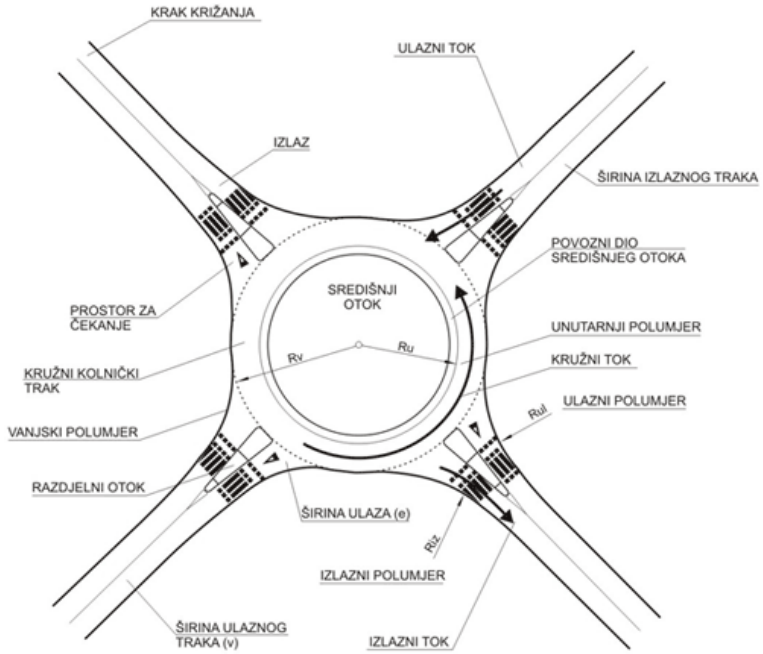
- kada analiza propusne moći ukazuje na to da jednotračno kružno raskrižje neće moći kvalitetno propustiti očekivana prometna opterećenja na kraju planskog razdoblja,
- u postojećim prometno preopterećenim, dvotračnim kružnim raskrižjima,
- u postojećim, prometno nedovoljno sigurnim, dvotračnim kružnim raskrižjima,
- prilikom rekonstrukcije standardnog trokrakog ili četverokrakog raskrižja u kojemu postoji prevladavajući glavni prometni smjer s velikom jakošću prometnog toka i
- ako je proračunom kapaciteta dokazano da je turbo kružno raskrižje bolje rješenje od semaforiziranog raskrižja [3].

3.3. Projektno – tehnički elementi turbo kružnog raskrižja

3.3.1. Osnovni projektni elementi

Svako kružno raskrižje sastoji se od nekoliko geometrijskih elemenata koji mogu imati utjecaj na razinu prometne sigurnosti i kvalitetu protoka. Stoga se dimenzioniranje kružnog raskrižja sastoji od niza projektnih elemenata:

- vanjski promjer, odnosno polumjer raskrižja (D_V,R_V),
- širina kružnog kolnika (B),
- širina ulaznog i izlaznog dijela privoza (b_u,b_i),
- širine otoka ili razdjelnika u privozu (b_o),
- ulazni kut (φ),
- polumjer ulaznog i izlaznog zaobljenja (R_u, R_i),
- horizontalnog i visinskog vođenja kružnog raskrižja
- poprečni nagib kružnog traka i odvodnje [14]



***Slika 20**. Osnovni elementi kružnog raskrižja*

***IZVOR:** [14]*

Projektiranjem se uspostavljaju usklađenosti između sigurnosti, protoka i funkcionalnosti raskrižja, odnosno u ovom slučaju kružnog raskrižja. Svako projektirano kružno raskrižje treba omogućiti sigurnu vožnju i kvalitetan protok prometa sa što manjim vremenom čekanja i brojem prometnih nesreća [3].

Geometrijski se oblik turbo kružnog raskrižja formira pomoću takozvanog "turbo bloka". To je blok ili skup svih potrebnih polumjera koje je potrebno na određeni način zarotirati kako bi mogao definirati trajektorije kretanja, odnosno vozne linije ili vozne trakove.

3.3.2. Polumjer 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 kao što se spomenulo radi sigurnosti prometa (vidi 3.1.) bude između 35 km/h i 37 km/h. Izabrani geometrijski oblik potrebno je obavezno provjeriti sa stanovišta brzine vožnje i linije kretanja, a dokumentirana provjera sastavni je dio projektne dokumentacije o ovom tipu raskrižja [3].

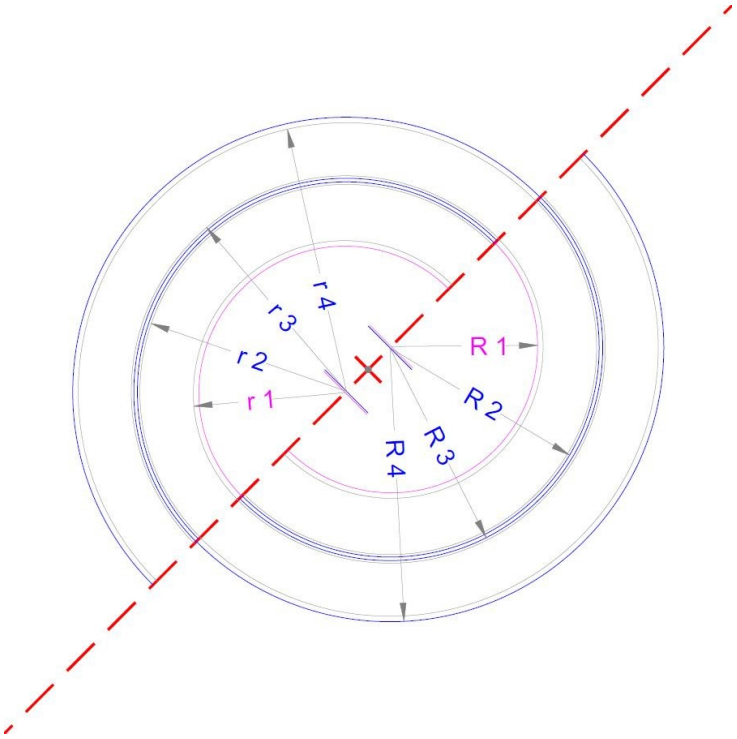
Preporučene dimenzije turbo kružnih raskrižja ovisno o njegovoj veličini prikazane su u tablici 4. (vrijednosti u zagradama su vrijednosti polumjera s dodatnim razdjelnim trakama u

velikom turbo kružnom raskrižju), dok se na slici 21. može vidjeti glavni geometrijski elementi, odnosno polumjeri turbo kružnog raskrižja.

ELEMENTI TURBO KRUŽNOG RASKRIŽJA				
Element	Mini	Standardno	Srednje veliko	Veliko
	[m]			
R1	10,45	12,00	14,95	19,95 (21,70)
R2	15,85	17,15	20,00	24,90 (27,10)
R3	16,15	17,45	20,30	25,20 (27,40)
R4	21,20	22,45	25,25	29,95 (32,80)
r1	10,95	12,50	15,45	20,45
r2	15,65	16,95	19,80	24,70
r3	16,35	17,65	20,50	25,40
r4	20,70	21,95	24,75	29,45
Bv	5,05	5,00	4,95	4,75 (5,40)
Bu	5,40	5,15	5,05	4,95 (5,40)
bv	4,35	4,30	4,25	4,05
bu	4,70	4,45	4,35	4,25
Dv	5,75	5,30	5,15	5,15 (5,50)
Du	5,05	5,00	4,95	4,75 (5,50)

Tablica 3. *Preporučene dimenzije turbo kružnog raskrižja u ovisnosti o njegovoj veličini*

IZVOR: *[3]*



Slika 21. *Polumjeri turbo kružnog raskrižja*

IZVOR: *[3]*

Turbo kružno raskrižje standardne veličine, odnosno standardno turbo kružno raskrižje, koje se najčešće primjenjuje, prikazano je u drugom stupcu tablice 3., a njegove preporučljive dimenzije u tablici 4., dok su glavni polumjeri i elementi standardnog turbo kružnog raskrižja označeni i prikazani na slici 22.

Polumjer unutarnjeg ruba povoznog dijela središnjeg otoka (preporučena širina provozne površine (uvjetno povozni dio središnjeg otoka) 2,50 m)	R_o = 9,50m
Polumjer unutarnjeg ruba kolnika (unutarnjeg traka)	R_1 = 12,00m
Polumjer vanjskog ruba kolnika (unutarnjeg traka) ujedno rub 30 cm širokog razdjelnog otoka (delineatora)	R_2 = 17,15m
Polumjer unutarnjeg ruba kolnika (vanjskog traka), ujedno rub 30 cm širokog razdjelnog otoka	R_3 = 17,45m
Polumjer vanjskog ruba kolnika (vanjskog traka)	R_4 = 22,45m

Tablica 4. *Dimenzije turbo kružnog raskrižja standardne veličine*

IZVOR: *[3]*

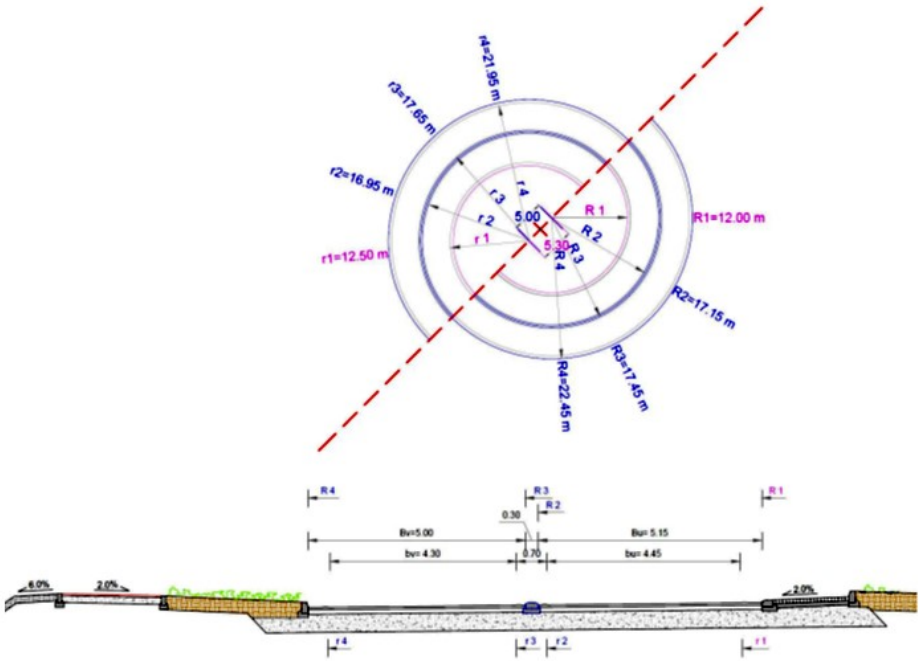
Napomena uz tablicu 4: Ako se prilikom primjene turbo kružnog raskrižja standardne veličine upotrijebi nizozemski način izvedbe tlocrtnih oznaka potrebno je u turbo kružnom raskrižju formirati i polumjere horizontalnih oznaka - crta na način na koji se to izvodi u Nizozemskoj (tablica 5.)

Polumjer unutrašnjeg ruba (na voznoj strani) rubne crte širine 0,15 m (ukupna širina rubnog traka 0,45 metara)	r_1 = 12,50m
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 = 16,95m
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_3 = 17,65m
Polumjer unutrašnjeg ruba (na voznoj strani) rubne crte širine 0,15 m (ukupna širina rubnog traka 0,45m)	r_4 = 21,95m

Tablica 5. *Polumjeri "r" turbo kružnog raskrižja mini veličine*

IZVOR: *[3]*

Širina asfaltne površine unutarnjeg kružnog voznog traka je Bu = 5,15 m, a vanjskog Bv = 5,00 m. Širine između rubnih crta su bu = 4,45 m i bv = 4,30 m. Udaljenost između vanjskih točaka translacijske osovine je Dv = 5,30 m, a između unutrašnjih točaka Du = 5,00 m. Polumjeri su izabrani tako da se rubne crte priključuju jedna na drugu. U slučaju trokrakog (a ne dvotračno) turbo kružnog raskrižja po analogiji se izračunaju još i R5 i R6 [3].



Slika 22. *Elementi i dimenzije standardnog turbo kružnog raskrižja*

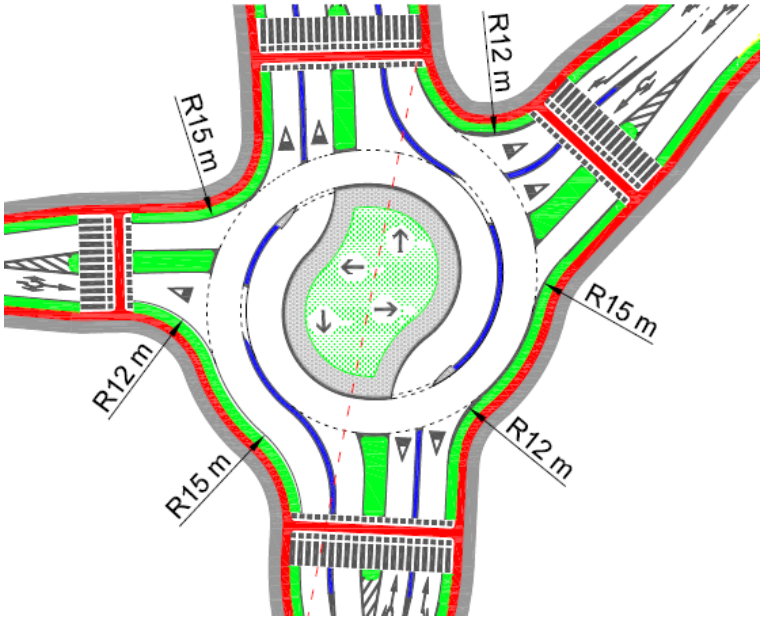
IZVOR: *[3]*

Odabir polumjera ulaznih i izlaznih krivina ovisi 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, a polumjer ulazne krivine mora uvijek biti manji od polumjera izlazne krivine.

Polumjer ulazne krivine u turbo kružno raskrižje ne bi trebao biti manji od RU = 12 m dok polumjer izlazne krivine ne bi trebao biti manji od Ri = 15 m, a niti veći od najvećeg polumjera kružnog raskrižja [3].

Sastavni dio projektne dokumentacije za turbo kružna raskrižja uključuje provjeru primjerenosti odabranih geometrijskih elemenata koja se izvodi i provjerava pomoću nekog od grafičkih računalnih alata za iscrtavanje trajektorije kretanja i širine provoznosti za kritičan manevar. Prilikom provjere odabranih dimenzija, vozna linija na ulazu u unutrašnji kružni trak izvede se s polumjerom R = 20.0 m, a na ulazu u vanjski kružni trak s polumjerom R = 12.0 m [3].



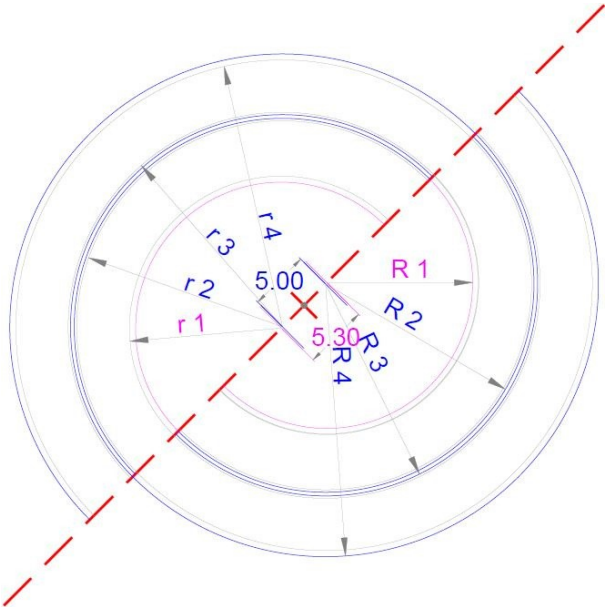
Slika 23. *Polumjeri ulaznih i izlaznih krivina*

IZVOR: *[15?????]*

3.3.3. Središnji kružni luk

Već spomenuti geometrijski oblik "turbo bloka" i skup potrebnih polumjera, "turbo blok" sadrži i tzv. translacijske osovine. Translacijska osovina je „osovina kojom se izvodi pomicanje, odnosno rotiranje polumjera, koje ovisi o broju priključenih cesta (tri ili četiri), širini kružnog voznog traka te lokaciji rubova“ [3].

Udaljenost između vanjskih točaka translacijske osovine kod standardnog turbo kružnog raskrižja iznosi 5.30 m, a između unutrašnjih točaka 5.00 m (slika 24). U slučaju drugih dimenzija turbo kružnog raskrižja, udaljenost između točaka potrebno je izračunati, uzimajući u obzir dimenzije polumjera navedene u tablici 3 [3].



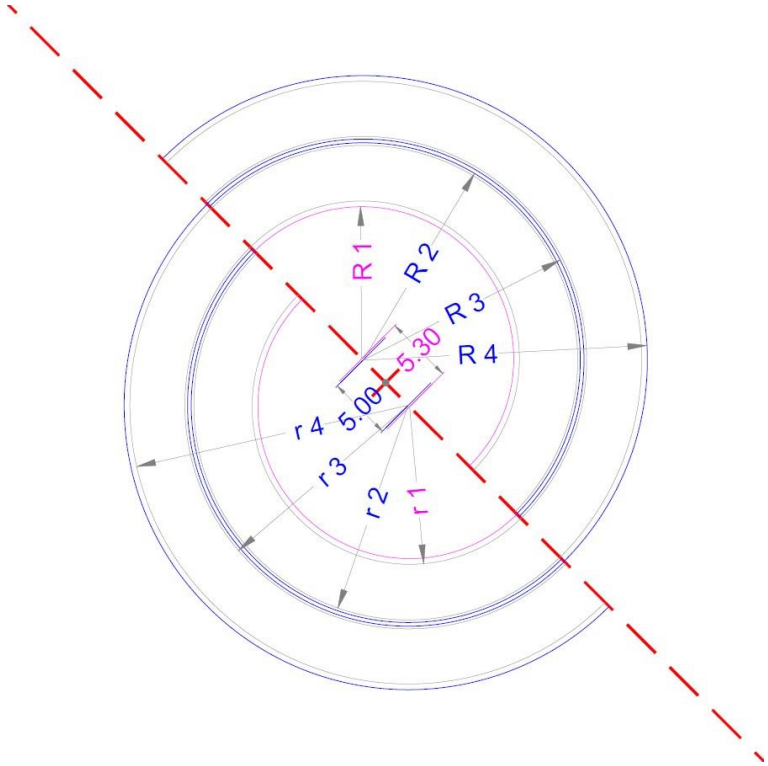
Slika 24. *Udaljenost između vanjskih i unutarnjih točaka translacijske osovine mini turbo kružnog raskrižja*

IZVOR: *[3]*

Polumjeri moraju biti izabrani tako da se prilikom formiranja spiralnog toka rubne crte priključuju jedna na drugu. Prilikom konstrukcije "turbo bloka" polumjer R1 se formira iz točaka na udaljenosti Dv = 5.30m, a polumjeri R2, R3 i R4 iz točaka na udaljenosti Du = 5.00 m. Takva konstrukcija omogućava kružnici polumjera R1 da na jednoj strani translacijske osovine prelazi u kružnicu polumjera r2 na drugoj strani translacijske osovine (slika 24.). Također, kružnica polumjera r3 na jednoj strani translacijske osovine prelazi u kružnicu polumjera R4 na drugoj strani translacijske osovine [3]

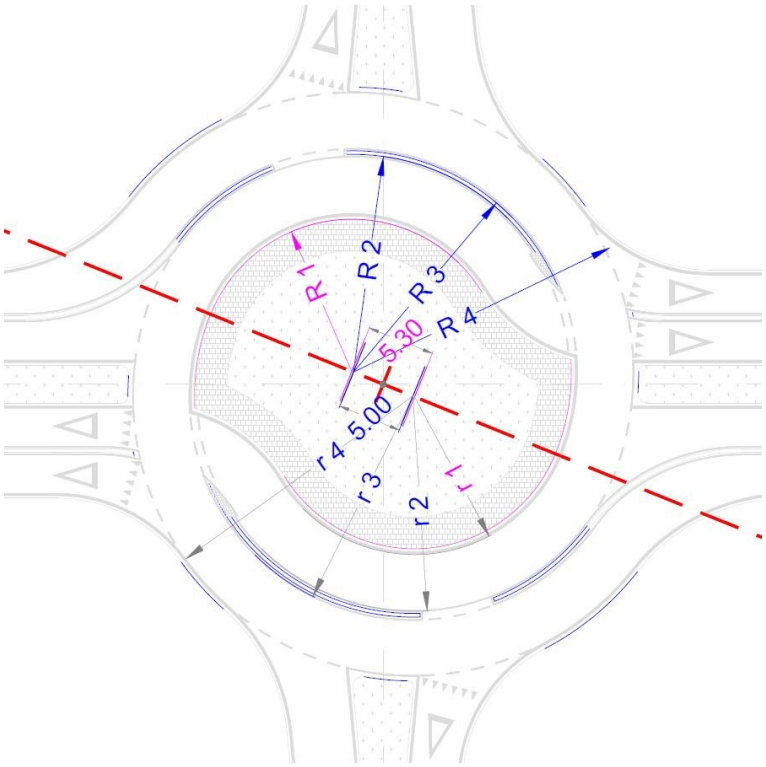
Slika 25. prikazuje određivanje položaja središta kružnih lukova zato što je središte "turbo bloka" potrebno locirati tako da se omogući radijalni priključak svih ulaza u turbo kružno raskrižje.

Za pravilan položaj translacijske osovine mjerodavan je položaj tangentnih točaka polumjera ulazne krivine. Tangentne točke moraju na oba kraja ležati na translacijskoj osovini ili malo iza nje. Ako taj uvjet nije zadovoljen, potrebno je turbo blok zarotirati sve dok se uvjet ne ispuni [3].



Slika 25. *Određivanje položaja središta kružnih lukova*

IZVOR: *[3]*

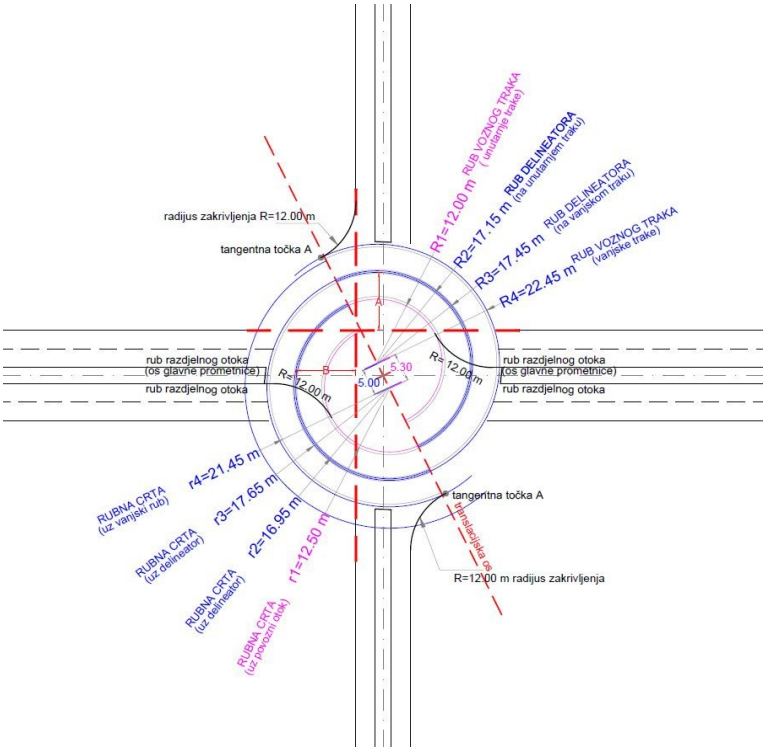


Slika 26. *Oblikovanje turbo kružnog raskrižja pomoću "turbo bloka"*

IZVOR: *[3]*

Najbolji položaj translacijske osovine je u položaju kao da kazaljke sata pokazuju vrijeme od "pet minuta do pet" kod četverokrakih, odnosno "osam i deset minuta" kod trokrakih koljenastih turbo kružnih raskrižja [3].

Na slici 27. prikazan je najbolji početni položaj "turbo bloka" kada su osovine priključnih cesta pod pravim kutom i jednoliko raspoređene na četiri kvadranta [3].



Slika 27. *Pravilan položaj translacijskih točaka*

IZVOR: *[3]*

Provjera položaja turbo bloka može se odviti u dva slučaja [3]:

- Uz turbo blok potrebno je formirati dvije pomoćne crte u produžetku vanjskih rubova ulazno-izlaznog horizontalnog i vertikalnog smjera te nakon toga izmjeriti udaljenosti od pomoćnih crta do polumjera koji određuju položaj od 30 cm širokog razdjelnog otoka na kružnom kolniku (delineatora). Ako su te udaljenosti jednake, položaj translacijske osi je ispravan.
- Kada je položaj translacijske osovine turbo bloka određen izvrši se provjera provozne linije za sve smjerove vožnje. Ako se ustanovi da je neka od linija "slomljena", potrebno je pristupiti korekciji, odnosno ponovnoj rotaciji translacijske osovine.

3.3.4. Provjera brzine kroz turbo kružno raskrižje

Kao što je već spomenuto velike brzine su jedan od najčešćih su uzroka prometnih nezgoda. Stoga, kružna raskrižja omogućuju vožnju smanjenim brzinama s velikim skretnim kutom prednjih kotača što rezultira manjim posljedicama prometnih nezgoda [2].

Prilikom izbora dimenzija polumjera turbo kružnog raskrižja, prolazna brzina je jedan od najvažnijih čimbenika za postizanje prometne sigurnosti.

Brzina vožnje kroz kružno raskrižje, ali i turbo kružno raskrižje provjerava se jednadžbom [3]:

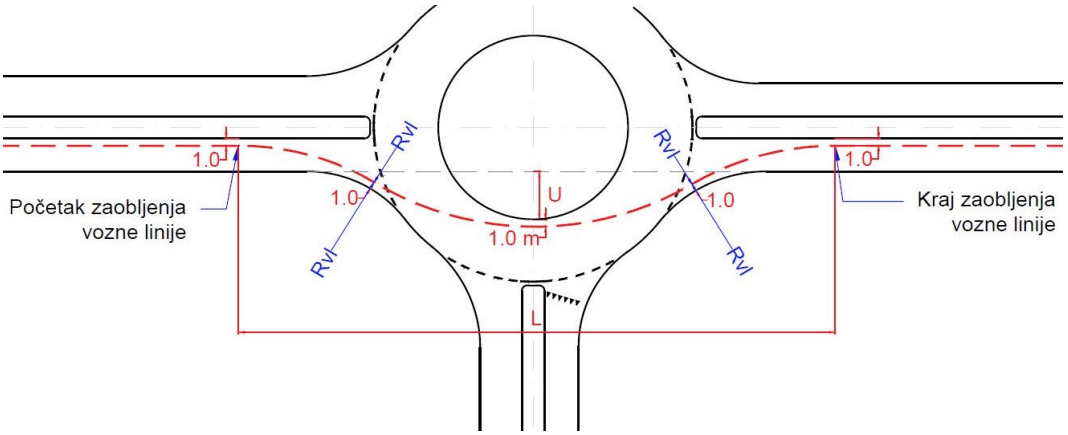
$$V = 7{,}4 \times \sqrt{R_{vl}}$$

Gdje je:

- V – brzina vožnje (km/h)
- R_{vl} – polumjer vozne linije (m)

Polumjer vozne linije, odnosno linije kretanja određuje se na sljedeći način [3]:

$$R_{vl} = \frac{0{,}25 \times L^2 + 0{,}5 \times (U+2)^2}{U+2}$$



Slika 28. *Provjera prolazne brzine i vozne linije kroz kružno raskrižje*

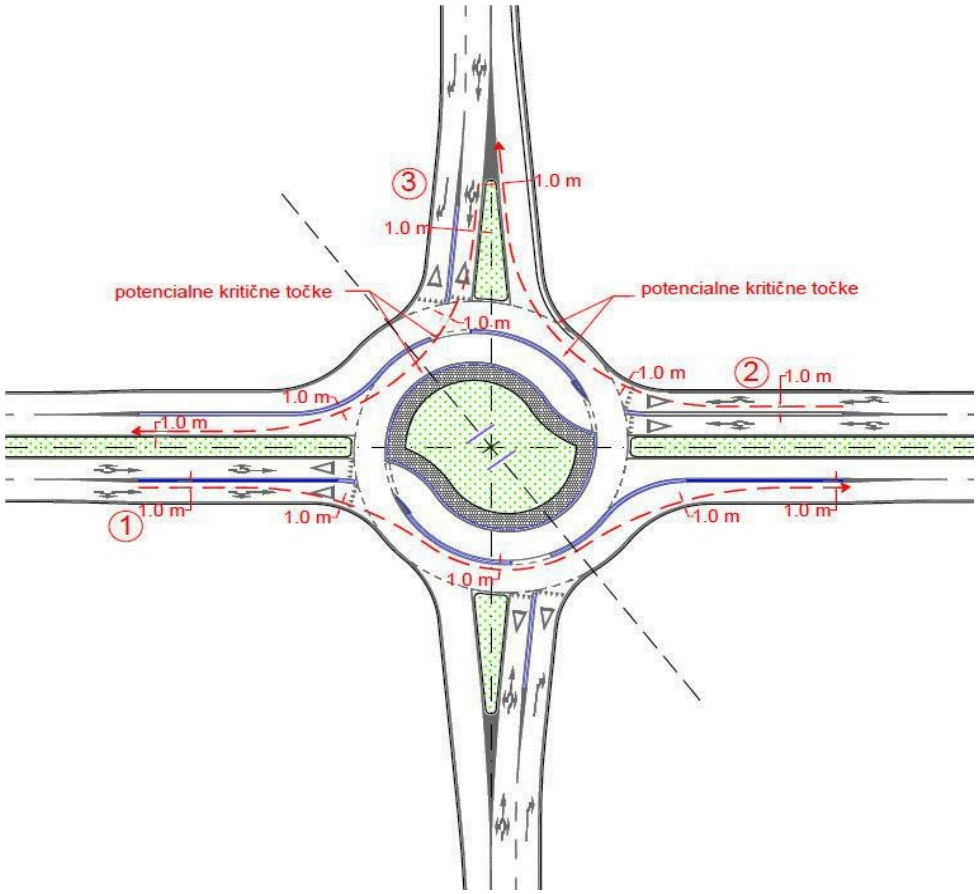
IZVOR: *[3]*

Prije provjere brzine prolaza potrebno je odrediti dva elementa [3]:

- **Element L** jest udaljenost između početka krivine na ulazu i završetka krivine na izlazu. Element ovisi o veličini polumjera krivine i vanjskog polumjera kružnog raskrižja.
- **Element U** (defleksija – zakrivljenost) udaljenost je između ruba središnjeg otoka i produžetka desnog ruba kolnika (mjereno na početku krivine). Brzina vožnje kroz turbo kružno raskrižje ovisi o zakrivljenosti linije kretanja, koja je uvjetovana veličinom **U**.

Na slici 29. prikazani su zahtjevi provjera brzine prolaza turbo kružnim raskrižjem u trima situacijama [3]:

- Prva provjera se odnosi na "prometni tok kroz kružno raskrižje". Za standardno turbo kružno raskrižje moguće je definirati 6 linija kretanja. Kontrola se radi za svaku liniju kretanja posebno. Linije kretanja kod ovog prometnog toka imaju 4 kritične točke koje su udaljene za 1.0 m od vanjskog ruba kolnika. Linije kretanja se sastoje od po tri kružna luka jednakih polumjera i suprotne usmjerenosti.
- Druga provjera brzine prolaza izvodi se za desni skrečući prometni tok iz desnog ulaznog traka. Za taj prometni tok moguće je kreirati 4 linije kretanja koje imaju po 3 kritične točke od kojih lokacija zavisi o načinu priključivanja priključnih cesta na kružno raskrižje. Zavisno od geometrije linije kretanja.
- Treća provjera brzine prolaza izvodi se također za desno skrečući prometni tok, ali iz lijevog ulaznog traka sporednog prometnog smjera. Za taj prometni tok moguće su dvije linije kretanja. Ako su prve dvije provjere dale pozitivan rezultat, treća provjera se koristi za određivanje položaja 30 cm širokog razdjelnog otoka na kružnom kolniku (delineatora).



Slika 29. *Provjera brzine prolaza kroz turbo kružno raskrižje*

IZVOR: *[3]*

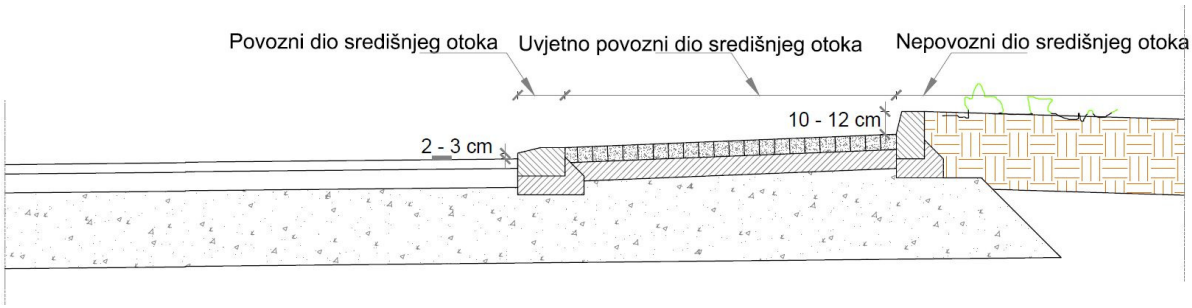
3.3.5. Središnji razdjelni otok

Karakteristika turbo kružnog raskrižja jest središnji otok nepravilnog oblika. Oblik središnjeg otoka je posljedica smicanja radijusa zakrivljenosti te može imati oštre ili spiralne završetke. Tri su dijela središnjeg otoka:

- **Neprovozni dio** – nije namjenjen prometu i uglavnom je prostor hortikulturnog uređenja te se mogu promijeniti fontane, spomenici i drugi objekti samo ako time nije smanjena preglednost.
- **Uvjetno provozni dio** – izvodi se od materijala koji demotivirati vozače da voze preko njega (kamen kocka) i namijenjen je samo za promet intervencijskih službi ili gdje se može zaustaviti u nužnim slučajevima. Izveden je u nagibu 4-7% prema vanjskom rubu turbo kružnog raskrižja, širine 2–2,5cm. Na vanjskom dijelu se spaja s unutarnjim rubom provoznog dijela središnjeg otoka, na istoj visini kao unutrašnji rub provoznog dijela središnjeg otoka. Na unutrašnjem dijelu se spaja s betonskim elementima

(rubnjacima), koji su viši za 10 -12 cm od unutarnjeg ruba uvjetno provoznog dijela središnjeg otoka. Uvjetno provozni dio središnjeg otoka mora biti konstantne širine.

- **Provozni dio** središnjeg otoka predstavlja rubnjak od betonskih elemenata koji čine prijelaz s kružnog prometnog traka na uvjetno provozan dio. Na vanjskom dijelu gdje graniči s kružnom prometnom trakom obvezno je viši za 2-3cm, a unutarnji dio uvjetno provoznog dijela viši je za 10-12cm [3].

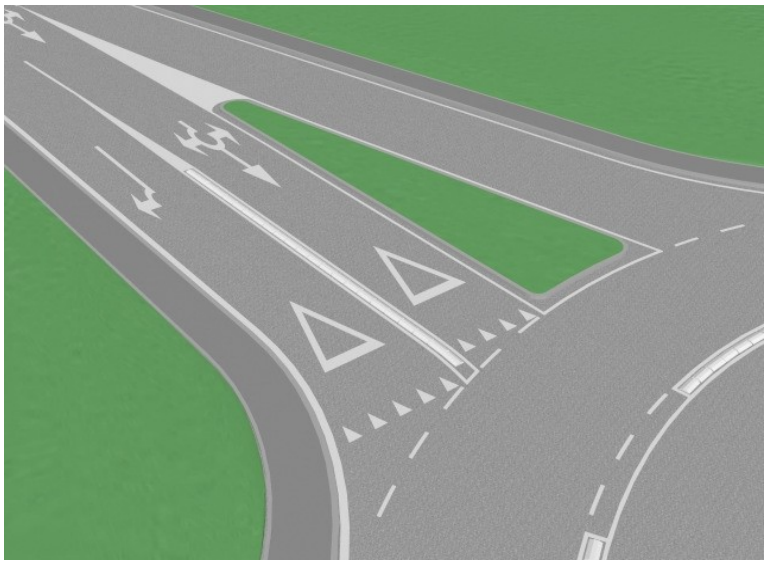


***Slika 30**. Dijelovi središnjeg otoka turbo kružnog raskrižja*

***IZVOR:** [3]*

3.3.6. Središnji razdjelni otok na priključnoj cesti

Središnji razdjelni otok na priključnoj cesti ima funkciju usmjeravanja (vođenja) vozila na ulazu u turbo kružno raskrižje, a ujedno i funkciju zaštite pješaka te biciklista prilikom prelaska priključne ceste turbo kružnog raskrižja. Stoga je njegova primjena u turbo kružnim raskrižjima obavezna. U turbo kružnom raskrižju moguća je primjena razdjelnih otoka trokutastog (slika 31.), kapljastog (slika 32.) ili ljevkastog oblika [16].



Slika 31. *Razdjelni otok trokutastog oblik*

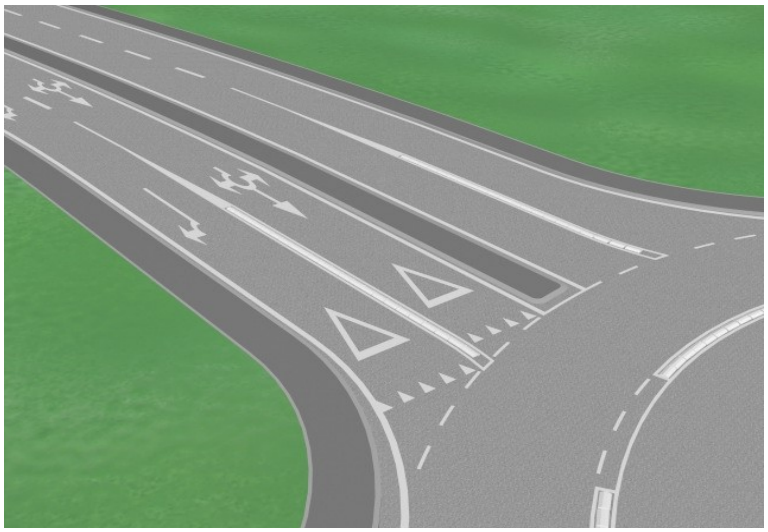
IZVOR: *[3]*

Minimalne dimenzije trokutastog otoka proizlaze iz vrste sudionika u prometu u turbo kružnom raskrižju, koji prelaze preko razdjelnog otoka (pješaci i biciklisti ili samo pješaci) i njihovog broja (dostatna površina za čekanje) [3].

Preporučuje se da je središnji razdjelni otok trokutastog oblika na širem mjestu gdje ga presijeca prijelaz za pješake širine barem 2 m (dužina dječjih kolica i osobe koja ga vozi + sigurnosna širina), a minimalna širina na mjestu postavljanja prometnih znakova Obavezno obilaženje s desne strane (B59) i ploče za označavanje prometnog otoka (K06) barem 1.2 m [3].

Također, preporučuje se i da je središnji razdjelni otok trokutastog oblika na širem mjestu gdje ga presijeca biciklistička staza širine barem 2 m (dužina muškog bicikla + sigurnosna širina), a minimalna širina na mjestu postavljanja prometnih znakova Obavezno obilaženje s desne strane (B59) i ploče za označavanje prometnog otoka (K06) barem 1.2 m. Po nizozemskim smjernicama je minimalna širina razdjelnih otoka 2,5m. Ova dimenzija je u relaciji s parametrima za proračun propusne moći po modificiranoj Bovyevoj jednadžbi [3].

U slučaju da prilaznu cestu u turbo kružnom raskrižju s trokutastim oblikom središnjeg razdjelnog otoka presijecaju pješaci i biciklisti preuzima se strožiji kriterij i u tom slučaju širina razdjelnog otoka trokutastog oblika na širem mjestu gdje ga presijeca biciklistička staza, mora biti minimalno 2 m [3].



Slika 32. *Središnji razdjelni otok kapljastog oblika*

IZVOR: *[3]*

Primjena središnjeg razdjelnog otoka kapljastog oblika dozvoljena je samo u turbo kružnim raskrižjima bez prisutnosti nemotoriziranih sudionika u prometu.

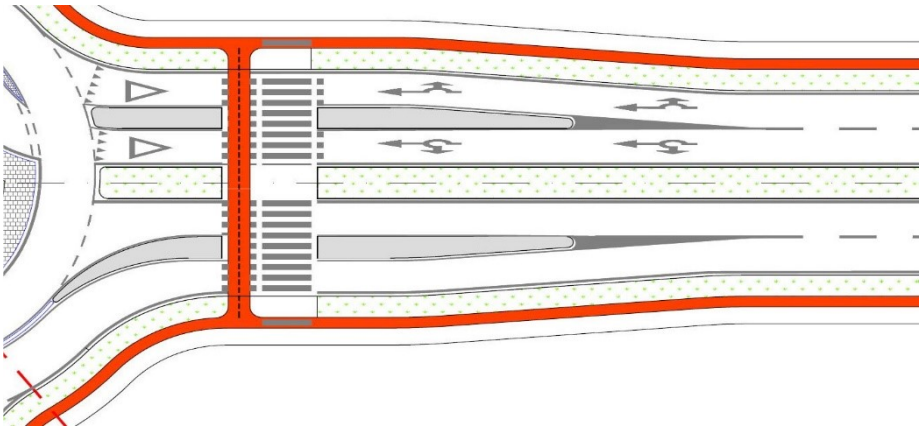
Minimalnim dimenzijama otoka ljevkastog oblika u pravilu nije problem udovoljiti jer se primjenjuju kod velikih kružnih raskrižja (velika površina razdjelnog otoka) [3].

3.3.7. Prijelazi 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 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 m) [3].

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

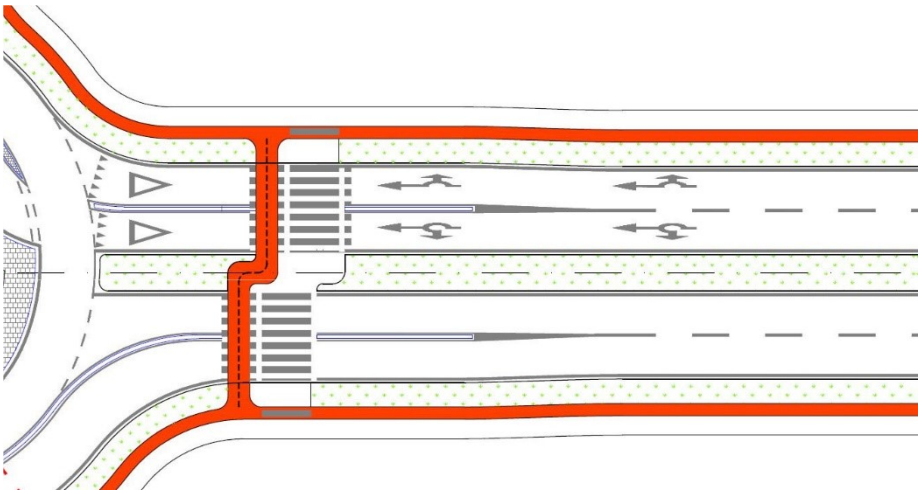
- **Razdvajanjem ulaznih/izlaznih prometnih trakova razdjelnim otokom** – izvodi se u slučaju povećanog broja nemotoriziranih sudionika u prometu i kada s gledišta propusne moći nije prihvatljivo da se na ulazu/izlazu izvede samo jedan vozni trak te u slučaju kada imamo na raspolaganju dovoljno prostora za izvedbu razdjelnih otoka ili ako nije ispunjen uvjet za vođenje nemotoriziranih sudionika u drugoj razini (slika 33.)



Slika 33. *Razdvajanje ulaznih i izlaznih prometnih trakova razdjelnim otocima na ulazima/izlazima*

IZVOR: *[3]*

- **Smicanjem prijelaza između ulaza i izlaza** - smije se upotrijebiti samo u turbo kružnim raskrižjima izvan naselja i to u iznimnim slučajevima kada nije moguće primijeniti kakvo drugo rješenje. Smicanje prijelaza se izvodi na tako da se spriječe velike brzine biciklista prilikom prelaska preko središnjeg razdjelnog otoka. Izvodi se tako da pješak i biciklist nakon prelaska ulaza/izlaza gledaju u smjeru nadolazećeg motornog prometnog toka. Smicanje prijelaza za bicikliste se izvodi na dužini koja je jednaka širini dvosmjerne biciklističke staze i na udaljenosti oko 10 m od vanjskog ruba turbo kružnog raskrižja. Kod ovog rješenja biciklisti nemaju prednost pred motoriziranim sudionicima u prometu, što je potrebno jasno i nedvosmisleno označiti (slika 34.).

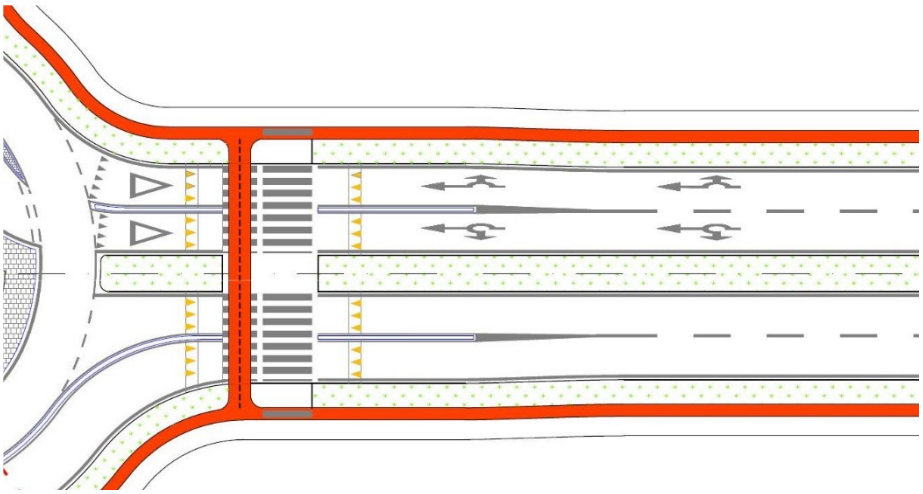


Slika 34. *Smicanje prijelaza za bicikliste i pješake između ulaza i izlaza*

IZVOR: *[3]*

- **Primjena mjera za smirivanje prometa –** Ako se nakon početka uporabe turbo kružnog raskrižja ustanove brzine motoriziranih sudionika na ulazu/izlazu iz turbo

kružnog raskrižja u naselju koje su veće od dozvoljenih kao mjeru za postizanje više razine prometne sigurnosti nemotoriziranih sudionika u prometu, mogu se izvesti trapezne platforme u kombinaciji s prijelazom (slika 35.) U takvom slučaju, dužina platforme mora biti veća od međusobne udaljenosti mjerodavnog vozila visine ≤ 10 cm



Slika 35. *Trapezna platforma na području prijelaza za pješake i bicikliste*

IZVOR: *[3]*

3.3.7.1. Pothodnici i nathodnici

Prema [3] pothodnici i nathodnici su rješenje koje se preporučuje u sljedećim situacijama:

- u slučaju turbo kružnog raskrižja s 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 situaciji kada su zone za čekanje na razdjelnim otocima premale za očekivani broj pješaka/biciklista.

Ukoliko je ispunjen barem jedan od navedenih kriterija poželjna je izvedba pothodnika/nathodnika zbog postizanja dostatne razine prometne sigurnosti nemotoriziranih sudionika u prometu i protočnosti turbo kružnog raskrižja. Prilikom odabira rješenja (pothodnik/nathodnik) uzimaju se u obzir lokalne prilike (konfiguracija terena, klimatski uvjeti, potreban prostor...). Projektant predlaže primjenu pothodnika/nathodnika, a suglasnost za primjenu daju Hrvatske ceste [3].

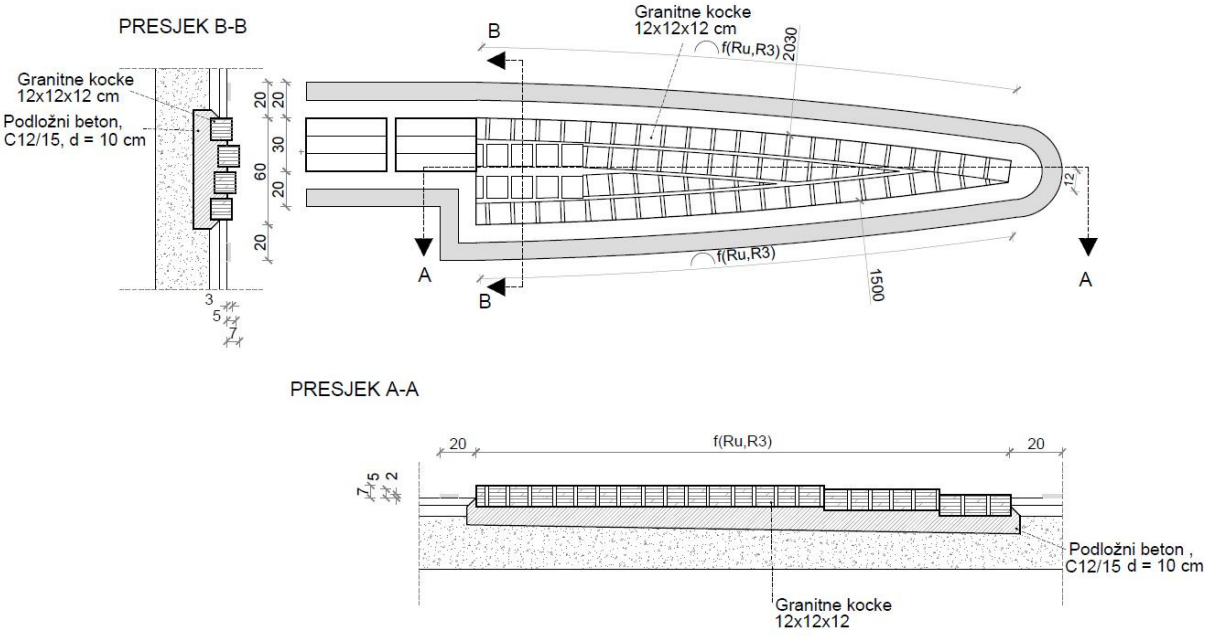
3.3.8. Specifični projektni elementi turbo kružnog raskrižja

Među posebne detalje turbo kružnog raskrižja spadaju (osim posebnih znakova obavijesti za vođenje prometa i oznaka na kolniku za vođenje prometa - strelica) delineator te ‘’špica’’. Delineator u turbo kružnom raskrižju je betonski element koji sprječava prometni manevar preplitanja prometnih tokova u kružnom kolniku turbo kružnog raskrižja (slike 7 i 8). Visina delineatora iznad razine kolnika iznosi od 5 do 7 cm [3].

"Špica" je uređenje početka elementa za sprječavanje prometnog manevra preplitanja prometnih tokova u kružnom kolniku turbo kružnog raskrižja.

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 9.).



Slika 36. *Elementi "špice"*

IZVOR: *[3]*

4. PREDNOSTI I NEDOSTACI TURBO KRUŽNIH RASKRIŽJA U ODNOSU NA KLASIČNA KRUŽNA RASKRIŽJA

4.1. Prednosti

Turbo kružna raskrižja imaju mnogobrojne prednosti poput puno veće sigurnosti samog prometa (smanjena brzina u kružnom raskrižju i manji broj konfliktnih točaka) uz manje posljedice mogućih prometnih nezgoda (bez čeonih sudara i sudara pod pravim kutom), kontinuitet vožnje odnosno kraće čekanje na samim privozima i mogućnost propuštanja jačih prometnih tokova.

- Veća propusna moć raskrižja
- Manje proizvedene buke i štetnih plinova
- Manja zauzetost površine
- Manji troškovi održavanja
- Dobro rješenje pri ravnomjernijem opterećenju provoza
- Mjera za smirivanje prometa
- S najmanje jedne prilazne ceste daje se prednost prometnim tokovi u dvjema kružnim voznim trakovima, koji na tom mjestu predstavljaju kružni kolnik (uvjet koji proizlazi iz propusne moći)
- 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 hoće li kružno raskrižje napustiti ili nastaviti s vožnjom po kružnom kolniku. (uvjet koji proizlazi iz prometne sigurnosti)
- 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)
- Promet na najviše dva kružna vozna traka može imati prednost pred prometnim tokom na ulazu (uvjet koji proizlazi iz prometne sigurnosti)
- Dobro rješenje za slučajeve s pet ili više privoza
- Mogućnost dobrog uklapanja u samu okolinu [21].

4.2. Nedostaci

Turbo kružna raskrižja imaju i neke nedostatke no s obzirom na broje prednosti koje turbo kružno raskružje pruža, nedostatci kao takvi izgledaju gotovo zanemarivi, no ipak imaju utjecaja:

- Zbog duljih putovanja, s otežavajućim presjecima i preplitanjima za slučaj velikog prometnog toka sa skretanjem ulijevo loše je rješenje
- S većim brojem samih kružnih prometnih trakova smanjuje se razina sigurnosti u prometu
- Produljenje putanje pješaka i vozila s obzirom na izravno kanalizirana klasična raskrižja
- Problem pri većem pješačkom ili biciklističkom prometu, koji pak presijecaju barem jedan ili više privoza prema raskrižju
- Spiralno izvedena tlocrtna signalizacija mora biti oblikovana tako da postupno prelazi iz manjeg (unutrašnjeg) na veći (vanjski) polumjer (uvjet koji proizlazi iz udobnosti vožnje)
- 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)
- Veliko, to jest 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 ponekad privoza itd [2].

5. PRORAČUN RAZINE USLUGE I KAPACITETA TURBO KRUŽNIH RASKRIŽJA

5.1. Proračun razine usluge

„Za proračun propusne moći višetračnih kružnih raskrižja (uključujući i turbo kružna raskrižja) koriste se dvije vrste analitičkih modela. Prva grupa modela se temelji na teoriji prometnog toka. Teorija prometnog toka pretpostavlja da je propusna moć ulaza ovisna o jakosti kružnog prometnog toka i mogućeg konfliktnog prometnog toka neposredno ispred izlaza iz kružnog raskrižja . Propusna moć uvjetovana je geometrijskim svojstvima kružnog raskrižja, a ovisno o modelu/jednadžbi koja je upotrijebljena, odnos između propusne moći ulaza i jakosti kružnog prometnog toka može biti linearan ili eksponencijalan. Druga vrsta analitičkih modela proračuna propusne moći višetračnih kružnih raskrižja temelji se na teoriji vremenskih praznina u prometnom toku. Spomenuta teorija analizira interakciju dvaju prometnih tokova. Propusna moć ulaza određuje se na osnovu raspoloživih vremenskih praznina u kružnom prometnom toku i iskorištenosti tih vremenskih praznina od strane prometnog toka na ulazu. Parametri koji određuju tu interakciju su: minimalna vremenska praznina (u programskim alatima: headway) u kružnom prometnom toku, prosječno vrijeme čekanja na ulazu i kritična vremenska praznina (minimalno kritično vrijeme - u programskim alatima: gap time). Najčešće korišteni analitički modeli za proračun propusne moći višetračnih kružnih raskrižja po teoriji prometnog toka baziraju se na jednadžbama Bovyja i Brilona, a po teoriji vremenskih praznina na jednadžbama Hagringa, Fiska, Tannera i Troutbecka. Analitički modeli za proračun propusne moći turbo kružnih raskrižja baziraju se na modificiranim jednadžbama Bovyja i Hagringa. Modifikacije su izvedene na osnovu nizozemskih eksperimenata, izvedenih u realnim uvjetima [22]“.

„Turbo kružna raskrižja najbolje je i najlakše analizirati upotrebom mikrosimulacijskih modela i metoda, koje su integrirane u neke programske alate. Propusna moć svakog turbo kružnog raskrižja prvo mora biti provjerena pomoću neke od priznatih analitičkih metoda ili pomoću nekog od postojećih programskih alata utemeljenih na nekoj od tih metoda. Naime, za modeliranje turbo kružnih raskrižja mikrosimulacijskim programskim alatima potrebno je imati definirane tehničke elemente turbo kružnog raskrižja. Mikrosimulacija je dakle prihvatljiv alat za provjeru odvijanja prometnih tokova nakon što je kružno raskrižje već dimenzionirano s jednim od analitičkih alata ili ručno, po nekoj od priznatih metoda. Nije prihvatljivo koristiti sve mikrosimulacijske alate za analizu turbo kružnih raskrižja jer modeliranje ovog tipa kružnih

raskrižja u pravilu nije posebno analizirano. Mikrosimulacijski programi u pravilu ne sadrže opciju za analizu turbo kružnog raskrižja, nego su namijenjeni analizi svih mogućih oblika kružnih raskrižja. U pravilu je modeliranje turbo kružnih raskrižja za potrebe analize s mikroskopskom simulacijom veoma zahtjevno. Nedovoljno precizno modeliranje može dovesti do nepouzdanih rezultata koji pak mogu navesti projektanta na rješenja koja ne odgovaraju stvarnoj situaciji. Rezultati simulacijskih modela nisu strukturirani posebno u svrhu dimenzioniranja kružnih raskrižja. Ovi alati u pravilu nisu posebno ili dovoljno prilagođeni za analizu turbo kružnih raskrižja jer ne uvažavaju dovoljno geometrijske, odnosno, projektne elemente. Prilikom izbora programskog alata, projektant mora voditi računa o uputi proizvođača vezano za primjerenosti programskog alata za analizu pojedinih tipova kružnih raskrižja (u konkretnom slučaju o primjerenosti programskog alata za modeliranje turbo kružnih raskrižja). U slučajevima kada se među sudionicima u prometu na turbo kružnom raskrižju očekuju i pješaci i biciklisti, potrebno je uzeti u obzir i njihov utjecaj na propusnu moć i vrednovati je u mikrosimulaciji što znači da programski alat mora sadržavati i mogućnost uvrštavanja nemotoriziranih sudionika u prometu [22]“.

5.2. Proračun kapaciteta turbo raskrižja

Kao što je ranije spomenuto propusna moć, odnosno kapacitet osnova je za projektiranje raskrižja. Teorijska vrijednost (CR) u konfliktnoj točki x na ulazu mora biti jednaka ili veća od sume jakosti prometnog toka u kružnom kolniku na mjestu ulaza (IRU) i jakosti prometnog toka na ulazu (IU) [3].

Iz toga proizlazi:

$$C_R \geq I_K$$

$$I_K = I_{RU} + I_U$$

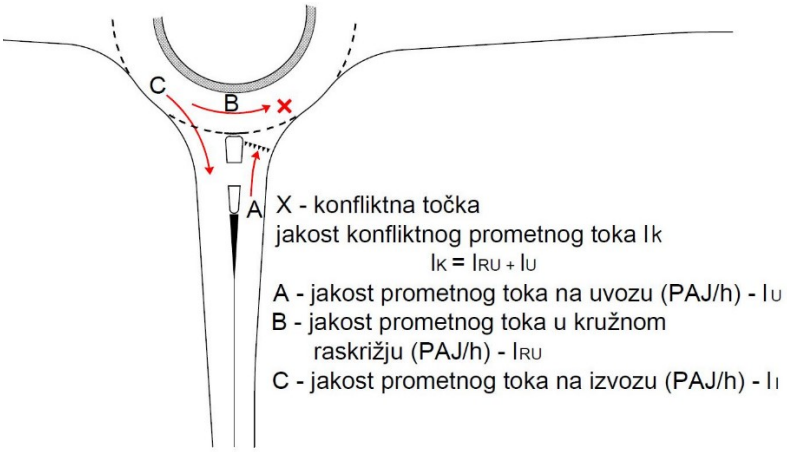
Gdje je:

- C_R - teoretska vrijednost kapaciteta kružnog raskrižja
- I_K - jakost konfliktnog prometnog toka u konfliktnoj točki x
- I_{RU} - jakost prometnog toka u kružnom kolniku na mjestu ulaza
- I_U - jakost prometnog toka na ulazu

Stvarni kapacitet kružnog raskrižja jest kapacitet u realnim uvjetima, što znači da je to najveća količina prometa koje kružno raskrižje pri uspostavljenim graničnim vremenima čekanja može prihvatiti. U Nizozemskoj se za prosječno granično vrijeme čekanja za određivanje kapaciteta turbo kružnog raskrižja uspostavila vrijednost 50s za promet motoriziranih sudionika te 5s za promet biciklista [3].

Kao mjerodavna točka za određivanje kapaciteta kružnog raskrižja gleda se konfliktna točka gdje se ulazni vozni zrak siječe s kružnim kolnikom jer prometni tok na ulazu u kružno raskrižje mora ustupiti prednost prometnom toku na kružnom kolniku.

Slika 20. prikazuje mjerodavnu konfliktnu točku za određivanje propusne sposobnosti kružnog raskrižja.



Slika 37. *Mjerodavna konfliktna točka "x" za određivanje propusne moći kružnog raskrižja*

IZVOR: *[3]*

Konfliktnim faktorom korigiran je kapacitet ulaza (CU) koji ovisi o jakosti prometnog toka u kružnom kolniku na mjestu ulaza u kružno raskrižje i jakosti prometa na ulazu. Ulaz i izlaz podrazumijevaju se kao ulaz i izlaz na istoj priključnoj cesti.

Sami konfliktni faktor definira se kao „faktor s pomoću kojega se jakost izlaznog prometnog toka reducira s obzirom na mogući konfliktni promet“, odnosno konfliktna jakost prometnog toga podrazumijeva se kao „prometni tok u kružnom raskrižju koji neposredno pred izlazom i bez upozorenja (bez smjerokaza) skreće udesno na izlazu kružnog raskrižja“. Ulazni prometni tok nije u konfliktu, ali ponašanje vozača utječe na dužinu vremena čekanja na ulazu u kružno raskrižje (na slici 5.1. mogući konfliktni promet označen je s C) [3].

Turbo kružna raskrižja relativno su novijeg datuma pa stoga još ne postoje izvedeni primjeri na kojima je moguće analizirati stanje na kraju planskog razdoblja. Empirijski modeli se stoga u slučaju turbo kružnih raskrižja ne koriste već se provjerava propusna sposobnost turbo kružnog raskrižja koja se može izvesti na osnovu analitičkih ili simulacijskih modela.

5.2.1. Analitički proračun propusne moći više tračnih kružnih raskrižja

Prema smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika na državnim cestama [3] za proračun propusne moći koriste se dvije vrste analitičkih modela, dok će u nastavku poglavlja biti prikazana i Bovyjeva i Hagringova jednadžba [3] koje također služe za proračune propusne moći turbo kružnih raskrižja.

Prva vrsta analitičkih modela temelji se na teoriji prometnog toka gdje se pretpostavlja da je propusna moć ulaza ovisna jakosti kružnog prometnog toka i mogućeg konfliktnog prometnog toka neposredno ispred izlaza iz kružnog raskrižja (vidi sliku 20.). Odnos između propusne moći ulaza i jakosti prometnog toka može biti linearan ili eksponencijalan, a ovisi o upotrijebljenom modelu.

Druga vrsta analitičkih modela proračuna propusne moći za kružna raskrižja s više trakova temelji se na teoriji vremenskih praznina u prometnom toku gdje se analizira interakcija dvaju prometnih tokova. Propusna moć ulaza se stoga određuje na osnovi raspoloživih vremenskih praznina u kružnom prometnom toku i iskorištenosti tih vremenskih praznina od strane prometnog toka na ulazu. Parametri koji određuju tu interakciju su:

- minimalna vremenska praznina (u programskim alatima: headway) u kružnom prometnom toku,
- prosječno vrijeme čekanja na ulazu i
- kritična vremenska praznina (minimalno kritično vrijeme - u programskim alatima: gap time).

5.2.1.1. Bovyjeva jenadžba

Izvorna Bovyjeva jenadžba glasi:

$$Le = \frac{(1500 - \frac{8}{9} \times (\beta \times Mk + \alpha \times Ma))}{\gamma}$$

Gdje je:

- Le - propusna moć ulaza [PAJ/h]
- Mk - jakost kružnog prometnog toka [PAJ/h]
- Ma - jakost prometnog toka na izlazu [PAJ/h]
- α - faktor ulaznog prometnog toka u usporedbi s izlaznim [-]
- β - faktor broja voznih trakova u kružnom kolniku [-]
- γ - faktor broja voznih trakova na ulazima [-]

Modificirana Bovyjeva jednadžba za proračun propusne moći s višetračnih kružnih raskrižja:

$$Cn = 1550 - \frac{8}{9} \times (\beta \times (qx + qy + qz) + \alpha\text{nru}(fk \times qk + f1 \times q1 + qm) + \alpha nri\big((1 - fk) \times qk + (1 - f1) \times q1\big))$$

Gdje je:

- Cn - propusna moć ulaza [PAJ/h]
- β - faktor broja voznih trakova na kružnom kolniku [-]
- qx+qy+qz - jakosti kružnih prometnih tokova ispred ulaza u kružno raskrižje [PAJ/h]
- αnru - faktor smanjenja utjecaja izlaznog prometnog toka - utjecaj vanjskog izlaznog prometnog toka na - desni/lijevi ulazni prometni tok [-]
- αnri - faktor smanjenja utjecaja izlaznog prometnog

Raspodjela prometa u turbo kružnom raskrižju je složenija od jednotračnog i dvotračnog kružnog raskrižja. Stoga je osnovnu (izvornu) Bovyevu jednadžbu potrebno modificirati kako bismo ju mogli primijeniti za turbo kružno raskrižje.

Osnovne karakteristike modificirane Bovyeve metode su:

- propusna moć svakog voznog traka na ulazu proračunava se posebno,
- propusna moć pojedinog ulaza je suma propusnih moći pojedinih voznih trakova na tom ulazu i
- povećanje maksimalnog teoretskog kapaciteta voznog traka na ulazu s 1500 voz/h na 1550 voz/h.

Proračun propusne moći lijevog traka na ulazu u dvotračno turbo kružno raskrižje nije moguće izvršiti linearnom raspodjelom intenziteta.

Upravo je Bovyeva jednadžba za proračun propusne moći turbo kružnih raskrižja izabrana u Nizozemskoj zbog utjecaja ″lijevo skrečućeg prometnog toka″ i omogućavanja jednostavnijeg modeliranja raspodjele prometa po voznim trakovima.

Zbog nemogućnosti promjene voznih trakova na kružnom kolniku, raspodjela prometa je kod turbo kružnog raskrižja, jasno definirana.

Korekcijski faktori utjecaja izlaznog prometnog toka "a" (u izvornoj jednadžbi α) i utjecaja kružnog prometnog toka, različiti su za dva kružna vozna traka u kružnom kolniku.

Nizozemac Fortuijn, jednadžbu je modificirao tako da je parametar β podijelio na b1 - unutrašnji kružni vozni trak i b2 - 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, b1 i b2 mogu imati minimalnu ili maksimalnu vrijednost (bmin i bmax).

Prema tome modificirana Bovyeva jednadžba za proračun propusne moći turbo kružnih raskrižja glasi:

$$C_{e,1} = C_0 - b_m \times Q_{R,m} - b_M \times Q_{R,M} - a_1 \times Q_S$$
$$C^*_{E,2} = C^*_{02} - b_2 \times Q^*_{RZ} - a_{2,1} \times Q^*_{SN}$$

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 kolnika

Parametri za proračun propusne sposobnosti po modificiranoj Bovyevoj metodi su:

- Co = 1550
- bmax = 0.82
- bmi = 0.68
- a1 = 0.21 (u slučaju da je širina središnjeg razdjelnog otoka 2.5 m)

- a2 = 0.14 (u slučaju da je širina središnjeg razdjelnog otoka 2.5m)
- a1 = 0.14 (u slučaju da je širina središnjeg razdjelnog otoka 7 m)
- a2 = 0.07 (u slučaju da je širina središnjeg razdjelnog otoka 7 m)
- osobno vozilo = 1 PAJ
- teretno vozilo = 1.9 PAJ
- teretno vozilo s prikolicom i tegljač = 2.4 PAJ

Vrednovanje rezultata proračuna, a samim time i opravdanost primjene turbo kružnog raskrižja izvodi se po kriteriju vremena čekanja i po kriteriju stupnja zasićenosti.

Po HCM-u 2000 se kao mjerodavni koriste kriteriji mjerodavnog vremena čekanja 50 sek/vozilo i dozvoljen stupanj zasićenja 80 % (I/C=0.8).

Unatoč njenoj jednostavnosti, Bovyeva jednadžba daje prihvatljive rezultate. Jednostavnom se smatra iz razloga što se bazira na geometriji kružnog raskrižja i linearnoj raspodjeli rezultata.

5.2.1.2. 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 određuju se posebno za svaki kružni vozni trak. Usvaja se pretpostavka da su minimalne vremenske praznine na oba traka u kružnom kolniku jednake.

Jednadžba za propusnu moć dvotračnog turbo kružnog raskrižja po Hagringu glasi:

$$C_{E,j} = 3600 \times \Lambda \times \prod_{i=1}^{n} \frac{\delta j q_{RS,j}}{\lambda} \times \frac{e^{-\sum k \lambda k \times t_{C_{j,k}}}}{e^{-\Lambda \times t_{M} \times (1 - e^{\sum m \lambda m \times t_{Fj,m}})}}$$

$q_{RS} = q_r + d_{E,S} \times q_S$

$\lambda_J = \frac{\rho j \times q_{rs,j}}{1 - tm \times q_{r,j}}$

$\varphi = 1 - t_M * q_R$

Gdje je:

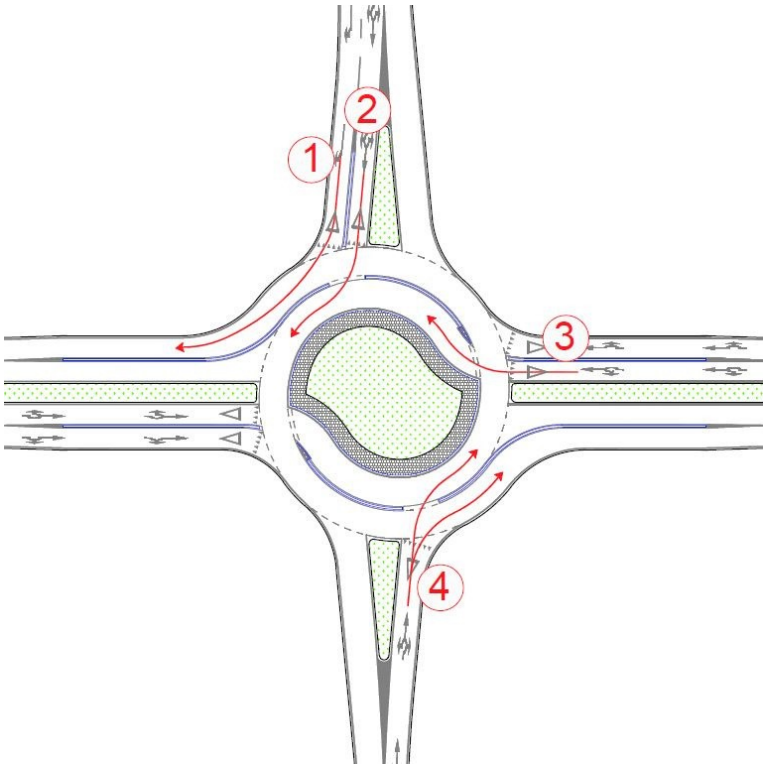
- CE,j - kapacitet traka "j" na ulazu [PAJ/h]
- $\Lambda = \Sigma\, j\lambda j$

- n =2
- d - konfliktni faktor
- qR - jakost prometnog toka na traku "j" u kružnom kolniku [PAJ/h]
- tCj,k - kritična vremenska praznina na traku "j" (minimalno kritično vrijeme - gap time) [s]
- tFj,m - prosječno vrijeme čekanja na ulazu na trak "j" [s]
- tM - minimalna praznina (headway) u kružnom prometnom toku [s]
- λ - faktor utjecaja jakosti prometnog toka na vremensku prazninu [-]
- φ - faktor odnosa slobodnih vozila u kružnom prometnom toku [-]
- qRS = qR + d × qS - jakost kružnog prometnog toka, zajedno s jakošću konfliktnog prometnog toka [PAJ/h]

Na temelju Hagringove jednadžbe razvijena je jednadžba za proračun propusne moći samo lijevog traka na ulazu. Prema tome na lijevom ulaznom voznom traku u turbo kružnom raskrižju su moguće 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 21.) što rezultira time da ulazni prometni tok koristi vremenske praznine na oba kružna toka.
- u drugoj situaciji ulazni prometni tok samo presijeca prometni tok na vanjskom traku (situacija 3 na slici 21.) i tada ulazni prometni tok koristi samo vremenske praznine na vanjskom kružnom toku.

Također na slici 21. može se vidjeti predodređenost propusne moći desnog traka na ulazu prikazan kao situacija 1, a ulazni prometni trak na jednotračnom ulazu kao situacija 4.



Slika 38. *Situacije u dvotračnom turbo kružnom raskrižju*

IZVOR: *[3]*

U tablici 3. prikazani su parametri koji se koriste za proračune propusne moći po Hagringovoj metodi.

	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

Tablica 6. *Parametri za proračun propusne moći po Hagringovoj metodi*

IZVOR: *[3]*

6. PROMETNA SIGNALIZACIJA I OPREMA TURBO KRUŽNIH RASKRIŽJA

Specifičnost turbo kružnog raskrižja kao što je prije navedeno jest prometni sustav u kojemu su prometni trakovi fizički odvojeni što znači da vozači prije samog ulaska u raskrižje moraju odabrati odgovarajući prometni trak kako bi izašli na izlazu koji žele. Također, treba dodati i činjenicu da vanjski kružni vozni trak ne omogućava polukružno okretanje pa stoga horizontalna i vertikalna signalizacija moraju biti postavljene prema Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 33/05, 64/05, 155/05, 14/11, 92/19) [3].

6.1. Vertikalna signalizacija

Kružno raskrižje specifičan je tip raskrižja te kao takvo podrazumijeva primjenu odgovarajućih prometnih znakova. Osnovni znakovi kojima se mora opremiti svako kružno raskrižje su:

- najava raskrižja s kružnim tokom prometa,
- križanje s prvenstvom prolaza na ulazu u rotor,
- kružni tok prometa koji se postavljaju u središnjem otoku i
- znak za obavezno obilaženje s desne strane kojim se usmjerava promet na ulaz u raskrižje, a postavlja se na vrhu razdjelnog otoka.



Slika 39. *Raskrižje s kružnim tokom prometa*

IZVOR*: []*



Slika 40. *Raskrižje s cestom koja ima prvenstvo prolaza*

IZVOR: []



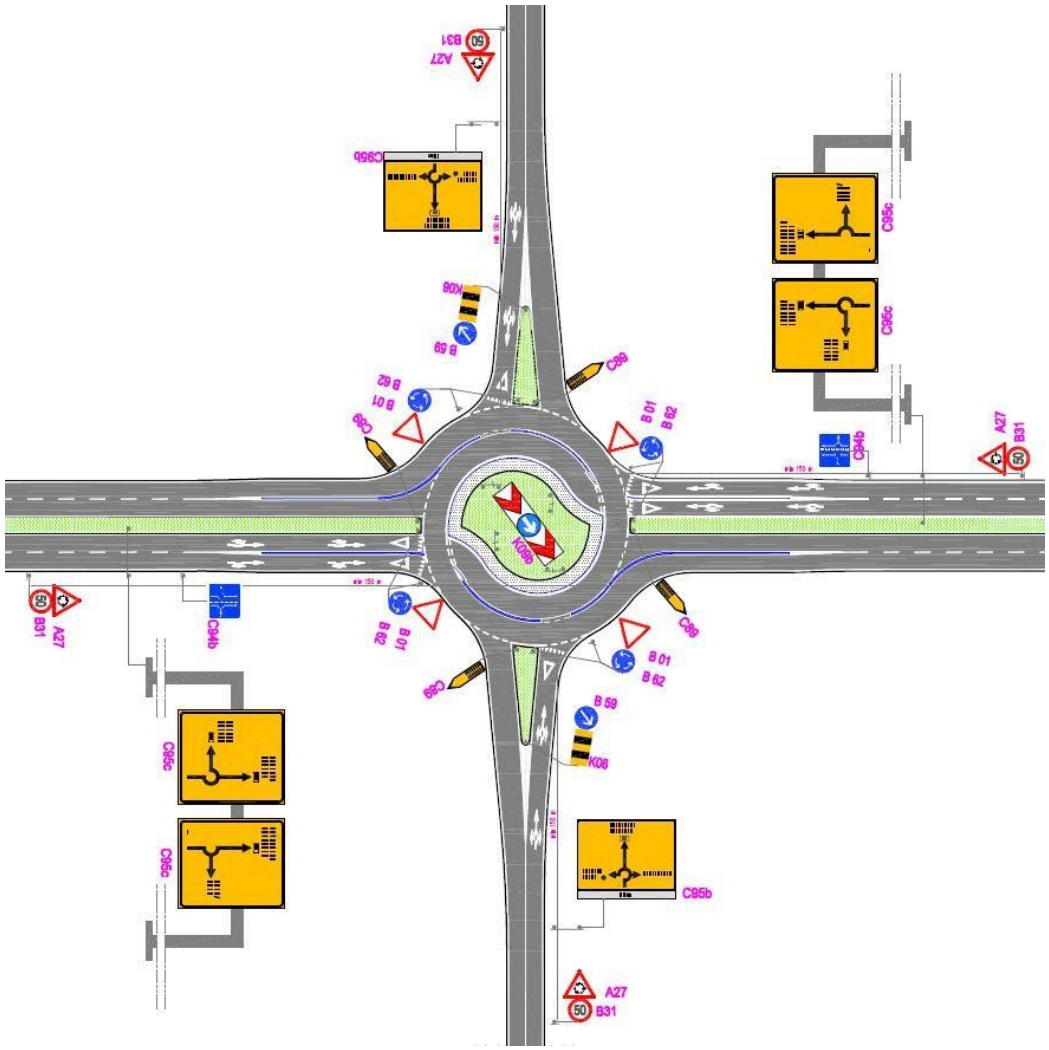
Slika 41. *Kružni tok prometa*

IZVOR: *[]*



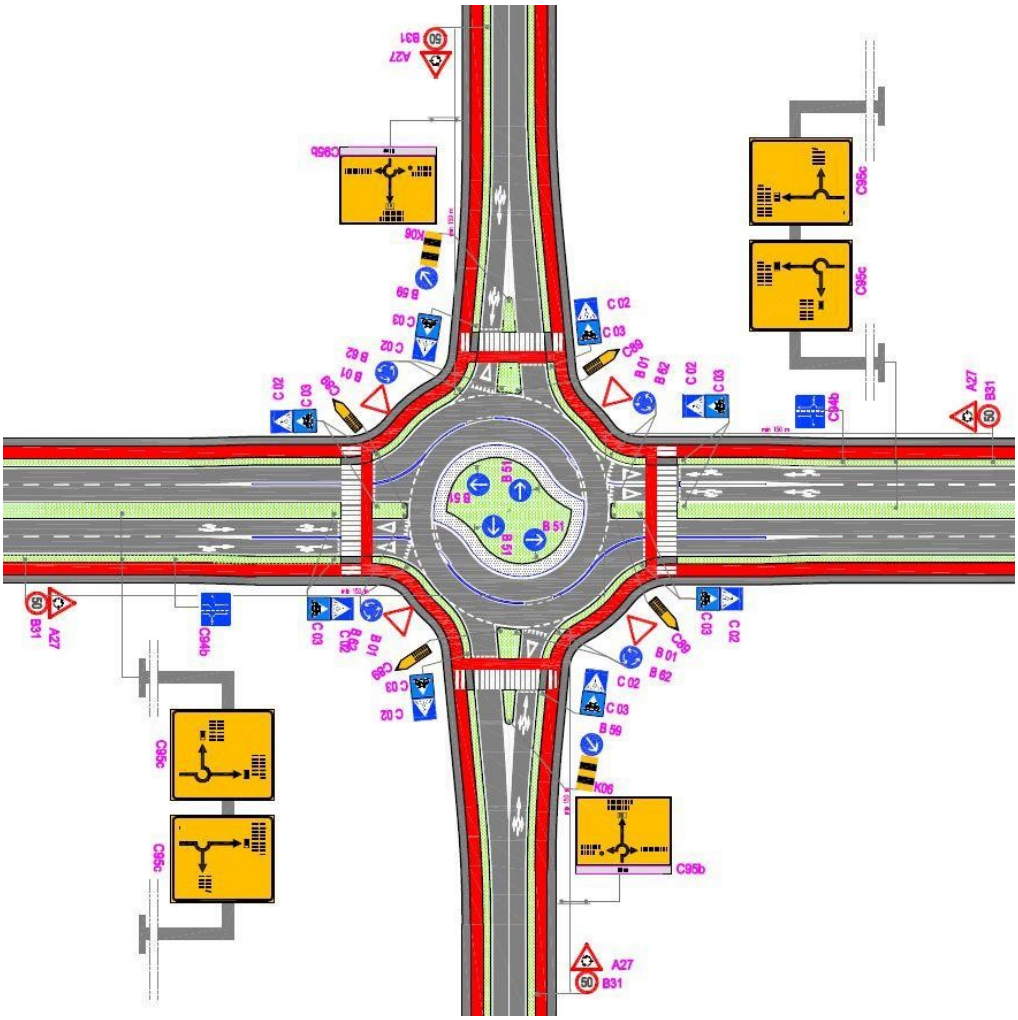
Slika 42. *Obvezno obilaženje s desne strane*

IZVOR: *[]*



Slika 43. *Prometna signalizacija turbo kružnog raskrižja izvan naselja*

IZVOR: *[3]*



Slika 44. *Prometna signalizacija turbo kružnog raskrižja u naselju*

IZVOR: *[3]*

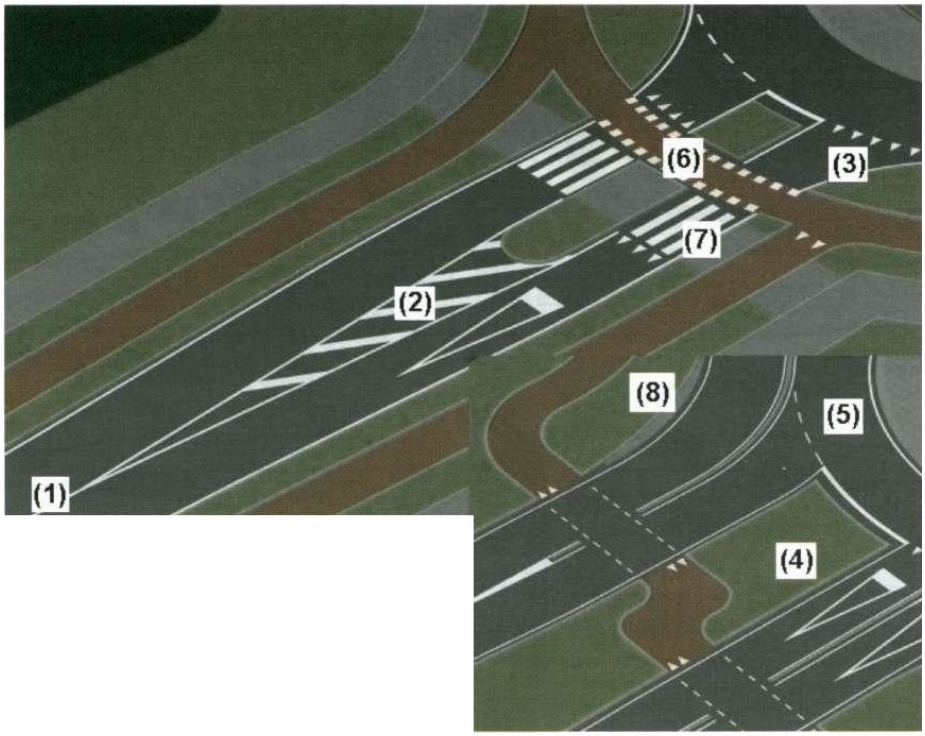
6.2. Horizontalna signalizacija

Horizontalnu signalizaciju čine linije, strelice te specijalne oznake. Na slici 45. može se vidjeti sva potrebna horizontalna signalizacija turbo kružnog raskrižja. Prema tome oznaka (1) predstavlja dužinu pune srednje linije na prilazu trouglasta površina (2) koja se ocrtava pod kutom 45°, a dužina je ovisna o širini razdjelnog otoka. (4) ucrtan znak s prvenstvom prolaza. Na izlazima se preporučuje isprekidana linija koja prati zakrivljenost rotora (5).

Zatim biciklistički prijelazi ako postoje markiraju se „blok linijom“ (6), a pješački prijelaz standardnom „zebrom“ (7).

Rubne linije kružnog raskrižja obilježavaju rubne linije na ulazu u unutarnju traku. Unutarnja traka je od vanjske odvojena izdignutim razdjelnim otokom. Linije su na razmaku

od 10cm od ruba razdjelnog otoka te postoje dvije situacije. Prva ulaz u unutarnju traku na početku te trake i ulaz u već formiranu unutarnju traku [13].



***Slika 45**. Horizontalna signalizacija*

***IZVOR:** [13]*

6.3. Rasvjeta

Kružno raskrižje mora biti odgovarajuće osvijetljeno kako bi se osigurala prometna sigurnost noću. Rasvjeta se projektira i izvodi u skladu s europskom normom EN 13 201 s važećim nacionalnim propisima i tehničkim preporukama međunarodne komisije CIE (International commission on illumination). Kružna raskrižja smatraju se "posebnim mjestima" (conflict zone) i svrstavaju u CE rasvjetne klase (kategorije) ovisno o značaju i rasvjeti prilaznih prometnica za motorni promet (ME klase rasvjete) i veličini raskrižja [3].

6.4. Uređenje turbo kružnog raskrižja

Oblikovanjem okoline turbo kružnog raskrižja moraju se uvažiti estetski i funkcionalni (zimsko održavanje) kriteriji. Sa stajališta prometnog inženjerstva uređenje okolice turbo kružnog raskrižja može znatno usporiti vozača prilikom približavanja kružnom raskrižju [3].

Urbane sredine sadrže posebne vrste raslinja (grmlje, trajno cvijeće, sezonsko cvijeće …) koje zahtijevaju više truda i financijskih sredstava, ruralna okruženja s druge strane prilikom sađenja moraju uvažavati ograničenja koja postavljaju autohtone biljne vrste i obilježje područja [3].

Poželjno je sađenje drveća na ravninskom području u neposrednoj okolici turbo kružnog raskrižja jer se na taj način vozača dodatno upozorava na "događaj koji slijedi", odnosno nailazak na kružno raskrižje [3].

6.5. Uređenje središnjeg otoka

U središnjem se otoku turbo kružnog raskrižja mogu primijeniti fontane, spomenici, skulpture te drugi objekti ako time nije smanjena preglednost (posebno u kružnom kolniku) [3].

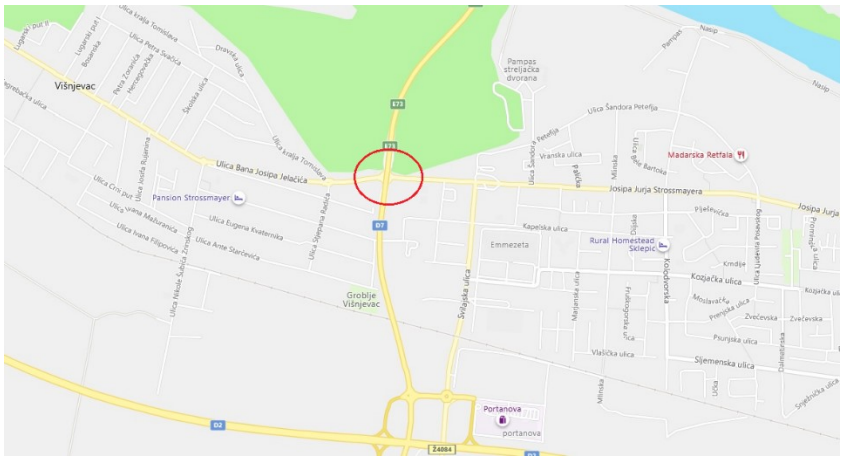
Neprovozni dio središnjeg otoka mora se izvesti kao zemljana kupola, zasaditi grmlje ili izvesti bilo koja druga mjera kojom se sprječava zaslijepljivanje vozača na suprotnim prilaznim cestama noću, ako na središnjem otoku nije primijenjen nikakav sadržaj [3].

7. PRIMJERI PRIMJENE KRUŽNIH RASKRIŽJA U HRVATSKOJ

Na području Republike Hrvatske trenutno postoji osam turbo kružnih raskrižja od čega su četiri na području grada Osijeka dok se ostali nalaze na područjima Slavonskog Broda, Šmrike te grada Pule, no Hrvatska bi trebala dobiti još jedno turbo kružno raskrižje na području grada Rijeke.

- **Osijek - Višnjevac**

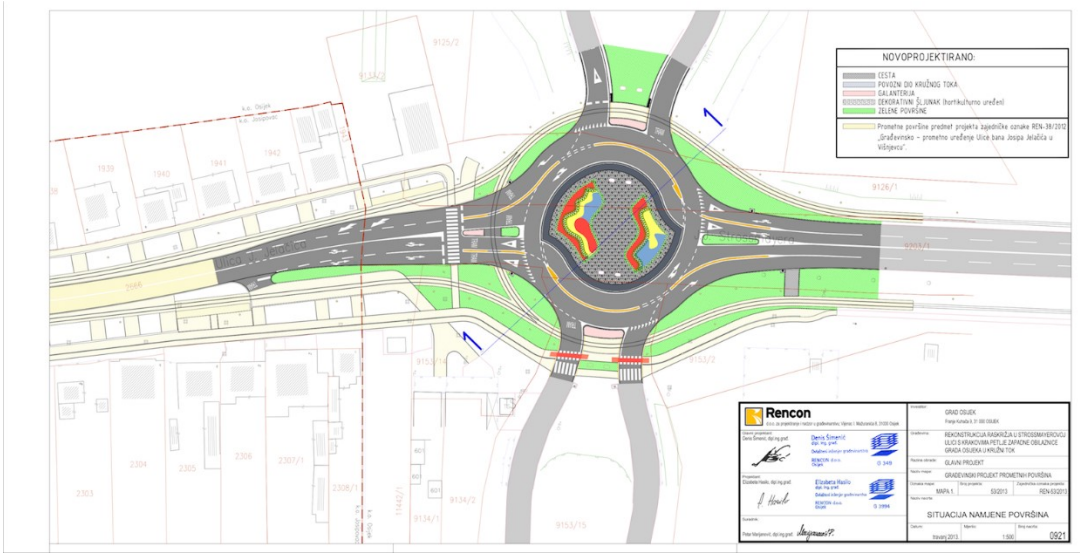
Prvi hrvatski turbo rotor otvoren je 5.9.2014. u Osijeku u investiciji vrijednoj 2,8 milijuna kuna koju su financirali grad Osijek i Hrvatske ceste. Turbo kružno raskrižje nalazi se na ulazu u Višnjevac te mu je osnovni smjer prometovanja istok – zapad s dva priključka. Prvi iz smjera Đakova, a drugi iz smjera Baranje. Kada se iz smjera Osijeka ulazi u Višnjevac te obrnuto, vozači lijevim trakom imaju odvajanje iz Osijeka za Baranju, odnosno iz Višnjevca u smjera Đakova. Jednako je kada se iz smjera Baranje ulazi u Višnjevac odnosno iz Đakova prema centru grada.



Slika 46. *Makro prikaz turbo kružnog raskrižja u Višnjevcu*

IZVOR*: https://www.bing.com/maps; 4.8.2020.*

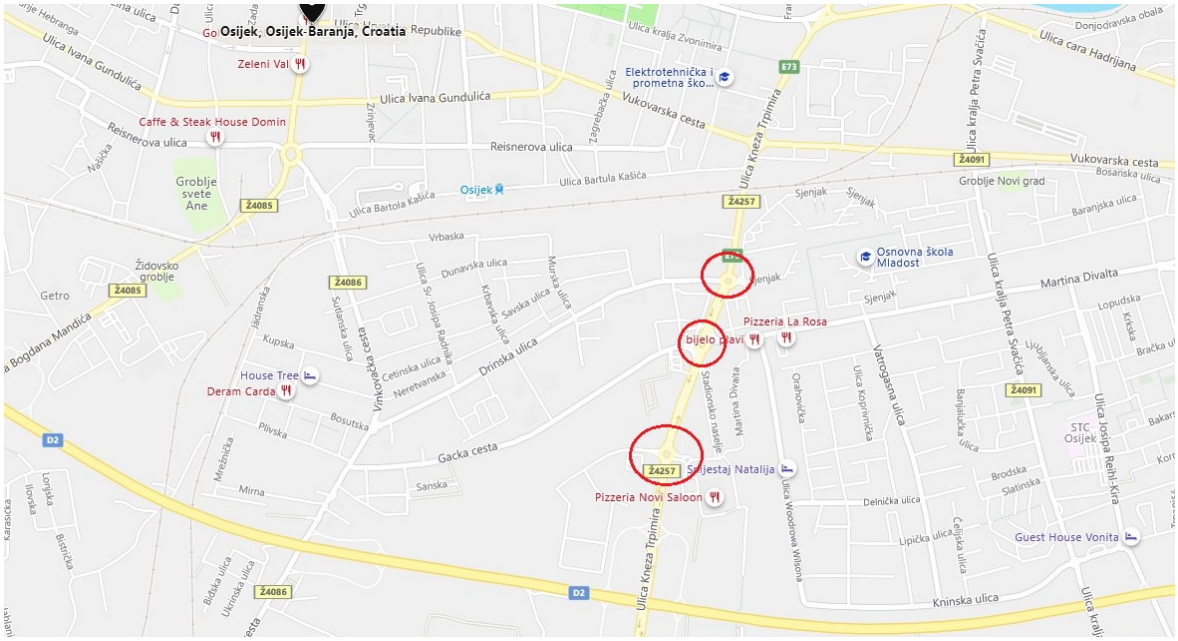
Projektirani kružni tok jajastog je tipa turbo kružnog raskrižja koji na glavnom smjeru ima dva ulazna te dva izlazna vozna traka, a za sporedni smjer po jedan vozni trak na ulazi i na izlazu. Vozni trakovi su prema pravilniku o turbo kružnim raskrižjima razdvojeni spiralnom horizontalnom signalizacijom te fizičkim elementima za razgraničavanje što vozačima omogućuje odabira samo jedne vozne trake prije ulaska u rotor, čime se smanjuje broj konfliktnih točaka [16].



Slika 47*. Glavni projekt turbo kružnog raskrižja u Višnjevcu*

IZVOR: *https://www.skyscrapercity.com; 4.8. 2020.*

Osim turbo kružnog raskrižja u Višnjevcu na području Grada Osijeka nalaze se još tri turbo kružna raskrižja smještena u samom centru grada. Na slici 48. može se vidjeti prikaz makro lokacija raskrižja.



Slika 48. *Marko lokacije turbo kružnih raskrižja u gradu Osijek*

IZVOR: *https://www.bing.com/maps; 4.8.2020.*

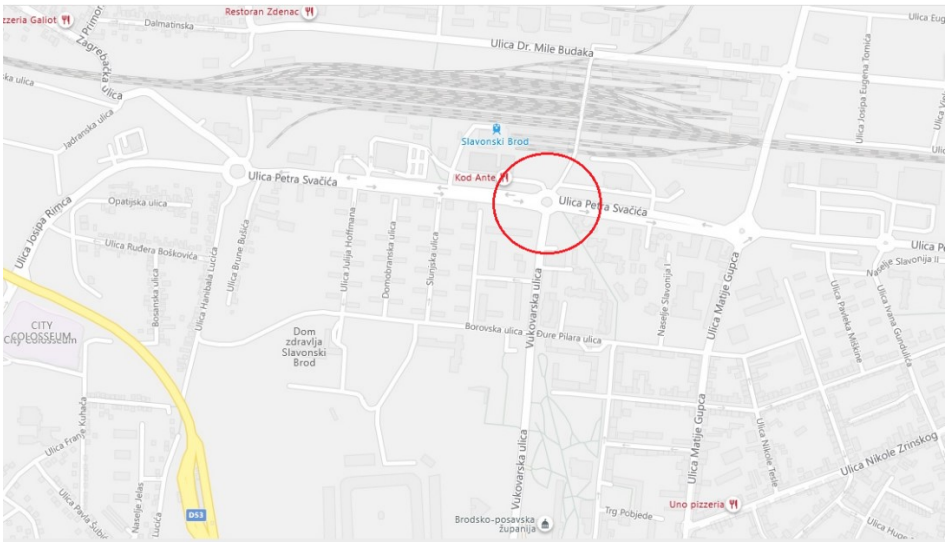


Slika 49. *Glavni projekt turbo kružnih raskrižja u Osijeku*

IZVOR*: https://www.osijek.hr/radovi-na-rekonstrukciji-trpimirove-ulice-na-raskrizju-s-drinskom-ulicom/; 4.8.2020.*

U cilju rasterećenja prometa na najprometnijoj dionici koja je ujedno i južni ulaz u grad Osijek kako za osobna tako i za teretna vozila. Rješenjem se dobio moderan i kvalitetan ulazak u grad koji je godinama preopterećen.

- **Slavonski Brod**

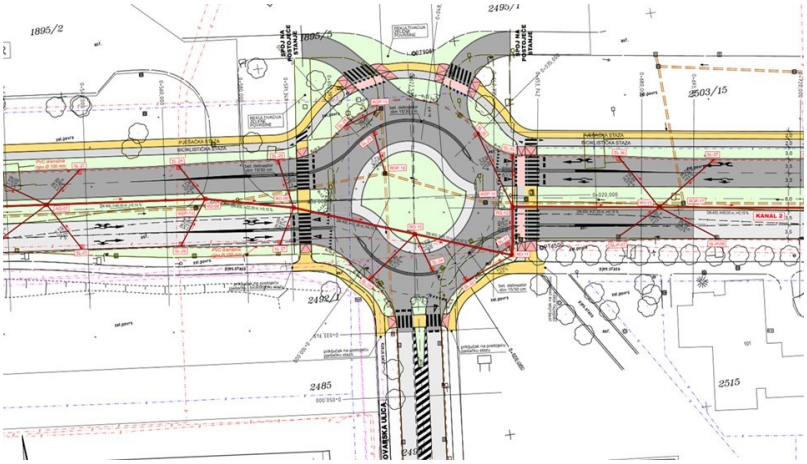


Slika 50. *Makro lokacija turbo kružnog raskrižja u Slavonskom Brodu*

IZVOR: *https://www.bing.com/maps; 4.8.2020.*

Troškovi rekonstrukcije i izgradnja raskrižja u Slavonskom Brodu u iznosu 17.360.000,00 kuna (bez PDV-a) doprinijela je veću protočnost i sigurnost s obzirom na prvobitno semaforizirano trokrako raskrižje. Turbo kružno raskrižje projektirano je kao

dvotračno raskrižje sjevernog i južnog traka Svačićeve ulice na kojeg se priključuje priključna cesta Vukovarske ulice s prvom brodskom avenijom.

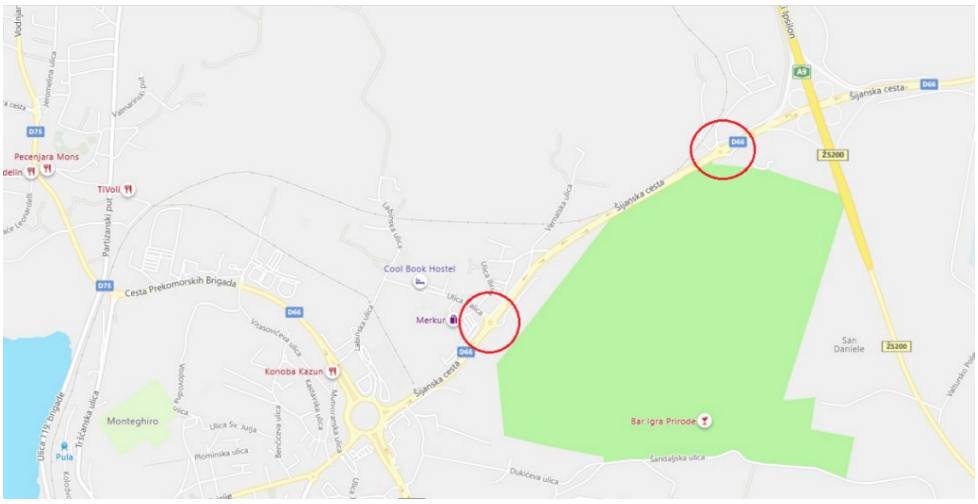


Slika 51. *Turbo kružno raskrižje - Slavonski Brod*

IZVOR:
https://m.sbplus.hr/slavonski_brod/gospodarstvo/gradevinarstvo/na_ovom_mjestu_gradit_ce_prvi_kruzni_tok_s_dvije_vozne_trake.aspx#.XzaPpZcYD4Z; 4.8.2020.

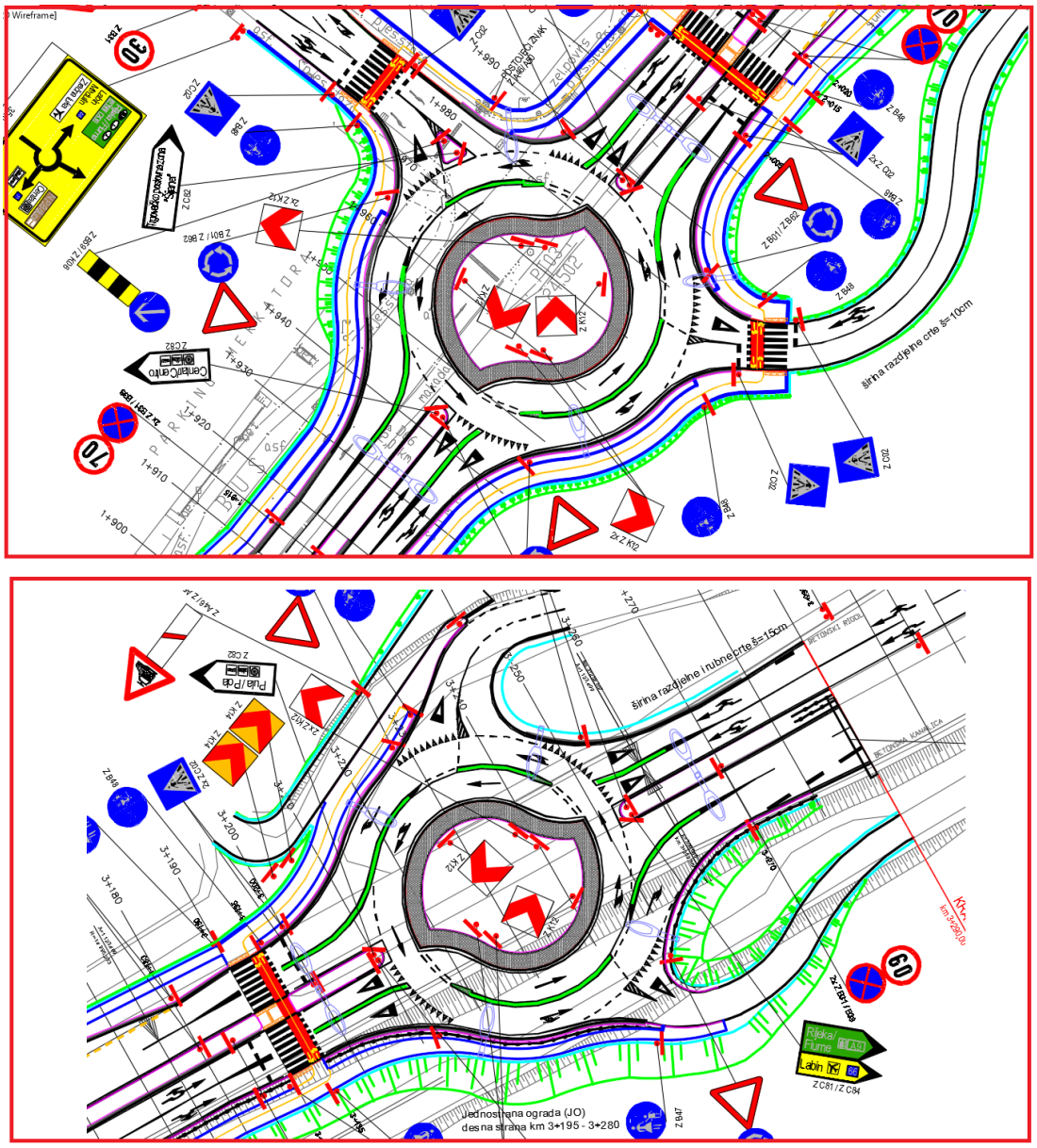
- **Grad Pula**

Na dionici Šijana – Stanacija Peličeti na samom ulasku u grad Pulu izgrađena su dva turbo kružna raskrižja na dionici sjeverne obilaznice državne ceste D66. Ovaj moderan ulaz u grad Pulu dug je kilometar i pol te je pušten u promet u veljači 2015. godine. Rekonstrukcijom se povećao kapacitet prometnice, sigurnost, protočnost križanja, povezuje grad na čvor i trasu istarskog Y te kvalitetnije povezuje zračna luka s gradom.



Slika 52. *Makro lokacija turbo kružnih raskrižja u gradu Pula*

IZVOR: https://www.bing.com/maps; 4.8.2020.



***Slika 53**. Trubo kružna raskrižja u gradu Pula*

IZVOR: [3]

- **Šmrika**

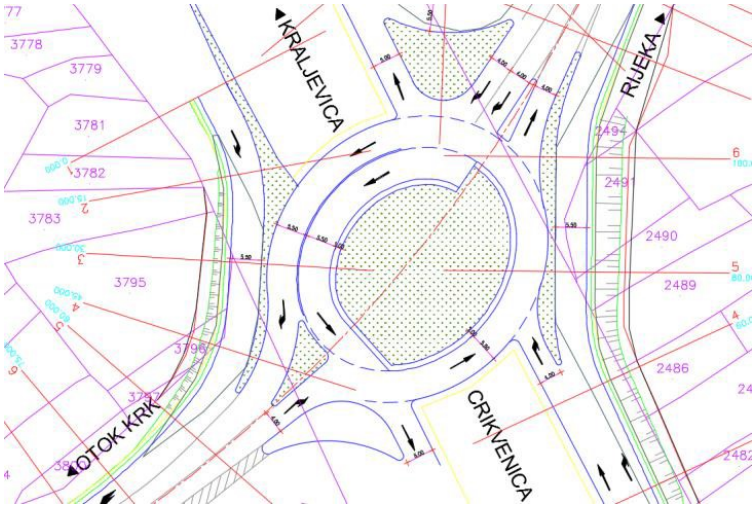
Kružno raskrižje izgrađeno je 2014. godine na spoju Jadranske magistrale, riječke obilaznice i dionice prema Krčkom mostu. Raskrižje predstavlja kombinaciju kružnog raskrižja koji ima izdvojenu prometnu traku za desne skretače iz smjera Otoka Krka za Split te iz smjera Crikvenice za riječku obilaznicu i u samom raskrižju je odvojena prometna traka za smjerove Crikvenica i Otok Krk što bi predstavljalo poluturbo kružno raskrižje.



Slika 54. *Makro lokacija turbo kružnog raskrižja na području Šmrika*

IZVOR: https://www.bing.com/maps; 4.8.2020.

Specifičnost navedenog raskrižja što nije u potpunosti turbo kružno raskrižje jer su prometne trake u kružnom prometnom traku fizičke razdvojene samo za smjerove prema Otoku Krku i Crikvenici stoga vozila koja prilaze iz smjera riječke obilaznice prema raskrižju moraju na vrijeme odabrati odgovarajući prometni trak za navedene smjerove. Iz smjera Otoka Krka i Crikvenice vozila ne moraju odabrati odgovarajući prometni trak zašto što je na prilazu samo jedan kružni prometni trak. Također, vozila koja dolaze iz smjera Kraljevice ne ulaze u kružno raskrižje zato što imaju odvojenu prometnu traku od vozila koja su u kružnom raskrižju.



Slika 55*. Turbo kružno raskrižje Šmrika*

IZVOR: [3]

8. ZAKLJUČAK

Kružna raskrižja postala su učinkovita u rješavanju problema prometnih čvorišta, kako u svijetu tako i kod nas gdje se sve češće susrećemo s rekonstrukcijama klasičnih raskrižja u kružna raskrižja koja su se pokazala kao sigurno prometno rješenje. Ipak, kružna raskrižja zbog većeg broja konfliktnih točaka izazivaju većinski broj prometnih nesreća vezan uz bočne udare te usporednu vožnju koja rezultira nepoštivanjem prednosti prolaska. S toga kao izbor rješenja koji bi zadovoljio sigurnosne elemente i elemente propusne moći, rekonstrukcija postojećih kružnih raskrižja u kružno raskrižje sa spiralnim tokom kružnog kolnika (turbo kružna raskrižja) daje najbolje rezultate jer su prometni trakovi kružnog kolnika međusobno odvojeni nadvišenim rubnjacima. Prema tome, vozači koji ulaze u turbo kružno raskrižje moraju unaprijed u skladu sa svojim smjerom kretanja odabrati odgovarajući prometni trak jer jednom odabrani prometni trak više nije moguće promijeniti. U takvom raskrižju, sa spiralnim tokom prometa od izrazitog važenja jest prometna signalizacija i oprema kojoj treba posvetiti pažnju.

Nizozemska koja je začetnik ovakve vrste rješavanja problema smanjila je broj prometnih nesreća za 50%. Takvo prometno rješenje pokazalo se kao sigurno te zasigurno predstavljaju budućnost rješavanja konfliktnih točaka u izgradnji novih prometnica ili u rekonstrukciji postojećih raskrižja. Turbo kružna raskrižja pogodna su za gradske sredine s brojim mogućnostima uređenja središnjeg dijela otoka.

Nekoliko puta su se konstatirale prednosti turbo kružnih raskrižja u odnosu na tradicionalna klasična raskrižja. Pri tome su se istaknule neke bitne prednosti kao što su: smanjenje brzine, povećanje propusne moći, povećanje sigurnosti, bolje vođenje prometa, bolja preglednost. Također smanjilo bi se i vrijeme putovanja, emisija štetnih plinova bila bi manja kao i s ekonomskog aspekta potrošnja goriva, zbog manje potrebe za vožnjom stani – kreni. Uz sve navedeno mane koje se mogu usporediti s prednostima gotovo su zanemarive. Uvažavajući činjenicu sve većeg broja vozila na cestama Republike Hrvatske za očekivati je da se tendencija izgradnje kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika nastavi što bi pridonijelo poboljšanju kvalitete života.

LITERATURA

[1.] Legac, I.: Raskrižja javnih cesta / *Cestovne prometnice II*, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb 2008.

[2.] Legac, I. i dr.: Gradske prometnice, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2011.

[3.] Tomislav Cvetko i dr: Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, srpanj 2014.

[4.] Google. Preuzeto sa: https://www.google.com/search?q=kruzni+tok [Pristupljeno: 30. Ožujak 2020.]

[5.] Silva, Ana & Vasconcelos, António & Santos, Sílvia. (2014). Moving from Conventional Roundabouts to Turbo-Roundabouts. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 111. 137-146. 10.1016/j.sbspro.2014.01.046.

[6.] Turbo roundabouts. Preuzeto sa: http://www.turboroundabout.com/turbo-roundabout.html

[7.] NZ Transport Agency. Preuzeto sa: https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/research/reports/476/docs/476.pdf [Pristupljeno: 30. Ožujak 2020.]

[8.] TACATC. Preuzeto sa: http://conf.tac-atc.ca/english/annualconference/tac2015/s26/parsons.pdf [Pristupljeno: 30. Ožujak 2020.]

[9.] Murphy, T., The Turbo Roundabout – A First in North America, Transportation Association of Canada (TAC), Ottawa, 2015.

[10.] E-zbornik. Preuzeto sa: https://e-zbornik.gf.sum.ba/images/radovi/e_zbornik_03_01.pdf [Pristupljeno: 30. Ožujak 2020.]

[11.] Batos Silva, A., Santos, S., Gapar, M., Turbo – roundabout use and design,

[12.] Semantic scholar. Preuzeto sa: https://pdfs.semanticscholar.org/19ff/a5f0d0be7b5417bdb20167cbd279b892f917.pdf [Pristupljeno: 30. Ožujak 2020.]

[13.] Dirk De Baan. Preuzeto sa: http://www.dirkdebaan.nl/locaties.html [Pristupljeno: 30. Ožujak 2020.]

[14.] Kenjić, Z., Kružne raskrsnice – rotori, IPSA – Institut Sarajevo, Sarajevo, 2009.

[15.] Hrčak. Srce. Preuzeto sa: https://hrcak.srce.hr [Pristupljeno: 30. Ožujak 2020.]

[16.] Repozitoriji FPZ. Preuzeto sa: https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A1073 [Pristupljeno: 30. Ožujak 2020.]

[17.] Tollazzi, T., Kružna raskrižja, IQ PLUS d.o.o., Kastav, Rijeka, 2007.

[18.] Preuzeto sa: https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/AROUND%20designing_turboroundabouts_anna_grana.pdf [Pristupljeno: 4. kolovoz 2020.]

[19.] Hrvatska znanstvena bibliografija. Preuzeto sa: https://bib.irb.hr/datoteka/962961.Mikuli-Spudi-Katana_LANAK_DKU-2018.pdf [Pristupljeno: 4. kolovoz 2020.]

[20.] Sigurnjak, J.: Analiza i prijedlog rekonstrukcije dvotračnog kružnog raskrižja Rujevica u turbo kružno raskrižje

[21.] Brlek, P., Dadić I., Šoštarić M.: Prometno tehnološko projektiranje, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012., str. 131.

[22.] Tollazzi, T. i sur., Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika na državnim cestama

POPIS SLIKA

Slika 1. Prometne radnje u raskrižju 4
Slika 2. Konfliktne točke u raskrižjima 5
Slika 3. Osnovni elementi urbanog kružnog raskrižja 6
Slika 4. Primjer kružnog raskrižja (RKT) 7
Slika 5.Primjer turbo kružnog raskrižja u Nizozemskoj 9
Slika 6. Oznake glavnih elemenata turbo kružnog raskrižja u naselju 10
Slika 7. Presjeci izvedbenih delineatora 11
Slika 8. Delineator 11
Slika 9. Izvedba delinatora - "špica" 12
Slika 10. Oznake glavnih elemenata turbo kružnog raskrižja izvan naselja 13
Slika 11. Prikaz turbo kružnih raskrižja u Europi 14
Slika 12. Načini ulaska u turbo kružno raskrižje 16
Slika 13. Standardni tip turbo kružnog raskrižja 17
Slika 14. Jajolik tip turbo kružnog raskrižja 18
Slika 15. Koljenasti tip turbo kružnog raskrižja 19
Slika 16. Rastegnuti koljenasti tip turbo kružnog raskrižja 19
Slika 17. Spiralno turbo kružno raskrižje 20
Slika 18. Turbina turbo kružno raskrižje 21
Slika 19. Konfliktne točke u turbo kružnom raskrižju s dvotračnim ulazima i s po jednim parom jednotračnih i dvotračnih izlaza 23
Slika 20. Osnovni elementi kružnog raskrižja 26
Slika 21. Polumjeri turbo kružnog raskrižja 28
Slika 22. Elementi i dimenzije standardnog turbo kružnog raskrižja 29
Slika 23. Polumjeri ulaznih i izlaznih krivina 30
Slika 24. Udaljenost između vanjskih i unutarnjih točaka translacijske osovine mini turbo kružnog raskrižja 31
Slika 25. Određivanje položaja središta kružnih lukova 32
Slika 26. Oblikovanje turbo kružnog raskrižja pomoću "turbo bloka" 32
Slika 27. Pravilan položaj translacijskih točaka 33
Slika 28. Provjera prolazne brzine i vozne linije kroz kružno raskrižje 34
Slika 29. Provjera brzine prolaza kroz turbo kružno raskrižje 36

Slika 30. Dijelovi središnjeg otoka turbo kružnog raskrižja 37
Slika 31. Razdjelni otok trokutastog oblik 38
Slika 32. Središnji razdjelni otok kapljastog oblika 39
Slika 33. Razdvajanje ulaznih i izlaznih prometnih trakova razdjelnim otocima na ulazima/izlazima 40
Slika 34. Smicanje prijelaza za bicikliste i pješake između ulaza i izlaza 40
Slika 35. Trapezna platforma na području prijelaza za pješake i bicikliste 41
Slika 36. Elementi "špice" 43
Slika 37. Mjerodavna konfliktna točka "x" za određivanje propusne moći kružnog raskrižja 48
Slika 38. Situacije u dvotračnom turbo kružnom raskrižju 54
Slika 39. Raskrižje s kružnim tokom prometa 55
Slika 40. Raskrižje s cestom koja ima prvenstvo prolaza 55
Slika 41. Kružni tok prometa 56
Slika 42. Obvezno obilaženje s desne strane 56
Slika 43. Prometna signalizacija turbo kružnog raskrižja izvan naselja 56
Slika 44. Prometna signalizacija turbo kružnog raskrižja u naselju 57
Slika 45. Horizontalna signalizacija 58
Slika 46. Makro prikaz turbo kružnog raskrižja u Višnjevcu 60
Slika 47. Glavni projekt turbo kružnog raskrižja u Višnjevcu 61
Slika 48. Marko lokacije turbo kružnih raskrižja u gradu Osijek 61
Slika 49. Glavni projekt turbo kružnih raskrižja u Osijeku 62
Slika 50. Makro lokacija turbo kružnog raskrižja u Slavonskom Brodu 62
Slika 51. Turbo kružno raskrižje - Slavonski Brod 63
Slika 52. Makro lokacija turbo kružnih raskrižja u gradu Pula 63
Slika 53. Trubo kružna raskrižja u gradu Pula 64
Slika 54. Makro lokacija turbo kružnog raskrižja na području Šmrika 65
Slika 55. Turbo kružno raskrižje Šmrika 65

POPIS TABLICA

Tablica 1. Broj turbo kružnih raskrižja prema državama 14
Tablica 2. Određivanje razine usluge na temelju prosječnog vremena kašnjenja 24
Tablica 3. Preporučene dimenzije turbo kružnog raskrižja u ovisnosti o njegovoj veličini.... 27
Tablica 4. Dimenzije turbo kružnog raskrižja standardne veličine 28
Tablica 5. Polumjeri "r" turbo kružnog raskrižja mini veličine 29
Tablica 6. Parametri za proračun propusne moći po Hagringovoj metodi 54

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom **Prednosti i nedostaci primjene kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 15.9.2020

(potpis)