

Turbo kružna raskrsnica – Alternativa klasičnoj dvotračnoj kružnoj raskrsnici

Teodora Popović^a, Biljana Ivanović^a

^a Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet

PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.69.04.03

Stručni rad

Primljen: 15.09.2023.

Prihvaćen: 06.10.2023.

Korespondent autor:

tea07popovic@gmail.com

Ključne riječi:

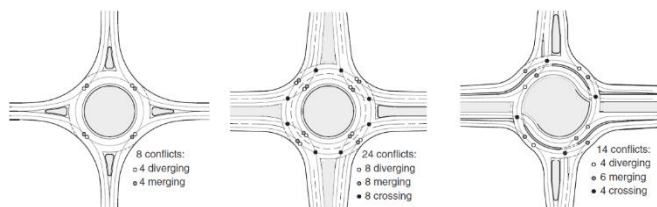
*Turbo kružna raskrsnica,
Nivo usluge,
Kapacitet,
Bezbjednost*

REZIME

Saobraćajna preopterećenost i upitna bezbjednost dvotračnih kružnih raskrsnica predstavljaju dva opravdana kriterijuma za uvođenje turbo kružnih raskrsnica. Povećanje kapaciteta, koje ima za posljedicu i povećanje nivoa usluge, predstavlja pozitivan aspekt ovog alternativnog tipa kružne raskrsnice. Takođe, smanjen broj konfliktnih i kolizionih tačaka na izlazima i preplitanjima, kod turbo kružne raskrsnice povećava bezbjednost, u odnosu na klasičnu dvotračnu raskrsnicu. Pomenute dvije prednosti opravdavaju potrebu za poboljšanjem postojećih preopterećenih kružnih raskrsnica. Shodno tome, predmet ovog rada je rekonstrukcija postojeće dvotračne kružne raskrsnice sa dva ulaza i izlaza u Podgorici, na ukrštanju ulica Josipa Broza Tita i V Proleterske brigade, u turbo kružnu raskrsnicu.

1. Uvod

Nakon izgradnje jednotračnih kružnih raskrsnica se kapacitet pokušao udvostručiti dodatkom još jedne saobraćajne trake u kružnom kolovozu. Vremenom se pokazalo da uvođenje dvotračnih kružnih raskrsnica nema za posljedicu stopostotno uvećanje kapaciteta, dok je bezbjednost zbog povećanog broja potencijalnih konflikata postala ugrožena [3]. Naime, glavna prednost jednotračnih kružnih raskrsnica u odnosu na standardne raskrsnice se ogledala u eliminaciji konfliktnih tačaka. U odnosu na četvorokraku raskrsnicu, eliminisane su 4 konfliktne tačke ulivanja, izlivanja, kao i sve konfliktne tačke presijecanja, čime se ukupan broj konfliktnih tačaka sa 32 smanjuje na 8.



Slika 1. Broj konfliktnih tačaka na klasičnoj jednotračnoj, dvotračnoj i turbo kružnoj raskrsnici
Izvor: (Campisi et al., 2020)

U slučaju dvotračne kružne raskrsnice se broj konfliktnih tačaka povećava za 8 tačaka presijecanja. Iako konkretan broj konfliktnih tačaka zavisi od broja traka na ulazima i izlazima, realnost nas ne ograničava

samo na ove kolizione tačke, već su problematične i potencijalne zone konfliktnih tačaka jer nema određenih mjesta i mjera kojima su vozači prinuđeni da ostanu ili promijene traku u kružnom toku [3]. Posebno su nebezbedne dvotračne kružne raskrsnice sa dva ulaza i izlaza (24 konfliktne tačke). S tim u vezi, dokazano je da je dodatna traka u kružnom toku povećala kapacitet samo za oko 30% [3]. Ovi podaci pokazuju nedovoljno poboljšanje kapaciteta s obzirom na značajno manju bezbjednost u odnosu na jednotračne kružne raskrsnice.

Osim toga, uticaj na životnu sredinu je još jedan aspekt koji treba biti na spisku prioriteta pri odabiru i projektovanju odgovarajućih raskrsnica, pogotovo u urbanim područjima, kao što je Podgorica. Ovaj problem umnogome dobija na značaju ako uzmemo u obzir porast broja stanovnika i nesrazmjerni porast stepena individualne motorizacije.

2. Turbo kružne raskrsnice – Alternativa klasičnim dvotračnim kružnim raskrsnicama

Negativni efekti dvotračnih kružnih raskrsnica se prevazilaze uvođenjem alternativnih kružnih raskrsnica, poznatih kao turbo kružne raskrsnice tj. raskrsnice sa spiralnim tokom vožnje. Fizičkim barijerama (delineatorima) prije ulaska ali i u samom kružnom toku je jasno određeno kojom trakom se vozilo kreće od trenutka kada uđe u kružni tok, sve do njegovog napuštanja.

Profesor L.G.H. Fortuijn je prvi predstavio turbo kružne raskrsnice kasnih 90-ih godina, koje su u posljednje dvije decenije postale popularne širom Evrope, kao i u Americi. Prva turbo kružna raskrsnica je izgrađena u Holandiji, gdje je i razvijena. U ovoj državi je izgradnja klasičnih dvotračnih kružnih raskrsnica čak i zabranjena.

Danas postoji oko 700 izvedenih turbo kružnih raskrsnica na svijetu, od čega 414 u Holandiji. Na Balkanu prednjači Hrvatska, koja je izgradila 9, a Bosna i Hercegovina jednu raskrsnicu sa spiralnim tokom vožnje. Takođe, u Srbiji (u Novom Sadu, na raskrsnici Bulevara cara Lazara i Fruškogorske ulice) je izgrađena. Što se tiče zemalja u okruženju, Slovenija prednjači u njihovoj igradnji (17 turbo kružnih raskrsnica).

Glavna uloga i razlog nastanka turbo kružnih raskrsnica jeste rješavanje konflikata na ulasku i izlasku iz dvotračne kružne raskrsnice, kao i preplitanje u okviru samog kružnog toka fizičkim razdvajanjem traka. Samim tim se ivičnjak (delineator) postavlja kao njen najbitniji element, zbog čega vozači moraju da izaberu odgovarajuću traku prije samog ulaza u raskrsnicu.



Slika 2. Delineator (ivichnjak)

Izvor: (Građevinski fakultet sveučilišta u rijeci, 2014)

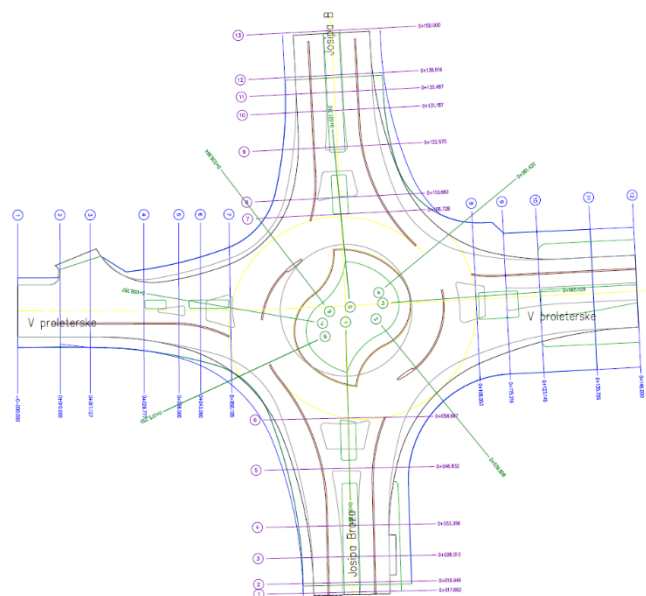
Povećan kapacitet je očigledna prednost turbo kružnih raskrsnica. Naime, spiralni tok vožnje, prouzrokovan geometrijskom formom raskrsnice, kao i fizičkim razdvajanjem saobraćajnih traka, kako je prethodno pomenuto, i manjim vremenskim gubicima, povećava kapacitet.

Kako vozači imaju uži prostor za vožnju zbog delineatora i horizontalnih spiralnih oznaka na kolovozu, manje opasnih manevara garantuje sporiju vožnju ne samo za motorizovane, već i za nemotorizovane učesnike u saobraćaju.

3. Poređenje klasične dvotračne kružne raskrsnice i novoprojektovane turbo kružne raskrsnice

Na slici 3 je prikazan situacioni plan rekonstrukcije predmetne raskrsnice. Poređenje sa aspekta bezbjednosti je izvršeno na osnovu provjere brzine vožnje i broja konfliktnih tačaka, kako između motorizovanih, tako i između motorizovanih i nemotorizovanih učesnika u saobraćaju.

Poređenje je takođe sprovedeno sa aspekta nivoa usluge. Analiza predmetnih tipova kružne raskrsnice je izvršena na osnovu modela koji su zasnovani na teoriji protoka u saobraćajnom toku. Nakon određivanja kapaciteta, definisane su prosječne vrijednosti vremenskih gubitaka i dužine reda vozila prema opštim formulama.



Slika 3. Situacioni plan rekonstrukcije klasične dvotračne kružne raskrsnice (sive linije) u turbo kružnu raskrsnicu

3.1. Brzina vožnje

Za potrebe poređenja brzine vožnje je korišćena metoda definisanja voznih linija [2], gdje je brzina dobijena na osnovu sljedeće formule:

$$v = 7.4 \cdot \sqrt{R} \quad (1)$$

R je radijus vozne linije koji zavisi od dva elementa: U (zakrivljenje – razdaljina između ivice središnjeg saobraćajnog ostrva (odnosno ivice delineatora) i desne ivice kolovoza na izlazu (mjereno na početku krivine) i L (dužina između početka krivine na ulazu i završetka krivine na izlazu) [2]. Radijus krivine se izračunava prema sljedećoj jednačini:

$$R = \frac{0.25 \cdot L^2 + 0.5 \cdot (U + 2)^2}{U + 2} \quad (2)$$

Za postojeću raskrnicu se mogu formirati 4 vozne linije, dok se za turbo raskrnicu definiše njih 12. Dobijene vrijednosti brzina vožnje voznim linijama su prikazane u sljedećim tabelama:

Tabela 1. Brzina vožnje u klasičnoj dvotračnoj kružnoj raskrsnici

Vozna linija	v (km/h)
1	55
2	59.80
3	60
4	51.24

Tabela 2. Brzina vožnje u turbo kružnoj raskrsnici

Vozna linija	v (km/h)
1	45.48
2	47.25
3	53.56
4	43.30
5	44.26
6	43.96
7	49
8	45
9	51.80
10	52
11	47.96
12	46.50

Dakle, brzina prolaska kroz predmetnu dvotračnu kružnu raskrnicu se nalazi u intervalu od 51 do 60 km/h. Brzina prolaska kroz turbo kružnu raskrnicu ne prelazi vrijednost od 54 km/h. Kako se brzina vožnje u turbo kružnoj raskrsnici kreće od 43 do 54 km/h, ovaj tip predstavlja bezbjednije rješenje od klasične dvotračne kružne raskrsnice.

3.2. Broj konfliktnih tačaka

Broj konfliktnih tačaka između motorizovanih učesnika u saobraćaju na klasičnim dvotračnim kružnim raskrsnicama sa dvotračnim ulazima i izlazima je 24, a na standardnoj turbo kružnoj raskrsnici taj broj iznosi 14.

Broj konfliktnih tačaka između motorizovanih i nemotorizovanih učesnika u saobraćaju na dvotračnoj kružnoj raskrsnici iznosi 8. Kako ovaj broj zavisi od broja traka na izlazima, turbo kružna raskrsnica ima dvije konfliktne tačke manje, jer su izlazi na sporednom pravcu jednotračni.

Dakle, kriterijum koji uzima u obzir broj konfliktnih tačaka daje neosporivu prednost turbo kružnim raskrsnicama.

3.2. Definisani nivoi usluge

Kriterijum određivanja nivoa usluge je usvojen prema HCM-u [4], gdje je poređenje vršeno na osnovu vremenskih gubitaka i stepena zasićenosti (odnosa intenziteta i kapaciteta trake), kako je prikazano u sljedećoj tabeli.

Tabela 3. Kriterijum određivanja nivoa usluge

Prosječno vrijeme čekanja (s/veh)	Stepen zasićenosti (I/C)	
	I/C ≤ 1.0	I/C ≥ 1.0
0-10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F

Izvor: (Transportation Research Board, 2016)

Kapacitet na ulazima na postojećoj raskrsnici je utvrđen pomoću kalibrirane austrijske metode, koja daje sasvim zadovoljavajuće rezultate za male i srednje kružne raskrsnice.

Modifikovana Bovijeva jednačina je korišćena za računanje kapaciteta svake saobraćajne trake posebno na turbo kružnoj raskrsnici. Rezultati su prikazani u sljedećim tabelama.

Tabela 4. Uporedne vrijednosti stepena zasićenosti

Traka	Klasična dvotračna kružna raskrsnica		Turbo kružna raskrsnica	
	C (voz/h)	I/C	C (veh/h)	I/C
1 (i)	1067	0.51	1038	0.26
1 (o)			1260	0.22
2 (i)	1038	0.51	1072	0.32
2 (o)			1391	0.13
3 (i)	983	0.56	1036	0.27
3 (o)			1306	0.20
4 (i)	1042	0.50	1032	0.39
4 (o)			1389	0.09

Tabela 5. Uporedne vrijednosti prosječnih vremenskih gubitaka (s/voz)

Traka	Klasična dvotračna kružna raskrsnica	Turbo kružna raskrsnica
1 (i)	6.96	4.71
1 (o)		2.86
2 (i)	7.20	4.96
2 (o)		2.97
3 (i)	8.31	4.79
3 (o)		3.46
4 (i)	6.96	5.68
4 (o)		2.85

Tabela 6. Uoredne vrijednosti prosječnog reda vozila (voz)

Traka	Klasična dvotračna kružna raskrsnica	Turbo kružna raskrsnica
1 (i)	2	1
1 (o)		1
2 (i)	2	1
2 (o)		1
3 (i)	2	1
3 (o)		1
4 (i)	2	2
4 (o)		1

Kao što se vidi, obje raskrsnice zadovoljavaju kriterijume za najveći nivo usluge (A). Stepен zasićenosti ne prelazi prihvatljivu granicu od 0.8, a просежно vrijeme čekanja (vremenski gubici) je мање od 10 sekundi.

Međutim, turbo kružnu raskrsnicu karakterišu значајно мање vrijednosti stepena zasićenosti (0.09-0.39) za разлику od klasične dvotračne kružne raskrsnice (0.50-0.56).

Takođe, vozači na postojećoj raskrsnici čekaju da se uključe u kružni tok ne duže od 8.31 sekundi, dok je maksimalno просежно vrijeme čekanja na turbo kružnoj raskrsnici 5.68 sekundi.

Pored toga, просежан red vozila koji чека da se uključi u turbo kružnu raskrsnicu (1 vozilo) je мањи od reda vozila na klasičnoj dvotračnoj kružnoj raskrsnici.

4. Zaključak

Limitacija istraživanja se može ogledati u laičkom pristupu određivanja parametara za predmetno poređenje. Naime, za potrebe definisanja nivoа usluge, odnosno kapaciteta, pretpostavljene su vrijednosti konfliktних intenziteta i intenziteta na ulazu u postojeću i projektovanu kružnu raskrsnicu. Međutim, identičnost pretpostavljenih vrijednosti daje realnu sliku o uporednim kapacitetima, iako нису vršena mjerenja na predmetnoj lokaciji.

Nakon poređenja brzine vožnje, kao i broja konfliktних tačaka, rekonstrukcija klasične dvotračne kružne raskrsnice na predmetnoj lokaciji u turbo kružnu raskrsnicu predstavlja sasvim opravdano rješenje. Nadalje, uzimajući u obzir nivo usluge, posljedice pomenute rekonstrukcije bi bile: povećanje protoka i smanjenje čekanja u redu prilikom ulaska u raskrsnicu. Kako turbo kružna raskrsnica ima dokazano bolje aspekte saobraćajne bezbjednosti i protoka, njena izgradnja bi izazvala smirenje saobraćaja i сигурније окружење za sve učesnike u saobraćaju.

Budući pravci istraživanja bi trebali biti usmjereni na provjeru bezbjednosti i kapaciteta na ostalim postojećim dvotračnim kružnim raskrsnicama u Podgorici, i mogućnosti njihove rekonstrukcije, gdje bi se, zajedno sa dobijenim rezultatima ovog istraživanja, podaci mogli primijeniti u praktične svrhe.

References

- [1] Campisi, T., Canale, A., Deluka-Tibljáš, A., Rencelj, M., Šurdonja, S., Tesoriere, G. (2020). Cycling traffic at turbo roundabouts: some considerations related to cyclist mobility and safety. *Transportation Research Procedia* [online], vol. 45, pp. 627-634. Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.048> [28 novembar 2023]
- [2] Građevinski fakultet sveučilišta u Rijeci. (2014). Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika na državnim cestama. Rijeka: Hrvatske ceste d.o.o, Zagreb.
- [3] Tollazzi, T. (2015). *Alternative types of roundabouts: An Informational Guide*. Švajcarska: Springer Cham.
- [4] Transportation Research Board. (2016). Volume 3: Interrupted flow., *Highway Capacity Manual 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. Vašington: The National Academic Press.

Turbo roundabout – an alternative to classic two-lane roundabout

Teodora Popović, MSc. Civil Eng.

University of Montenegro, Faculty of Civil Engineering

Dr Biljana Ivanović, Associate Professor

University of Montenegro, Faculty of Civil Engineering

Abstract: Traffic congestion and the questionable safety of two-lane roundabouts are two justified criteria for the introduction of turbo roundabouts. The increase in capacity, which also results in an increase in the level of service, is a positive aspect of this alternative type of roundabout. Also, reduced number of conflict and collision points at the exits and intersections at the turbo roundabout as well as lower vehicle speed, increase safety, compared to classic two-lane intersection. The mentioned advantages justify the need for improving existing overloaded roundabouts. Therefore, the subject of this article is the reconstruction of the existing two-lane roundabout with two entrances and exits, in Podgorica, at the intersection of "Josipa Broza Tita Street" and "V Proleterske brigade Street", into a turbo roundabout.

Keywords: *turbo roundabouts, LOS, capacity, safety*