

ANALIZA OPRAVDANOSTI PRIMENE KRUŽNIH RASKRSNICA UMETO KLASIČNIH RASKRSNICA SA PRESECANJEM SAOBRAĆAJNIH STRUJA

Asis. Stefan Vranjevac¹, master inž. građ.

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, svranjevac@grf.bg.ac.rs

V. prof. dr Dejan Gavran, dipl. građ. inž.

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, gavran@eunet.rs

Doc. dr Sanja Fric, dipl. građ. inž.

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, sfric@grf.bg.ac.rs

Istraživač-saradnik Vladan Ilić, master inž. građ

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, vilic@grf.bg.ac.rs

Asis. Filip Trpčevski, master inž. građ.

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, ftprcevski@grf.bg.ac.rs

Rezime: Raskrsnice kao mesta na kojima se ukrštaju različiti putni pravci, odnosno kao čvorišta putnih pravaca, zauzimaju značajno mesto u svakoj putnoj mreži. S obzirom na to da imaju bar dva puta manju propusnu moć od osnovne deonice, raskrsnice predstavljaju ograničavajući faktor cele deonice. Zbog ovako velike važnosti raskrsnica, odluka o izboru njihovog tipa treba biti doneta već na nivou generalnog projekta. U sklopu održavanja puteva i sanacija opasnih mesta sve češće smo svedoci rekonstrukcija klasičnih raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja u moderne kružne raskrsnice. Do takvih rekonstrukcija dolazi prvenstveno radi povećanja bezbednosti – time što su na kružnim raskrsnicama u najvećoj meri izbegnute konfliktne tačke u kojima dolazi do saobraćajnih nezgoda sa težim posledicama. Ovaj rad će dati uvid u opravdanost takvih rekonstrukcija, sa stanovišta svih učesnika u saobraćaju, kao i uvid u uticaj na bezbednost i brzinu odvijanja saobraćaja.

Ključne reči: klasične raskrsnice, kružne raskrsnice, konfliktne tačke, ulivni tokovi.

FEASIBILITY ANALYSIS OF APPLICATION OF THE ROUNDABOUT INSTEAD OF THE CLASSICAL INTERSECTION

Abstract: As junction of roadways, intersections take very important location in every road network. Intersections are at least two times less permeable than the main section, which represents the limiting factor of the whole section. Because of the big importance of intersections, the decision about choosing their type should be made in conceptual design. Within the current road maintenance and repair of dangerous spots we are increasingly witnessing reconstructions of the classical intersections in the modern roundabouts. That kind of reconstructions are made first and foremost for the upgrading of traffic safety – by avoidance of conflict points at roundabouts, where it comes to traffic accidents with the severe consequences. This article will provide insight into the feasibility of those kind of reconstruction, from the perspective of all participants in the traffic, and will provide insight into influence on safety and traffic flow.

Keywords: classic intersection, roundabouts intersection, conflict point, approach vehicle

1. UVOD

Već dugi niz godina u mnogim zemljama sveta prisutan je trend rekonstrukcija klasičnih raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja u moderne kružne raskrsnice. U Srbiji takođe u poslednjih desetak godina imamo prisustvo sve većeg broja kružnih raskrsnica, otuda i povećano interesovanje o prednostima koje takve raskrsnice donose. U ovom radu su kroz različite parametre date smernice kada kružne raskrsnice predstavljaju povoljnije rešenje od klasičnih, a kada njihovu primenu treba izbeći, da bi se smanjila mogućnost neopravdanih rekonstrukcija. Takođe, za potrebe ovog rada izvršeno je istraživanje o povećanju bezbednosti na konkretnoj lokaciji na kojoj je izvršena rekonstrukcija klasične raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja u kružnu raskrsnicu.

¹ Vranjevac Stefan: svranjevac@grf.bg.ac.rs

2. OPŠTE KARAKTERISTIKE

Površinske raskrsnice pružaju zadovoljavajuće rešenje za ukrštanje putnih pravaca čije je opterećenje do 800 vozila po času u oba smera [1], u slučaju većih saobraćajnih opterećenja trebalo bi se pribeci primeni denivelisanih raskrsnica kojima se u potpunosti nivelaciono odvajaju ukršni pravci. Na osnovu ove tvrdnje može se uvideti važnost površinskih raskrsnica i polje primene u putnoj mreži. Jasno je da se na površinskim raskrsnicama javljaju konfliktne zone, tj. mesta na kojima dolazi do korišćenja zajedničkih saobraćajnih površina za vozila koja dolaze iz različitih pravaca. Iz ovog razloga se već na početku procesa projektovanja moraju primeniti regulativne mere, tj. pravila ponašanja, koja će kasnije biti regulisana saobraćajnom signalizacijom.

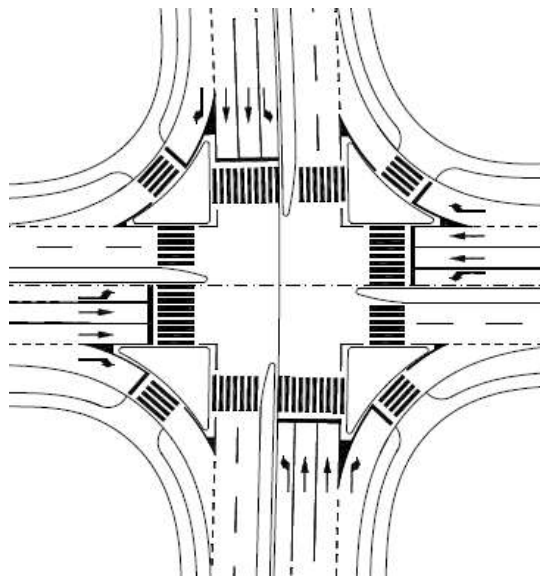
2.1. Raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja

Raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja predstavljaju trenutno najzastupljeniji tip raskrsnica. Ono što je za njih karakteristično je da se na zajedničkoj površini različitih smerova vožnje javlja veliki broj konfliktnih tačaka, koje su najvećim delom izbegnute primenom kružnih raskrsnica. Kod raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja uvek se jednom pravcu daje pravo prvenstva prolaza pri korišćenju zajedničkih površina, odnosno određuju se glavni (GP) i sporedni (SP) putni pravac.

Kod površinskih raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja svetlosnom signalizacijom je moguće razdvojiti konfliktne saobraćajne struje u vremenu slično kao što se denivelisanim raskrsnicama vrši njihovo razdvajanje u prostoru.

Osnovni ograničavajući faktor ovakvog tipa raskrsnica su leva skretanja, koja kod raskrsnica većeg saobraćajnog opterećenja moraju imati posebnu fazu u semaforском ciklusu. Povećanjem broja faza javljaju se i veći gubitci u vremenu jer prelazak iz faze u fazu se razgraničava žutim i svecrvenim svetlom koja predstavljaju čiste vremenske gubitke.

Bitan uslov pri projektovanju ovog tipa raskrsnica je da se u slučaju velikih saobraćajnih opterećenja pravilnim kanalsanjem saobraćajnih struja (slika 1), tačnije izgradnjom podignutih ostrva i ovičenja, razdvoje konfliktne tačke, tj da vozilo pri rešavanju jednog konflikta ima prostor odnosno vreme da se zaustavi do rešavanja drugog konflikta. Ovo praktično znači da će vozač u svakoj tački imati maksimalno jednu dilemu, odnosno maksimalno jedno ukrštanje.

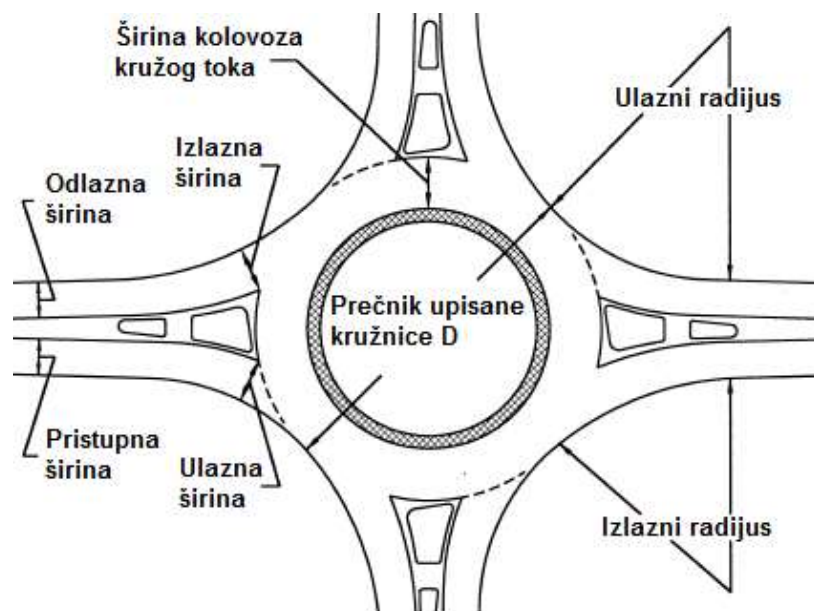


Slika 1. Pravilno kanalsanje saobraćajnih struja

2.2. Kružne raskrsnice

Kružne raskrsnice predstavljaju tip raskrsnica koje zauzimaju sve veću primenu, iz više razloga koji će u ovom radu biti navedeni.

Osnovni element je kružni podeonik koji prinudno usmerava putanje kretanja svih vozila koja ulaze u raskrsnicu bez obzira da li ta vozila nastavljaju kretanje desno, pravo ili levo. Osnovni elementi koji najviše utiču na karakteristike kružne raskrsnice kao što su brzina kretanja, propusna moć, bezbednost, gubici vremena itd. su: prečnik upisane kružnice (D), širina uliva i izliva, odnosno, broj voznih traka uliva i izliva i širina kolovoza kružnog toka [1] (Slika 2).



Slika 2. Osnovni elementi kružne raskrsnice

Kod raskrsnica sa kružnim tokom nema razdvajanja na glavni i sporedni pravac, odnosno saobraćajne struje pravo, levo ili desno imaju iste uslove ulivanja, kolizije, kružnog kretanja i izlivanja, s tim da prednost uvek imaju vozila u kružnom toku. Dakle, nema privilegovanog pravca, kojem bi se davalo pravo prvenstva prolaza. To takođe znači da se nijednom pravcu ne sme omogućiti velika brzina kretanja, tj. kružnica ne bi smela da ima elipsasti oblik (ako ima, radijusi elipse ne smeju da se razlikuju za više od 15%), jer bi se time vozilima koja nailaze na manji radijus elipse omogućio ulazak u kružni tok velikom brzinom, takođe u toku kretanja vozila kolovozom kružnog toka pri nailasku sa većeg radijusa na manji, došlo bi do velikog bočnog trzaja, što bi značajno smanjilo bezbednost same raskrsnice.

Minimalni prečnik upisane kružnice iznosi 14m za raskrsnice koje se nalaze u gradovima, dok se na kružnim raskrsnicama vangradske putne mreže ne preporučuje primena upisane kružnice prečnika manjeg od 25m. Maksimalna vrednost prečnika upisane kružnice ne bi trebala da prelazi 70m [3], kako zbog prostorne neopravdanosti, tako i zbog nedopustivo dugog zadržavanja vozila u samom kolovozu kružnog toka. Primena tako velikog radijusa mogla bi da prouzrokuje i veće brzine kojima bi se vozila kretala, što bi dovelo do smanjenja bezbednosti, i narušavanja onog što je osnovni cilj ovog tipa raskrsnica. Radijus 70m može se primeniti samo ukoliko se javlja veći broj ulivnih tokova, koje je nemoguće redukovati!

3. UTICAJNI PARAMETRI

Da bi se došlo do pravilnog, odnosno optimalnog izbora tipa raskrsnice potrebno je detaljno analizirati veliki broj parametara i težiti da se izborom raskrsnice zadovolji što više programskih uslova, čime će se obezbediti nesmetano odvijanje saobraćaja za što više korisnika.

3.1. Organizacija raskrsnice i ulivni tokovi

Pri organizaciji raskrsnice treba se voditi time da se što je više moguće smanji broj presecanja saobraćajnih struja, odnosno da se smanji broj konfliktnih tačaka, tj. mesta na kojima postoji opasnost od sudara velikom energijom. Naravno, gotovo je nemoguće izbeći sve konfliktna tačka, ali po mogućstvu ih treba svesti na minimum, pravilnim kanalisanjem saobraćajnih struja, dovoljnim odvajanjem uliva i izliva i obezbeđivanjem dovoljne dužine za preplitanje saobraćajnih tokova. Jasno je da se kod ulivanja i izlivanja takođe javlja mešanje saobraćajnih tokova, ali u ovom slučaju nema velike energije kao što je to slučaj kod presecanja.

Osnovna prednost kružnih raskrsnica u odnosu na raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja je što se kod kružnih raskrsnica svi manevri odvijaju kao ulivanje, izlivanje i preplitanje, tj. nema konfliktnih tačaka, osim pešačkih prelaza na ulasku i izlasku iz raskrsnicu, ako oni postoje, na kojima će naravno pešaci uvek imati prednost u odnosu na vozila.

Očigledno je da se povećanjem broja krakova u raskrsnici javlja veći problem sa regulisanjem saobraćajnih tokova. Ukoliko raskrsnica ima više od 4 ulivna kraka gotovo je nemoguće obezbediti zadovoljavajuće odvijanje saobraćaja, jer će broj konfliktnih i kolizionih tačaka biti nedopustivo veliki. Ovaj problem se na mnogim mestima rešava postavljanjem komplikovane saobraćajne signalizacije, ali to iziskuje velike gubitke u vremenu

na raskrsnici zbog dugog trajanja ciklusa. Ukoliko bi se upotrebom kružne raskrsnice pokušao rešiti ovaj problem, morao bi se koristiti izuzetno veliki radijus upisane kružnice, da bi se dobila dovoljna dužina za preplitanje. Takođe time bi se dosta iskomplikovala isključenja sa kolovoza kružnog toka, jer bi došlo do zbunjivanja vozača čestim isključenjima. Ovaj problem je teško rešiv u gradovima, gde nam prostorna ograničenja ne dozvoljavaju primenu velikih kružnih podeonika neophodnih za bezbedno preplitanje vozila.

Na osnovu ovog se može zaključiti da već u ranim fazama projektovanja, raskrsnice treba organizovati tako da budu svedene na klasične četvorokrake ili trokrake raskrsnice bez obzira da li su sa presecanjem saobraćajnih struja ili sa kružnim tokom. To znači da se na širem području, saobraćajnice trebaju organizovati tako da ni u jednoj raskrsnici nemamo više od četiri kraka. Ukoliko ipak nije moguće regulisati broj ulivnih tokova u samu raskrsnicu, već se mora dopistiti ulivanje više od 4 saobraćajnice, onda bi se negativni uticaji mogli smanjiti primenom kružnih raskrsnica sa prečnikom upisane kružnice većim od 70m, što bi predstavljalo iznuđeno rešenje, sa gore navedenim posledicama.

Na ulivima kružnih raskrsnica mogu se javljati maksimalno dve vozne trake, sve preko toga bi uticalo na smanjenje bezbednosti, time što vozače dovodi skoro do presecanja tokova saobraćaja sa vozilima u kružnom toku, kao i do povećanja šanse za pogrešan manevar pri ulivanju. Ukoliko je nemoguće smanjiti broj ulivnih traka problem se donekle može rešiti tako da vozila koja skreću desno imaju poseban kolovoz van kružnog toka, kojim bi mogli obaviti ovaj manevar (slika 3). Kružna raskrsnica na slici je nestandardna kružna raskrsnica, koja ima svoje nedostatke, ali je ovaj primer izabran da bi se razumelo odvajanje desnog skretanja van kolovoza kružnog toka.



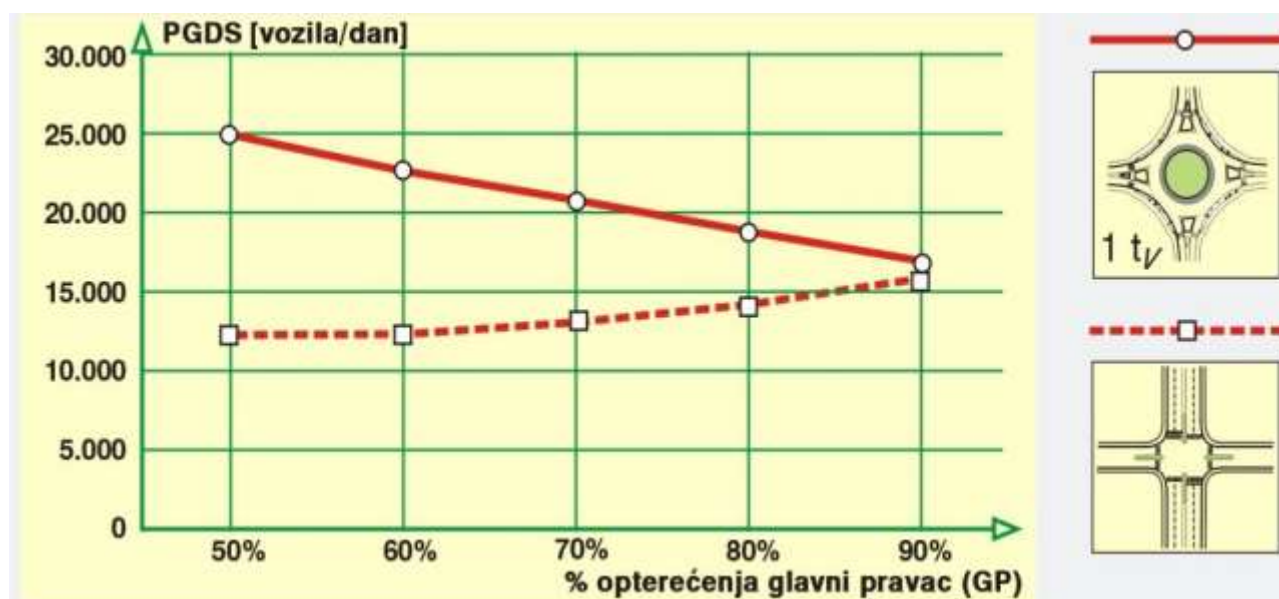
Slika 3. Poseban kolovoz za desna skretanja 67 Street/Johnstone Drive Corridor

Izvor: <https://www.google.com/earth/>

Danas smo često svedoci da se različitim rekonstrukcijama pokušava ubrzati saobraćaj na raskrsnicama sa više presečnih pravaca, ali kao rezultat toga se ne dobije kraće vreme zadržavanja u raskrsnici iz prethodno navedenih razloga. Naravno ovaj problem se javlja u mnogim gradovima gde se pri planiranju raskrsnica pre više desetina godina nije mogao predvideti povećan obim saobraćaja sa kojim se danas susrećemo, već su raskrsnice planirane kao trgovi u koje će se ulivati svi putni pravci.

3.2. Saobraćajno opterećenje i propusna moć

Primena kružnih raskrsnica pogoršava uslove glavnog pravca, odnosno izjednačava glavni i sporedni pravac po važnosti. Ukoliko je saobraćajno opterećenje glavnog pravca znatno veće treba pribeći primeni klasičnih raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja, jer pri ukrštanju saobraćajnica različitih rangova primenom saobraćajne svetlosne signalizacije prioritet može da se da glavnom pravcu. Dakle, izbor treba da uvek bude na raskrsnici sa presecanjem saobraćajnih struja ukoliko prioritet treba da se da jednom pravcu (slika 4).



Slika 4. Kapacitet kružne i klasične raskrsnice u odnosu na opterećenje glavnog pravca
 Izvor: Maletin M.: Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima, Beograd 2009.

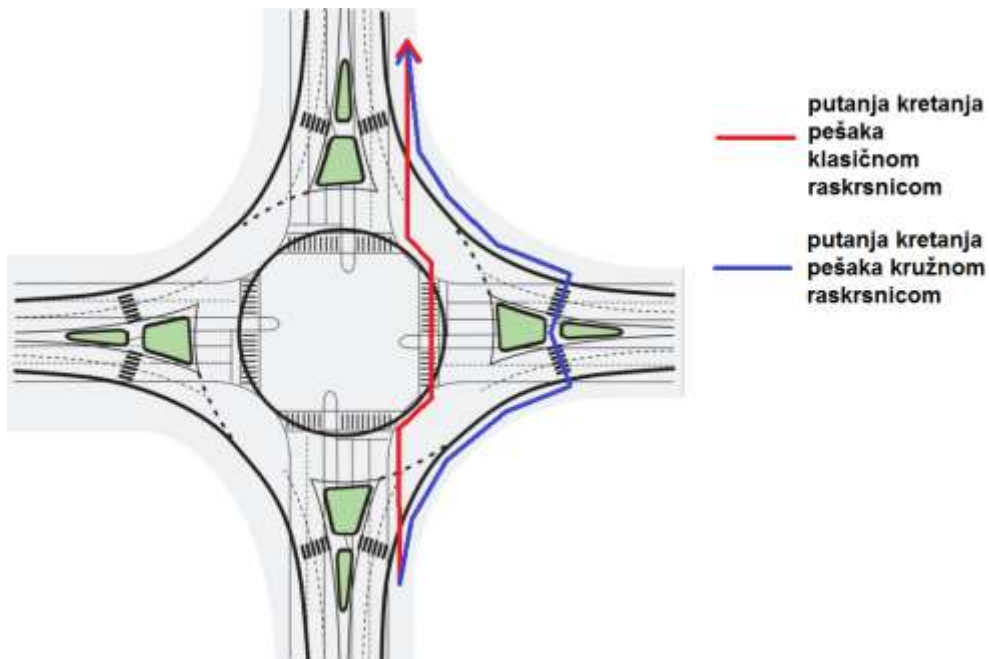
Sa slike se može videti da povećanjem opterećenja glavnog pravca kapacitet kružne raskrsnice opada dok se kapacitet klasične raskrsnice povećava. Tako da ukoliko procenat vozila na glavnom pravcu iznosi 90% ukupnog opterećenja same raskrsnice onda se kapaciteti raskrsnice sa kružnim tokom i klasične raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja (nesignalizovane) izjednačavaju. Dakle, osnovna prednost kružne raskrsnice je ukoliko postoji ravnomerno raspoređeno saobraćajno opterećenje na glavni i sporedni pravac. Zavisno od ukupnog opterećenja glavnog pravca i procenta levih skretanja srednji gubitak vremena na kružnoj raskrsnici (sekundi/vozilu) je 2 – 8 puta manji u odnosu na klasične raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja.

Dakle, veću propusnu moć imaju raskrsnice sa kružnim tokom i takođe imaju manje gubitke u vremenu, naravno ukoliko se ispoštuju sve druge preporuku, koje su navedene u ovom radu.

3.3. Pešački i biciklistički saobraćaj

Pri projektovanju raskrsnica u gradovima, prioritetni učesnici u saobraćaju su pešaci i procesom projektovanja bi svaki element putne infrastrukture trebalo prvenstveno podrediti pešačkom saobraćaju. Na vangradskim putevima gde je obim pešačkog saobraćaja minimalan, geometrija se podređuje motorizovanom saobraćaju. Kod raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja presečne tačke pešaka sa vozilima se mogu izbeći primenom saobraćajne signalizacije, dok kod kružnih raskrsnica, kod kojih je primena saobraćajne svetlosne signalizacije uvek neopravdana i samo doprinosi usporenju saobraćaja i gubljenju osnovnih efekata kružne raskrsnice, presečne tačke pešaka sa vozilima uvek postoje.

Kretanje pešaka i biciklista u kružnim raskrsnicama se neminovno produžuje (slika 5). Pored toga površina kružnog podeonika je potpuno nepristupačna za pešake, što u zavisnosti od lokacije predstavlja neracionalno korišćenje gradskog zemljišta.



Slika 5. Putanja kretanja pešaka na kružnoj i klasičnoj raskrsnici istog nivoa usluga

U primeru prikazanom na slici 12 putanja koju bi pešaci trebali da pređu sa jednog na drugi kraj raskrsnice u slučaju kružne raskrsnice je za oko 25% duža, na osnovu čega se jasno uviđa da klasične raskrsnice imaju prednost sa stanovišta pešaka.

Pri oblikovanju kružne raskrsnice izlazni radijus mora imati takvu vrednost da zadrži nisku brzinu vozilima koja napuštaju kružni tok, kako bi se ta vozila blagovremeno mogla zaustaviti i propustiti pešake na izlazu.

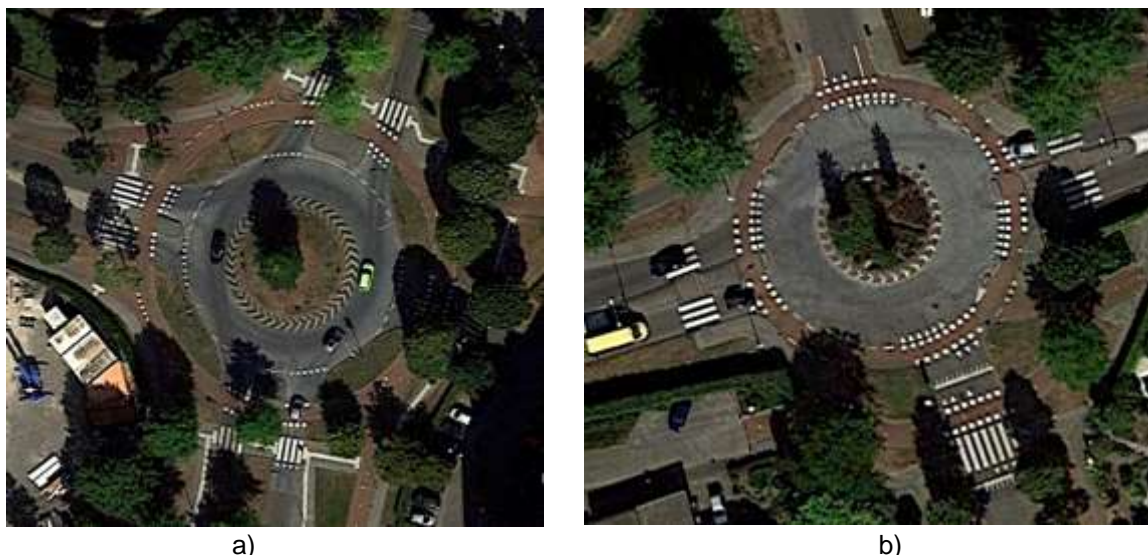
Jedna od najbitnijih odluka je izbor lokacije pešačkih prelaza na kružnoj raskrsnici. Tu se mora naći balans između zahteva pešaka i motornih vozila i prvenstveno razmotriti bezbednost pešaka. Da bi se odgovorilo zahtevima pešaka, mora se obezbediti najkraća putanja kretanja, što znači da bi pešački prelazi trebali da budu što bliže kružnom kolovozu. Međutim, to rastojanje ne sme da bude suviše kratko kako se ne bi ugrozila bezbednost pešaka i došlo do usporjenja saobraćaja u kružnom toku zbog vozila koja čekaju na izlazu. Minimalno rastojanje kolovoza kružnog toka od pešačkog prelaza je 7m (u izuzetnim slučajevima 5m) [2], iz razloga da bi vozilo pri napuštanju kružnog toka moglo da se zaustavi i sačeka pešaka ispred pešačkog prelaza. Veoma je važno kako rastojanje tako i dužina samih prelaza. Dužinu je najbolje smanjiti što više čime bi se minimizirao mogući kontakt pešaka sa vozilima. Na bezbednost pozitivno utiče i korišćenje srednjeg razdelnog, podeljenog ostrva. Geometrija treba da bude takva da brzina vozila pri prelasku preko pešačkog prelaza u urbanim područjima bude ispod 20km/h [3].

Što se biciklista tiče, postoje dva načina vođenja biciklista u raskrsnicama sa kružnim tokom:

- Samostalno vođenje biciklističkog saobraća, potpuno odvojeno od motornog (slika 6a)
- Kombinovano vođenje biciklističkog i motornog saobraćaja, proširenje kolovoza kružnog toka za širinu biciklističke staze (2m) (slika 6b)

Naravno, znatno je bezbednije samostalno vođenje, gde se biciklistički saobraćaj takođe odvija kružno, potpuno odvojeno od motornog, dok se ukrštanje sa motornim saobraćajem vrši na istim mestima gde se ukrštaju motorni i pešački saobraćaj, tako da broj konfliktnih tačaka ne bude povećan (slika 6a). Konfliktna tačke u ovom slučaju se javljaju samo na mestima ukrštanja motornog saobraćaja sa pešačkim i biciklističkim saobraćajem na ulivnim kracima, tj. na delu pešačkog prelaza i treba uvek voditi računa da to ukrštanje bude pod uglom od 90°, čime se povećava preglednost. Ovakvim načinom vođenja pešaci i biciklisti su jednim delom zaštićeni i samim ostrvima.

Drugi način vođenja biciklista u kome je biciklistička staza deo kolovoza kružnog toka je nebezbedniji i iz razloga što vozila pri isključenju sa kružnog toka imaju smanjenu preglednost i vozači često misle da imaju prednost u odnosu na bicikliste iako im biciklisti dolaze sa desne strane.



Slika 6. a) poželjno i b) nepoželjno vođenje biciklističke staze u kružnoj raskrsnici, s-Hertogenbosch Den Boš, Holandija

Izvor: <https://www.google.com/earth/>

Na prethodnoj slici mogu se videti oba načina vođenja biciklističke staze kroz kružnu raskrnicu na jednoj istoj saobraćajnici u Den Bošu. U prvom rešenju se vidi kako je biciklistička staza fizički odvojena od kolovoza kružnog toka, dok se na slici b) vidi da je biciklistička staza u sklopu kolovoza kružnog toka, što iz prethodno navedenih razloga čini znatno nepovoljnije rešenje.

U kružnim raskrnicama u kojima je moguće kretanje vozila velikom brzinom ili u kojima je značajan obim kako motornog tako i pešačkog saobraćaja, treba razmotriti opravdanost primene podzemnih ili nadzemnih prelaza za pešake. Kod novoprojektovanih kružnih raskrznica ne preporučuje se semaforizacija pešačkih prelaza, jer bi to uticalo na povećanje vremenskih gubitaka u samoj raskrsnici.

Ukoliko u raskrsnici postoji velika koncentracija pešaka i biciklista, tačnije, >2000 pešaka/času ukupno i >300 biciklista/času ukupno, treba primeniti raskrnicu sa presecanjem saobraćajnih struja, dok se za <500 pešaka/času ukupno i <100 biciklista/času ukupno preporučuje primena kružnih raskrznica[3].

3.4. Javni gradski prevoz

U slučaju kružnih raskrznica vozila JGP nisu privilegovana u odnosu na ostala vozila. Da bi se njima obezbedila prednost morala bi se primeniti svetlosna signalizacija, što bi dovelo do kršenja osnovnog koncepta kružne raskrsnice.

Primena tramvaja na kružnim raskrnicama je takođe komplikovana, jedno od rešenja je da idu zajedno sa kružnim kolovozom, dok se danas najčešće primenjuje rešenje gde će tramvaj ići sredinom kružnog podeonika, ali se pritom moraju koristiti semafori da bi se upozorili vozači.

Što se tiče stanica za JGP bolje je kada su koncipirane posle raskrsnice, da se ne bi umanjivala preglednost pešačkog prelaza. Takođe vozači su u nekim situacijama nestrpljivi i došlo bi verovatno do obilaženja vozila JGP dok čekaju na stanici čime bi se značajno ugrozila bezbednost pešaka.

Još jedna negativna primena kružnih raskrznica kada ima JGP je to što pri presedanju pešaci imaju značajno dužu putanju koju treba da pređu.

Dakle može se izvesti zaključak da na raskrnicama na kojima ima više od 30 vozila javnog gradskog prevoza na sat [3], uvek treba primeniti klasičnu raskrnicu sa presecanjem saobraćajnih struja, jer kod kružnih raskrznica to vozilo ulazi u samu raskrnicu pod istim uslovima kao i svaki drugi učesnik u saobraćaju, što naravno nije opravdano, jer se vozilima JGP uvek treba obezbediti prioritet. Može se u nekim slučajevima tolerisati primena kružna raskrznica ukoliko se javlja do 120 vozila JGP na sat, ali preko toga nikako ne bi trebalo primenjivati kružnu raskrnicu.

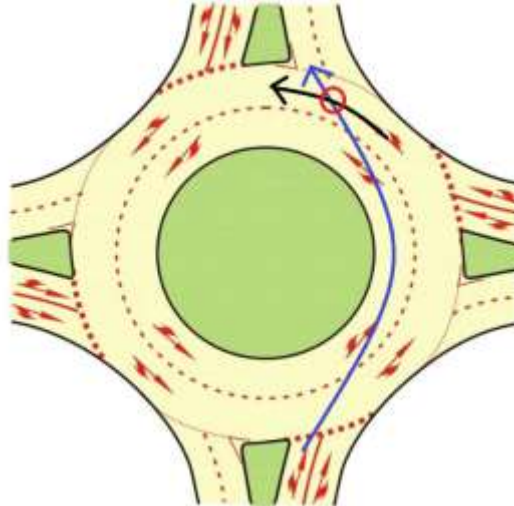
3.5. Bezbednost

Bezbednost površinskih raskrznica predstavlja verovatno najznačajniji parametar na osnovu koga bi se trebalo doći do optimalnog rešenja raskrsnice. Prethodni parametri su objašnjeni da bi se jasnije mogla steći slika kako oni utiču na bezbednost same raskrsnice, a kasnije i na propusnu moć. Pored svih prethodno objašnjenih

parametara koji utiču na bezbednost, u ovom poglavlju će biti date još neke smernice koje bi trebalo primenjivati da bi se povećala bezbednost svih učesnika u saobraćaju.

3.5.1. Broj voznih traka u kolovozu kružnog toka

Bezbednost kružne raskrsnice pored velikog broja ulivnih traka (više od dve) može biti ugrožena i ukoliko se u samom kružnom toku nalaze više od 2 vozne trake. Povećanjem voznih traka u kružnom toku povećava se broj sekundarnih presečnih tačaka (slika 7).



Slika 7. Sekundarna presečna tačka

Nažalost, danas smo svedoci da se često bira rešenje sa više od dve vozne trake u kolovozu kružnog toka, što izrazito nepovoljno utiče na bezbednost.

3.5.2. Brzina prolaska vozila kroz raskrsnicu

Na bezbednost značajno utiče i brzina prolaska vozila kroz raskrsnicu. Kod raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja preporuka je da ukoliko se vozi glavnim pravcem na kome nema zaustavljanja u samoj raskrsnici, vozač makar skloni nogu sa pedale gasa, čime bi brzina vozila trebala da se smanji za nekih 20% usporenjem od 0,6-0,7m/s². Naravno, jasno je da postoje vozači koji uopšte neće usporiti pri prolasku kroz raskrsnicu. S obzirom na to ovde prednost imaju kružne raskrsnice kod kojih vozač prinudno mora da smanji brzinu pri prolasku kroz raskrsnicu, pa brzina najčešće iznosi 0,5 od Vr.

3.5.3. Preglednost

U svakoj kružnoj raskrsnici mora se obezbediti zaustavna preglednost, tj. dovoljna dužina na kojoj vozilo može da se zaustavi u slučaju nailaska na prepreku odnosno drugo vozilo. To praktično znači da zonu preglednosti ograničava tetiva tako definisane putanje i posledično zahteva obradu kružnog podeonika samo niskim rastinjem.

3.5.4. Zauzetost površine

Kada se govori o površini koju raskrsnica zauzima treba znati da površinu raskrsnice ne čini samo zona zajedničke površine u kojoj se javljaju konfliktna i kolizionna tačka, već raskrsnicu čine i zone u kojima vozilo prilazi raskrsnici, prestrojava se u voznu traku zavisno od toga u kome smeru nastavlja kretanje posle raskrsnice i zone postrojanja u kojoj vozilo čeka.

Što se tiče same zauzetosti prostora jasno je da kružne raskrsnice zauzimaju veću površinu u samoj konfliktnoj odnosno kolizionnoj zoni, dok površinske raskrsnice sa presecanjem saobraćajnih struja zauzimaju veću površinu na samom prilazu raskrsnici, jer klasične raskrsnice da bi obezbedile isti nivo usluga kao kružne moraju imati više saobraćajnih traka na ulivu. Stoga se može zaključiti da u samim centralnim gradskim zonama treba izbegavati primenu kružnih raskrsnica jer su sami kružni podeonici površine koje su nepristupačne za pešake pa se time neadekvatno troši velika površina najvrednijeg gradskog zemljišta.

Na osnovu svega do sada rečenog može se steći zaključak da je osnovni razlog povećane bezbednosti kružne raskrsnice u odnosu na klasičnu to što se kod kružne raskrsnice eliminiše veliki broj konfliktnih tačaka i

mogućnost sudara vozila velikom energijom, pa time saobraćajne nezgode koje se dogode na kružnim raskrsnicama imaju značajno manje posledice.

4. OPRAVDANOST PRIMENE

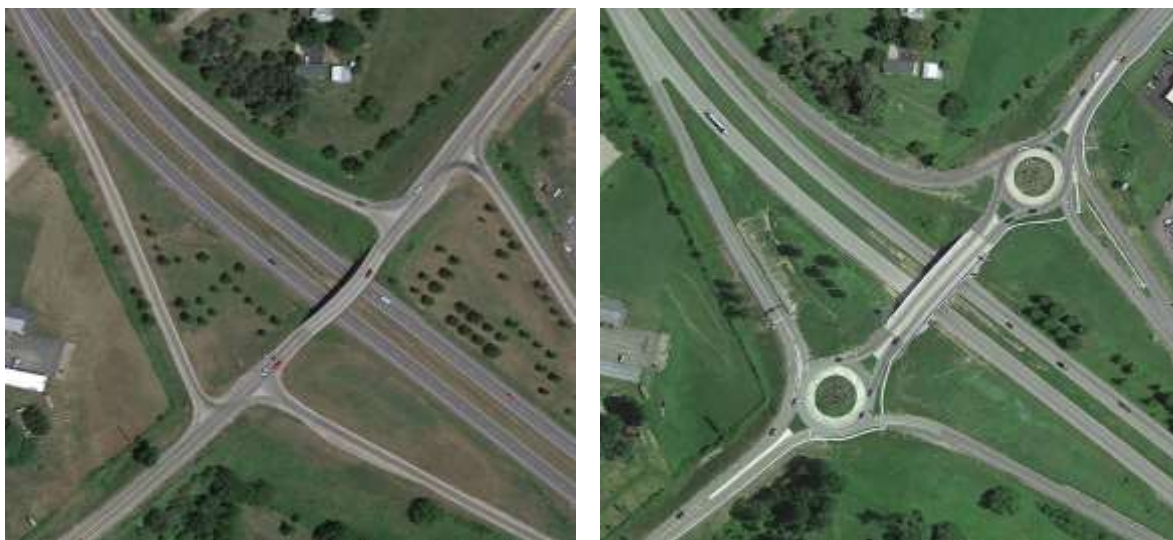
4.1. Primena u praksi

Osnovni problem na koji vozači treba da se naviknu kod rekonstrukcije kojom bi se raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja zamenila kružnom raskrsnicom je taj što se u kružnoj raskrsnici menjaju opšta pravila vožnje. Vozila koja žele da se uključe u kružni tok uvek moraju da propuste vozila koja se kreću kružnim tokom, a dolaze im sa leve strane. To bi se uvek trebalo regulisati saobraćajnim znakovima, tako što se na ulasku u kružni tok postavlja obrnuti trougao kojim se vozačima daje do znanja da moraju propustiti sva vozila u kružnom toku.

Kružne raskrsnice zauzimaju sve veći primenu širom sveta pre svega jer su se pokazale kao značajno bolje rešenje sa stanovišta bezbednosti kroz godine eksploatacije.

Što se lociranja kružnih raskrsnica tiče najčešće se primenjuju u gradskim sredinama sa ujednačenim opterećenjem presečnih pravaca, gde se semaforom signalizacijom dolazilo do značajnih vremenskih gubitaka. Značajnu primenu su zauzele i na saobraćajnicama gde je cilj bio smanjiti brzine kojima se vozila kreću kako zbog čestih uključenja na glavnu saobraćajnicu tako i zbog naseljenih mesta u kojima se javljaju razni vidovi saobraćaja. Jako korisna primena kružnih raskrsnica je i na ulasku i izlasku iz naseljenih mesta kako bi se vozačima prinudno smanjila brzina i skrenula pažnja na nove uslove saobraćaja.

U SAD sve je češća primena duplih kružnih raskrsnica u sklopu denivelisanih raskrsnica na isključenjima sa auto-puteva (slika 8).



Slika 8. Rekonstrukcija na autoputu US ROUTE 33 Ohajo

Izvor: <https://www.google.com/earth/>

Na ovakvo rešenje su se odlučili jer su se u periodu od samo dve godine od 2007. do 2009. na ovoj lokaciji dogodile čak 42 veće saobraćajne nezgode. Prvenstveno zbog zadržavanja visokih brzina pri isključenju sa auto-puta.

Ovakva primena kružnih raskrsnica značajno utiče na povećanje bezbednosti iz razloga što se vozač navikava na nove uslove vožnje pri isključenju sa auto-puta.

Tokom analize opravdanosti primene kružnih raskrsnica umesto klasičnih treba uzeti u obzir i troškove same rekonstrukcije. Istraživanjem za potrebe ovog rada ustanovljeno je da je okvirni trošak građevinskih radova pri izgradnji kružne raskrsnice oko 300 000€, na to treba dodati i trošak izrade projektne dokumentacije. Prema tome, odluka o rekonstrukciji treba da se donese detaljnom analizom svega prethodno navedenog, gde se moraju opravdati uložna sredstva, da ne bi došlo do velikih ulaganja koja neće doprineti značajnom povećanju bezbednosti i propusne moći.

4.2. Uticaj na bezbednost

Za potrebe ovog rada izvršeno je istraživanje o promeni saobraćajnih nezgoda nakon rekonstrukcije raskrsnice državnog puta 1b reda (ulica Bulevar oslobodilaca), gradske magistrale (ulica Đorđa Tomaševića) i dve nekategorisane saobraćajnice, na obilaznici oko Čačka (slika 9). Ova obilaznica je projektovana po svim parametrima vangradskih puteva, ali je pojačanom urbanizacijom došlo do toga da ima sve odlike gradske saobraćajnice, što uzrokuje smanjenu bezbednost na celoj ovoj deonici. Kao što se na slici vidi raskrsnica je prvobitno bila trokraka sa dva priključka nekategorisanih puteva pod veoma ostrim uglom, što je uticala na znatan broj saobraćajnih nezgoda. Problem se pokušao rešiti uvođenjem svetlosne saobraćajne signalizacije ali je to dovelo do nedopustivo dugog zadržavanja vozila na državnom putu prvog reda i do čestih formiranja kolona. Nakon toga se odlučilo za rešenje koje je prikazano na slici 9b, tj. za kružnu raskrsnicu.



Slika 9. (a) Prvobitno rešenje, (b) novoprojektovano rešenje raskrsnice na obilaznici oko Čačka
Izvor: <https://www.google.com/earth/>

Podaci o saobraćajnim nezgodama koji su bili dostupni obuhvataju period od četiri godine pre rekonstrukcije i dve godine posle rekonstrukcije.

U tabeli 1 je prikazan ukupan broj saobraćajnih nezgoda godišnje po godinama kako na samom mestu ukrštaja tako i na široj deonici. Šira deonica obuhvata 400m pre i posle raskrsnice, a uzeta je u razmatranje da bi se pokazalo kako kružna raskrsnica dovodi do povećanja bezbednosti ne samo na mestu ukrštaja, već i na široj deonici, što se moglo zaključiti i kroz ovaj rad kada je objašnjeno kako kružna raskrsnica utiče na prinudno smanjenje brzine svih vozila.

Tabela 1. Ukupan broj saobraćajnih nezgoda na predmetnoj deonici po godinama

	Broj saobraćajnih nezgoda na samom mestu ukrštaja	Broj saobraćajnih nezgoda na široj deonici	Ukupan broj saobraćajnih nezgoda
2006	8	12	20
2007	5	20	25
2008	9	11	20
2009 ²	3	7	10
2010 ³	1	2	3
2011	1	0	1

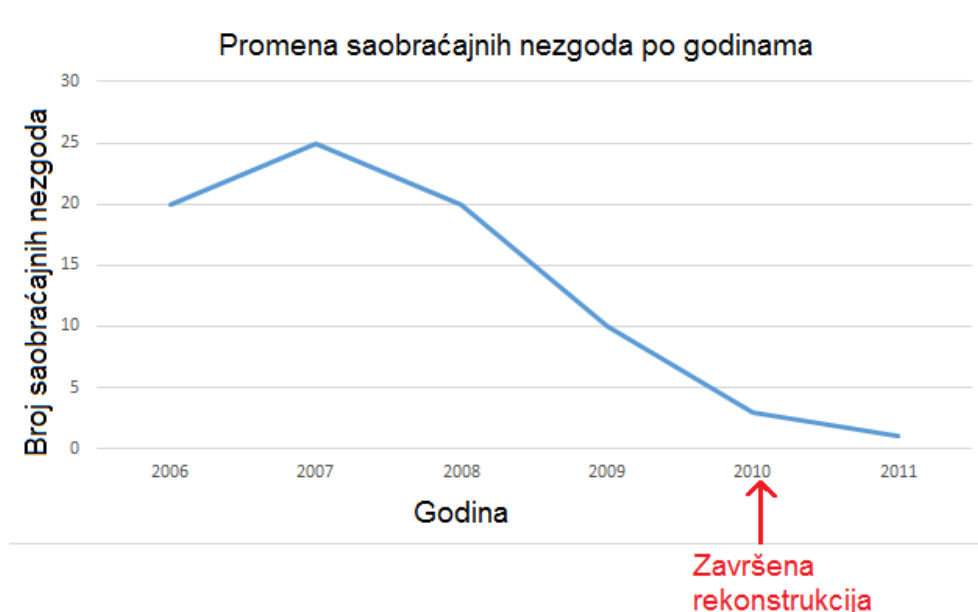
Izvor: Na osnovu podataka MUP-a Srbije o saobraćajnim nezgodama na putevima Srbije

U zbir saobraćajnih nezgoda nije uzet vremenski period rekonstrukcije, jer saobraćajne nezgode koje su tada zabeležene nisu merodavne za ovu analizu.

² U 2009. godini nije razmatran period od 1.11.2009 do 31.12.2009.

³ U 2010. godini nije razmatran period od 1.1.2010. do 1.3.2010.

Na narednom dijagramu je prikazana promena saobraćajnih nezgoda po godinama.



Slika 10. Dijagram promene saobraćajnih nezgoda po godinama

Izvor: Na osnovu podataka MUP-a Srbije o saobraćajnim nezgodama na putevima Srbije

Na osnovu tabele 1 i dijagrama na slici 10 jasno je uočljivo koliko je ova rekonstrukcija doprinela poboljšanju bezbednosti na razmatranoj deonici.

U tabeli 2 je prikazan prosek saobraćajnih nezgoda mesečno za period pre i posle izgradnje kao i procenat smanjenja kako broja saobraćajnih nezgoda tako i broja povređenih lica.

Tabela 2. Prikaz smanjenja saobraćajnih nezgoda nakon rekonstrukcije razmatrane klasične raskrsnice u kružnu

	Pre rekonstrukcije	Posle rekonstrukcije	Procenat promene
Ukupno nezgoda	1,63	0,18	-89
Povređenih	0,67	0,04	-94

Izvor: Na osnovu podataka MUP-a Srbije o saobraćajnim nezgodama na putevima Srbije

Iz tabele se vidi da je procenat smanjenja saobraćajnih nezgoda 89% dok je procenat smanjenja povređenih čak 94%, što ukazuje na to da, iako se desi nezgoda ona je bez težih posledica.

Glavni uzroci saobraćajnih nezgoda u periodu pre rekonstrukcije su neustupanje prvenstva prolaza sa 41,3% od ukupnog broja, kao i neprilagođena brzina uslovima puta kao i vozilu koje se kreće ispred, takođe sa 41,3%. U razmatranom periodu dogodila se jedna saobraćajna nezgoda sa smrtnim ishodom u kojoj je stradao motociklista zbog neustupanja prvenstva prolaza i dve saobraćajne nezgode sa pešacima.

Što se tiče perioda posle rekonstrukcije u tabeli 1 se vidi da se u 2010. godini na mestu ukrštaja dogodila samo jedna saobraćajna nezgoda i to ubrzo nakon rekonstrukcije. Do nje je došlo tako što se vozilo kretalo pogrešnim smerom u samom kolovozu kružnog toka, što se može pripisati kako nepoznavanju propisa tako i periodu privikavanja vozača na nove uslove u saobraćaju.

Na osnovu ovog prikaza o broju smanjenja saobraćajnih nezgoda može se jasno videti koliko kružne raskrsnice značajno utiču na povećanje bezbednosti.

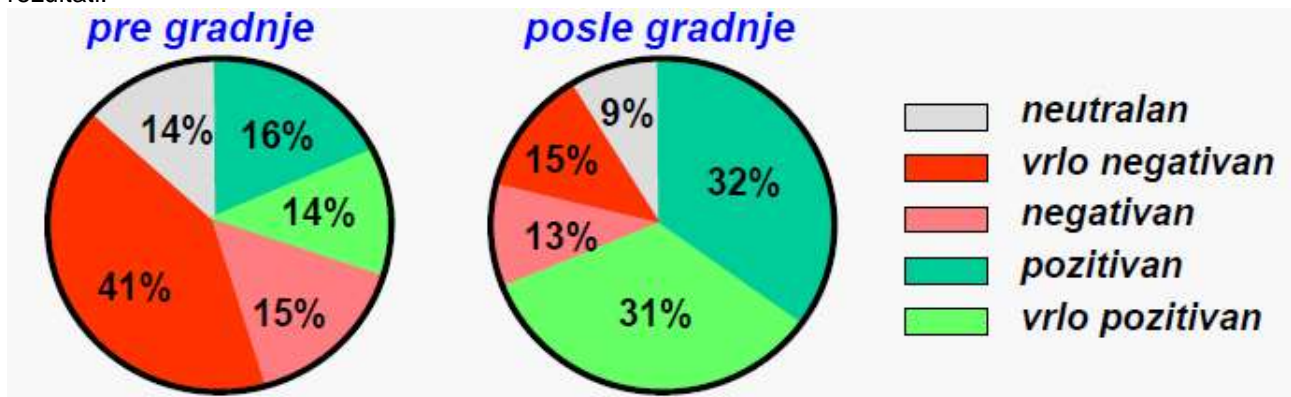
5. ZAKLJUČAK

Pri donošenju odluke o izboru optimalnog tipa raskrsnice, teško je zadovoljiti sve parametre koji će uticati na samu raskrsnicu, tj. može se doći do zaključka da raskrsnica u pogledu jednog parametra zahteva uslove koji su u potpunoj suprotnosti onima koji se zahtevaju analizom nekog drugog parametra. Zbog toga se teži izboru optimalnog rešenja koje će zadovoljiti najveći broj uslova i koje će što većem broju korisnika obezbediti nesmetano kretanje.

Teško je jednoznačno reći da je određeni tip raskrsnica bolji. Kao što se moglo videti u ovom radu, sa stanovišta bezbednosti značajnu prednost imaju kružne raskrsnice, dok neki parametri jednostavno ne dozvoljavaju njihovu primenu, pa samim tim ne možemo reći da će primena jednog tipa raskrsnice uvek biti bolje rešenje u odnosu na neki drugi tip. Predlaže se da se detaljno uđe u analizu saobraćajnih problema na konkretnoj lokaciji kroz navedene parametre, da se jasno kaže šta su prioriteta kog putnog pravca i tek na osnovu toga da se donese pravilno rešenje. Jasno je da se moraju analizirati posebni parametri kada se radi o raskrsnici u gradskom odnosno u vangradskom području.

Treba znati i to da bi rekonstrukcija kojom bi se vršila promena konceptijskog rešenja raskrsnice zahtevala promenu regulacione linije, tj. zahteva urbanističku saglasnost, što je u nekim slučajevima teško izvodljivo.

Prema anketi koju je izvršio Institute of Transportation Engineers o tome kakav je stav vozača o rekonstrukciji kojom se raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja menja kružnom raskrsnicom dobijeni su sledeći rezultati:



Slika 11. Rezultati ankete o mišljenju vozača o rekonstrukciji klasične raskrsnice u kružnu
Izvor: Institute of Transportation Engineers

Iz prikazane slike se vidi da su vozači u početku nezadovoljni takvim rešenjem, ali su kasnije u toku eksploatacije zadovoljniji primenom kružnih raskrsnica.

Literatura

- [1] Katanić J., Anđus V., Maletin. M.: *Projektovanje puteva*, Beograd 1983.
- [2] Maletin M.: *Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima*, Beograd 2009.
- [3] Maletin M.: Seminar u organizaciji BUILD PLUS *Projektovanje gradskih površinskih raskrsnica sa kružnim tokom*, Beograd mart 2016.
- [4] <https://www.google.com/earth/>
- [5] <https://a3.geosrbija.rs/>
- [6] Roundabouts: An informational guide, Federal highway administration Publication no. FHWA-RD-00-067
- [7] NCHRP Synthesis 672, Roundabouts: An informational guide, 2010. Година
- [8] NCHRP Synthesis 264, Modern roundabout practice in the United States, 1998. Година
- [9] Schoon, C., and J. van Minnen, "The Safety of Roundabouts in the Netherlands," SWOV Institute for Road Safety Research, Traffic Engineering and Control (March 1994).
- [10] Tudge, R.T., "Accidents at Roundabouts in New South Wales," Proceedings-Part 5 of the 15th ARRB Conference (August 1990) pp. 341-349
- [11] Brilon, W., Sicherheit von Kreisverkehrsplätzen, unpublished paper (1996).
- [12] Evolution de la Securite Sur Les Carrefours Giratoires, Centre D'Etudes Techniques de l'Equipment de l'Ouest, Nantes, France (1986).
- [13] *Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji*, SRDM5-3-kružne-raskrsnice, Funkcionalni elementi, i površine puteva, kružne raskrsnice, Beograd 2012.
- [14] NCHRP Synthesis 572, Roundabouts in the United States, 2007. Година
- [15] <http://library.ite.org/pub/e26c7ba4-2354-d714-5173-345427dcd867>, преузето 15.01.2018.