

Kružni tokovi

Vukušić, Dino

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:596144>

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

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



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I
GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD
KRUŽNI TOKOVI

STUDENT: Dino Vukušić

MENTOR: prof.dr.sc Dražen Cvitanić

Split, 2014.

MODERNI KRUŽNI TOKOVI

Sažetak:

Tradicionalni kružni tokovi gradili su se od 1930. do 1960. godine. Zbog velikog zauzeća prostora, a male sigurnosti i kapaciteta, gube na popularnosti i prestaju se graditi. Desetak godina kasnije javlja se ideja o uvođenju kružnih raskrižja, ali značajno manjih dimenzija, u vidu mini, jednotračnih i dvotračnih kružnih tokova. Mini kružni tokovi su postali dosta popularni u urbanim područjima za kapacitete do 20 000 voz/dan. Jednotračni kružni tokovi su se pokazali kao najsigurniji tip raskrižja za kapacitete do 25 000 voz/dan. Jednotračnih kružnih tokova u proteklih 20 godina je izgrađeno između 3000-4000 u svijetu. Prikladni su kako za urbana tako i za ruralna područja, i imaju najbolji omjer zauzeća prostora i kapaciteta. Dvotračni kružni tokovi su prikladni za izvangradska i ruralna područja. Sigurnost je svega nešto manja nego kod jednotračnih kružnih tokova. Najnoviji tip kružnih tokova, spiralnog oblika, su turbo kružni tokovi. Zbog svoje velike sigurnost i kapaciteta, i malog zauzimanja prostora s obzirom na kapacitet, predstavljaju budućnost kružnih tokova. Izumio ih je Nizozemac dr. Bertus Fortuijn. Za njih je karakterističan promjenjiv broj voznih trakova unutar i nemogućnost presijecanja kružnih trakova unutar kružnog toka. Kapacitet kružnih tokova proračunava se pomoću teorije prihvatljivih vremenskih praznina. Kapacitet kružnog toka ovisi o količini prometa unutar kružnog toka, geometrijskim parametrima (broj trakova u kružnom toku i broj ulaznih trakova) i vremenskim parametrima (kritična vremenska praznina, vrijeme slijeda i minimalna vremenska praznina između vozila unutar kružnog toka). Estetsko uređenje kružnog toka je izrazito bitno zbog uklapanje u okoliš i općenito zbog prihvaćanja od strane stanovništva. Središnji otok kružnog toka može se urediti arhitekturno, hortikulturalno i na nekakve posebne načine. S vremenom su se provela brojna istraživanja koja su omogućila niz sofisticiranih pravila za kružne tokove. Kvaliteta kružnih tokova s vremenom sve više napreduje, a razina sigurnosti i kvaliteta prometovanja se sve više povećavaju.

Ključne riječi: kružni tok, mini kružni tok, jednotračni kružni tok, dvotračni kružni tok, turbo kružni tok, sigurnost, kapacitet, zauzeće prostora, prometna pravila, uređenje

MODERN ROUNDABOUTS

Abstract:

Traditional roundabouts were built from 1930 to 1960. Due to the large occupation area, and a small safety and capacity, they are losing popularity and cease to be built. Ten years later, there is the idea of introducing roundabouts, but significantly smaller, in the form of mini, one-lane and two-lane roundabouts. Mini roundabouts have become quite popular in urban areas in capacities up to 20 000 vehicles / day. One-lane roundabouts have proven to be the safest type of intersection for capacity to 25,000 vehicles / day. One-lane roundabouts in the past 20 years has been built between 3000-4000 in the world. They are suitable for both urban and rural areas, and have the best ratio of occupancy and capacity. Two-lane roundabouts are suitable for rural areas. Security is only slightly smaller than the one-lane roundabouts. The latest type of roundabouts, spiral type, are turbo roundabouts. Because of its high security and capacity, and small occupying space with respect to capacity, represent the future of roundabouts. Invented by Dutchman dr. Bertus Fortuijn. Variable number of lanes within the roundabout, and the impossibility of cutting circular lanes within the roundabout, are characteristics of turbo roundabouts. Capacity of roundabouts are calculated by using the theory of acceptable time gaps. Capacity of roundabout depends on the amount of traffic within the roundabout, geometric parameters (number of lanes in the roundabout and the number of entry lanes) and time parameters (the critical time gap, the time-course and the minimum time gap between vehicles within the roundabout). Aesthetic arrangement of the roundabout is extremely important due to environmental compatibility and general acceptance by the population. Central island of the roundabout can be edited architectural, horticultural and some special ways. Numerous studies have enabled a number of sophisticated rules for roundabouts. With time, roundabouts will become more quality and safe.

Keywords: roundabout, mini roundabout, one-lane roundabout, two-lane roundabout, turbo roundabout, safety, capacity, traffic rules, occupation area, aesthetic arrangement

Sadržaj:

Uvod.....	6
1. OSOBINE I PODJELA KRUŽNIH TOKOVA.....	7
1.1. Posebnosti kružnih tokova.....	7
1.2. Razlike kružnih tokova u odnosu na ostale tipove kružnih raskrižja.....	8
1.3. Prednosti i nedostaci kružnih tokova.....	12
1.4. Osnovni elementi kružnih tokova.....	13
1.5. Osnovni geometrijski elementi kružnih tokova.....	15
1.6. Podjela kružnih tokova.....	17
2. MODERNI KRUŽNI TOKOVI.....	19
2.1. Uvod.....	19
2.2. Prometna pravila.....	21
2.3. Karakteristike modernih kružnih tokova.....	22
2.3.1. Mini kružni tokovi.....	23
2.3.2. Jednotračni kružni tokovi.....	25
2.3.3. Dvotračni kružni tokovi.....	34
2.3.4. Turbo kružni tokovi.....	36
2.4. Kapacitet i uređenje.....	40
2.4.1. Kapacitet.....	40
2.4.2. Uređenje.....	44
3. ZAKLJUČAK.....	46
4. LITERATURA.....	47

KRUŽNI TOKOVI

UVOD

Tema ovog rada je, na temelju audio-video prezentacije prof. Wenera Brilona, prikazati karakteristike i utjecaj na promet modernih kružnih tokova na temelju dosadašnjih iskustava.

U prvom poglavlju obrađene su osobine i definirana podjela kružnih tokova. Navedene su posebnosti kružnih tokova u odnosu na ostala kružna raskrižja, te njihove prednosti i nedostaci u odnosu na ostale vrste raskrižja. Zatim su navedeni i objašnjeni osnovni elementi i osnovni geometrijski elementi kružnih tokova.

U drugom poglavlju obrađene su karakteristike modernih kružnih tokova kao što su sigurnost, kapacitet, način prometovanja, utjecaj na pješake i bicikliste, te načini uređenja.

1. OSOBINE I PODJELA KRUŽNIH TOKOVA

1.1. Posebnosti kružnih raskrižja

Kružni tokovi imaju određene karakteristike zbog kojih se razlikuju od standardnih kružnih raskrižja u razini. Zbog toga pod kružnim tokom se ne podrazumijevaju sva kružna raskrižja. Postoje barem tri različita tipa kružnih raskrižja: Rotaries, Neighborhood traffic circles i kružni tokovi.

- **Rotaries** - zastarjeli način oblikovanja kružnih raskrižja. Prepoznatljivi su po svojim velikim promjerima (čak i do 100 m). Kod njih dolazi do razvoja velikih ulaznih brzina (ponekad i preko 50 km/h), zbog čega cirkulirajuća vozila ponekad staju i propuštaju uplitajuća vozila čime usporavaju promet, smanjuju kapacitet kružnog raskrižja i povećavaju broj nesreća u odnosu na moderne kružne tokove.
- **Neighborhood traffic circles** – koriste se za izgradnju raskrižja na lokalnim jednostranim ulicama. Ne koriste se na križanjima gdje se predviđa veći kapacitet velikih kamiona i autobuseva koji skreću lijevo. Imaju podignuti središnji otok oko kojeg kruže vozila. Koriste se zbog usporavanje prometa i estetike. Prednost imaju cirkulirajuća vozila. Na nekim raskrižjima, skretanje lijevo je dopušteno s lijeve strane središnjeg otoka, pa postoji potencijalni konflikt s ostalim vozilima koji se kreću tim raskrižjem. Na nekim raskrižjima, skretanje lijevo je dopušteno s lijeve strane središnjeg otoka, pa postoji potencijalni konflikt s ostalim vozilima koji se kreću tim raskrižjem.
- **Kružni tokovi** – predstavlja kružna raskrižja sa specifičnim projektnim karakteristikama i načinom kontrole prometa. Danas se ovaj tip raskrižja sve više upotrebljava radi toga što pruža daleko veću sigurnost uz povećanje propusne moći raskrižja. Ovaj tip kružnog raskrižja obično nije semaforiziran, a prednost imaju vozila u kružnom toku. Veličina radijusa unutarnjeg otoka, širina trakova te opisani radijus uvjetovani su brojem trakova cesta koje se spajaju, intenzitetom i strukturom prometa (učestvom teških teretnih vozila i autobusa) te projektnim brzinama. Oblikuje se tako da se unutar kružnog toka uglavnom postignu brzine manje od 50km/h.

1.2. Razlike kružnih tokova u odnosu na ostale tipove kružnih raskrižja

Kružni tokovi se lako mogu zamijeniti s tzv. *Rotaries* i *Neighborhood traffic circles*. Zbog toga je bitno navesti ključne razlike u projektnim elementima:

A) Smjer cirkulacije



Slika 1. Smjer cirkulacije

Kod kružnih tokova vozila skreću s desne strane središnjeg otoka, dok kod *Neighborhood traffic circles* je dopušteno skretanje lijevo sa lijeve strane središnjeg otoka.

B) Kontrola prometa



Slika 2. Kontrola prometa

Za razliku od kružnih tokova gdje se na svim ulazima koristi znak sporedne ceste, kod drugih tipova kružnih raskrižja se na jednom ili više ulaza često koriste znakovi stop ili ponekad nemaju nikakvu signalizaciju.

C) Pješački prijelazi



Slika 3. Pješački prijelazi

Pješački prijelazi kod kružnih tokova se postavljaju iza granične linije i nemaju pristup središnjem otoku što kod nekih drugih kružnih raskrižja nije slučaj.

D) Parkiranje



Slika 4. Parkiranje

Nije dopušteno parkiranje unutar i na ulazima kružnog toka, dok se kod ostalih kružnih raskrižja mogu pronaći slučajevi parkiranja.

Ostali projektni elementi čiji izostanak ne sprječava raskrižje da funkcioniра kao kružni tok, ali poboljšavaju sigurnost i propusnu moć, su:

A) Smanjenje ulaznih brzina



Slika 5. Smanjenje ulaznih brzina

Kružni tok se mora projektirati tako da putanja vozila (koja ovisi o središnjem otoku) zahtjeva od vozača da smanji brzinu ispod 50 km/h. Dopuštanjem većih brzina povećava se rizik od prometnih nesreća.

B) Oblikovanje za veća vozila



Slika 6. Oblikovanje za veća vozila

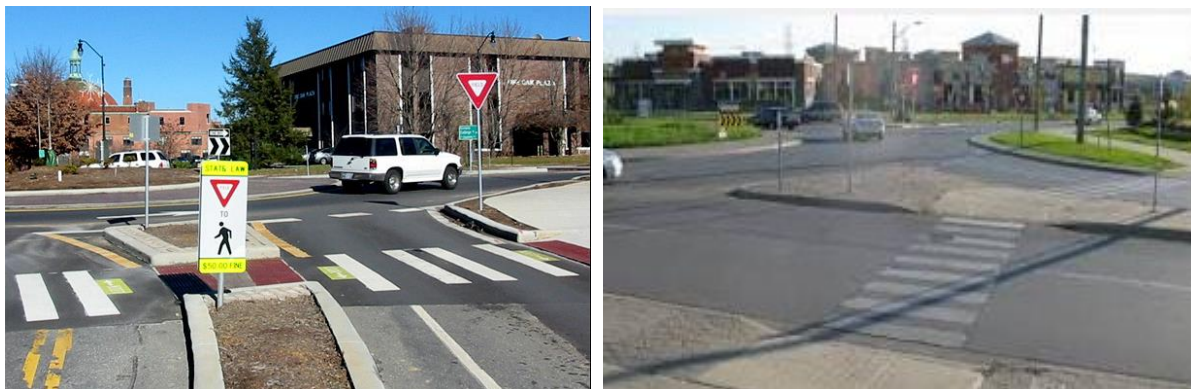
Kružni tok kod kojeg su predviđeni dolasci većih vozila moraju im se prilagoditi. Najčešće se dodaje povozni dio oko središnjeg otoka, te se mora posebna pažnja posvetiti kod izlaska većih kamiona da ne izađu izvan gabarita.

C) Razdjelni otok

Projektirani su da razdvajaju kretanje vozila iz ulaznog i izlaznog smjera, usmjeravaju uplitajuća vozila na pravilnu putanju, te osiguravaju veću sigurnost za pješake. Svi kružni tokovi osim mini tokova imaju uzdignute razdjelne otoke dok su kod mini tokova definirani samo oznakama na pločniku.

D) Položaj pješačkog prijelaza

Moraju biti smješteni na udaljenosti duljine barem jednog vozila od granične linije zbog toga da se pješaci odmaknu od prometnog cirkulirajućeg dijela, da su uočljivi vozačima, te da se osjećaju sigurno.



Slika 7. Razdjelni otok i položaj pješačkog prijelaza

1.3. Prednosti i nedostaci kružnih tokova

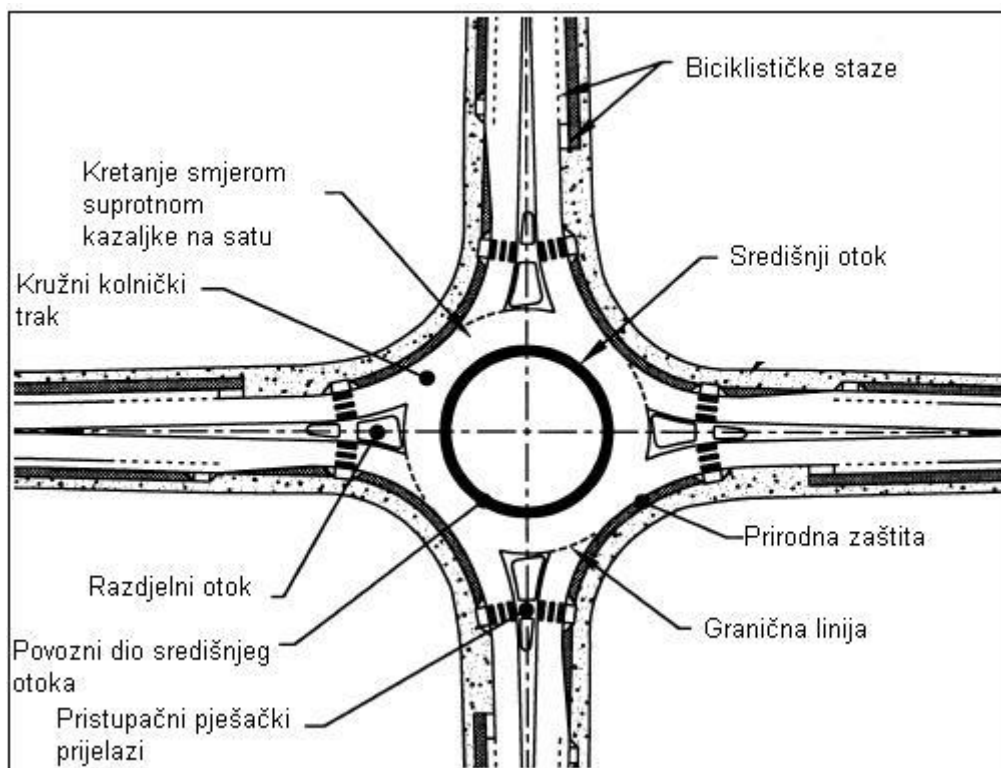
Prednosti kružnih tokova u odnosu na ostala raskrižja u razini su:

- Veća prometna sigurnost
- manje posljedice prometnih nezgoda
- veća propusna moć
- manje zauzimanje prostora pri jednakoj propusnoj moći
- kontinuiranost vožnje
- manji troškovi održavanja
- uklapanje u okoliš

Nedostaci kružnih tokova u odnosu na ostala raskrižja u razini su:

- povećanjem broja vozničkih trakova u kružnom toku smanjuje se prometna sigurnost zbog preplitanja
- manjak prostora za izgradnju središnjeg otoka
- problemi pri velikom intenzitetu biciklističkog i pješačkog prometa
- produljenje putanja vozila i pješaka
- povećanjem broja vozničkih trakova u kružnom toku, smanjuje se prometna sigurnost
- veliki kružni tokovi nisu prikladno rješenje pored vrtića, škola, domova zdravlja i sl.
- tokovi koji skreću ulijevo iz suprotnih smjerova nepotrebno se isprepliću

1.4. Osnovni elementi kružnih tokova



Slika 8. Osnovni elementi kružnih tokova

Središnji otok je uzdignuta fizička prepreka u središtu kružnog toka oko kojeg se odvija promet.

Razdjelni otok je uzdignuti ili obojani element kružnog toka koji razdvaja kretanje vozila iz ulaznog i izlaznog smjera, usmjeruje vozila u pravilnu krivulju ulaznja u, te izlazenja iz kružnog raskrižja, te omogućuje veću razinu sigurnosti pješaka i biciklista prilikom prelaženja preko kraka kružnog raskrižja.

Kružni kolnički trak je kolnički trak kružnog oblika, po kojem voze vozila oko središnjeg otoka u smjeru suprotnom kretanju kazaljke na satu.

Povozni dio središnjeg otok sastavni je dio središnjeg otoka, ima oblik kružnog prstena, a od kružnoga voznog traka se građevinski razlikuje po materijalu i boji. Potreban je na manjim kružnim tokovima da bi se prilagodio kretanju kotača većih vozila.

Granična linija je oznaka na pločniku za područje u kojem se prilazni vozni trak ulijeva u kružni kolnički trak, te je najčešće označena duž upisane kružnice. Vozila koja ulaze moraju pripaziti na vozila koja dolaze iz lijevog smjera prije nego pristupe u kružni kolnički trak.

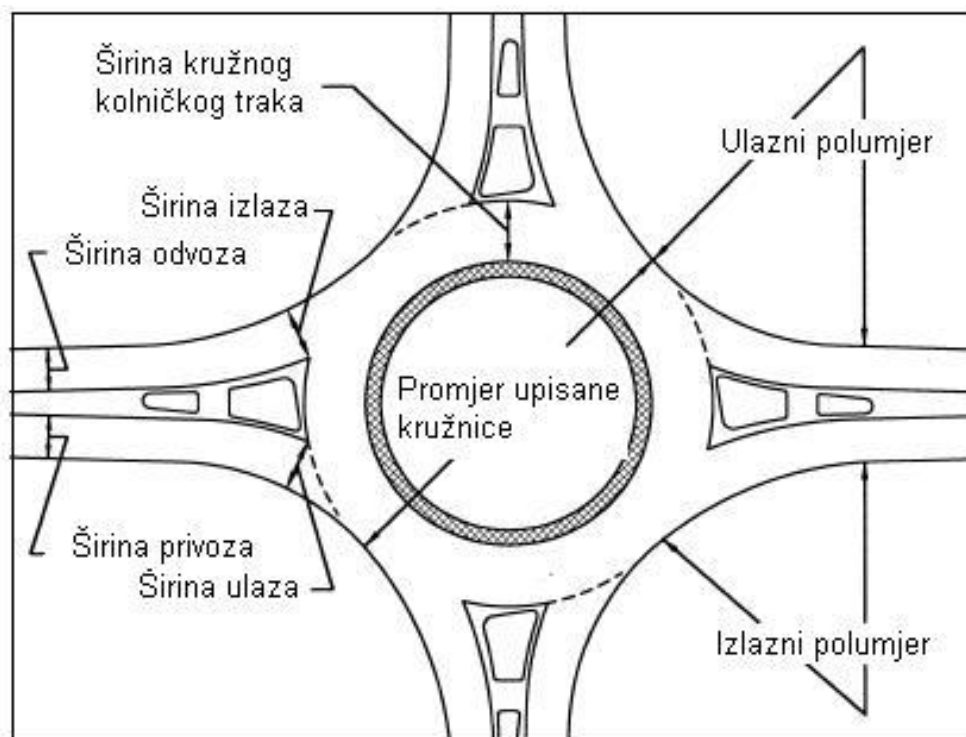
Pristupačni pješački prijelazi moraju biti osigurani kod svih kružnih tokova.

Položaj prijelaza nalazi se iza granične linije, a razdjelni otok na tom mjestu ima ulegnuće kako bi pješaci, invalidska i dječja kolica, te bicikli tuda mogli prolaziti.

Biciklističke staze - vođenje biciklista kroz kružni tok moguće je bilo putanjom pješaka, bilo putanjom vozila, ovisno o zahtjevima razine udobnosti biciklističkog prometa.

Prirodna zaštita omogućuje da se kod većine kružnih tokova odvoji promet vozila i pješaka, te da potakne pješake da prelaze kolnik na samo za to predviđenim mjestima. Prirodna zaštita također može pridonijeti estetsici raskrižja.

1.5. Osnovni geometrijski elementi kružnih tokova



Slika 9. Osnovni geometrijski elementi kružnih tokova

Promjer upisane kružnice je osnovni parametar koji se koristi za definiranje veličine rotora. Mjeri se između vanjskih rubova kružnog kolničkog traka.

Širina kružnog kolničkog traka definira širinu cirkulacije vozila oko središnjeg otoka. Mjeri se kao širina između vanjskog ruba kolnika i središnjeg otoka. Ne uključuje ugradivi povozni dio koji se smatra dijelom središnjeg otoka.

Širina privoza - širina kolnika kojim promet pristiže, te se otuda prilagođava širinom sve do širine ulaza. Pristupna širina obično nije veća od polovice ukupne širine kolnika.

Širina odvoza - širina kolnika kojim promet odlazi, te se dotuda prilagođava širinom od širine izlaska. Širina odstupanja je obično manja ili jednaka ukupnoj širini kolnika.

Širina ulaza definirana je širinom ulaza gdje započinje upisana kružnica. Mjeri se okomito od desnog ruba ulaza do presječne točke lijeve rubne linije i upisane kružnice.

Širina izlaza definirana je širinom izlaza gdje završava upisana kružnica. Mjeri se okomito od desnog ruba izlaza do presječne točke lijeve rubne linije i upisane kružnice.

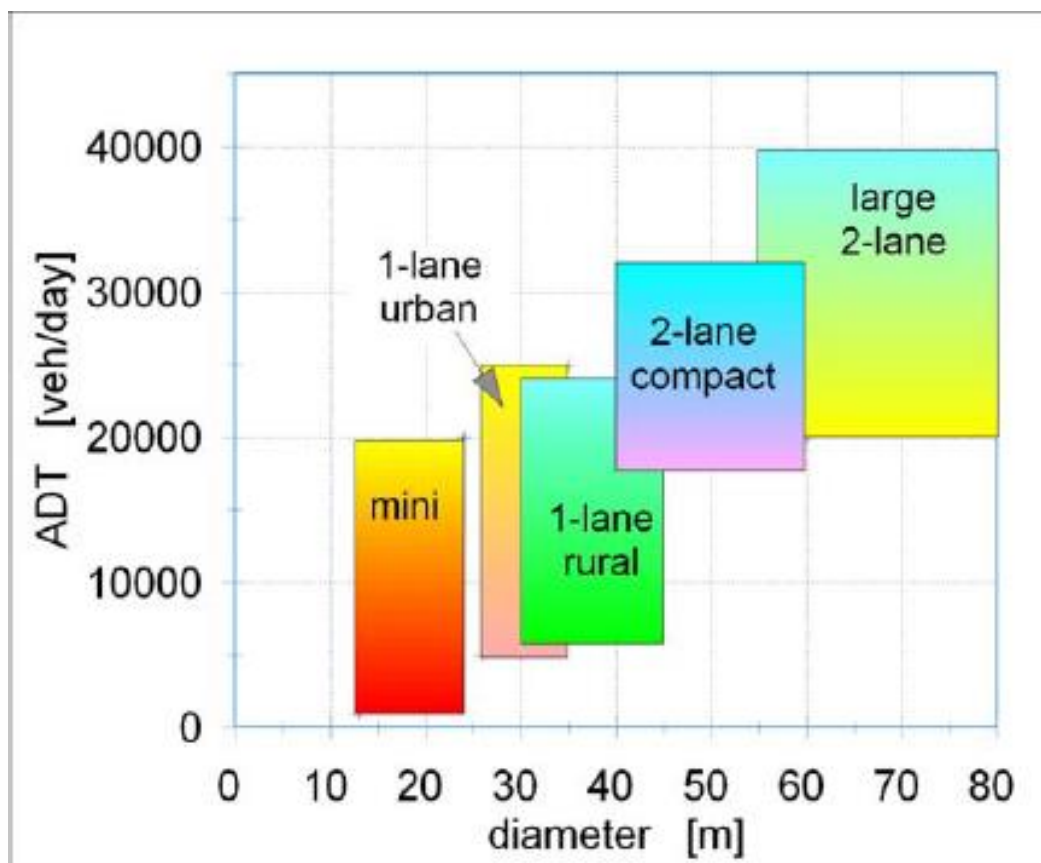
Ulazni polumjer je minimalni radijus zakrivljenosti vanjskog ruba na ulazu.

Izlazni polumjer je minimalni polumjer zakrivljenosti vanjskog ruba na izlazu.

1.6. Podjela kružnih tokova

Podjela kružnih tokova s obzirom na lokaciju, broj prometnih trakova, te veličinu:

- mini
- gradski kompaktni
- gradski jednotračni
- izvangradski jednotračni
- gradski dvotračni
- izvangradski dvotračni



Slika 10. Definicija vrste kružnih raskrižja prema njihovom promjeru i njihovom maksimalnom kapacitetu u smislu prosječnog dnevnog prometa

Prigradski kružni tokovi nastaju kombinacijom gradskih i izvangradskih kružnih tokova. Projektiraju se kao gradski, ali uključuju visoke brzine pristupa kao kod izvangradskih kružnih tokova.

Pri projektiranju kružnih tokova treba voditi računa o udobnosti pješaka, biciklista te velikih vozila pri eksploataciji. Također, treba posvetiti pažnju osiguravanju informacijskih napomena za pješake s obzirom na pločnik i prijelaze na križanjima, čak i kod mini kružnih tokova.

Tablica 1. Osnovne značajke projektiranja kružnih tokova

Projektirani element	Mini kružni tokovi	Gradski kompaktni	Gradski jednostrani	Gradski dvostrani
preporučena max projektna ulazna brzina	25 km/h	25 km/h	35 km/h	40 km/h
max broj ulaznih pristupnih trakova	1	1	1	2
Uobičajeni promjer upisane kružnice	13 m to 25 m	25 to 30 m	30 to 40 m	45 to 55 m
Obrada prijelaznog toka	mogućnost podizanja, ako je podignut prijelaz ima ulegnuće		podignut, s ulegnućem na prijelazu	

2. MODERNI KRUŽNI TOKOVI

2.1. Uvod

Tradicionalni kružni tokovi izgrađeni u Europi između 1930. i 1960. godine pretežito su bili veliki sa velikim brojem voznih trakova (tzv. Rotaries). Gradili su se prema urbanističkom planu gradova za razliku od modernih kojima se pristupa sa znanstvene (inženjerske) strane.

Iako su bili velikih dimenzija, njihov kapacitet nije prelazio 40 000 voz/dan. Nakon 1960. godine više se nisu gradili, kako zbog već navedenog kapaciteta, tako i zbog male prometne sigurnosti.

Naime, u Njemačkoj je policija iznijela statističke podatke o nesrećama na takvim kružnim tokovima koji su pokazali da se veći broj nesreća (posebice nesreće samo materijalne prirode) događa na njima nego na običnim križanjima, te su s vremenom sve više gubili na popularnosti.



Slika 11. Tradicionalni kružni tok u Munster/Westfalia



Slika 12. Tradicionalni kružni tok u Münihu i Berlinu

Velika Britanija je prva počela sa izgradnjom modernih kružnih tokova i doživjeli su veliki uspjeh, što je potaklo ostatak europske (pogotovo Njemačku) da počnu intenzivno provoditi istraživanja o njima.

Na početku su jednostručni kružni tokovi bili od primarnog interesa, ali kasnije su i ostali tipovi dobivali sve više na važnosti.



Slika 13. Moderni jednostručni kružni tok

2.2. Prometna pravila

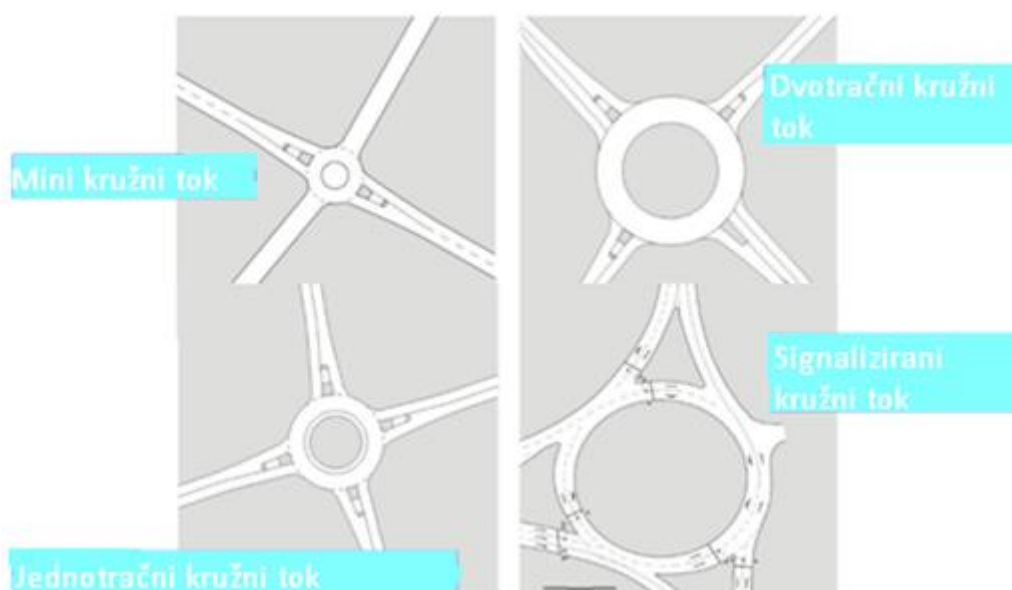
Prva prometna pravila vezana za kružna raskrižja su se pojavila 1953. godine u Njemačkoj. Osnovno načelo je bilo da prednost imaju cirkulirajuća vozila u odnosu na uplitajuća. Što se tiče dvotračnih kružnih tokova, prva pojava prometnih pravila se javila 1966. godine u Engleskoj, koja su davala prednost vozilima na unutarnjim voznim trakovima u kružnom toku. Ujedinjena prometna pravila u Europi su donesena 1968. godine Bečkom konvencijom. Njom nije određen relativni prioritet između vozila unutar kružnog toka, međutim u praksi se koristio princip „desno prije lijevog“, odnosno vanjska vozila imaju prednost (što je u suprotnosti sa engleskim prometnim pravilima).

2.3. Karakteristike modernih kružnih tokova

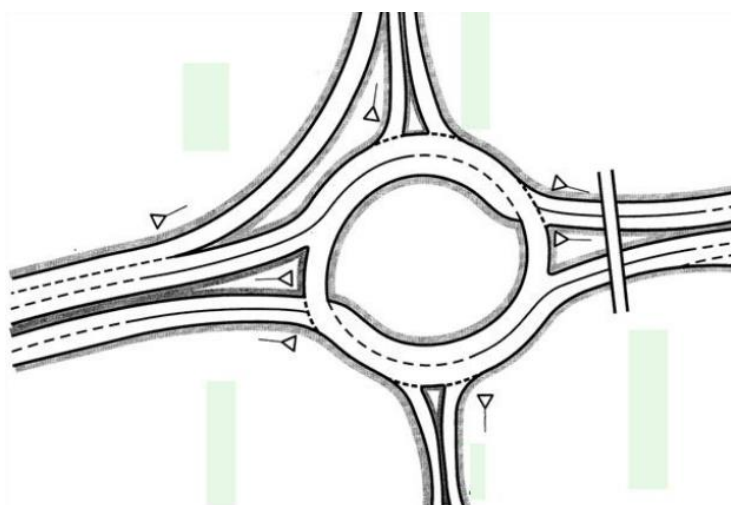
Osnovne karakteristike modernih kružnih tokova su promjer, maksimalna propusnost i minimalna tražena propusnost kružnog toka.

Najbolju kombinaciju osnovnih karakteristika daje jednotračni kružni tok, stoga se oni u praksi najčešće i koriste.

Osnovni tipovi kružnih tokova su: mini kružni tok, jednotračni kružni tok, dvotračni kružni tok. Turbo kružni tokovi su najnoviji tip kružnih tokova, spiralnog oblika, za koje je karakterističan promjenjiv broj voznih trakova i nemogućnost prelaza vozila između voznih trakova u kružnom toku.



Slika 14. Tipovi kružnih tokova



Slika 15. Turbo kružni tok

2.3.1. Mini kružni tokovi

Mini kružni tokovi koriste se isključivo u urbanim područjima (postoje 4 eksperimentalne lokacije u ruralnim područjima, međutim nisu pokazale dovoljnu uspješnost pa se ne preporuča). Imaju jednotračno uplitanje i isplitanje. Osim manjeg promjera (13 – 22 m), i širine kružnog kolničkog traka od 4,5 – 6 m, najveća razlika u odnosu na ostale tipove kružnih tokova je potpuno provozan središnji otok. Iako je provozan, ne preporuča se vožnja preko njega osim ako je neophodno (za veća vozila). Međutim, nije dovoljno samo obilježiti središnji otok, već visina ruba središnjeg otoka mora biti 4 – 12 cm sa zaobljenim rubovima kako bi predstavljao relativnu fizičku i vizualnu prepreku vozačima. Ne smiju se koristiti visine veće od 12 cm kako bi kamioni i autobusi mogli voziti preko središnjeg otoka ako im putanja to zahtjeva. Velika prednost im je i jednostavna i jeftina izgradnja, kao i odličan omjer zauzeća prostora i propusne moći (20 000 voz/dan).



Slika 16. Mini kružni tok u Karlsruheu

Istraživanja u Njemačkoj su pokazali i njihovu veliku sigurnost u odnosu na prijašnji tip raskrižja na određenom križanju:

Tablica 2. Stopa nesreća i stopa troškova nesreća za mini kružni tok

	PRIJE	POSLIJE (Mini)	
Stopa nesreća	0,79	0,56	nesreća/mil voz
Stopa troška	9,47	3,91	€ / 1000 voz

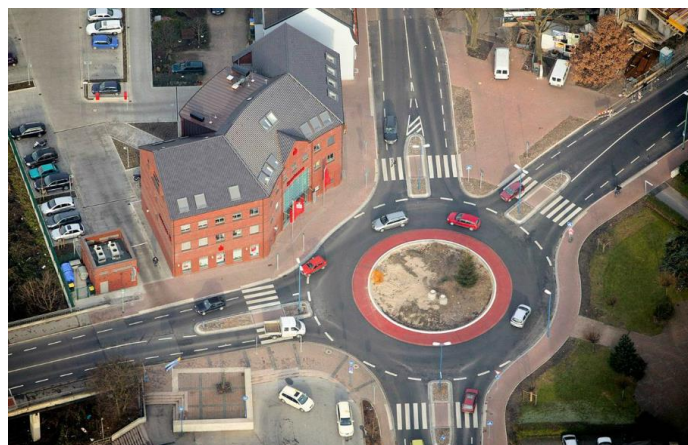
Mini kružni tok mora biti tako dimenzioniran da putanja vozila prisili vozače da smanje brzinu do maksimalno 50 km/h. Poprečni nagib od 2,5% prema van također pomaže usporavanju vozila zbog prisustva centrifugalne sile (nagib se koristi i zbog odvodnje).



Slika 17. Mini kružni tok u Hamburgu

2.3.2. Jednotračni kružni tokovi

Jednotračni kružni tokovi su najčešće primjenjivani tip kružnog toka. U proteklih 20 godina, ovakvih kružnih tokova je izgrađeno otprilike oko 3000 – 4000 kako u urbanim tako i u ruralnim područjima. Kapacitet ovih kružnih tokova je i do 25 000 voz/dan.



Slika 18. Uobičajeni urbani jednotračni kružni tok

Jednotračni kružni tokovi imaju promjer 26 – 45 m (za urbana područja poželjniji je minimum od 30 m). Minimalni promjer se ograničava na 26 m zbog toga što je promjer od 25 m najmanji krug oko kojeg najveće standardno dozvoljeno vozilo (bez policijske pratnje) može napraviti puni zaokret. Kako su promjeri nešto manji, širina kolničkog traka u kružnom toku mora biti nešto veća (6 – 8 (9) m) kako bi velika vozila prometovala bez problema. Imaju samo jedan vozni trak na ulazu i izlazu, kao i unutar kružnog toka. Imaju središnji otok kojeg vozila ne smiju koristiti, a može se koristiti za uljepšavanje okoliša.



Slika 19. Uobičajeni ruralni jednotračni kružni tok

Provedena su brojna istraživanja u pogledu sigurnosti jednotračni kružnih tokova. Rezultati istraživanja su pokazali da su jednotračni kružni tokovi najsigurniji od svih vrsta raskrižja.

Tablica 3. Stopa nesreća i stopa troškova nesreća za gradski jednotračni kružni tok

	prije rekonstrukcije u kružni tok		poslije rekonstrukcije u kružni tok	
	Stopa nesreće nesr./10 ⁶ voz	Stopa troškova € /10 ³ voz	Stopa nesreće nesr./10 ⁶ voz	Stopa troškova € /10 ³ voz
Brilon, Stuwe	1.62	14.77	0.97	7.36
Baumert				
Urban			0.53	6.02
Rural			0.74	10.06
Meewes			0.92	8.0

Brojke su upola manje u odnosu na normalna nesignalizirana (pa čak i signalizirana) raskrižja. Najveća razlika je u odnosu na ruralna nesignalizirana raskrižja, gdje su brojke i do 10 puta manje. Vjeruje se da je to prvenstveno zbog malih brzina svih sudionika u prometu unutar kružnog toka.

Da bi se postigle željene male brzine vozila, potrebno je izvršiti nekoliko radnji:

- ceste koje se spajaju moraju biti usmjerene okomito na kružni tok (prema središtu kružnog toka). Ne dozvoljavaju se tangencijalni ulasci u kružni tok. Time se postiže bolja i ranija uočljivost kružnog toka za nadolazeće vozače, što za posljedicu ima i njihovo ranije usporavanje i smanjenje brzine;



Slika 20. Okomiti prilaz jednotračnom kružnom toku

- b) minimalni radijus na ulazu 10 - 14 m za urbana, 14 - 16 m za ruralna područja, a na izlazu 12 - 16 m za urbana, 14 - 16 m za ruralna područja;
- c) kod urbanih jednotračnih kružnih tokova i kružnih tokova sa malim promjerom visina ruba središnjeg otoka mora biti 4 – 12 cm sa zaobljenim rubovima kako bi predstavljao relativnu fizičku i vizualnu prepreku vozačima. Ne smiju se koristiti visine veće od 12 cm kako bi kamioni i autobusi mogli voziti preko središnjeg otoka ako im putanja to zahtjeva



Slika 21. Nadvišenje središnjeg otoka

- d) poprečni nagib kolnika unutar kružnog toka treba biti 2,5% prema vani. Nagnutost kolnika poboljšava vidljivost nadolazećim vozačima, zbog djelovanja centrifugalne sile moraju smanjiti brzinu, i služi za odvodnju vode sa kolnika.



Slika 22. Poprečni nagib kružnog toka

Osim velike sigurnosti za vozače i vozila, jednotračni kružni tokovi su najsigurniji i najprotočniji i za pješake. Pješački prijelazi trebaju biti udaljeni 4 – 5 m od ruba kružnog toka zbog preglednosti vozača i sigurnosti pješaka. Pješački prijelazi mogu biti sa i bez zebre. U Njemačkoj se koriste isključivo sa zebrom na zahtjev građana, međutim nikakvu manju sigurnost i protočnost nisu pokazali ni pješački prijelazi bez zebre.



Slika 23. Prijelaz sa zebrom (lijevo) i bez zebre (desno)

Jedini relativni sigurnosni rizik kod jednotračnih kružnih tokova se javlja prilikom interakcije sa biciklistima. Biciklističke staze se ne smiju postaviti po vanjskom rubu kružnog toka zbog nesigurnosti.



Slika 24. Pogrešno postavljanje biciklističke staze

Biciklisti se slobodno mogu voditi po normalnom voznom traku unutar kružnog toka ako je propusni kapacitet kružnog toka do 15 000 voz/dan, jer je brzina biciklista i vozila u kružnom toku približno jednaka (15 – 25 km/h).



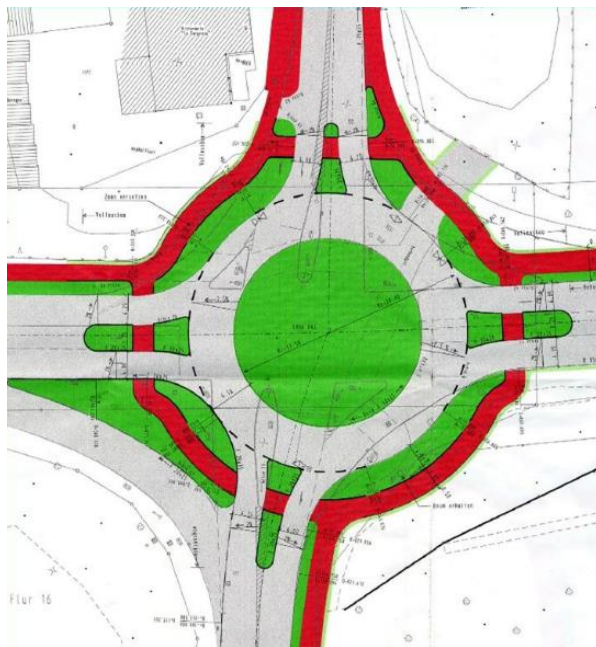
Slika 25. Zajednička vožnja vozila i biciklista

Ako prilazna cesta ima zasebnu biciklističku stazu, biciklisti se trebaju usmjeriti na cestu prije samog uplitanja u kružni tok, proći kružnim tokom po standardnom voznom traku, te se nakon isplitanja ponovno usmjerit prema zasebnoj biciklističkoj stazi.



Slika 26. Usmjeravanje biciklističke staze na cestu

Za kapacitet iznad 15 000 voz/dan, poželjno je napraviti zasebne kružne biciklističke staze udaljene barem 5 m od kružnog toka zbog preglednosti vozača kamiona i autobusa, da mogu na vrijeme uočiti i propustiti bicikliste koji kod urbanih prijelaza imaju prednost.



Slika 27. Zasebna biciklistička staza

Najviše se nezgoda sa biciklistima događa kada ne poštuju smjer kretanja.

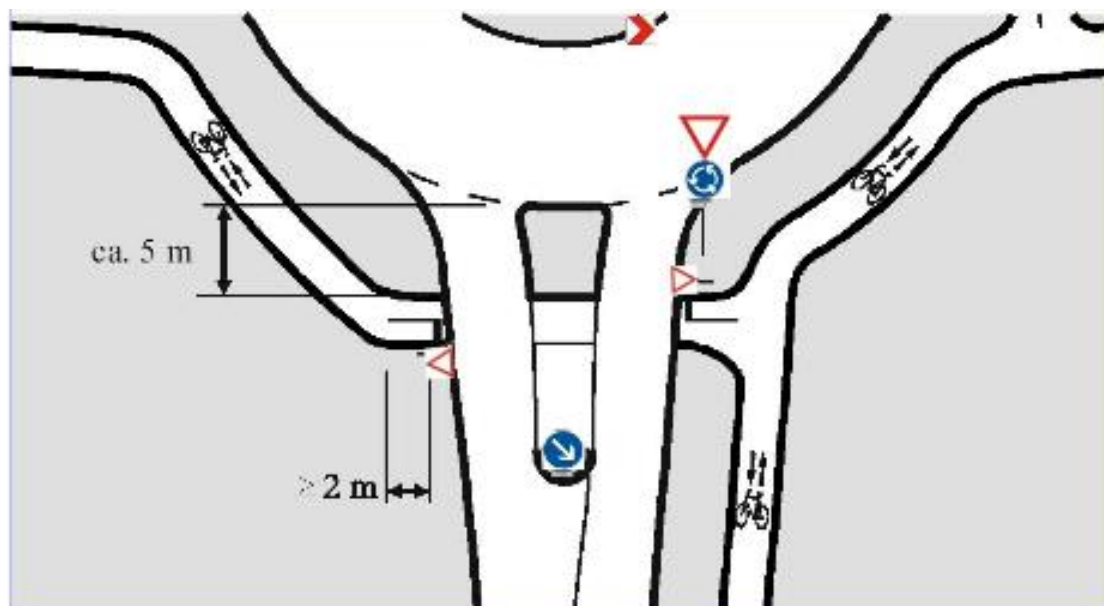


Slika 28. Nepoštivanje smjera kretanja

Kod prijelaza, biciklistička staza mora biti udaljena minimalno 5 m od ruba kružnog toka zbog preglednosti vozača i sigurnosti biciklista.



Slika 29. Neispravno (lijevo) i ispravno (desno) postavljanje biciklističkog prijelaza u urbanim područjima



Slika 30. Dvosmjerna biciklistička staza u ruralnim područjima

Ako se biciklistička staza koristi za oba smjera, potrebne su specijalne oznake na kolniku.

Kod ruralnih kružnih tokova, uvijek se trebaju koristiti zasebne biciklističke staze. Kako bi povećali vlastitu sigurnost, kod ruralnih kružnih tokova, biciklisti moraju propustiti motorna vozila, za razliku od urbanih sredina gdje je obrnuto.



Slika 31. Prednost prolaska biciklista u urbanim područjima (lijevo) i vozila u ruralnim područjima (desno)

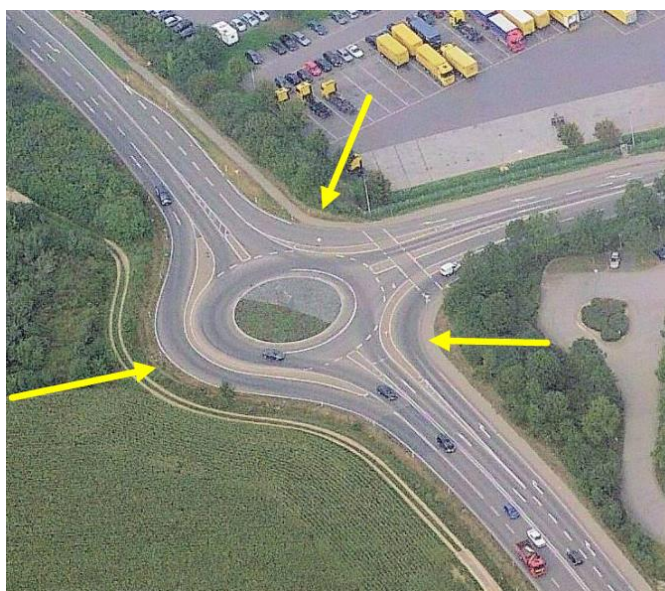
Posebnu pažnju prilikom projektiranja kružnog toka treba posvetiti dijelu kružnog toka (na izlazima) kod kojeg se mogu pojaviti oštećenja rubnjaka i odvodnje zbog izlaženja kotača kamiona van gabarita.



Slika 32. Izlaženje kotača velikih vozila van gabarita

Zaobilaznice su, razdijelnim otocima i oznakama na kolniku, odvojeni dio ceste od kružnog toka koji omogućava vozačima da u potpunosti zaobiđu promet u kružnom toku. Koristi se za izlaženje na prvom sljedećem izlazu. Zbog smanjenja broja vozila unutar kružnog toka, kružni tokovi sa zaobilaznicama imaju veći kapacitet u odnosu na pripadni kružni tok bez zaobilaznice.

Na izlazima zaobilaznica grade se trake za ubrzanje. Ne smiju se postavljati pod oštrim kutem i nužno ne moraju biti preduge, ali moraju omogućavati dovoljno ubrzanje, paralelnu vožnju i dovoljno vremena za uočavanje vozila s prednošću.



Slika 33. Kružni tok s tri zaobilaznice



Slika 34. Primjeri zaobilaznica

2.3.3. Dvotračni kružni tokovi

Dvotračni kružni tokovi se koriste pretežito u ruralnim i izvangradskim prostorima (iako postoje primjeri i u urbanim).



Slika 35. Urbani dvotračni kružni tok u Oberhausenu

Koncept dvotračnih kružnih tokova je sličan onom od jednotačnih kružnih tokova. Glavna razlika između njih je širina kružnog kolničkog traka (8 do 10 m) koja omogućava paralelnu vožnju dva auta. Međutim, ne postoji pravilo koje definira prednost prolaska unutar kružnog toka. Ako se više vozila bore za prostor oni to moraju riješiti između sebe vodeći brigu o zajedničkoj sigurnosti. Ne izvodi se razdjelna crta između voznih trakova zbog toga što su veliki kamioni i autobusi prisiljeni koristiti punu širinu kolnika prolazeći kružnim tokom, pri čemu ih manja vozila u tome ne smiju ometati.



Slika 36. Ruralni dvotračni kružni tok u Bad Aiblingu

U pogledu sigurnosti, dvotračni kružni tokovi su dosta sigurni jer vozačima je neobična paralelna vožnja unutar kružnog toka zbog čega voze manjim brzinama radi vlastite sigurnosti. Istraživanja su pokazala da je stopa nesreća samo malo veća od one kod jednotračnih. Zbog svega navedenog, i zbog manje koncentracije pješaka i biciklista na ovim kružnim tokovima, nesreće se uglavnom dogode bez ljudskih ozljeda.



Slika 37. Moderni dvotračni kružni tok

Promjer dvotračnog kružnog toka iznosi 40 – 60 m. Preporuča se korištenje jednotračnog ulaza (dvotračni samo ako je potrebno) i jednotračnog izlaza zbog veće sigurnosti. Pješaci i biciklisti nemaju prednost prolaska, dok je biciklistima, za razliku od jednotračnog kružnog toka, zabranjena vožnja unutar kružnog toka. Isto tako, kod dvotračnih kružnih tokova isključivo se koriste prelazi bez zebre.



Slika 38. Primjer dvotračnih ulaza bez zebre

2.3.4. Turbo kružni tokovi

Turbo kružni tokovi su najnoviji tip kružnih tokova, spiralnog oblika, za koje je karakterističan promjenjiv broj voznih trakova i nemogućnost premještanja između voznih trakova u kružnom toku. Postoji mogućnost zaokretanja, ali ono se ne preporuča. Sa svojim kapacitetom (do 50 000 voz/dan) i stopom troškova nesreća (oko 600 € /10³ voz) ovi kružni tokovi predstavljaju odličnu kombinaciju kapaciteta i sigurnosti.



Slika 39. Turbo kružni tok u Nizozemskoj i Njemačkoj



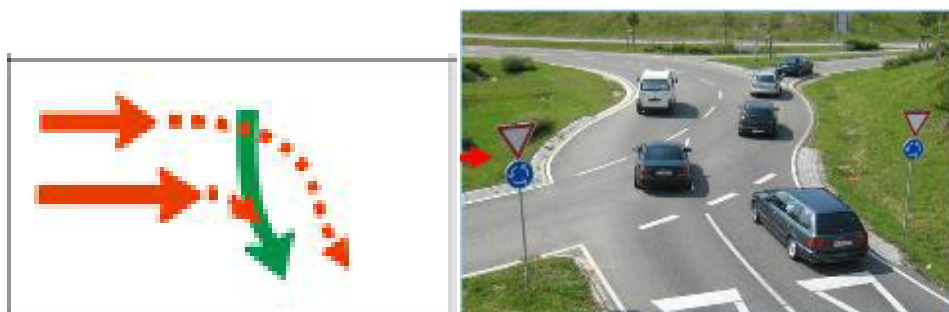
Slika 40. Prometni znak na ulasku u turbo kružni tok u Nizozemskoj

Izumitelj turbo kružnih tokova je dr. Bertus Fortuijn iz Nizozemske.



Slika 41. Dr. Bertus Fortuijn

Ideja turbo kružnih tokova je da vozači prije ulaska u kružni tok odaberu put kojim žele ići. Ta mogućnost se postiže dodavanjem unutarnjeg traka u kružnom toku na mjestu glavnog ulaza, dok su prilikom izlaska vozila na vanjskom traku prisiljena ići van kružnog toka. Time se smanjuju konflikti unutar kružnog toka, povećava sigurnost, kao i brzina i kapacitet.



Slika 42. Ulazak u turbo kružni tok



Slika 43. Izlazak iz turbo kružnog toka

Prvi turbo kružni tok napravljen je 2006. godine u Baden – Badenu, Njemačka, i doživio je veliki uspjeh. Od tada turbo kružni tokovi postaju sve zanimljiviji.



Slika 44. Prvi turbo kružni tok u Baden – Badenu

Iako je smisao turbo kružnih tokova da nema prestrojavanja unutar kružnog toka, mnogi vozači zbog straha i/ili navike i dalje puno više koriste desni vozni trak prilikom ulaska i izlaska iz kružnog toka, zbog čega se poslije moraju prestrojavati i tako dovode sebe i ostale u opasnost.

Tablica 4. Korištenje voznih trakova pri ulasku i izlasku

	LIJEVA STRANA (%)	DESNA STRANA (%)
ULAZ	24-40	60-76
IZLAZ	23-40	60-77



Slika 45. Postotak korištenja pojedinog voznog traka prilikom ulaska

U Nizozemskoj se unutar kružnog toka postavljaju niski rubnjaci za usmjeravanje prometa, ali to se ne preporuča zbog nesigurnosti motociklista i poteškoća prilikom uklanjanja snijega sa ceste.



Slika 46. Niski rubnjaci unutar kružnog toka u Nizozemskoj

2.4. Kapacitet i uređenje

2.4.1. Kapacitet

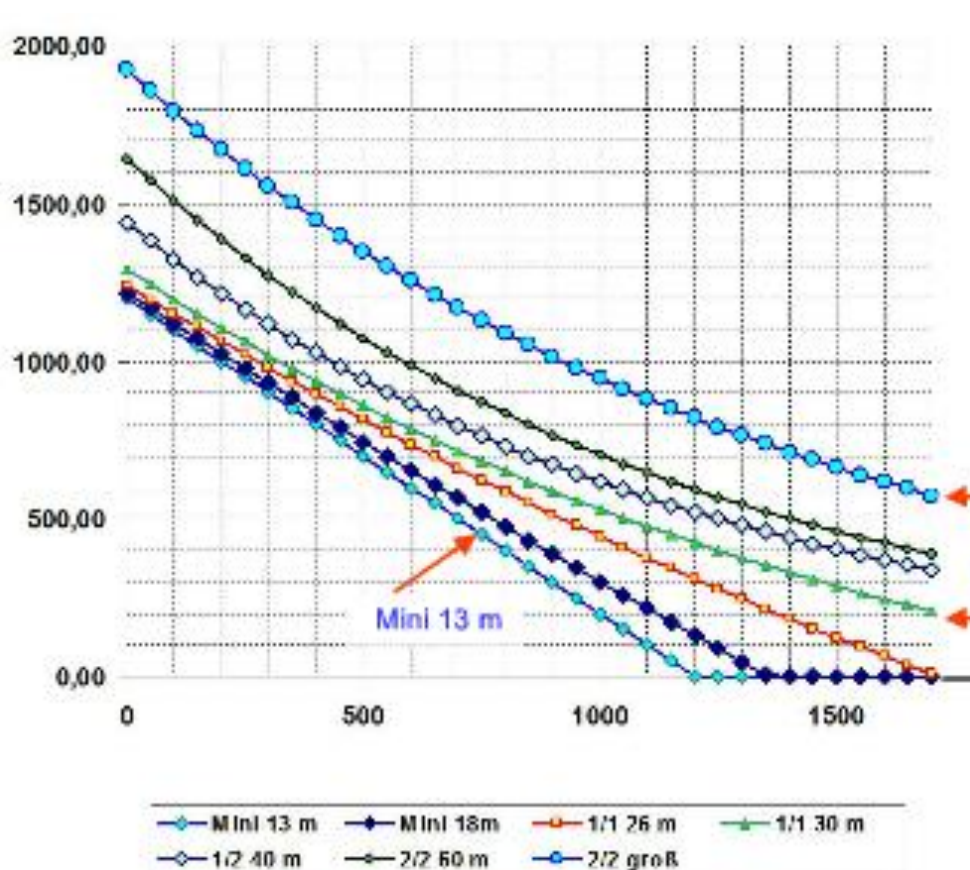
Za sve tipove kružnih tokova, osim za mini kružne tokove, ulazni kapaciteti prema kružnom toku su uspostavljeni kao neovisni od toka na drugim ulazima. Teorije koje su koriste za provjeru ulaznih kapaciteta su teorija prihvatljivih vremenskih praznina i empirijska metoda. Na početku prednost je dobila empirijska metoda koja je ovisila o cirkulacijskom protoku i broju trakova (ulaznih i cirkulirajućih). U isto vrijeme je u Velikoj Britaniji razvijen višedimenzionalni regresijski model koji ovisi o geometrijskim karakteristikama križanja. Ove metode nisu bile pretežito uspješne jer su bile previše fokusirane na specifične kombinacije određenih parametara i nije se mogao dobiti reprezentativan uzorak koji bi pokrio sve moguće opcije vrijednosti parametara. Zbog toga su se dobivala velika odstupanja, te je ova metoda napuštena.

Trenutna metoda koja se primjenjuje povezana je s teorijom prihvatljivih vremenskih praznina. Koristi se Tannerova jednačba koja je prilagođena za uporabu za kružne tokove od Wu-a:

$$C = 3600 \cdot \left(1 - \frac{t_{min} \cdot q_k}{n_c \cdot 3600}\right)^{n_c} \cdot \frac{n_e}{t_f} \cdot e^{-\frac{q_k}{3600} \cdot \left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{min}\right)} \quad (1)$$

C	=	Kapacitet ulaska	[pcu/h]
q _k	=	Količina prometa unutar kružnog toka	[pcu/h]
n _c	=	Broj trakova u kružnom toku	[-]
n _e	=	Broj ulaznih trakova	[-]
t _g	=	Kritična vremenskih praznina	[s]
t _f	=	Vrijeme slijeda	[s]
t _{min}	=	Minimalna vremenska praznina između vozila unutar kružnog toka	[s]

Kako je vidljivo iz formule, kapacitet svakog ulaza ovisi o količini prometa unutar kružnog toka (q_k), broju trakova u kružnom toku (n_c) i broju ulaznih trakova (n_e). Ostali geometrijski detalji (npr. širina središnjeg otoka) ne utječu značajnije na kapacitet.



Slika 47. Ulazni kapaciteti pojedinih kružnih tokova (ordinata) i količina prometa unutar kružnog toka (apscisa). Brojevi predstavljaju brojeve trakova (ulaz/kružni dio) zajedno sa promjerom u metrima

Za olakšavanje računanja kapaciteta koristi se program KREISEL, koji također sadrži i modele iz mnogih drugih država.

Parametri iz formule (1) se računaju pomoću slijedeće tablice:

Tablica 5. Parametri za proračun kapaciteta

Tip kružnog toka:	n_e	n_c	t_g	t_f	t_{min}
Mini $13 \leq d \leq 26 \text{ m}^{1)}$	1	1	$t_g = 3,86 + \frac{8,27}{d}$	$t_g = 2,84 + \frac{2,07}{d}$	$t_g = 31,57 + \frac{18,6}{d}$
1/1 $26 \leq d \leq 40 \text{ m}^{2)}$	1	1			
1/2 $40 \leq d \leq 60 \text{ m}^{1)}$	1	2	$C = 1440 \cdot e^{-\frac{q_k}{1180}}$		
2/2 kompaktni $40 \leq d \leq 60 \text{ m}^{3)}$	2	2	$C = 1642 \cdot e^{-\frac{q_k}{1180}}$		
2/2 veliki $d \gg 60 \text{ m}^{1)4)}$	2	2	$C = 1926 \cdot e^{-\frac{q_k}{1405}}$		

- 1) d = promjer [m];
- 2) za $d > 40 \text{ m}$ koristi se $d = 40 \text{ m}$;
- 3) ako je $d > 60 \text{ m}$, ali ostale karakteristike ispunjavaju zahtjeve za kompaktni dvotračni kružni tok koristi se $d = 60 \text{ m}$;
- 4) plus 2 potpune i odvojene trake (s oznakama na kolniku) plus izlazi punog kapaciteta

Za izračun vrijednosti u ovim formulama koriste se količine prometa u jedinicama osobnih vozila (passenger car units) [pcu], gdje vrijedi: 1 kamion = 1.5 pcu; 1 veliki kamion = 2 pcu; 1 motor = 1 pcu; i jedan bicikl (na cesti) = 0.5 pcu. Međutim, ovi parametri se ne mogu koristiti kod svih vrsta kružnih tokova.

Thus, Brilon i Wu su 2008.godine predložili modificiranu verziju za izračunavanje parametara t_g , t_f i t_{min} za mini i jednotračne kružne tokove. Prema njima, ovi parametri ovise o promjerima kružnih tokova, a za njihovo izračunavanje se koristi slijedeća tablica:

Tablica 6. Parametri za proračun kapaciteta

	n_e	n_c	t_g	t_f	t_{min}
Mini $13 \leq d \leq 26$ m	1	1	$t_g = 4,9 + \frac{0,4}{13}d$	$t_f = 3,1 + \frac{0,1}{13}d$	$t_{min} = 3,9 + \frac{0,9}{13}d$
1/1 $26 \leq d \leq 40$ m	1	1	$t_g = \frac{1}{14}(52,2 + 0,2d)$	$t_f = \frac{1}{14}(51 + 0,4d)$	$t_{min} = 6 + 0,15d$

Tablica 7. Raspon kapaciteta za kružne tokove u ovisnosti o prosječnom dnevnom prometu

	Broj trakova: ulaz/izlaz	1/1	kompaktni 2/2	veliki 2/2	signalizirani 2/2
a	Kružni tok ima dovoljan kapacitet u svim uvjetima do veličine prometa od:	15000	16000	20000	
b	Maksimalni mogući kapacitet u optimalnim uvjetima:	25000	32000	35000-40000	50000-60000
		voz/dan			

Kapacitet kružnih tokova isto ovisi i o kulturi vožnje vozača u pojedinim državama kao i pripadna signalizacija. Zato se ne smiju koristiti iste formule za izračun kapaciteta u svim država, već se prethodno moraju provesti ispitivanja.

2.4.2. Uređenje

Estetsko uređenje kružnog toka je izrazito bitno zbog uklapanje u okoliš i općenito zbog prihvaćanja od strane stanovništva. Unutar kružnog toka ne smije biti opasnih prepreka (stabala, zidova, velikih rubnjaka) zbog sigurnosti i preglednosti. Preglednost u kružnom toku je najslabije tijekom noći. Stoga se kružni tokovi u urbanim područjima u potpunosti osvjetljavaju, a u ruralnim područjima se koriste reflektirajući znakovi i smjerokazi.

Središnji otok kružnog toka može se urediti arhitekturno, hortikularno ili na neki poseban način (npr. benzinska postaja).



Slika 48. Arhitekturno uređenje



Slika 49. Hortikulturalno uređenje



Slika 50. Uređenje sa benzinskom postajom

3. ZAKLJUČAK

Kružni tokovi su postali jedni od najatraktivnijih tipova raskrižja zbog svoje visoke prometne sigurnosti i propusne moći. Izuzetno su popularni, kako kod stanovništva, tako i kod političara, zbog svoje kontinuiranosti prilikom vožnje. Isto tako, pri jednakoj propusnoj moći zauzimaju manje prostora u odnosu na ostale tipove raskrižja.

Sve se više primjenjuju i zbog velike ekonomske isplativosti. Za istu propusnost su jeftiniji od ostalih tipova raskrižja. Također, ekološki su veoma prihvatljivi, jer smanjuju potrošnju energije, emisiju štetnih plinova i buku (3-5%). Odlično se uklapaju u bilo kakav okoliš.

Kapacitet standardnih tipova kružnih tokova se može veoma pouzdano odrediti. Za urbana područja najbolji su mini i jednotračni kružni tokovi jer imaju najbolji omjer sigurnosti i propusnosti. Jednotračni kružni tokovi su najpoželjniji i kod ruralnih područja, međutim dvotračni kružni tokovi se također mogu koristiti. Kružne tokove sa više od dvije trake treba izbjegavati zbog male sigurnosti. Turbo kružni tokovi su novo otkriće u prometnom inženjerstvu i za sada pokazuju veliku perspektivu zbog velike propusne moći i sigurnosti. Kružni tokovi se preporučaju do kapaciteta od 40 000 voz/dan. Za potrebne veće kapacitete bolja rješenja su klasična signalizirana raskrižja.

S vremenom su se provela brojna istraživanja koja su omogućila niz sofisticiranih pravila za kružne tokove. Osnovni cilj prilikom geometrijskog dizajniranja kružnog toka su što manje brzine koje pridonose što većoj sigurnosti. Kvaliteta kružnih tokova s vremenom sve više napreduje, a razina sigurnosti i kvaliteta prometovanja se sve više povećavaju.

4. LITERATURA

1.) Brilon, W. : *Studies on Roundabouts in Germany: Lessons Learned; 3rd International Conference on Roundabouts; Carmel, Indiana, May 18 – 20, 2011*
<http://teachamerica.com/RAB11/RAB1122Brilon/player.html>

2.) Brilon, W. : *Studies on Roundabouts in Germany: Lessons Learned; 3rd International Conference on Roundabouts; Carmel, Indiana, May 18 – 20, 2011*
<http://teachamerica.com/RAB11/RAB11Papers/RAB1122Brilon-0097.pdf>